

# Cơ sở Đo lường điện tử

UDS EBOOK  
[www.updatesofts.com](http://www.updatesofts.com)

[mercury@Updatesofts.com](mailto:mercury@Updatesofts.com)

Ebooks Team

PGS. Vũ Quý Điềm (Chủ biên)  
Phạm Văn Tuấn  
Đỗ Lê Phú

**CƠ SỞ KỸ THUẬT**  
**ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ**

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**

## MỤC LỤC

|                                                                                    |          |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Lời nói đầu</b>                                                                 | <b>1</b> |
| <b>Chương 1 Giới thiệu chung về kỹ thuật Đo lường điện tử</b>                      |          |
| 1.1 Đối tượng của Đo lường điện tử                                                 | 6        |
| 1.1.1 Các đặc tính và thông số của tín hiệu                                        | 6        |
| 1.1.2 Các tham số và đặc tính của mạch điện tử                                     | 17       |
| 1.2 Các khái niệm cơ bản về Đo lường điện tử                                       | 21       |
| 1.2.1 Khái niệm đo lường                                                           | 21       |
| 1.2.2 Các phương pháp và biện pháp đo lường cơ bản                                 | 22       |
| <b>Chương 2 Định giá sai số Đo lường</b>                                           |          |
| 2.1 Nguyên nhân và phân loại sai số trong Đo lường                                 | 28       |
| 2.1.1 Nguyên nhân gây sai số                                                       | 28       |
| 2.1.2 Phân loại sai số                                                             | 29       |
| 2.1.3 Các biểu thức diễn đạt sai số                                                | 30       |
| 2.2 Ứng dụng phương pháp phân bố chuẩn để định giá sai số                          | 31       |
| 2.2.1 Hàm mật độ phân bố sai số                                                    | 32       |
| 2.2.2 Hệ quả của sự nghiên cứu hàm mật độ phân bố sai số                           | 33       |
| 2.2.3 Sử dụng các đặc số phân bố để định giá kết quả đo và sai số đo               | 36       |
| 2.3 Cách xác định kết quả đo                                                       | 39       |
| 2.3.1 Sai số dư                                                                    | 39       |
| 2.3.2 Độ tin cậy và khoảng chính xác                                               | 42       |
| 2.3.3 Cách xác định kết quả đo khi thực hiện đo nhiều lần                          | 45       |
| 2.3.4 Tính sai số trong trường hợp đo gián tiếp                                    | 48       |
| 2.3.6 Tính sai số khi đo tại vị trí chỉ thị cực trị                                | 51       |
| 2.3.7 Lưu đồ thực hiện quá trình xử lý, định giá sai số và<br>xác định kết quả đo. | 54       |
| <b>Chương 3 Quan sát và Đo lường dạng tín hiệu</b>                                 |          |
| 3.1 Khái niệm chung                                                                | 55       |
| 3.2 Cấu tạo ôxilo                                                                  | 57       |
| 3.2.1 Cấu tạo ống tia điện tử                                                      | 57       |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.2 Bộ tạo điện áp quét                                      | 63 |
| 3.2.3 Bộ khuếch đại của dao động ký                            | 69 |
| 3.3 Công dụng của dao động ký (ôxilô)                          | 73 |
| 3.3.1 Đo biên độ của điện áp tín hiệu                          | 73 |
| 3.3.2 Đặc tuyến vôn-ampe và đặc tuyến tần số                   | 75 |
| 3.4 Cấu tạo của dao động ký (ôxilô) nhiều kênh                 | 80 |
| 3.4.1 Cấu tạo của dao động ký (ôxilô) hai tia                  | 81 |
| 3.4.2 Phương pháp biến đổi luân phiên-chuyển mạch điện tử      | 82 |
| 3.5 Cấu tạo dao động ký (ôxilô) quan sát tín hiệu siêu cao tần | 89 |
| 3.5.1 Đặc điểm                                                 | 89 |
| 3.5.2 Phương pháp quan sát lấy mẫu                             | 91 |
| 3.6 Cấu tạo của dao động ký (ôxilô) có nhớ loại tương tự       | 94 |
| 3.6.1 Cấu tạo                                                  | 94 |
| 3.6.2 Nguyên lý hoạt động của ôxilô có nhớ                     | 95 |
| 3.7 Ôxilô điện tử số                                           | 96 |
| 3.7.1 Cấu trúc và khả năng của ôxilô số                        | 96 |
| 3.7.2 Ôxilô có cài đặt vi xử lý (micropocessor- $\mu$ P)       | 98 |

#### **Chương 4 Đo tần số, khoảng thời gian và đo độ di pha**

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1 Khái niệm chung                                           | 111 |
| 4.2 Đo tần số bằng các mạch điện có thông số phụ thuộc tần số | 113 |
| 4.2.1 Phương pháp cầu                                         | 113 |
| 4.2.2 Phương pháp cộng hưởng                                  | 115 |
| 4.3 Đo tần số bằng phương pháp dùng thiết bị so sánh          | 123 |
| 4.3.1 Phương pháp dùng dao động đồ của ôxilô                  | 123 |
| 4.3.2 So sánh bằng phương pháp ngoại sai                      | 125 |
| 4.3.3 Đo tần số bằng phương pháp đếm xung                     |     |
| 4.4 Đo khoảng thời gian                                       | 134 |
| 4.4.1 Máy đếm điện tử                                         | 134 |
| 4.4.2 Bộ đếm trong thiết bị đo số                             | 139 |
| 4.4.3 Bộ giải mã trong thiết bị đo số                         | 149 |
| 4.4.4 Bộ chỉ thị số                                           | 159 |
| 4.4.5 Máy đếm điện tử có cài đặt vi xử lý ( $\mu$ P)          | 175 |
| 4.5 Tổ hợp tần số (Frequency synthesizer)                     | 179 |

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| 4.5.1. Tổ hợp mạng tần số tích cực dùng kỹ thuật mạch số | 180 |
| 4.5.2 Tổ hợp tần số có cấu tạo vi xử lý ( $\mu P$ )      | 181 |
| 4.6 Đo độ di pha                                         | 186 |
| 4.6.1 Các phương pháp đo di pha                          | 188 |
| 4.6.2 Pha mét chỉ thị số                                 | 195 |
| 4.6.3 Pha-mét số có cài đặt micropocesor                 | 198 |

## **Chương 5 Đo điện áp**

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1 Đặc điểm và yêu cầu của phép đo tín hiệu điện áp              | 201 |
| 5.1.1 Các trị số điện áp đo                                       | 201 |
| 5.1.2 Cấu tạo và phân loại các vôn-mét điện tử                    | 204 |
| 5.2 Vôn-mét điện tử loại tương tự-dùng điện kế chỉ thị kim        | 205 |
| 5.2.1 Các đặc tính tách sóng                                      | 206 |
| 5.2.2 Khối khuếch đại trong vôn-mét điện tử                       | 215 |
| 5.2.3 Khối chỉ thị bằng kim                                       | 217 |
| 5.2.4 Vôn-mét đo điện áp xung                                     | 217 |
| 5.3 Cấu tạo vôn-mét điện tử số                                    | 222 |
| 5.3.1 Bộ biến đổi tương tự - số (the analog to digital converter) | 222 |
| 5.3.2 Ví dụ về bộ giải mã để thực hiện ký tự số Ả-rập             | 234 |
| 5.3.3 Vôn-mét điện tử số có cài đặt $\mu P$                       | 236 |

## **Chương 6 Đo công suất**

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 6.1 Các khái niệm và phương pháp đo công suất         | 243 |
| 6.1.1 Khái niệm                                       | 243 |
| 6.1.2 Phương pháp đo công suất                        | 245 |
| 6.1.3 Đo công suất ở tần số thấp và tần số cao        | 247 |
| 6.1.4 Đo công suất ở siêu cao tần dùng nhiệt điện trở | 252 |
| 6.2 Đo công suất hấp thụ                              | 258 |
| 6.2.1 Phương pháp vôn-mét (và ampe-mét)               | 258 |
| 6.2.2 Phương pháp đo cường độ ánh sáng                | 259 |
| 6.2.3 Phương pháp nhiệt lượng mét                     | 260 |
| 6.3 Đo công suất truyền thông                         | 263 |
| 6.4 Oát-mét dùng kỹ thuật số                          | 268 |
| 6.4.1. Oát-mét số (Digital Wattmeter)                 | 268 |
| 6.4.2. Oát-mét cài đặt vi xử lý                       | 271 |

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Chương 7 Đo các tham số điều chế và đặc tính phổ của tín hiệu</b>           |     |
| 7.1 Đo hệ số điều chế                                                          | 274 |
| 7.1.1 Đo hệ số điều chế biên độ                                                | 277 |
| 7.1.2 Đo các thông số điều tần                                                 | 282 |
| 7.1.3 Đo các thông số điều chế xung                                            | 286 |
| 7.2 Đo méo không đường thẳng                                                   | 289 |
| 7.3 Phân tích phổ tín hiệu                                                     | 292 |
| 7.3.1 Phương pháp phân tích                                                    | 293 |
| 7.3.2 Cấu trúc thiết bị phân tích phổ theo phương pháp số                      | 300 |
| 7.3.3 Máy phân tích phổ dùng bộ vi xử lý với thuật toán biến đổi nhanh Fourier | 309 |
| <b>Chương 8 Đo các thông số và đặc tính các phần tử của mạch điện</b>          |     |
| 8.1 Đo các thông số của mạch điện có các phần tử tập trung                     | 317 |
| 8.1.1 Đo các thông số của các linh kiện đường thẳng                            | 317 |
| 8.1.2 Đo thử các thông số của đèn bán dẫn                                      | 333 |
| 8.2 Đo các thông số của mạch điện có phần tử phân bố                           | 337 |
| 8.2.1 Khái niệm                                                                | 337 |
| 8.2.2 Các linh kiện đo lường ở siêu cao tần                                    | 340 |
| 8.2.3 Công dụng đo lường của dây đo                                            | 353 |
| 8.2.4 Đo trở kháng bằng các dây đo có đầu dò cố định                           | 379 |
| 8.2.5 Đo trở kháng bằng phản xạ mét và bằng các cầu đo                         | 382 |
| <b>Chương 9 Đo lường, kiểm nghiệm các mạch điện tử số và vi xử lý</b>          |     |
| 9.1 Khái niệm và đặc tính chung của mạch số                                    | 388 |
| 9.2 Các phương pháp phân tích                                                  | 390 |
| 9.2.1 Phương pháp phân tích logic                                              | 390 |
| 9.2.2 Phương pháp phân tích nhận dạng mã địa chỉ (Signature Analysis)          | 398 |
| 9.3 Các nguyên lý tự kiểm tra (Principles of self - testing)                   | 409 |
| 9.3.1 Phương pháp LSSD (Level - Sensitive Scan Design)                         | 409 |
| 9.3.2 Phương pháp BILBO (Built-In Logic Block Observer)                        | 410 |
| 9.3.3 Phương pháp MICROBIT                                                     | 411 |
| <b>Chương 10 Đo lường tự động</b>                                              |     |
| 10.1 Các khuynh hướng cơ bản                                                   | 414 |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.1.1 Tự động hoá từng phần quá trình đo lường                      | 420 |
| 10.1.2 Tự động hoá hoàn toàn quá trình đo lường                      | 435 |
| 10.2 Hệ thống giao diện số trong đo lường                            |     |
| (Interface for measurement system)                                   | 448 |
| 10.2.1 Giới thiệu chung                                              | 448 |
| 10.2.2. Thiết kế mạch kiểu mảng khối modun                           | 449 |
| 10.2.3 Giao diện IEC (The International Electrotechnical Commission) | 452 |
| <b>Tài liệu tham khảo</b>                                            | 462 |

## LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình "Cơ sở kỹ thuật đo lường điện tử" được biên soạn nhằm phục vụ cho việc học tập của sinh viên đại học thuộc các ngành kỹ thuật điện tử- viễn thông. Cuốn sách cũng có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho các ngành kỹ thuật khác có sử dụng kỹ thuật đo lường điện tử như là một phương pháp để nghiên cứu khoa học, sử dụng khai thác kỹ thuật của ngành mình.

So với cuốn "Cơ sở kỹ thuật Đo lường Vô tuyến điện" đã được xuất bản trước đây, mà các chương mục của tập sách đó đã được sắp xếp theo đề cương của chương trình môn học Đo lường Vô tuyến điện, đã được sử dụng làm giáo trình ở trường Đại học Bách khoa Hà nội trong hai thập niên trước, thì kỹ thuật đo lường điện tử cũng đã có sự phát triển vượt bậc, nhiều thiết bị đo đã biến đổi hoàn toàn. Ngày nay, Điện tử đã trở thành một lĩnh vực đa dạng và có sự phát triển vượt bậc, đến nỗi ta đã có thể coi Vô tuyến điện tử (Radio-Electronics) chỉ còn là một hướng phát triển của Điện tử. Do vậy tên gọi của môn học cũng như tên giáo trình cũng phải có sự thay đổi theo hướng phát triển thích hợp.

Nói về sự phát triển của kỹ thuật Đo lường điện tử, trước hết phải nói về những thay đổi cơ bản của các thiết bị đo có sử dụng các bộ vi xử lý (microprocessors). Vi xử lý đã trở thành bộ phận chủ yếu cấu thành của các thiết bị đo. Việc áp dụng bộ vi xử lý vào kỹ thuật đo lường đã làm tăng tính năng, thông số của các thiết bị đo lên rất nhiều; đã mở ra cách giải quyết các vấn đề mà trước kia chưa được đặt ra. Có bộ Vi xử lý làm cho thiết bị đo đa chức năng, đơn giản hoá việc điều khiển, tự động điều chỉnh, tự động lấy chuẩn, tự động kiểm tra, làm tăng thêm độ tin cậy của các thông số phép đo, thực hiện tính toán, xử lý thống kê kết quả; tức đã tạo được thiết bị đo lường lập trình tự động. Một phần của cuốn sách này được dùng để trình bày những nguyên tắc và các khả năng của các thiết bị đo có bộ vi xử lý.

Tuy vậy, trong thực tế nhiều khi chỉ cần các thiết bị đo đơn giản hơn, nên rất nhiều các thiết bị đo dùng kỹ thuật tương tự và kỹ thuật số có sơ đồ lô-gích đang được sử dụng và vẫn đang được sản xuất tiếp tục. Trong cuốn sách còn đề cập đến các nguyên tắc truyền thống của kỹ thuật Đo lường điện tử.

Kỹ thuật Đo lường điện tử là một ngành kỹ thuật có phạm vi rất rộng, cả về đối tượng đo, môi trường và điều kiện đo, cũng như dải tần đo, lượng trình đo và cấu tạo mạch đo. Tham vọng của tác giả là làm thế nào để có thể gói gọn được cả phạm vi rộng lớn nói trên vào những vấn đề rất cơ bản và cách trình bày phải thể hiện được các nguyên tắc truyền thống cũng như cập nhật được các nguyên tắc hoàn toàn mới trong cuốn sách của mình. Mặc dù đã cố gắng để cuốn sách đạt được ý tưởng nói trên, song

chắc không tránh khỏi còn sai sót, tác giả mong được sự góp ý, chỉ dẫn của bạn đọc. Các ý kiến xin gửi về Khoa Điện tử- Viễn thông, trường Đại học Bách khoa Hà nội, điện thoại 8692242.

Ngày 4 tháng 6 năm 2001

PGS. Vũ Quý Điềm

# *Chương I*

## **GIỚI THIỆU CHUNG VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ**

### **MỞ ĐẦU**

Trong quá trình phát triển của khoa học kỹ thuật mà toàn bộ thế giới đang chứng kiến, điện tử là một trong những ngành phát triển mũi nhọn. Ứng dụng của điện tử, tin học, viễn thông đang ngày một lớn và ảnh hưởng sâu sắc đến cuộc sống và cách thức làm việc của toàn xã hội. Để phát triển được các lĩnh vực trong một tổng thể chung là ngành điện tử, thì vấn đề đo lường là một vấn đề cần được quan tâm và phát triển. Nội dung của giáo trình “Đo lường điện tử” được giới thiệu trong tập sách này có thể nói một cách tóm tắt là: nghiên cứu các phương pháp đo lường điện tử cơ bản, các biện pháp kỹ thuật để thực hiện các phương pháp đo và các thao tác kỹ thuật đo lường để đạt được những yêu cầu cần thiết của phép đo.

Cụ thể, nội dung này bao gồm các vấn đề về các phương pháp đo lường các thông số của tín hiệu và mạch điện, các biện pháp cấu tạo các mạch đo cũng như cấu trúc tính năng của máy đo, cách nâng cao độ chính xác của phép đo cũng như cách xác định, hạn chế sai số của kết quả đo.

Đo lường các thông số đặc tính của tín hiệu như là đo các thông số cường độ của tín hiệu (Ví dụ như các thông số dòng điện, điện áp, công suất...), như quan sát dạng của tín hiệu, đo tần số, đo di pha, phân tích phổ của tín hiệu. Đo các thông số của mạch điện như các thông số các linh kiện đường thẳng, linh kiện không đường thẳng (các linh kiện cơ sở như điện trở, tụ điện, đèn điện tử, đèn bán dẫn... đến các linh kiện như IC, các loại mạch tích hợp...), trong các mạch điện có phần tử tập trung, các thông số của các linh kiện đường thẳng trong mạch siêu cao tần.

Đặc điểm cơ bản của kỹ thuật đo lường điện tử là các phép đo được thực hiện trong một dải phổ rất rộng, từ 0Hz (tín hiệu không biến đổi) đến  $3.10^{15}$  Hz (sóng quang). Do vậy các phương pháp đo, cấu trúc của máy đo và cả độ chính xác của phép đo cũng đều tùy thuộc vào dải tần của đối tượng đo lường. Ví dụ ở tần số thấp thì dễ dàng đo được dòng điện và điện áp, nhưng ở siêu cao tần thì các thông số cần xác định là dòng

điện, điện áp trở nên vô nghĩa khi cần định lượng thông số trên mạch, mà phải xác định chúng thông qua công suất. Hay ví dụ, cũng là đại lượng cần đo là trở kháng của mạch, mà ở tần số thấp thì có thể dùng các thiết bị đo là các loại cầu bốn nhánh, ở tần số cao hơn thì thiết bị đo là cầu cộng hưởng điện áp hay dòng điện, và ở tần số siêu cao tần thì thiết bị đo phải dùng là dây đo hoặc đo bằng ống dẫn sóng hay dây đồng trục.

Độ chính xác của phép đo thường phụ thuộc nhiều vào sự khử bỏ các ảnh hưởng ghép ký sinh của các thông số của bản thân máy đo tới mạch cần đo, ví dụ như điện dung, điện cảm, điện trở của máy đo. Ảnh hưởng này tăng khi tần số càng tăng cao. Do vậy khi đo cùng một đại lượng mà ở tần số khác nhau thì không những cần có các phương pháp khác nhau mà máy đo được dùng để đo cũng phải có cấu tạo khác nhau. Khi đã chọn đúng phương pháp đo và máy đo thích hợp rồi thì cũng cần phải chú ý tới thao tác cần thiết, cách mắc đo thế nào để nâng cao hơn độ chính xác của phép đo. Ví dụ như cần giảm tới mức tối thiểu điện áp tạp tán, điện dung ký sinh của dây nối, của máy đo. Các ảnh hưởng trên thường trở nên rất đáng kể trong lĩnh vực đo lường điện tử, vì phép đo thường được thực hiện ở tần số cao, công suất bé và hay được tiến hành ở trạng thái cộng hưởng.

Lượng trình của đại lượng cần đo trong kỹ thuật điện tử cũng khá rộng và đa dạng. Ví dụ như với việc đo tần số thì phải thực hiện phép đo có lượng trình từ 0Hz đến  $10^{15}$ Hz. Đo công suất thì từ các thiết bị có công suất lớn tới  $10^8$  W, dưới các phương thức điều chế tín hiệu khác nhau như: điều biên, điều tần, điều pha và cả điều xung, với độ rộng xung tới  $10^{-9}$ s.

Sự cần thiết của đo lường trong kỹ thuật điện tử là rất lớn, hầu như chúng ta phải sử dụng ở mọi lúc, mọi chỗ. Khi nghiên cứu thiết kế, điều chỉnh khai thác, lắp đặt vận hành... các hệ thống điện tử, viễn thông, không thể không có máy đo. Cho một hệ thống làm việc, hay điều chỉnh một thiết bị điện tử, là một quá trình đo lường các chế độ công tác, lấy đặc tính của từng khối, từng khâu riêng biệt hay toàn bộ. Do vậy, chỉ với các máy đo có độ chính xác cần thiết thì mới có thể điều chỉnh được thiết bị đạt được các yêu cầu mong muốn. Khi lắp ráp, chế tạo các thiết bị điện tử, các thiết bị viễn thông, cũng rất cần đo lường. Vì tính toán thiết kế chỉ cho được các số liệu sơ bộ, muốn có được chế độ công tác thực tế và thông số thích hợp nhất thì chỉ trên cơ sở thực nghiệm mới có. Với công tác nghiên cứu thì việc xây dựng phương pháp đo và kiện toàn thiết bị đo lại càng quan trọng hơn. Không phải chỉ có số lượng các kết quả, mà sự phân tích chất lượng cũng có ích lợi cho các công việc liên quan tới lĩnh vực nghiên cứu. Khi khai thác các hệ thống điện tử, cần phải luôn luôn kiểm tra phát hiện các hư hỏng, thực hiện các quá trình công tác, giữ được các chỉ tiêu kỹ thuật cao trong quá trình làm việc, xác định nhanh chóng các nguyên nhân làm mất các tiêu chuẩn công tác. Tất cả những điều đó đều không thực hiện được nếu không có sự tổ hợp phép đo và máy đo.

Cùng với quá trình phát triển của khoa học công nghệ, kỹ thuật điện tử và kỹ thuật viễn thông là những quá trình tiến triển gắn chặt với khả năng thực hiện và hoàn thiện kỹ thuật đo lường. Ví dụ, những thành tựu của lĩnh vực nghiên cứu không gian vũ trụ như vệ tinh của trái đất.... là những hệ thống rất phức tạp của các máy móc đo lường điện tử. Quá trình điều khiển và tự động bao hàm một số lớn các phép đo các loại khác nhau với độ chính xác cao. Trên cơ sở phát hiện những đoạn tần số sóng mới, những phương pháp đo mới cũng xuất hiện theo, tạo ra thêm các yêu cầu mới và đặc biệt về chế tạo cho các máy đo. Ngày nay, với sự phát triển của khoa học công nghệ người ta đã tự động hoá được các quá trình sản xuất, những thành tựu mới này đã được thích ứng với các phương pháp đo và thiết bị đo mới của kỹ thuật đo lường tự động.

Kết quả của việc đo lường được chính xác hay không là còn tùy thuộc nhiều vào chủ quan của người đo. Muốn kết quả đo chính xác, phải chọn được phép đo đúng với nhiệm vụ đặt ra, thích hợp với đối tượng cần đo. Cần phải nắm được các phương pháp đo khác nhau, biết được tính năng các máy đo, xử lý thích đáng được các nguồn gốc sai số đo. Không cẩn thận trong quá trình đo, không biết đầy đủ đặc điểm của đối tượng đo, đặc tính của tín hiệu cần đo, khả năng của máy đo thì không thể có kết quả đo chính xác. Sự thông thạo của người làm kỹ thuật khi đo lường có thể nâng cao được độ chính xác của phép đo, và có thể thực hiện các phép đo một cách linh hoạt. Sự thông thạo không những thể hiện ở chỗ hiểu rõ các phép đo và sử dụng thành thạo các máy đo, mà còn thể hiện ở chỗ biết vận dụng để hiểu được các nguyên lý đo lường ở các hệ thống điện tử hiện đại. Ví dụ như hệ thống Radar là hệ thống có yêu cầu đo khoảng thời gian, cơ sở của một số hệ thống điều khiển là phép đo di pha rồi rạc hoá và chỉ thị bằng số.

Để nghiên cứu giáo trình “Cơ sở kỹ thuật đo lường điện tử” này, yêu cầu người đọc đã được nghiên cứu các giáo trình kỹ thuật cơ sở của ngành kỹ thuật điện tử. Các giáo trình kỹ thuật cơ sở có quan hệ trực tiếp cần phải kể đến như giáo trình điện tử và bán dẫn, lý thuyết cơ sở về tín hiệu và mạch điện vô tuyến điện, cơ sở thiết bị khuếch đại, kỹ thuật xung và số, lý thuyết xác suất và thống kê. Sở dĩ như vậy, vì tất cả các kiến thức chung của các giáo trình trên là lý thuyết cơ sở cần thiết để xây dựng các phương pháp đo lường về các thông số của tín hiệu cũng như của mạch điện tử. Từ đó, nó cũng là các kỹ thuật cơ sở để xây dựng các biện pháp thực hiện các phương pháp đo này, tức là cấu trúc cụ thể của các mạch đo và của các máy đo.

Cơ sở phát triển kỹ thuật điện tử là từ kỹ thuật điện, nên đo lường trong điện tử cũng xuất phát từ các cơ sở của kỹ thuật đo lường điện. Tuy có quan hệ gắn bó như vậy, nhưng hai môn học này có quan điểm cơ bản khác nhau. Nhiệm vụ của kỹ thuật điện là tạo ra, truyền dẫn và biến đổi năng lượng điện từ. Còn nhiệm vụ của kỹ thuật điện tử là truyền lan và gia công tín tức nhờ dao động điện từ. Do vậy, hai ngành điện và điện tử phải được nghiên cứu theo hai quan điểm khác nhau, quan điểm năng lượng và quan điểm thông tin.

Như vậy, khi đo lường điện tử, người ta thường ít quan tâm tới khía cạnh năng lượng của quá trình. Điều chú trọng nhiều hơn là các thông số và đặc tính đặc trưng cho mạch và tín hiệu về mặt thông tin, ví dụ như tần số, pha, trở kháng đặc tính, hệ số truyền đạt và các thông số dạng của tín hiệu...

Các phần sau đây, chúng ta sẽ xem xét tới các đối tượng và phương pháp đo lường điện tử một cách chi tiết.

## 1.1 ĐỐI TƯỢNG CỦA ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ

### 1.1.1 Các đặc tính và thông số của tín hiệu

Tín hiệu dùng trong điện tử được mô tả bằng các biểu thức toán học sau đây:

$$s(t)=s(t, a_1, a_2,...,a_n)$$

hoặc  $s(f)=s(f, b_1, b_2,...,b_n)$

Từ các biểu thức trên đây, ta thấy rằng, tín hiệu  $s(t)$  không những phụ thuộc vào thời gian và  $s(f)$  không chỉ phụ thuộc tần số mà chúng còn phụ thuộc vào nhiều đại lượng khác là  $a_1, a_2,..., a_n$  và  $b_1, b_2,...,b_n$ . Các đại lượng đó được gọi chung là các thông số của tín hiệu.

Tín hiệu  $s$  có rất nhiều dạng khác nhau, tùy mục đích sử dụng tức là tùy thuộc vào loại tín tức mà tín hiệu này phản ánh.

Để nghiên cứu những biện pháp truyền dẫn và biến đổi tín hiệu, chúng ta cần phải tiến hành đo lường các thông số của nó. Người ta không xét tới thông số của tất cả các loại tín hiệu, bởi vì rõ ràng trên thực tế là không thể làm như vậy được, và thực ra là không cần thiết. Số lượng tín hiệu được dùng để quy định làm đối tượng đo lường là rất ít so với số lượng tín hiệu trên thực tế và được gọi là những tín hiệu mẫu. Số tín hiệu mẫu này là tối thiểu nhưng về mặt đo lường, chúng đã thoả mãn được yêu cầu là biểu diễn được mô hình đơn giản của các tín hiệu trên thực tế.

Khi đo lường các thông số và đặc tính của các mạch điện, người ta cũng dùng các tín hiệu mẫu này. Biết được phản ứng của mạch với các dạng của tín hiệu ấy, thì có thể suy ra phản ứng của mạch với các dạng tín hiệu khác.

Các tín hiệu trong điện tử thường được biểu diễn theo hàm của thời gian hoặc theo hàm theo tần số.

Dạng của các tín hiệu cơ bản được khảo sát thông số, bao gồm:

-Tín hiệu điều hoà

- Tín hiệu tuần hoàn
- Tín hiệu xung
- Tín hiệu số.

## 1. Cách biểu diễn tín hiệu theo hàm số của thời gian và theo hàm số của tần số

### a. Hàm số theo thời gian

Hàm số theo thời gian là hàm số dạng:

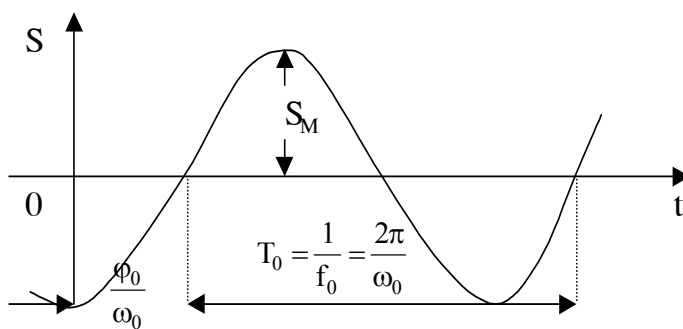
$$s=f(t)$$

Ngoài tham số là thời gian ra, như đã trình bày ở phần trên, còn có các tham số khác trong biểu thức của  $f(t)$ , nên biểu thức của  $s$  có thể được biểu diễn thành dạng như sau:

$$S=f(t, a_1, a_2, \dots, a_n)$$

Các thông số  $a_1, a_2, \dots, a_n$  của tín hiệu sẽ xác định dạng của tín hiệu, do đó với mỗi tín hiệu khác nhau, ta sẽ có những tham số khác nhau và các hàm số khác nhau. Với những loại tín hiệu khác nhau đó, để đo các thông số tín hiệu của chúng, người ta phải có những phương pháp phù hợp nhằm đưa ra kết quả gần với thực tế nhất.

Ví dụ khi sử dụng Ô-xi-lô để hiển thị một tín hiệu theo thời gian, ta có thể thấy



Hình 1-1

được các tham số về dạng của tín hiệu như cường độ, chu kỳ, độ di pha.

Các thiết bị trong đo lường cũng được thiết kế cho việc đo đạc một vài thông số nào đó nên tùy theo thông số nào cần đo, ta phải chọn các loại máy đo thích hợp, ví dụ như để đo các thông số về

cường độ ta có thể dùng vôn-mét để đo điện áp, ampe-mét để đo dòng điện, oát-mét để đo công suất. Ngoài ra với mỗi giải lượng trình khác nhau, người ta cũng phải sử dụng những phương pháp và thiết bị đo phù hợp, ví dụ như với các giải tần số khác nhau, người ta phải có những phương pháp và thiết bị đo khác nhau.

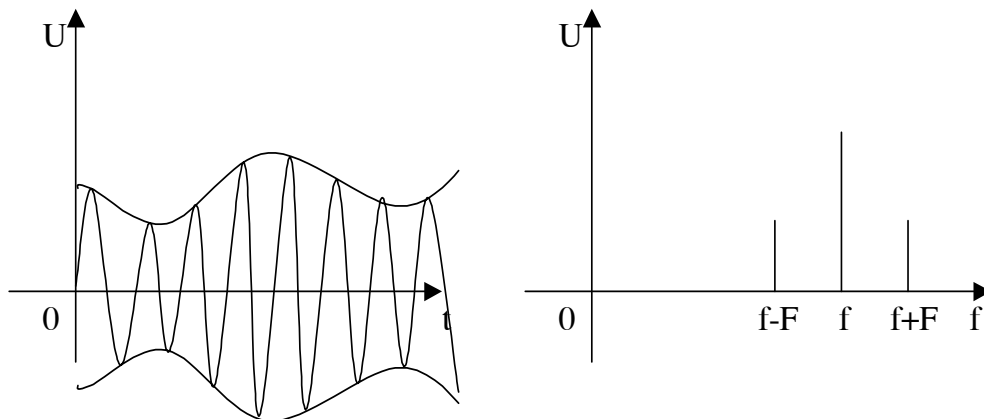
### b. Hàm số theo tần số

Hàm theo tần số là hàm có dạng

$$s=\varphi(f)$$

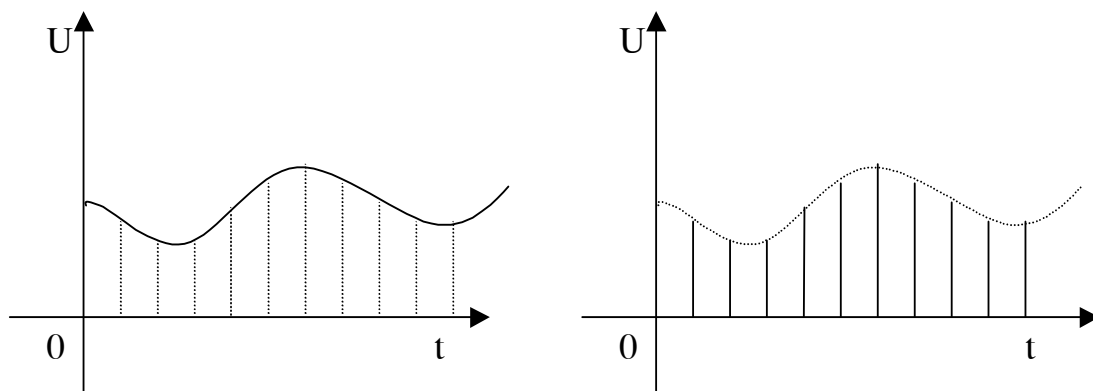
Hàm số theo tần số thường được dùng để biểu diễn cho các tín hiệu tuần hoàn hoặc cho một tín hiệu trong một khoảng thời gian hữu hạn.

Khi biểu diễn một hàm số theo tần số, ưu điểm của nó là người ta có thể thấy được dải tần của tín hiệu, từ đó người ta sẽ có những phương pháp phù hợp cho việc gia công tín hiệu.



Hình 1-2

Ví dụ khi cần lấy mẫu của một tín hiệu, người ta phải biết được dải tần của nó và sẽ lấy mẫu trong các khoảng thời gian phù hợp với tần số của tín hiệu theo định lý lấy mẫu:



Hình 1-3

$$T_{lm} \leq \frac{1}{2F_{MAX}}$$

Với  $T_{lm}$  là chu kỳ lấy mẫu;

$F_{MAX}$  là tần số lớn nhất của tín hiệu.

## 2. Các thông số của các dạng tín hiệu

### a. Tín hiệu điều hoà

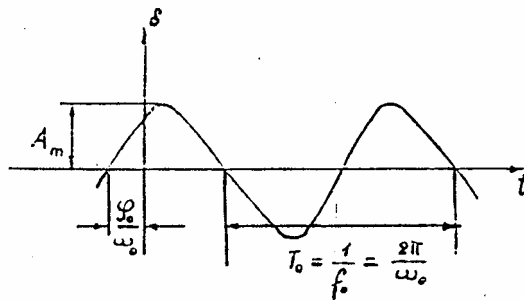
Dao động điều hoà dùng để mô phỏng tiếng nói, âm nhạc,..., và có biểu thức toán học dưới dạng hình sin (hoặc cos):

$$s(t) = A_m \sin(2\pi f_0 t + \varphi_0)$$

Đồ thị của nó như trong hình 1-4.

Ngoài thời gian  $t$  còn có các thông số  $A_m$ ,  $f_0$ , và  $\varphi_0$  tham gia vào tín hiệu này.

$A_m$ : Biên độ của dao động, có thứ nguyên là vôn (V) nếu  $s(t)$  là điện áp, hoặc có thứ nguyên là ampe (A) nếu  $s(t)$  là dòng điện.



Hình 1-4

$f_0$ : Tần số của dao động, đo bằng héc (Hz); Từ tần số  $f_0$ , còn có các thông số dẫn xuất sau đây:

$\omega_0$ : Tần số góc, đo bằng radian/s;

$$\omega_0 = 2\pi f_0$$

$T_0$ : Chu kỳ, đo bằng giây và ta có:

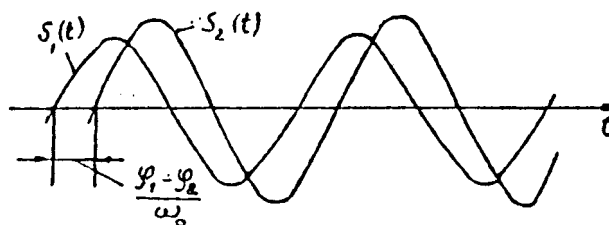
$$T_0 = \frac{1}{f_0}$$

$\lambda_0$ : Bước sóng, đo bằng mét và

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0}$$

trong đó  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s, là vận tốc ánh sáng.

$\varphi_0$ : Góc pha đầu của dao động, đo bằng độ hoặc radian. Góc pha đầu tính từ một thời điểm bất kỳ được chọn làm gốc. Vì gốc thời gian là tùy ý nên khi nói đo pha, không phải là đo pha đầu của một dao động mà là đo sự dịch pha giữa hai dao động điều hoà cùng tần số (hình 1-5).



Hình 1-5

Biên độ  $A_m$  đo bằng vôn-mét nếu  $s(t)$  là điện áp, hoặc bằng ampe-mét nếu  $s(t)$  là dòng điện. Trên thang đo của các dụng cụ này, người ta không khắc độ theo giá trị biên độ của dao động mà khắc độ theo giá trị hiệu

dụng. Giữa giá trị hiệu dụng  $A$  và giá trị biên độ  $A_m$  có quan hệ sau:

$$A = \frac{A_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707A_m$$

Tần số  $f_0$  hoặc bước sóng  $\lambda_0$  đo bằng máy đo tần số (tần số-mét) hay máy đo sóng. Thật ra, trong hai đại lượng này có thể chỉ cần đo một đại lượng rồi suy ra đại lượng kia.

Dịch pha giữa hai dao động điều hoà được đo bằng máy đo pha (pha-mét)

Trong kỹ thuật đo lường điện tử, dao động điều hoà được tạo ra bằng các bộ tạo sóng (âm tần, cao tần và siêu cao tần) đặc biệt. Nhờ có những cơ cấu điều chỉnh và các bộ hiển thị kiểm tra nên biên độ và tần số của dao động tạo ra ta có thể biến đổi được trong một phạm vi nào đó, thường là khá rộng. Trong số các máy phát tín hiệu đo lường, thì các máy phát tín hiệu dao động điều hoà là phổ biến nhất.

#### *b. Tín hiệu tuần hoàn*

Tín hiệu loại này có dạng tùy ý và vì vậy về mặt nào đó, nó là tổng quát hơn các trường hợp trên. Do tính tuần hoàn nên có thể biểu diễn nó dưới dạng sau:

$$s(t) = s(t+nT) \quad \text{khi } -\infty < t < +\infty;$$

trong đó  $T$  là chu kỳ lặp lại của tín hiệu ( $T = \frac{1}{F}$ , với  $F$  là tần số lặp lại).

Xét một dạng mẫu của tín hiệu này ở hình 1-6.

Vì dạng là bất kỳ nên để đặc trưng cho loại này, chúng ta phải dùng khá nhiều thông số, ta sẽ lần lượt nêu ra dưới đây.

Trong trường hợp tổng quát, dao động có thể có thành phần một chiều (hình 1-6) và do đó ta có thể xem nó như tổng của thành phần một chiều này với thành phần xoay chiều (thành phần biến đổi trên hình 1-6):

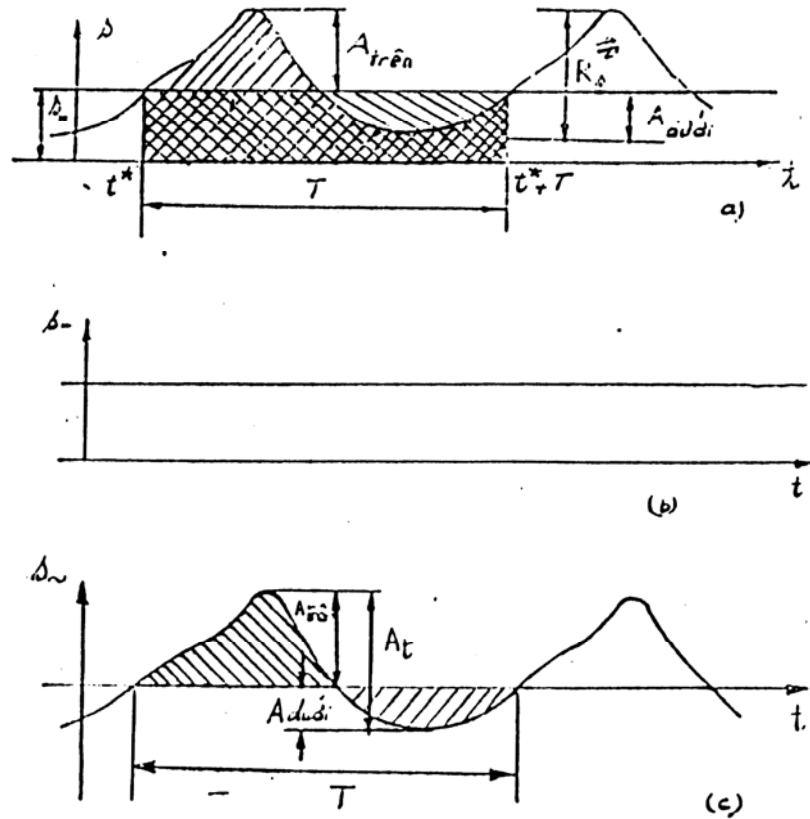
$$s(t) = s_{\text{--}} + s_{\text{~}}(t)$$

Trong đó thành phần một chiều:

$$s_{\text{--}} = \frac{1}{T} \int_{t^*}^{t^*+T} s(t) dt$$

$t^*$  là thời điểm tùy chọn, nếu chọn  $t^*=0$  thì

$$s_- = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt$$



Hình 1-6

Từ đây ta thấy rằng  $s_-$  chính là chiều cao (biên độ) của một xung vuông có độ rộng là  $T$  và được tính bằng phân mặt phẳng giới hạn bởi phần đường cong  $s(t)$  nằm trong khoảng  $T$  và trục thời gian  $t$ . Nếu kể trong một chu kỳ  $T$  thì phần diện tích nằm giữa thành phần xoay chiều  $s_-(t)$  và mức một chiều  $s_-$  được phân bố đều trên và dưới mức này.

Độ lệch cực đại của  $s(t)$  tính từ mức một chiều về hai phía  $A_{trên}$  và  $A_{dưới}$  có thể khác nhau nên ở đây không dùng khái niệm biên độ chung được. Tổng của hai đại lượng này xác định khoảng biến thiên của thành phần xoay chiều:

$$A_t = A_{trên} + A_{dưới}$$

Công suất tức thời của điện áp hoặc dòng điện tiêu thụ trên một điện trở  $R$  vẫn tính như thường lệ:

$$p(t) = \frac{u^2(t)}{R} = i^2 R$$

Tuy nhiên trong tính toán và đo lường, người ta hay dùng khái niệm công suất trung bình hơn. Nếu điện trở tải  $R$  bằng  $1\Omega$  thì công suất trung bình sẽ tính như sau:

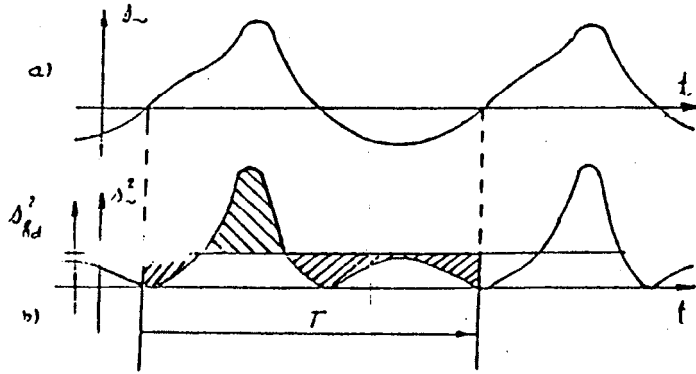
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt \quad (1)$$

Khái niệm công suất trung bình có liên quan đến các giá trị hiệu dụng của dao động:

$$s_{hd} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s_{\sim}(t) dt} \quad (2)$$

Hình 1-6c biểu diễn đường cong  $s_{\sim}(t)$  tương ứng với hình 1-6a. Từ đó, dễ thấy rằng công suất trung bình chính là mức một chiều của  $s_{\sim}^2(t)$  bởi vì từ (1) và (2) ta có:

$$P = s_{hd}^2$$



Hình 1-7

Để đo lường các thông số kể trên, người ta dùng nhiều dụng cụ đo khác nhau. Vôn-mét (hoặc ampe-mét) một chiều để đo  $s_{\sim}$ . Thành phần xoay chiều có thể tách riêng ra để đo các thông số của nó bằng cách cho tín hiệu  $s(t)$  đi qua tụ điện hoặc biến áp. Các thông số  $A_{trên}$ ,  $A_{dưới}$  đo bằng vôn-mét đỉnh (nếu  $s(t)$  là

điện áp). Thông thường để đo các giá trị tức thời và nghiên cứu dạng của tín hiệu dao động, người ta dùng dao động ký. Công suất trung bình  $P$  đo bằng oát-mét.

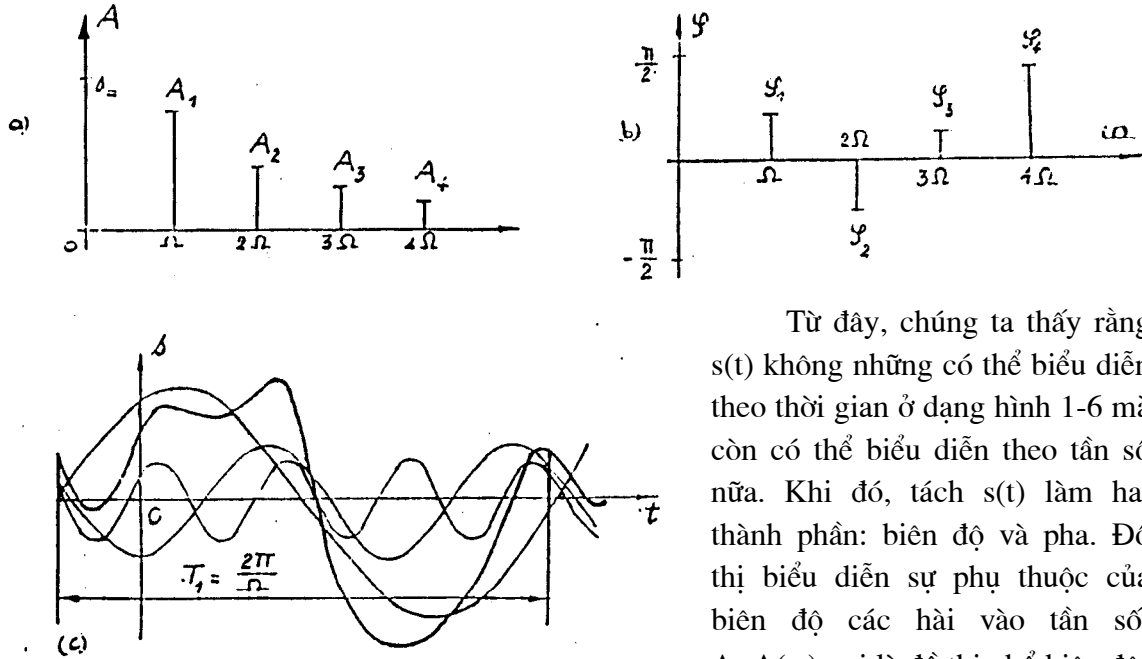
Các giá trị đỉnh, trung bình, hiệu dụng, công suất của dao động cũng như các giá trị tức thời thường được gọi chung là “các thông số cường độ”.

Ngoài phương pháp đo trực tiếp bằng các dụng cụ kể trên, người ta còn có thể đo các thông số và đặc tính của loại tín hiệu này dựa vào nguyên lý được nêu ra sau đây.

Mọi dao động tuần hoàn có dạng bất kỳ đều có thể phân tích thành tổng của vô số dao động điều hoà với thành phần một chiều:

$$s(t) = s_0 + A_1 \sin(\Omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(2\Omega t + \varphi_2) + \dots + A_n \sin(n\Omega t + \varphi_n) \quad (4)$$

trong đó, các dao động hình sin thành phần gọi là các sóng hài,  $\Omega = 2\pi F$  gọi là tần số cơ bản. Các sóng hài có tần số bằng bội số nguyên lần của tần số cơ bản:  $n\Omega$ ;  $n=1, 2, \dots$  gọi là bậc của sóng hài. Biên độ  $A_n$  và pha ban đầu  $\varphi_n$  phụ thuộc bậc của sóng hài.



Hình 1.8

Từ đây, chúng ta thấy rằng  $s(t)$  không những có thể biểu diễn theo thời gian ở dạng hình 1-6 mà còn có thể biểu diễn theo tần số nữa. Khi đó, tách  $s(t)$  làm hai thành phần: biên độ và pha. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của biên độ các hài vào tần số:  $A=A(\omega)$  gọi là đồ thị phổ biên độ-tần số (ví dụ như trên hình 1.8).

Còn đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của pha đầu các hài vào tần số  $\varphi=\varphi(\omega)$  gọi là đồ thị phổ pha-tần số (ví dụ như hình 1-8b).

Dùng công thức (4) và từ hai đồ thị này có thể lập lại được dạng của  $s(t)$  ban đầu (hình 1-8c). Dạng và giá trị của phổ biên độ quan sát và đo được bằng máy phân tích phổ biểu thị bằng ống tia điện tử.

Còn một thông số nữa liên quan đến dao động, là bề rộng phổ  $\Delta f$ , đo bằng Hz. Đó là dải tần số trên đó có phân bố các vạch phổ của dao động. Việc bố trí các kênh thông tin trong một đường thông tin duy nhất và tính toán dải thông của các thiết bị trong hệ thống thông tin nhất thiết yêu cầu phải biết bề rộng phổ của tín hiệu chọn dùng. Khi đồ thị phổ biên độ của dao động đã hiện trên màn hiển sóng của máy phân tích phổ, ta dễ dàng đo được bề rộng phổ  $\Delta f$  (xem chương máy hiện sóng).

### c. Tín hiệu xung

Tín hiệu xung được sử dụng đặc biệt rộng rãi trong kỹ thuật vô tuyến: Thông tin xung, radar, điều khiển, truyền hình vô tuyến v.v... Vì vậy đo lường các thông số của xung chiếm một vị trí khá quan trọng.

Tín hiệu xung có nhiều loại và với mỗi loại lại có một nhóm thông số đặc trưng. Người ta phân biệt những loại tín hiệu xung sau:

- Xung đơn
- Nhóm xung
- Nhóm xung cốt
- Dãy xung tuần hoàn

\* **Xung đơn**: là dòng điện hoặc điện áp mà giá trị của nó chỉ khác không trong một khoảng thời gian hữu hạn, có thể so sánh được với thời gian quá độ của một mạch điện nào đó khi xung này tác động vào.

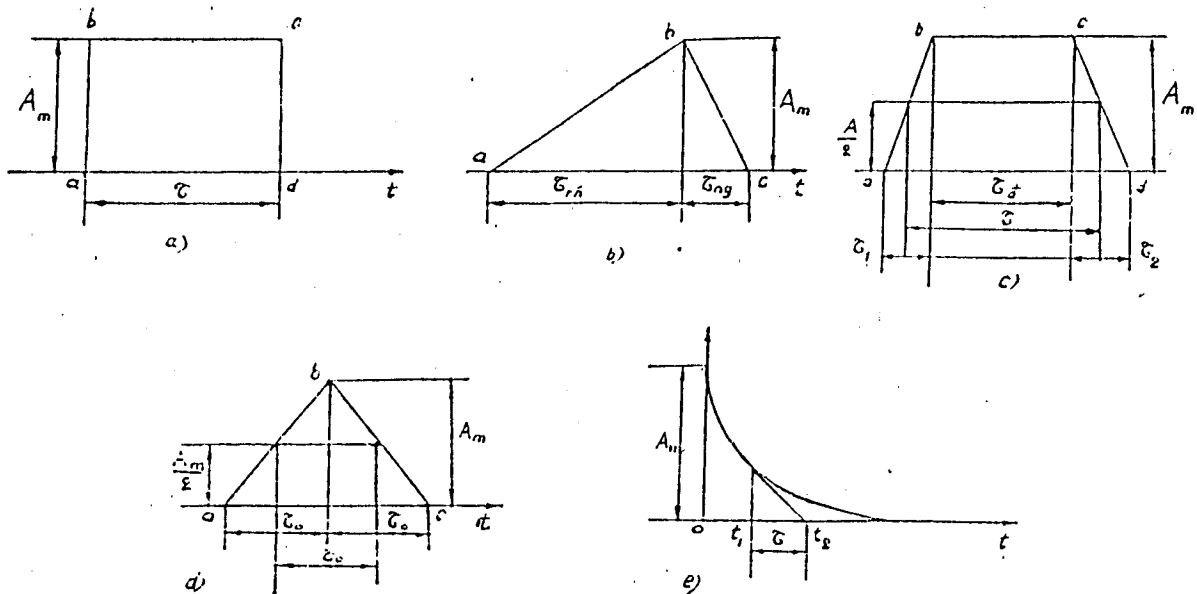
Riêng xung đơn lại có nhiều loại phân biệt nhau theo dạng và mỗi loại gắn liền với những thông số khác nhau.

Thông dụng nhất là xung vuông (đúng ra phải gọi là xung vuông góc), hình 1-9a.

Trong đó:

$A_m$ : Biên độ;

$\tau$ : độ rộng xung ; đoạn ab là sườn trước, đoạn bc là đỉnh và đoạn cd là sườn sau



Hình 1-9

của xung

Xung răng cưa (hình 1-9b) được đặc trưng bởi hành trình thuận (đoạn ab) và hành trình ngược (đoạn bc). Hình chiếu của các đoạn này trên trục thời gian, tương ứng là thời hạn (độ rộng) hành trình thuận  $\tau_{th}$  và thời gian (độ rộng) hành trình ngược  $\tau_{ng}$ . Giá trị đỉnh của xung gọi là biên độ, ký hiệu là  $A_m$ .

Xung hình thang (1-9c) có sườn trước là đoạn ab, khi được chiếu lên trục thời gian thì được độ rộng sườn trước  $\tau_1$ ; sườn sau cd chiếu lên trục thời gian sẽ được độ rộng sườn sau  $\tau_2$ . Biên độ  $A_m$  tính từ đỉnh xung. Độ rộng xung  $\tau$  là khoảng thời gian giữa hai điểm sườn trước và sườn sau đạt tới  $\frac{A_m}{2}$ . Do đó:

$$\tau = \tau_d + \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}$$

Nếu giảm  $\tau_1$  và  $\tau_2$  tới không thì xung hình thang sẽ trở thành xung vuông. Nếu  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_0$  và  $\tau_d = 0$  thì xung hình thang sẽ trở thành xung tam giác (hình 1-9c) với độ rộng  $\tau = \tau_0$ . Thật ra, đây cũng là trường hợp riêng của xung răng cưa khi hành trình thuận và hành trình ngược bằng nhau.

Xung hàm số mũ (hình 1-9e) có sườn trước thẳng đứng sau giảm theo hàm số mũ, tức là:

$$s(t) = \begin{cases} 0 & \text{khi } t < 0 \\ A_m e^{-\frac{t}{\tau}} & \text{khi } t \geq 0 \end{cases}$$

Trong đó,  $A_m$  là biên độ, còn  $\tau$  là hằng số thời gian của xung.

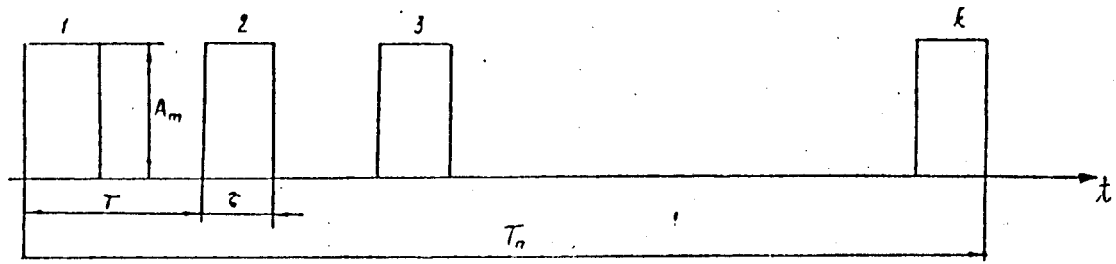
$\tau$  tính bằng cách kẻ một tiếp tuyến với đường cong ở một điểm bất kỳ, hoành độ của nó ký hiệu là  $t_1$ , tiếp tuyến này cắt trục hoành tại điểm  $t_2$ , ta có :

$$\tau = t_2 - t_1$$

Ngoài năm dạng trên, người ta còn dùng xung đơn có các dạng khác nhau nữa, như xung hình chuông, xung hình sin bình phương.... Tuy nhiên, các dạng xung này không điển hình lắm.

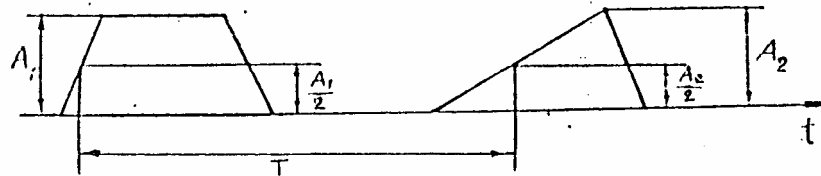
**\*Nhóm xung:** là tập hợp của một số xác định các xung đơn cùng dạng cách đều nhau. Các thông số của loại này là: số xung  $k$ , chu kỳ lặp tại  $T$ , thời hạn nhóm xung  $T_n$ . Nhóm xung vẽ ở hình 1-10, với giả thiết các xung thuộc nhóm là xung vuông, có độ rộng  $\tau$ . Từ hình vẽ ta thấy:

$$T_n = (k-1)T + \tau$$



Hình 1-10

**\*Nhóm xung cốt:** khác với nhóm xung ở chỗ các xung trong nhóm có thể không cùng một dạng và khoảng cách giữa chúng là tùy ý. Tuy nhiên, số xung trong nhóm, dạng và giá trị các thông số của mỗi xung đã biết một cách chính xác. Khi tính khoảng cách giữa hai xung trong nhóm, người ta tính từ điểm các sườn trước đạt tới một nửa biên độ (hình 1-11).



Hình 1-11

**\*Dãy xung tuần hoàn:** là sự lặp lại một cách đều đặn (với chu kỳ T) xung đơn có dạng nào đó. Đối với loại tín hiệu này, các thông số là độ rộng xung  $\tau$ , tỷ số  $\frac{T}{\tau} = q$  gọi là độ trống (độ rộng) của dãy xung, còn nghịch đảo của nó  $d = \frac{1}{q} = \frac{\tau}{T}$  gọi là hệ số lấp đầy.

Đôi khi còn dùng cả những nhóm xung tuần hoàn hoặc nhóm cốt xung tuần hoàn.

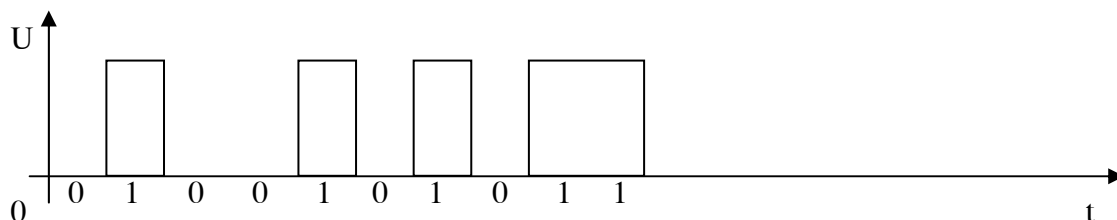
Để đo lường các thông số xung, người ta dùng các vôn-mét đỉnh (vôn-mét xung), máy đo thời gian, máy đo tần số lặp lại. Nhưng trong đo lường xung, thông thường hơn cả là dùng các dao động ký xung có trang bị các khối chuẩn thời gian, chuẩn biên độ theo cả hai trục X và Y.

Do yêu cầu tạo ra tín hiệu xung với giá trị các thông số cho trước, người ta thiết kế các máy phát xung đo lường cũng có những cơ cấu điều chỉnh như các máy phát sóng điều hoà đã nói ở trên. Mỗi máy phát xung thường có nhiều đầu ra riêng biệt cho phép lấy ra những xung có dạng khác nhau.

#### d. Tín hiệu số

Tín hiệu số có bản chất là tín hiệu mang thông tin dạng số nhị phân bao gồm các tín hiệu biểu thị cho số 0 và số 1. Để định nghĩa các bit 0 và 1, người ta có thể sử dụng rất nhiều cách. Ví dụ như người ta có thể dùng mức điện áp, cụ thể thông thường người ta thường định nghĩa bit 0 ứng với mức điện áp 0V (0-0,5V) và bit 1 ứng với mức điện áp 5V (4,5-5,5V). Ngoài ra người ta cũng có thể quy định ngược lại, mức điện áp thấp ứng với bit 1 và mức điện áp cao ứng với bit 0. Ta sẽ xét cụ thể theo dạng định nghĩa trước.

Tín hiệu số thường được biểu thị dưới dạng chuỗi xung vuông. Nếu tín hiệu là bit 1, ta sẽ có một xung vuông có mức điện áp cao, nếu tín hiệu là bit 0 thì điện áp ở mức thấp. Do đó, tín hiệu điện áp dù là mức cao hay mức thấp thì nó đều có ý nghĩa mang tin tức. Khoảng cách giữa các bit cách đều nhau và độ rộng của một bit tín hiệu thì hoàn toàn phụ thuộc vào việc người dùng định nghĩa tín hiệu đó. Hình 1-12 là một ví dụ về tín hiệu số.



Hình 1-12

Khi tín hiệu số được truyền đi, người ta có thể dùng các phương pháp mã hoá khác nhau. Tùy theo phương pháp mã hoá của tín hiệu mà dạng của tín hiệu số đã được điều chế này sẽ khác nhau.

#### 1.1.2 Các tham số và đặc tính của mạch điện tử

Trong quá trình thông tin, điều khiển trong điện tử, tín hiệu luôn luôn được biến đổi từ dạng này sang dạng khác. Tổ hợp các linh kiện theo một cách nào đó nhằm thực hiện việc biến đổi nói trên gọi là một mạch điện. Các linh kiện của mạch điện bao gồm điện trở, tụ điện, điện cảm, các loại đèn điện tử và bán dẫn, IC.. và các phụ kiện khác nữa.

Tùy thuộc vào tính chất các phần tử được sử dụng, mạch điện có thể chia thành mạch tuyến tính và mạch phi tuyến. Vì bản chất hai loại mạch này khác nhau nên các thông số và đặc tính của chúng cũng khác nhau.

## 1. Mạch tuyến tính

Mạch tuyến tính tạo thành từ những phần tử có giá trị không phụ thuộc vào dòng điện chảy qua nó. Một thuộc tính quan trọng của mạch tuyến tính là đối với nó, có thể áp dụng nguyên lý xếp chồng.

Phương pháp đo lường cũng như thiết kế cấu tạo các máy đo thông số và đặc tính của mạch tuyến tính dựa vào hai đặc điểm trên. Việc đo lường các thông số và đặc tính của mạch tuyến tính là rất phổ biến vì trong kỹ thuật điện tử, lý thuyết mạch tuyến tính được phát triển mạnh và được sử dụng đặc biệt rộng rãi.

Các phần tử của mạch tuyến tính thường là: điện trở, tụ điện, cuộn cảm không lõi sắt; đèn điện tử và bán dẫn làm việc ở trên đoạn đường thẳng của đặc tuyến. Tùy theo tần số của tín hiệu cần thông qua mạch, mà cấu tạo của các phần tử của mạch có khác nhau và do đó mạch tuyến tính lại còn được chia thành hai nhóm: mạch có phần tử tập trung và mạch có phần tử phân bố.

Mạch có phần tử tập trung dùng để biến đổi tín hiệu có tần số không lớn lắm (nhỏ hơn vài chục megaHéc). Như đã nói ở trên, giá trị của các phần tử tuyến tính là không phụ thuộc vào dòng chảy qua nó, và do đó, có thể xem đó là hằng số. Người ta lấy ngay các giá trị này làm thông số đặc trưng cho các phần tử của mạch. Bản thân mỗi phần tử R, C hoặc L riêng biệt có thể xem như một mạng hai cực, cho nên các thông số của mạng hai cực là giá trị của điện trở R, điện dung của tụ điện C và điện cảm của cuộn dây L.

Nếu như mắc nối tiếp hoặc song song các phần tử R, C và L hoặc hỗn hợp cả hai cách mắc ấy, ta sẽ được các mạng bốn cực.

Vì mạng bốn cực có thể gồm cả điện trở R tiêu thụ năng lượng và cả các thành phần cảm kháng C và L nên để đặc trưng cho mạng bốn cực, người ta dùng thông số trở kháng toàn phần Z. Dung kháng  $X_C$  và cảm kháng  $X_L$  phụ thuộc tần số tín hiệu thông qua mạch, nên trở kháng toàn phần Z cũng là một hàm của tần số:

$$Z(\omega) = R_{td} + jX_{td}$$

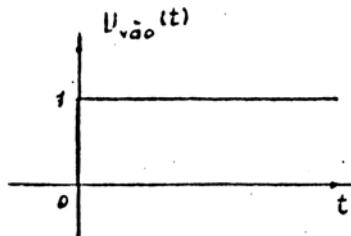
Trong đó  $R_{td}$  và  $X_{td}$  là điện trở và điện kháng tương đương, giá trị của chúng phụ thuộc cách nối các phần tử trong mạch (tất nhiên  $X_{td}$  phụ thuộc cả vào tần số).

Một trường hợp đặc biệt của mạng bốn cực là các mạch dao động (còn gọi là mạch cộng hưởng). Với các mạch này, còn có hai thông số nữa, đó là: hệ số phẩm chất Q và trở kháng đặc tính  $\rho$ :

$$Q = \frac{\rho}{R} \quad \text{và} \quad \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Để đo các thông số vừa kể ở trên của mạch có phần tử tập trung, người ta dùng: máy đo điện trở (ôm-mét), máy đo điện cảm và điện dung, máy đo trở kháng toàn phần và máy đo hệ số phẩm chất (Q-mét).

Ngoài các thông số trên, để đặc trưng cho phản ứng của mạch với những tác động đột biến người ta còn dùng đặc tính thời gian (đặc tính quá độ) và cho phản ứng của mạch đối với những tác động điều hoà (hình sin), thì dùng đặc tính tần số.



Hình 1-13

Khi tìm đặc tính thời gian, người ta cho tác động vào mạch hàm đơn vị  $1(t)$  như hình 1-13. Hàm  $1(t)$  được biểu diễn toán học như sau:

$$1(t) = \begin{cases} 0 & \text{khi } t < 0 \\ 1 & \text{khi } t \geq 0 \end{cases}$$

Đặc tính này có thể quan sát trực tiếp trên màn ống tia điện tử của những thiết bị đặc biệt: những máy đo đặc tính thời gian. Với một vài loại mạng bốn cực đơn giản, dạng của đặc tính quá độ chỉ ra ở bảng 1.1. Từ đặc tính quá độ này, có thể xác định một vài thông số của mạch như hằng số thời gian, hệ số phẩm chất Q và tần số cộng hưởng của mạch.

Khi tìm đặc tính tần số, ở đầu vào của mạch, người ta đặt tín hiệu điều hoà.

Ví dụ:

$$u_1(t) = A_{m1} \sin(2\pi ft + \varphi_1)$$

Vì mạch là tuyến tính nên nó không sinh ra tần số mới và tín hiệu ở đầu ra sẽ có dạng như ở đầu vào:

$$u_2(t) = A_{m2} \sin(2\pi ft + \varphi_2)$$

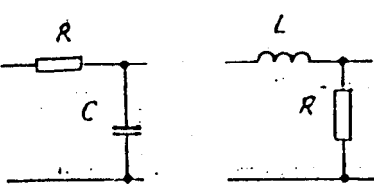
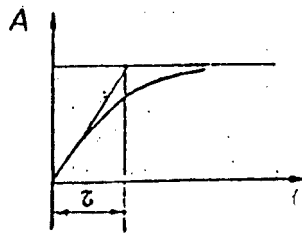
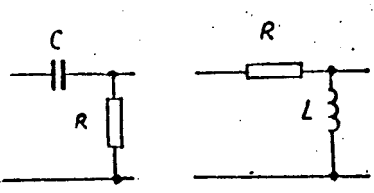
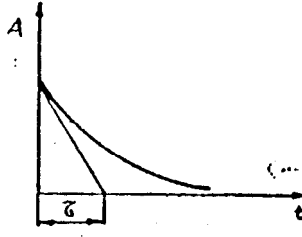
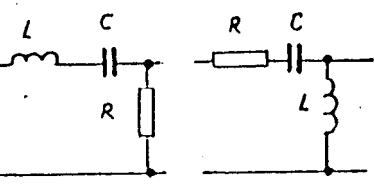
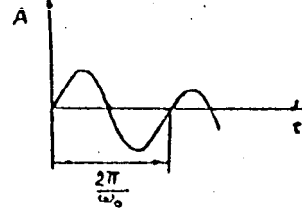
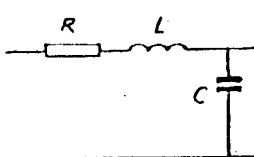
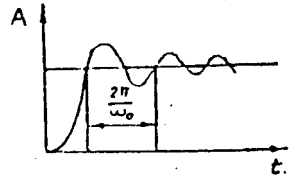
nghĩa là khi thông qua mạch điện, chỉ có biên độ  $A_m$  và pha đầu  $\varphi$  của tín hiệu là bị thay đổi.

Lập các tỉ số  $\frac{A_{m2}}{A_{m1}}$  và  $\frac{\varphi_2}{\varphi_1}$ . Khi thay đổi tần số của tín hiệu vào, giá trị của các tỉ số này cũng thay đổi theo. Gọi  $\frac{A_{m2}}{A_{m1}} = A(f)$  là đặc tính biên độ-tần số,  $\frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \varphi(f)$  là đặc tính pha-tần số.

Đồ thị  $A(f)$  và  $\varphi(f)$  với  $f$  biến thiên trong một dải rộng cho ta khái niệm về đặc tính thông số của mạng. Thông thường, cả  $A(f)$  và  $\varphi(f)$  biểu diễn chung trong hệ toạ độ cực (hệ toạ độ độc cực). Để vẽ đặc tuyến tần số, người ta dùng một bộ tạo dao động điều hoà

Bảng 1-1

Bảng 1-1

| Loại mạng bốn cực                                                                                                    | Đặc tính quá độ và các thông số                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>a)                      b)</p>  |  $g(t) = A(1 - e^{-\alpha t})$ <p>a) <math>\alpha = \frac{1}{RC}</math></p> <p>b) <math>\alpha = \frac{R}{2L}</math></p> $\tau = \frac{1}{\alpha}$ |
|  <p>a)                      b)</p>  |  $g(t) = Ae^{-\alpha t}$ <p>a) <math>\alpha = \frac{1}{RC}</math></p> <p>b) <math>\alpha = \frac{R}{2L}</math></p> $\tau = \frac{1}{\alpha}$       |
|  <p>a)                      b)</p> |  $g(t) = Ae^{-\alpha t} \sin \omega_0 t$ $\alpha = \frac{R}{2L}$ $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$                                                 |
|                                   |  $g(t) = A[1 - \alpha e^{-\alpha t} \cos \omega_0 t]$ $\alpha = \frac{R}{2L}$ $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$                                   |

có tần số thay đổi được trong một phạm vi rộng, các vôn-mét và pha-mét. Mỗi khi lấy một giá trị tần số mới, ta lại đo các giá trị  $A_1$ ,  $A_2$  và  $(\varphi_1 - \varphi_2)$ , từ bảng ghi kết quả đó, vẽ từng điểm ta sẽ có đặc tính tần số. Trong kỹ thuật đo lường điện tử hiện đại, người ta dùng một dụng cụ đặc biệt, cho phép quan sát trực tiếp dạng đặc tính tần số trên màn của ống tia điện tử. Dụng cụ đó là máy tự động vẽ đặc tính tần số, nguyên lý của nó sẽ trình bày ở trong chương tự động vẽ đặc tuyến tần số.

## **2. Mạch phi tuyến**

Ngược lại với mạch tuyến tính, ở mạch phi tuyến giá trị các linh kiện của mạch phụ thuộc vào cường độ dòng điện chảy qua nó. Vì vậy với các linh kiện phi tuyến này, không dùng khái niệm thông số của bản thân nó.

Theo định luật Ôm, điện áp rơi trên các phần tử phi tuyến sẽ không tỷ lệ thuận với dòng điện chảy qua nó. Tuy có khó khăn về mặt tính toán và trong nhiều trường hợp còn bất lợi cả về mặt sử dụng nữa nhưng mạch phi tuyến không thể thiếu được trong kỹ thuật điện tử. Dựa vào tính không đường thẳng của đặc tuyến Vôn-Ampe của mạch phi tuyến, người ta dùng nó để thực hiện một loạt các biến đổi: điều chế, tách sóng, nhân và chia tần số, tạo dao động và hạn chế,... Tùy từng mục đích biến đổi, phải chọn những đoạn thích hợp của đặc tuyến Vôn-Ampe, chọn càng chính xác thì hiệu quả biến đổi càng cao.

Trong cả hai trường hợp, rõ ràng phải biết được chính xác dạng đặc tuyến Vôn-Ampe của phần tử và của mạch. Quan sát và nghiên cứu đặc tuyến Vôn-Ampe của các phần tử phi tuyến được thực hiện nhờ những máy vẽ đặc tuyến, một ví dụ thông dụng của loại này là máy vẽ đặc tuyến đèn điện tử và bán dẫn (ở chương quan sát và đo lường dạng tín hiệu có đề cập đến vấn đề này).

## **1.2 CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ**

### **1.2.1 Khái niệm đo lường**

Đo lường là khoa học về các phép đo, các phương pháp và các công cụ đảm bảo cho chúng, các phương pháp để đạt được độ chính xác mong muốn.

Các hướng nghiên cứu chính của đo lường bao gồm:

- Các lý thuyết chung về phép đo.
- Các đơn vị vật lý và hệ thống của chúng
- Các phương pháp và công cụ đo
- Phương pháp xác định độ chính xác của phép đo
- Cơ sở bảo đảm cho việc thống nhất giữa phép đo và rất nhiều công cụ thực hiện nó
- Công cụ đo chuẩn và barem
- Các phương pháp để chuyển đơn vị đo từ công cụ chuẩn hoặc gốc ra công cụ làm việc.

Phép đo là công việc thực hiện chính của đo lường, đó là việc tìm ra giá trị vật lý bằng cách thí nghiệm với sự trợ giúp cả các công cụ kỹ thuật đặc biệt. Giá trị tìm được gọi là kết quả của phép đo. Hành động thực hiện trong quá trình đo để cho ta kết quả là một đại lượng vật lý gọi là quá trình ghi nhận kết quả. Tùy thuộc vào đối tượng nghiên cứu, vào tính chất của công cụ đo và người ta cần thực hiện phép đo ghi nhận một lần hay nhiều lần. Nếu như có một loạt ghi nhận thì kết quả phép đo nhận được là kết quả khi xử lý các kết quả từ các ghi nhận đó.

Phép đo có bản chất là quá trình so sánh đại lượng vật lý cần đo với một đại lượng vật lý được dùng làm đơn vị. Kết quả của phép đo được biểu diễn bằng một số là tỷ lệ của đại lượng cần đo với đơn vị đó. Như vậy để thực hiện phép đo, ta cần thiết lập đơn vị đo, so sánh giá trị của đại lượng cần đo với đơn vị và ghi nhận kết quả so sánh được. Thông thường người ta thường biến đổi tín hiệu đến dạng thuận tiện nhất cho việc so sánh.

Như vậy, ta có thể tóm tắt lại thành bốn bước chính của phép đo là: thiết lập đơn vị vật lý, biểu diễn tín hiệu đo, so sánh tín hiệu đo với đơn vị được lấy làm chuẩn và ghi nhận kết quả so sánh.

## **1.2.2 Các phương pháp và biện pháp đo lường cơ bản**

### **1. Các phương pháp đo**

Các phương pháp cơ bản của kỹ thuật đo lường thường được chia thành:

- Phương pháp đo trực tiếp
- Phương pháp đo gián tiếp
- Phương pháp đo tương quan

**Đo trực tiếp** là phương pháp dùng các máy đo hay các mẫu đo (các chuẩn) để đánh giá số lượng của đại lượng đo được. Kết quả đo được chính là trị số của đại lượng cần đo, mà không phải tính toán thông qua một phương trình vật lý nào liên quan giữa các đại lượng. Nếu không tính đến sai số, thì trị số đúng của đại lượng cần đo  $X$  sẽ bằng kết quả đo được  $a$ :

$$X = a$$

Các ví dụ về phương pháp đo trực tiếp như: đo điện áp bằng vôn-mét; đo tần số bằng tần số-mét.... Đo trực tiếp thì phép đo thực hiện đơn giản về biện pháp kỹ thuật, tiến hành đo được nhanh chóng và loại trừ được các sai số do tính toán.

**Đo gián tiếp** là phương pháp đo mà kết quả đo được không phải là trị số của đại lượng cần đo, mà là các số liệu cơ sở để tính ra trị số của đại lượng này. Nghĩa là ở đây,  $X = F(a_1, a_2, \dots, a_n)$ .

Các ví dụ về phương pháp đo gián tiếp như: đo công suất bằng vôn-mét và ampe-mét; đo hệ số sóng chạy bằng dây đo....

Trong kỹ thuật đo lường, thông thường người ta muốn tránh phương pháp đo gián tiếp, vì trước hết nó yêu cầu tiến hành nhiều phép đo (ít nhất là hai phép đo) và thường là không nhận biết ngay được kết quả đo. Song trong một số trường hợp thì không thể tránh được phương pháp này.

Hiện nay, kỹ thuật đo lường đã phát triển nhiều về phương pháp **đo tương quan**. Nó là một phương pháp riêng, không nằm trong phương pháp đo trực tiếp hay phương pháp đo gián tiếp. Phương pháp tương quan dùng trong những trường hợp cần đo các quá trình phức tạp, mà ở đây không thể thiết lập một quan hệ hàm số nào giữa các đại lượng là các thông số của một quá trình nghiên cứu. Ví dụ: tín hiệu đầu vào và tín hiệu đầu ra của một hệ thống nào đó.

Khi đo một thông số của tín hiệu nào bằng phương pháp đo tương quan, thì cần ít nhất là hai phép đo mà các thông số từ kết quả đo của chúng không phụ thuộc lẫn nhau. Phép đo này được thực hiện bởi cách xác định khoảng thời gian và kết quả của một số thuật toán có khả năng định được trị số của đại lượng thích hợp. Độ chính xác của phép đo tương quan được xác định bằng độ dài khoảng thời gian của quá trình xét. Khi đo trực tiếp, thật ra là người đo đã phải giả thiết hệ số tương quan giữa đại lượng đo và kết quả rất gần 1, mặc dù có sai số do quy luật ngẫu nhiên của quá trình biến đổi gây nên.

Ngoài các phương pháp đo cơ bản nói trên, còn một số các phương pháp đo khác thường được thực hiện trong quá trình tiến hành đo lường như sau:

-Phương pháp **đo thay thế**: Phép đo được tiến hành hai lần, một lần với đại lượng cần đo và một lần với đại lượng đo mẫu. Điều chỉnh để hai trường hợp đo có kết quả chỉ thị như nhau.

-Phương pháp **hiệu số**: Phép đo được tiến hành bằng cách đánh giá hiệu số trị số của đại lượng cần đo và đại lượng mẫu.

-Phương pháp **vi sai**, phương pháp **chỉ thị không**, phương pháp **bù**, cũng là những trường hợp riêng của phương pháp hiệu số. Chúng thường được dùng trong các mạch cầu đo hay trong các mạch bù.

-Phương pháp **đo thẳng**: kết quả đo được định lượng trực tiếp trên thang độ của thiết bị chỉ thị. Tất nhiên sự khác độ của các thang độ này là đã được lấy chuẩn trước với đại lượng mẫu cùng loại với đại lượng đo.

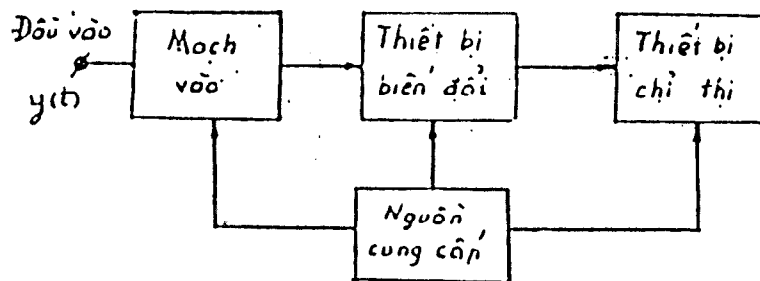
-Phương pháp **rời rạc hoá** (chỉ thị số): Đại lượng cần được đo được biến đổi thành tín tức là các xung rời rạc. Trị số của đại lượng cần đo được tính bằng số xung tương ứng này.

## 2. Phân loại tổng quát của các máy đo

Máy đo và các phần tử mẫu là các phương tiện để thực hiện các yêu cầu về đo lường. Bản thân máy đo đã là một mạch đo được cấu trúc theo một phương pháp đo, để đo lường một đại lượng nào đó. Vì vậy, dựa vào các đối tượng mà đo lường điện tử cần giải quyết, thì các máy đo có thể phân loại tổng quát thành bốn nhóm máy lớn với các chức năng sau.

### a. Máy đo các thông số và đặc tính của tín hiệu

Nhóm này bao gồm nhiều loại: Các loại máy đo thuộc nhóm này như vôn-mét điện tử, tần số-mét, dao động ký điện tử, máy phân tích phổ, máy phân tích hàm tương quan.... Sơ đồ khối chung của các loại máy này như hình 1-14. Tín hiệu cần đo được đưa tới đầu vào của máy. **Mạch vào** có nhiệm vụ truyền dẫn tín hiệu từ đầu nối vào tới bộ biến đổi. Thông thường mạch vào là bộ khuếch đại tải catốt, vì mạch khuếch đại catốt có trở kháng vào cao, có thể thực hiện phối hợp trở kháng được giữa mạch biến đổi có trở kháng thấp với trở kháng ra của đối tượng đo có trị số trở kháng cao. Mạch vào thường có như bộ suy giảm, bộ dây làm chậm (với các máy đo xung) bộ phân mạch định hướng.... Mạch vào quyết định mức độ ảnh hưởng của máy đo với chế độ công tác của



Hình 1-14

đối tượng cần đo. Ở phạm vi tần số thấp và tần số cao thì đặc tính này được biểu thị bằng trở kháng vào của máy. Ở siêu cao tần thì đặc tính này được biểu thị bằng công suất mà máy đo hấp thụ.

**Thiết bị biến đổi**, so sánh hay phân tích là bộ phận chủ yếu của các máy thuộc nhóm này. Ở nhiều loại máy thì bộ biến đổi dùng để tạo ra tín hiệu cần thiết để so sánh tín hiệu cần đo này với tín hiệu mẫu. Ví dụ như tần số-mét kiểu đếm, ban đầu thì biến

đổi sóng hài của tín hiệu có chu kỳ  $T$  thành xung có cùng chu kỳ, sau đó thì so sánh chu kỳ của xung với khoảng thời gian chuẩn. Biến đổi có thể thực hiện trước so sánh, sau so sánh hay đồng thời (ví dụ như ở tần số-mét kiểu cộng hưởng). Với vài loại máy khác nhau thì thiết bị này có chức năng phân tích tín hiệu đo về biên độ, về tần số hay chọn lọc theo thời gian. Thiết bị biến đổi trong các máy như vậy thường là các mạch khuếch đại, tách sóng, biến đổi dạng điện áp tín hiệu, chuyển đổi dạng năng lượng.... Với vài loại máy khác thì bộ biến đổi xác định thuật toán cho tín hiệu đo (lấy trị số lôgarit, lấy trị số bình phương...) để có được quan hệ thuật toán mong muốn giữa đại lượng đo và thang độ chỉ thị của thiết bị chỉ thị.

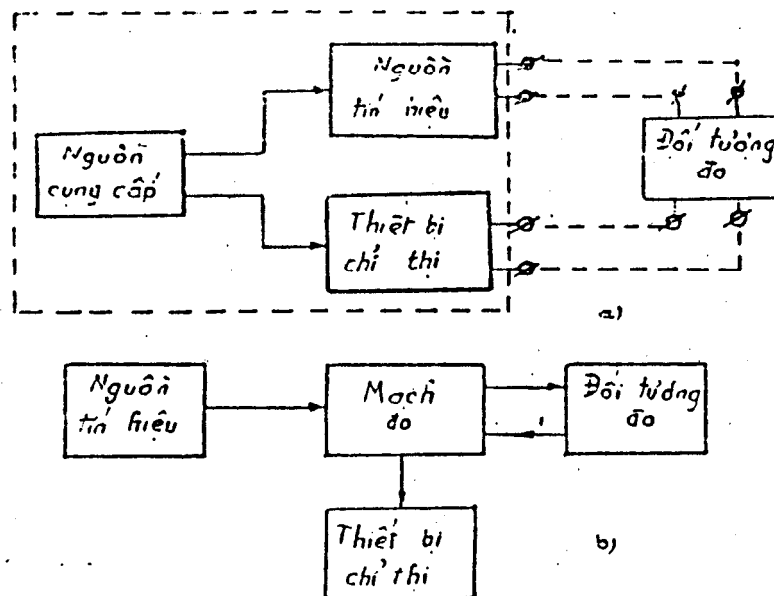
**Thiết bị chỉ thị** để biểu thị kết quả đo dưới dạng sao cho thích hợp với giác quan giao tiếp của sinh lý con người, hay với tín tức đưa vào bộ phận hiệu chỉnh, tính toán... Các thiết bị chỉ thị thường là các đồng hồ đo điện chỉ thị bằng kim (mà thông dụng nhất là loại từ điện), ống tia điện tử, hệ thống đèn chỉ thị số, ống nghe, bộ ghi, bộ phận ghi hình, thiết bị nhớ....

**Nguồn cung cấp** để cung cấp năng lượng cho máy, và còn làm nguồn tạo tín hiệu chuẩn.

Các loại máy thuộc nhóm thứ nhất này thì thực hiện theo phương pháp đo trực tiếp, kết quả đo có thể được đọc thẳng hay thông qua phép so sánh với đại lượng mẫu.

#### b. Máy đo đặc tính và thông số của mạch điện

Mạch điện cần đo thông số ở đây như mạng bốn cực, mạng hai cực, và các phần tử



Hình 1-15

của mạch điện tử. Sơ đồ khối chung của các loại máy nhóm này như hình 1-15. Đặc điểm của nhóm này là cấu tạo của máy gồm cả nguồn tín hiệu và thiết bị chỉ thị. Các loại máy đo thuộc nhóm này như: máy đo đặc tính tần số, máy đo đặc tính quá độ, máy đo hệ số phẩm chất, đo điện cảm, điện dung, điện trở, máy thử đèn điện tử, bán dẫn và IC....

#### c. Máy tạo tín hiệu đo lường

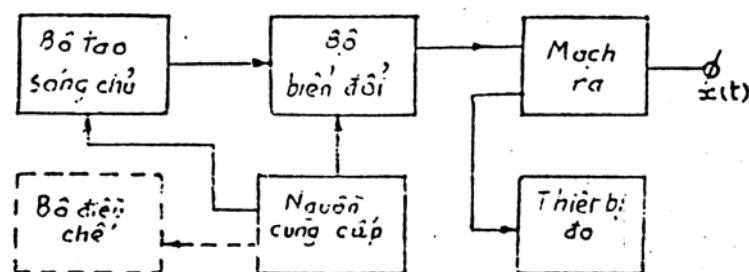
Nhóm máy này cũng bao gồm nhiều loại, chúng dùng làm nguồn tín hiệu chuẩn khi cần đo lường, để nghiên cứu và điều chỉnh thiết bị. Ví dụ như khi cần khắc độ máy, khi đo các thông số của tín hiệu bằng cách so sánh, khi cần vẽ đặc tuyến thực nghiệm.... Sơ đồ khối chung của nhóm máy này như hình trang 1-16.

**Bộ tạo sóng chủ** là bộ phận chủ yếu, nó xác định các đặc tính chủ yếu của tín hiệu như dạng và tần số dao động. Thông thường là tạo sóng hình sin hay xung các loại.

**Bộ biến đổi** để nâng cao mức năng lượng của tín hiệu hay tăng thêm độ xác lập của dạng tín hiệu. Nó thường là bộ khuếch đại điện áp, khuếch đại công suất, bộ điều chế, thiết bị tạo hình xung.... Các máy phát tín hiệu ở siêu cao tần thường không có bộ biến đổi đặt giữa bộ tạo sóng chủ và đầu ra, mà hay dùng bộ điều chế trực tiếp để khống chế dao động chủ.

**Mạch ra** để điều chỉnh mức tín hiệu ra, biến đổi trở kháng ra của máy. Thường thì mạch ra là bộ suy giảm (bộ phân áp), biến áp phối hợp trở kháng, hay bộ phụ tải catốt.

Thiết bị chỉ thị để kiểm tra thông số của tín hiệu đầu ra. Thường là vôn-mét điện tử, thiết bị đo công suất, đo hệ số điều chế, đo tần số....



Hình 1-16

**Nguồn** để cung cấp cho các bộ phận. Thường làm nhiệm vụ biến đổi điện áp xoay chiều của mạng lưới điện thành điện một chiều có độ ổn định cao.

#### d. Các linh kiện đo lường

Nhóm này bao gồm các linh kiện lẻ, phụ thêm với các máy đo để tạo nên các mạch đo cần thiết. Chúng là các linh kiện có tiêu chuẩn cao để làm vật mẫu (như điện

trở, điện cảm, điện dung mẫu) hay các linh kiện để ghép giữa các bộ phận của mạch đo. Các linh kiện này chủ yếu hay dùng ở siêu cao tần như bộ suy giảm, bộ dịch pha, bộ phân mạch định hướng....

## *Chương II*

# **ĐỊNH GIÁ SAI SỐ ĐO LƯỜNG**

### **MỞ ĐẦU**

Đo lường là một phương pháp vật lý thực nghiệm nhằm mục đích thu được những thông tin về đặc tính số lượng của một đối tượng hay một quá trình cần nghiên cứu. Nó được thực hiện bằng cách so sánh đại lượng cần đo với đại lượng đã chọn dùng làm tiêu chuẩn, làm đơn vị. Kết quả đo đặc biểu thị bằng số hay biểu đồ; kết quả đo được này chỉ là giá trị gần đúng, nghĩa là phép đo có sai số. Chương này sẽ nghiên cứu về cách xử lý các trị số gần đúng đó tức là cần đánh giá được độ chính xác của phép đo.

## **2.1 NGUYÊN NHÂN VÀ PHÂN LOẠI SAI SỐ TRONG ĐO LƯỜNG**

### **2.1.1 Nguyên nhân gây sai số**

Không có phép đo nào là không có sai số. Vấn đề là khi đo cần phải chọn dùng phương pháp thích hợp, cũng như cần chu đáo, thành thạo khi thao tác..., để hạn chế sai số các kết quả đo sao cho đến mức ít nhất.

Các nguyên nhân gây sai số thì có nhiều, người ta phân loại nguyên nhân gây sai số là do các yếu tố khách quan và chủ quan gây nên.

Các nguyên nhân khách quan ví dụ như: dụng cụ đo lường không hoàn hảo, đại lượng đo được bị can nhiễu nên không hoàn toàn được ổn định...

Các nguyên nhân chủ quan, ví dụ như: do thiếu thành thạo trong thao tác, phương pháp tiến hành đo không hợp lý...

Vì có các nguyên nhân đó và ta không thể tuyệt đối loại trừ hoàn toàn được như vậy, nên kết quả của phép đo nào cũng chỉ cho giá trị gần đúng. Ngoài việc cố gắng hạn chế sai số đo đến mức ít nhất, ta còn cần đánh giá được xem kết quả đo có sai số đến mức độ nào.

### **2.1.2 Phân loại sai số**

Các sai số mắc phải trong phép đo có nhiều cách phân loại. Có thể phân loại theo nguồn gốc sinh ra sai số, theo quy luật xuất hiện sai số hay phân loại theo biểu thức diễn đạt sai số.

Phân loại theo quy luật xuất hiện sai số được chia làm hai loại: sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên.

#### **1. Sai số hệ thống**

Sai số này do những yếu tố thường xuyên hay các yếu tố có quy luật tác động. Nó khiến cho kết quả đo có sai số của lần đo nào cũng như nhau, nghĩa là kết quả của các lần đo đều hoặc là lớn hơn hay bé hơn giá trị thực của đại lượng cần đo.

Tuỳ theo nguyên nhân tác dụng, mà sai số hệ thống có thể phân thành các nhóm sau đây:

-Do dụng cụ, máy móc đo chế tạo không hoàn hảo.

Ví dụ: kim chỉ thị của thiết bị chỉ thị không chỉ đúng vị trí ban đầu, máy móc không được chuẩn lại thang độ với các máy chuẩn ...

-Do phương pháp đo, hoặc là do cách chọn dùng phương pháp đo không hợp lý; hoặc khi xử lý kết quả đo, khi tính toán để cho đơn giản hơn đã tự ý bỏ qua một số yếu tố nào đấy. Ví dụ như bỏ qua các ảnh hưởng ghép ký sinh của mạch đo...

-Do khí hậu, ví dụ nhiệt độ, độ ẩm khi tiến hành đo khác với điều kiện khí hậu tiêu chuẩn đã quy định trong quy trình sử dụng máy đo...

#### **2. Sai số ngẫu nhiên**

Sai số ngẫu nhiên là sai số do các yếu tố biến đổi bất thường, không có quy luật tác động. Tuy ta đã cố gắng thực hiện đo lường trong cùng một điều kiện và chu đáo như nhau, nhưng vì do nhiều yếu tố không biết, không khống chế được, nên đã sinh ra một loạt kết quả đo khác nhau. Ví dụ: do điện áp cung cấp của mạch đo không ổn định, do biến thiên khí hậu của môi trường chung quanh xảy ra trong quá trình đo lường...

Ngoài hai loại sai số trên, còn nhưng loại sai số hoặc khi đo ta còn nhận được những kết quả các lần đo có các giá trị sai khác quá đáng. Nó thường do những yếu tố chủ quan của người đo gây ra, như thiếu chu đáo; hay do các tác động đột ngột của bên ngoài. Các kết quả đo này qua suy xét chủ quan, ta có thể biết được nó là các giá trị vô nghĩa và ta có thể loại bỏ ngay được. Thường người ta gọi các kết quả đo này là các trị số đo sai.

Sau khi đo, để hiệu chỉnh và đánh giá kết quả đo, ta có thể loại bỏ các sai số hệ thống được. Sự xử lý này được thực hiện đơn giản bằng phép cộng đại số (có kể cả dấu), khi mà đã định lượng được giá trị của sai số hệ thống. Dù là sai số hệ thống của một hay nhiều nguyên nhân thì ta có thể hiệu chỉnh được, ví dụ như bằng cách chuẩn lại máy móc thiết bị đo với máy mẫu.

Với sai số ngẫu nhiên, ta không thể xử lý được. Vì không biết giá trị sai số là bao nhiêu, và theo chiều hướng nào, lớn hơn hay bé hơn giá trị thực tế. Để có thể “định lượng” được giá trị sai số ngẫu nhiên, tức là đánh giá được độ chính xác của kết quả đo, thì người ta dùng công cụ toán học là lý thuyết xác suất và thống kê. Vì vậy, nội dung cách xử lý kết quả đo sẽ xét tới ở các tiết sau, cũng chỉ chủ yếu là để giải quyết vấn đề này.

### 2.1.3 Các biểu thức diễn đạt sai số

Thông thường các sai số hay được phân loại theo biểu thức diễn đạt. Theo cách phân loại này thì có hai loại sau: sai số tuyệt đối và sai số tương đối.

#### 1. Sai số tuyệt đối

Người ta định nghĩa sai số tuyệt đối là trị tuyệt đối của hiệu số giữa hai giá trị đo được và giá trị thực của đại lượng cần đo.

Nếu gọi  $a$  là giá trị đo được,  $X$  là trị thực của đại lượng cần đo thì:

$$\Delta x^* = |a - X| \quad (1)$$

là sai số tuyệt đối.

Trên thực tế, vì chưa biết được  $X$ , nên không định lượng cụ thể được  $\Delta x^*$ . Nhưng căn cứ vào dụng cụ đo và khả năng đạt được chính xác của phép đo, cũng như thực hiện cách đo nhiều lần, ta có thể tìm được giới hạn cực đại của  $\Delta x^*$ :  $\Delta x^* \leq \Delta x$  và lấy  $\Delta x$  là sai số tuyệt đối.

#### 2. Sai số tương đối

Sai số tương đối là tỷ số của sai số tuyệt đối và trị số thực của đại lượng cần đo:

$$\delta x = \frac{\Delta x}{X} \quad (2)$$

Sai số tương đối được biểu thị dưới dạng phần trăm (%). Sai số tương đối như biểu thức (2) là *sai số tương đối chân thực*, nó đúng theo định nghĩa. Tuy vậy, nó không có giá trị trong thực tiễn tính toán, vì chưa biết được  $X$ .

Trong trường hợp  $\Delta x \ll X$ , và  $\Delta x \ll a$  (tức là  $a$  và  $X$  coi như xấp xỉ nhau)

$$\delta x = \frac{\Delta x}{a} \quad (3)$$

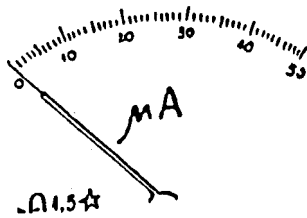
Sai số tương đối như biểu thức (3) là *sai số tương đối danh định*.

Còn có loại biểu thức sai số tương đối khác hay được dùng để đánh giá phẩm chất của các đồng hồ đo. Đó là *sai số tương đối chiết hợp*:

$$x = \frac{\Delta x}{A} \quad (4)$$

**Ở đây,  $A$  là giới hạn cực đại của lượng trình thang đo của đồng hồ để đo. Sai số tương đối chiết hợp là cấp chính xác của đồng hồ. Nó được ghi trực tiếp bằng chữ số lên trên mặt đồng hồ đo, cùng các ký hiệu khác. Ví dụ như ở hình 2-1, chữ số 1,5 ghi ở góc là biểu thị cấp chính xác của đồng hồ đo bằng 1,5.**

Sai số tuyệt đối là một đại lượng có thứ nguyên. Sai số tương đối là đại lượng không có thứ nguyên. Khi đánh giá phẩm chất của phép đo thì sai số tương đối biểu thị đầy đủ hơn và nó còn có thể dùng để so sánh độ chính xác giữa các phép đo các đại lượng khác nhau.



Hình 2-1

Ví dụ, khi đo hai tần số  $f_1 = 100\text{Hz}$ ,  $f_2 = 1000\text{Hz}$ ; cả hai đều có sai số tuyệt đối là  $f = \pm 1\text{Hz}$ . Nếu như chỉ so sánh bằng sai số tuyệt đối thì hai phép đo là như nhau. Nhưng hai phép đo có độ chính xác khác nhau; độ chính xác này được biểu thị bằng sai số tương đối:

$$f_1 = \frac{1}{100} \cdot 100\% = 1\%$$

$$f_2 = \frac{1}{1000} \cdot 100\% = 0,1\%$$

Như vậy phép đo tần số  $f_2$  có độ chính xác cao hơn phép đo  $f_1$ .

## 2.2 ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN BỐ CHUẨN ĐỂ ĐỊNH GIÁ SAI SỐ

Để đánh giá kết quả của phép đo, ta phải giới hạn, định lượng được sai số ngẫu nhiên. Muốn làm được điều này, thì cần tìm được quy luật phân bố của nó. Để tìm được, người ta dùng công cụ toán học cần thiết cho việc nghiên cứu sự phân bố là lý thuyết xác suất và thống kê.

Với sai số của mỗi lần đo riêng biệt, sau khi ta đã loại bỏ sai số hệ thống rồi thì nó hoàn toàn có tính chất của một sự kiện ngẫu nhiên. Kết quả của lần đo này hoàn toàn

không phụ thuộc gì với kết quả của lần đo khác, vì các lần đo đều riêng biệt, và đều chịu những yếu tố ảnh hưởng tới kết quả đo một cách ngẫu nhiên khác nhau. Với mỗi lần đo chỉ cho ta một kết quả nào đó. Như vậy, dùng phép tính xác suất để nghiên cứu, tính toán các sai số ngẫu nhiên, thì cần thực hiện các điều kiện sau:

-Tất cả các lần đo đều phải tiến hành với độ chính xác như nhau. Nghĩa là không những cùng đo ở một máy, trong cùng một điều kiện, mà với cả sự thận trọng, chu đáo như nhau.

-Phải đo nhiều lần. Phép tính xác suất chỉ đúng khi có một số nhiều các sự kiện.

### 2.2.1 Hàm mật độ phân bố sai số

Để xây dựng và hiểu được quy luật phân bố, mà từ đó áp dụng được vào phép tính toán sai số. Ta cũng cần phải xét tới đặc tính cấu tạo của hàm số phân bố sai số.

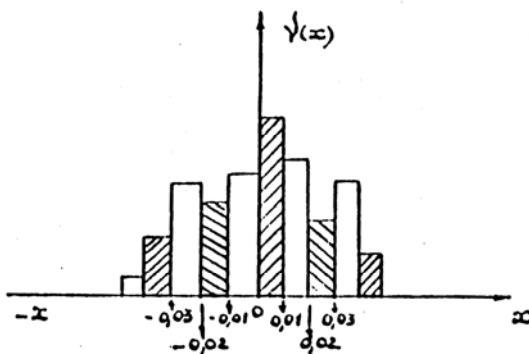
Để dễ trình bày, ta giả sử là khi tiến hành đo một đại lượng nào đó, ta đo nhiều lần, và được một loạt số liệu kết quả đo có các sai số lần lượt là  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Số lượng lần đo là  $n$ , cũng đồng thời là số lượng của các sai số. Ta sắp xếp các sai số theo giá trị độ lớn của nó thành từng nhóm riêng biệt. Ví dụ, có  $n_1$  sai số có trị số từ  $0 \div 0,01$ ; có  $n_2$  sai số  $x$  có trị giá cũng ví dụ như từ  $0,01 \div 0,02$ , ... cũng tiến hành sắp xếp cả về phía có trị giá âm: từ  $0 \div -0,01$ , từ  $-0,01 \div -0,02$  ... như trên.

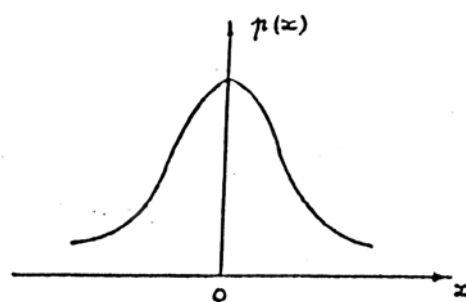
Ta có các tỷ số:

$$\frac{n_1}{n} = v_1 ; \frac{n_2}{n} = v_2 \dots, \text{ ở đây, } v_1 \text{ và } v_2 \dots \text{ gọi là tần xuất (hay tần số xuất hiện) các}$$

lần đo có các sai số ngẫu nhiên nằm trong khoảng có giá trị giới hạn đó.



Hình 2-2



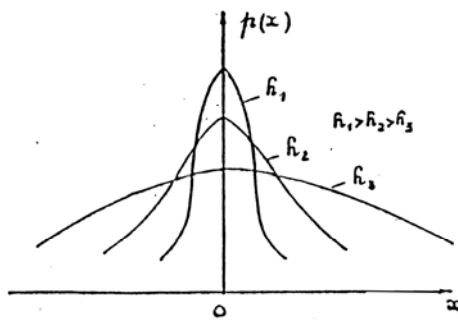
Hình 2-3

Lập các số liệu trên thành biểu đồ phân bố tần xuất như hình 2-2 Trục hoành là giá trị của các sai số  $x$ ; trục tung là tần xuất  $v$ ; diện tích của mỗi hình chữ nhật nhỏ biểu thị

số lượng xuất hiện các sai số ngẫu nhiên có trị giá nằm trong khoảng khác độ tương ứng trên trục hoành theo một tỷ lệ nào đó.

Giản đồ này cho ta hình ảnh đơn giản về sự phân bố sai số, nghĩa là quan hệ giữa số lượng xuất hiện các sai số theo giá trị độ lớn của sai số.

Nếu tiến hành đo nhiều lần, rất nhiều lần, tức số lần đo là  $n \rightarrow \infty$ , thì theo quy luật phân bố tiêu chuẩn của lý thuyết xác suất, giản đồ của  $v$  theo  $x$  sẽ tiến đến một đường cong trung bình  $p(x)$  như hình vẽ 2-3:



Hình 2-4

$$\lim_{n \rightarrow \infty} v(x) = p(x)$$

Hàm số  $p(x)$  là hàm số phân bố tiêu chuẩn các sai số, (còn gọi là hàm số chính tắc). Gọi là hàm số phân bố tiêu chuẩn vì nó biểu thị theo quy luật phân bố tiêu chuẩn. Trong phần lớn các trường hợp sai số trong đo lường điện tử thì thực tế là đều thích hợp với quy luật này. Rất ít khi có trường hợp sử dụng quy luật phân bố đồng đều, quy luật phân bố cung sin hay quy luật phân bố tam giác,..., nên ta không đề cập đến các quy

luật này.

Hàm số  $p(x)$  còn gọi là hàm số “Gốt” (Gauss). Nó có biểu thức sau:

$$p(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} \quad (5)$$

Ở đây chỉ có một thông số  $h$ , ứng với các trị số  $h$  khác nhau thì đường cong có dạng khác nhau. Hình 2-4 biểu thị vài đường cong phân bố sai số ứng với thông số  $h$  khác nhau. **Ứng với đường có  $h$  lớn thì đường cong hẹp và nhọn, có nghĩa là xác suất các sai số có trị số bé thì lớn hơn.** Thiết bị đo lường nào ứng với đường cong có  $h$  lớn thì có độ chính xác cao; khi dùng thiết bị này để đo, thì sai số hay gặp phải là sai số có trị số bé. **Với ý nghĩa như vậy người ta gọi  $h$  là thông số đo chính xác.**

### 2.2.2 Hệ quả của sự nghiên cứu hàm mật độ phân bố sai số

Từ hàm phân bố của sai số, ta rút ra hai nhận xét về quy tắc phân bố:

a. *Xác suất xuất hiện của các sai số có trị số bé thì nhiều hơn xác suất xuất hiện các sai số có trị số lớn. Đường biểu diễn trong trường hợp này có dạng hình chuông.*

*b. Xác suất xuất hiện sai số thì không phụ thuộc vào dấu, nghĩa là các sai số có trị số bằng nhau về trị số tuyệt đối nhưng khác dấu nhau, thì có xác suất xuất hiện như nhau. Đường biểu diễn trong trường hợp này đối xứng qua trục tung.*

Với hàm số phân bố  $p(x)$ , ta có thể tính được số lượng sai số nằm trong một khoảng  $dx$  giữa hai trị số  $x$  và  $x+dx$  nào đó. Ta biết rằng lượng này phải tỷ lệ với  $p(x)$ , vì  $p(x)$  là mật độ phân bố sai số; phải tỷ lệ với  $n$  là tổng số các sai số (hay của các lần đo); và phải tỷ lệ với  $dx$  là khoảng trị số độ lớn sai số cần tính:

$$dn = p(x) \cdot n \cdot dx \quad (6)$$

Chia hai vế của (6) cho  $n$ , thì ta có biểu thức vi phân xác suất phân bố sai số:

$$dp = \frac{dn}{n} = p(x) \cdot dx \quad (7)$$

Thay  $p(x)$  là biểu thức (5), ta có:

$$dp = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} dx \quad (8)$$

Có biểu thức vi phân này, ta có thể tìm được xác suất của các sai số nằm trong khoảng có trị số nào đó đã cho trước. Ví dụ, xác suất xuất hiện các sai số trong khoảng  $x_1 \div x_2$  thì bằng:

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-h^2 x^2} dx \quad (9)$$

Trị số này chính là diện tích giới hạn bởi đường cong và trục hoành với hai đường có hoành độ là  $x_1$  và  $x_2$  (như đã gạch chéo trong hình 2-5).

Xác suất của các sai số có trị số không vượt quá một trị số  $x_i$  nào đó cho trước, được biểu thị bằng diện tích gạch chéo trong hình 2-6:

$$P(|x| < x_i) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{-x_i}^{x_i} e^{-h^2 x^2} dx = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x_i} e^{-h^2 x^2} dx \quad (10)$$

Còn xác suất của các sai số có trị số vượt quá trị số  $x_i$  cho trước, chính là phần diện tích không được gạch chéo của hình 2-6.

$$\begin{aligned} P(|x| > x_i) &= \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{x_i}^{\infty} e^{-h^2 x^2} dx \\ &= \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} e^{-h^2 x^2} dx - \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x_i} e^{-h^2 x^2} dx \end{aligned} \quad (11)$$

Phân tích phần đầu của vế phải (11) chính là trị số xác suất sai số trong khoảng từ  $-\infty$  đến  $+\infty$ . Nó chính là sự kiện tất yếu, và có trị số bằng 1. Phần tích phân thứ hai chính là biểu thức (10). Do vậy có thể viết:

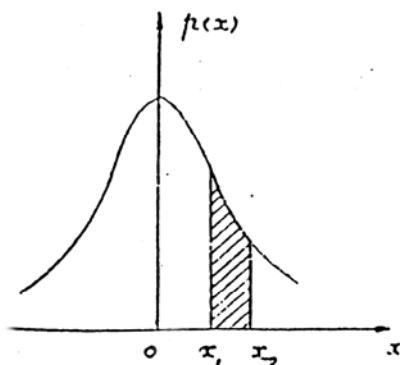
$$P(|x| > x_i) = 1 - P(|x| < x_i)$$

Biểu thức (10) còn hay được biểu diễn dưới dạng khác, bằng cách thay biến số tích phân  $x = \frac{t}{h\sqrt{2}}$ :

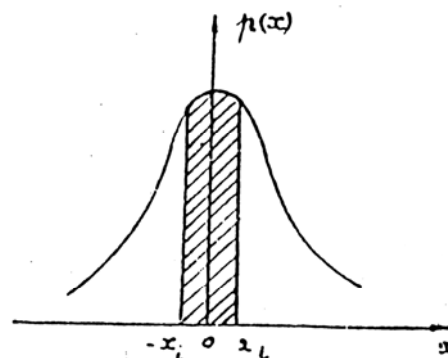
$$\Phi(t_i) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (12)$$

Khi  $x=x_i$  thì  $t_i = x_i h \sqrt{2}$ .

Biểu thức (12) chính là biểu thức tích phân của xác suất. Bảng trị số hàm số này thường được cho sẵn trong sổ tay tra cứu toán học. Nó là hàm Laplace.



Hình 2-5

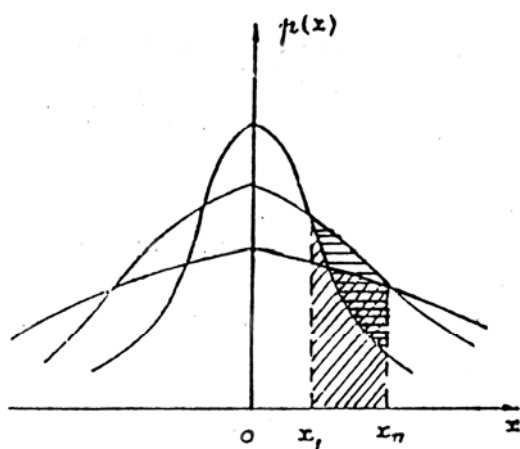


Hình 2-6

Như vậy, biết được sự phân bố sai số, ta có thể tính được xác suất xuất hiện những lần đo có sai số mà trị số của nó lớn hơn hay bé hơn một giá trị sai số nào đó cho trước. Điều này đưa tới một ý nghĩa thực tế, ở kết quả đo ta cần lấy giới hạn của trị số sai số phải bằng bao nhiêu thì đảm bảo chính xác với một độ tin cậy nào đó.

## 2.2.3 Sử dụng các đặc số phân bố để định giá kết quả đo và sai số đo

### 1. Sai số trung bình bình phương



Hình 2-7

Giả sử khi đo nhiều lần một đại lượng  $X$ , các kết quả nhận được là  $n$  trị số sai số, có trị số nằm trong khoảng giới hạn từ  $x_1$  đến  $x_n$ .

Tùy theo trị giá của  $h$ , mà xác suất của chúng khác nhau. Trên hình 2-7 ta có xác suất cực đại ứng với  $h_2$ ,  $h_2$  được gọi là trị giá cực đại của  $h$ .

Với một loại trị số đo thì coi  $h$  là không đổi. Khi đó xác suất sai số xuất hiện tại trị giá  $x_1$  và lân cận của  $x_1$  là:

$$dp_1 = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x_1^2} dx_1$$

Cũng thế, tại các trị số khác nhau của  $x$  là  $x_2, x_3, \dots, x_n$ :

$$dp_2 = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x_2^2} dx_2$$

.....

$$dp_n = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x_n^2} dx_n$$

Xác suất của cả  $n$  lần đo có thể coi như xác suất của một sự kiện phức hợp. Theo lý thuyết xác suất, thì xác suất của một sự kiện phức hợp bằng tích số của xác suất của các sự kiện độc lập riêng rẽ:

$$\begin{aligned} P_{ph} &= dp_1 \cdot dp_2 \dots dp_n \\ &= \left( \frac{h}{\sqrt{\pi}} \right)^n e^{-h^2 (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)} dx_1 dx_2 \dots dx_n \end{aligned} \quad (13)$$

Để tìm trị số cực trị của  $h$ , trong biểu thức (13), coi  $h$  là thông số biến đổi. Ta đạo hàm (13) theo  $h$  rồi cho bằng không:

$$\frac{dP_{ph}}{dh} = n \frac{h^{n-1}}{(\sqrt{\pi})^n} e^{-h^2 \sum x_i^2} + \frac{h^n}{(\sqrt{\pi})^n} [-2h \sum x_i^2] e^{-h^2 \sum x_i^2} = 0$$

Sau khi đặt thừa số chung, ta có:

$$n - 2h^2 \sum x_i^2 = 0$$

do đó:

$$\frac{1}{\sqrt{2}h} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} \quad (14)$$

Đại lượng vế bên phải của (14) là trị số trung bình bình phương của các lần đo riêng biệt. Nó được gọi là *sai số trung bình bình phương*  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}} \quad (15)$$

Nếu biểu thị hàm số phân bố tiêu chuẩn các sai số dưới dạng  $\sigma$  thì có biểu thức:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (16)$$

Dùng công thức (12), có thể tính được xác suất xuất hiện các sai số có trị số nhỏ hơn  $\sigma$ :

$$P(|x| < \sigma) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{h\sigma\sqrt{2}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

$$\text{Vì } h\sigma\sqrt{2} = \frac{\sigma\sqrt{2}}{\sigma\sqrt{2}} = 1, \text{ nên ta có :}$$

$$P(|x| < \sigma) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^1 e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0,683 \approx \frac{2}{3}$$

Trong kỹ thuật đo lường điện tử, nếu lấy  $\sigma$  để định giá sai số của kết quả đo, thì độ tin cậy chưa đảm bảo. Do vậy, người ta thường lấy giá trị sai số bằng  $3\sigma$  và gọi nó là *sai số cực đại*:

$$M=3\sigma$$

Xác suất các sai số có trị số nhỏ hơn  $M$  là:

$$P(|x| < M) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^M e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0,997$$

Như vậy, có nghĩa là nếu đo 1000 lần một đại lượng nào đó, thì trong một 1000 lần đo đó, chỉ có 3 lần đo có sai số vượt quá giá trị sai số  $M=3\sigma$ .

## 2. Trị số trung bình cộng

Khi đo một đại lượng  $X$ , ta có một loạt  $n$  kết quả đo có trị số là  $a_1, a_2, \dots, a_n$ . Các sai số của mỗi lần đo riêng biệt lần lượt là:

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1 - X \\ x_2 &= a_2 - X \\ &\dots\dots\dots \\ x_n &= a_n - X \end{aligned} \tag{17}$$

Vì chưa biết các  $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), nên  $X$  cần đo là cũng chưa biết. Vì vậy, trên thực tế ta chỉ có khả năng xác định được trị số gần đúng nhất với giá trị thực tế cần đo, tức phải chọn sao cho trị số ấy có xác suất lớn nhất. Ta ký hiệu trị số này là  $a_{tb}$  và dùng nó cho biểu thức của kết quả đo.

Dĩ nhiên, để  $a_{tb}$  có được trị số có xác suất lớn nhất thì tất cả các sai số  $x_1, x_2, \dots, x_n$  cũng phải có xác suất lớn nhất:

$$\sum x_i^2 = \text{cực tiểu}$$

Vì  $a_{tb}$  là trị số gần bằng trị số thực của  $X$ , nên để tính  $a_{tb}$  có thể thay  $a_{tb}$  cho  $X$  trong các biểu thức của  $x_i$ :

$$\sum x_i^2 = (a_1 - a_{tb})^2 + (a_2 - a_{tb})^2 + \dots + (a_n - a_{tb})^2$$

Trị số  $a_{tb}$  tương ứng với  $\sum x_i^2$  cực tiểu, tìm được bằng cách đạo hàm  $\sum x_i^2$  theo  $a_{tb}$  rồi cho bằng không:

$$\frac{d\sum x_i^2}{da_{tb}} = 2(a_1 - a_{tb}) + 2(a_2 - a_{tb}) + \dots + 2(a_n - a_{tb})$$

do đó

$$a_{tb} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

Như vậy,  $a_{tb}$  có trị số bằng trung bình cộng của tất cả các lần đo, nó là trị số có xác suất lớn nhất, tức là gần trị số thực nhất khi tiến hành đo nhiều lần một đại lượng cần đo  $X$ .

## 2.3 CÁCH XÁC ĐỊNH KẾT QUẢ ĐO

### 2.3.1 Sai số dư

Trên thực tế tính toán, vì không biết  $X$ , nên ta không biết được các  $x_i$ :  $x_i = a_i - X$ , ( $i=1,2,\dots,n$ ). Ta chỉ biết được các sai số tuyệt đối của giá trị các lần đo  $a_i$  với  $a_{tb}$ , người ta gọi đó là sai số dư, và thường ký hiệu bằng  $\varepsilon$ :

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= a_1 - a_{tb} \\ \varepsilon_2 &= a_2 - a_{tb} \\ &\dots\dots\dots \\ \varepsilon_n &= a_n - a_{tb}\end{aligned}\tag{18}$$

Vì đo đúng, nên  $x$  và  $\varepsilon$  đều có giá trị bé. Quan hệ giữa  $x$  và  $\varepsilon$  như sau:

Từ (17) và (18) ta có:

$$\sum x_i = \sum a_i - nX\tag{19}$$

$$\sum \varepsilon_i = \sum a_i - na_{tb}\tag{20}$$

Theo định nghĩa của  $a_{tb}$ , ta có:

$$\sum a_i - na_{tb} = 0\tag{21}$$

$$\text{do đó: } \sum \varepsilon_i = 0\tag{22}$$

$$\text{Từ (19) và (21): } \sum x_i = na_{tb} - nX$$

do vậy:

$$a_{tb} = X + \frac{\sum x_i}{n}\tag{23}$$

từ các phương trình (17), (18), và (23):

$$\begin{cases} a_1 = X + x_1 \\ a_2 = X + x_2 \\ \dots \\ a_n = X + x_n \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \varepsilon_1 = X + x_1 - a_{tb} \\ \varepsilon_2 = X + x_2 - a_{tb} \\ \dots \\ \varepsilon_n = X + x_n - a_{tb} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \varepsilon_1 = x_1 - \frac{\sum x_i}{n} \\ \varepsilon_2 = x_2 - \frac{\sum x_i}{n} \\ \dots \\ \varepsilon_n = x_n - \frac{\sum x_i}{n} \end{cases} \quad (24)$$

Từ (24) ta thấy rõ là quan hệ giữa  $\varepsilon$  và  $x$  là quan hệ đường thẳng.

Từ (14) ta thấy:

$$h^2 = \frac{n}{2 \sum x_i^2} \quad (25)$$

Thay  $x_i$  trong (25) bằng  $\varepsilon_i$ , ta có thông số H:

$$H^2 = \frac{n}{2 \sum \varepsilon_i^2} \quad (26)$$

Theo (25) và (26):

$$\frac{h^2}{H^2} = \frac{\sum \varepsilon_i^2}{\sum x_i^2} \quad (27)$$

Tìm  $\varepsilon_i^2$  theo (24):

$$\begin{cases} \varepsilon_1^2 = x_1^2 - 2x_1 \frac{\sum x_i}{n} + \frac{(\sum x_i)^2}{n^2} \\ \dots \\ \varepsilon_n^2 = x_n^2 - 2x_n \frac{\sum x_i}{n} + \frac{(\sum x_i)^2}{n^2} \end{cases} \quad (28)$$

Cộng hệ phương trình (28) trên ta có:

$$\sum \varepsilon_i^2 = \sum x_i^2 - 2 \frac{(\sum x_i)^2}{n} + \frac{(\sum x_i)^2}{n} = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \quad (29)$$

Khai triển  $(\sum x_i)^2$ , ta có:

$$(\sum x_i)^2 = \sum x_i^2 + 2 \sum x_i x_j, (i \neq j)$$

Theo quy luật phân bố tiêu chuẩn, các sai số có trị số tuyệt đối bằng nhau nhưng trái dấu, thì có xác suất như nhau. Như vậy, nếu tiến hành đo một số lần đủ lớn thì các sai số ấy sẽ từng đôi một triệt tiêu nhau:

$$\sum x_i x_j \rightarrow 0. \text{ Do vậy: } (\sum x_i)^2 = \sum x_i^2$$

Thay kết quả này vào (29):

$$\sum \varepsilon_i^2 = \sum x_i^2 - \frac{\sum x_i^2}{n} = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \sum x_i^2 = \frac{n-1}{n} \sum x_i^2 \quad (30)$$

Biểu thức (30) xác định quan hệ giữa  $\varepsilon$  và  $x$ .

Thay vào (27):

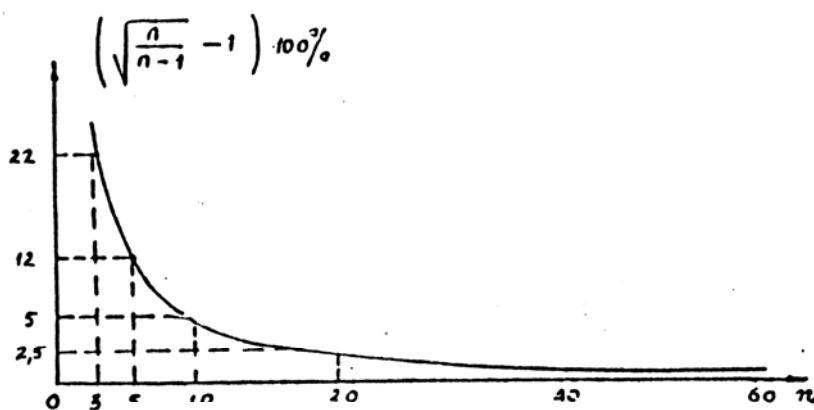
$$\frac{h^2}{H^2} = \frac{n-1}{n}$$

hay là

$$H = h \sqrt{\frac{n}{n-1}} \quad (31)$$

Ta có các nhận xét từ sự phân tích quan hệ trên là:

- Vì  $H > h$ , nên nếu thay  $x$  bằng  $\varepsilon$  mà không tính đến biểu thức (31) thì độ chính xác của phép đo là không chân thực.
- $H$  không những là hàm số của  $h$ , mà còn tùy thuộc vào số lần đo  $n$ , vì vậy độ chính xác của  $H$  biến đổi khi phép đo có số lần đo  $n$  khác nhau.



Hình 2-8

c. Khi tăng số lần đo, sao cho có  $\frac{n}{n-1} \rightarrow 1$  thì  $H \rightarrow h$ .

Hình 2-8 biểu thị quan hệ giữa  $\frac{n}{n-1} - 1$  và  $n$ . Trị số  $\frac{n}{n-1} - 1$  biểu thị độ sai khác giữa  $\varepsilon$  và  $x$ .

Ví dụ, với  $n=5$  thì độ sai khác là 12%; khi  $n=100$  thì độ sai khác là 0,5%, lúc này có thể coi  $h \approx H$ .

d. Từ phương trình (30), các công thức tính  $\sigma$  và  $d$  theo  $\varepsilon$  là:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n-1}} \quad (32)$$

$$d = \frac{\sum |\varepsilon_i|}{\sqrt{n(n-1)}} \quad (33)$$

$d$  là sai số trung bình.

### 2.3.2 Độ tin cậy và khoảng chính xác

Ta đã coi  $X \approx a_{th}$  khi đánh giá kết quả của phép đo. Vậy độ chính xác, độ tin cậy của sự gần đúng này như thế nào, vấn đề này cũng cần phải xét đến.

Theo biểu thức (12), xác suất của các sai số có trị số không vượt quá một giá trị  $\mu$  cho trước nào đó, thì bằng:

$$P(|a_{tb} - X| < \mu) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\mu/\sigma_{a_{tb}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(t) \quad (34)$$

$$\text{Ở đây, } t_i = \frac{\mu}{\sigma_{a_{tb}}}.$$

Như vậy, nếu như cho trước một trị số xác suất  $P$  nào đó, thì dựa vào các bảng của hàm số  $\Phi(t)$  đã cho trong các sổ tay tra cứu về toán, ta có thể tìm được giá trị  $t = \frac{\mu}{\sigma_{a_{tb}}}$ .

Do đó:

$$|a_{tb} - X| < t\sigma_{a_{tb}}$$

hay:

$$a_{tb} - t\sigma_{a_{tb}} < X < a_{tb} + t\sigma_{a_{tb}} \quad (35)$$

Đây là phương pháp đánh giá theo cách cổ điển, nó có nghĩa là trong khoảng từ  $a_{tb} - t\sigma_{a_{tb}}$  đến  $a_{tb} + t\sigma_{a_{tb}}$  sẽ có xác suất chứa đựng trị số thực của đại lượng cần đo  $X$  là  $P=\Phi(t)$ .

Như vậy,  $P$  gọi là độ tin cậy của phép đánh giá, và khoảng  $a_{tb} - t\sigma_{a_{tb}}$ ,  $a_{tb} + t\sigma_{a_{tb}}$  là khoảng tin cậy.

Như ở phần trên cũng đã trình bày (về giá trị sai số cực đại), trong kỹ thuật điện tử, để đảm bảo độ tin cậy là  $P=0,997$ ; khi đó thì  $t=3$  và biểu thức (35) biểu thị khoảng tin cậy với độ tin cậy bằng 0,997 là:

$$a_{tb} - 3\sigma_{a_{tb}} < X < a_{tb} + 3\sigma_{a_{tb}} \quad (36)$$

hay là:

$$X = a_{tb} \pm 3\sigma_{a_{tb}} \quad (37)$$

Nhược điểm của phương pháp đánh giá theo cách cổ điển là  $\sigma_{a_{tb}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  chưa biết,

vì tất cả các lý luận trên chỉ đúng với ngụ ý là  $\sigma$  có trị số là tổng quát, nó được tính từ quy luật phân bố đã biết. Song thực tế thì quy luật phân bố là chưa biết đầy đủ; ta chỉ có  $n$  số liệu cụ thể đo được thôi. Như vậy, trị số sai số trung bình bình phương tìm được trên thực nghiệm đo lường là có phụ thuộc vào số lượng lần đo  $n$ . Nên nếu thay đổi biểu thức (35) trị số sai số trung bình bình phương có trị số tổng quát bằng trị số tìm được trên thực nghiệm đo lường như công thức (32) thì độ tin cậy của sự đánh giá này là có thay đổi.

Theo lý thuyết xác suất, sự đánh giá độ tin cậy nếu lấy  $\sigma_{tb}$  là trị số từ thực nghiệm đo lường, thì có biểu thức kết quả đo còn phụ thuộc một thông số nữa là thông số  $t$ , nó có dạng là:

$$X = a_{tb} + t\sigma_{a_{tb}} \quad (38)$$

Ở đây,  $\sigma_{a_{tb}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ , mà  $\sigma$  thì tính như công thức (32). Sử dụng công thức (38) ta

còn cần phải chú ý tới quan hệ của thông số  $t$  và độ tin cậy  $P$  theo số lần đo  $n$ .

Quan hệ phụ thuộc giữa độ tin cậy  $P$  theo số lần đo  $n$  khi lấy  $t=3$  ghi ở bảng 2-1.

Bảng 2-1: Khi  $t=3$

|   |       |       |       |       |       |       |       |       |          |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| n | 2     | 3     | 4     | 5     | 7     | 10    | 15    | 20    | $\infty$ |
| P | 0,796 | 0,904 | 0,942 | 0,960 | 0,976 | 0,985 | 0,991 | 0,993 | 0,997    |

Từ bảng 2-1 ta có nhận xét là: Khi số lần đo càng ít, thì độ tin cậy của phép đánh giá càng giảm.

Bảng 2-2 biểu diễn sự biến đổi của  $t$  phụ thuộc theo số lần đo  $n$ , khi độ tin cậy đã cho là  $P=0,997$ .

Bảng 2-2: Khi  $P=0,997$

|   |     |     |     |     |     |     |          |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| n | 5   | 6   | 7   | 10  | 15  | 20  | $\infty$ |
| t | 5,2 | 4,6 | 4,2 | 3,6 | 3,2 | 3,1 | 3        |

Từ bảng 2-2 ta cũng có nhận xét là: khi số lần đo  $n$  càng giảm thì cần thiết phải lấy trị giá thông số  $t$  lớn để đảm bảo có độ tin cậy  $P=0,997$ .

### ***Cách giảm tối thiểu trị số sai số ngẫu nhiên***

Như ta đã biết, sai số ngẫu nhiên thì không thể xác định trước và loại bỏ như loại bỏ sai số hệ thống được. Điều có thể làm là giảm tối thiểu nó bằng cách xử lý kết quả đo một cách thích hợp trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết sai số đo lường bằng cách sử dụng các quy luật phân bố ngẫu nhiên và công cụ tính toán là phép tính thống kê, xác suất.

Như vậy, sai số ngẫu nhiên được tính toán với một số hữu hạn  $n$  lần đo, có trình tự như sau:

-Tính trị số trung bình cộng của  $n$  lần đo:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

ở đây  $a_i$  là kết quả đo thứ  $i$ , mà đã loại bỏ sai số hệ thống.

-Tính sai số trung bình bình phương:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}$$

Nếu tiến hành đo rất nhiều lần, có thể coi như là một số liệu kết quả đo được, để rồi lại có thể xét sự phân bố ngẫu nhiên của tập hợp  $n$  kết quả đo bằng các  $\bar{a}$ , ta có giá trị trung bình bình phương của các  $\bar{a}$  là:

$$\sigma_{\bar{a}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}$$

Để đảm bảo độ tin cậy phép đo, thường lấy  $P=0,997$ , khi đó trị số sai số cực đại  $M=3\sigma_{\bar{a}}$ . Kết quả đo là:

$$X = \bar{a} \pm 3\sigma_{\bar{a}}.$$

### 2.3.3 Cách xác định kết quả đo khi thực hiện đo nhiều lần

Qua các phần nói trên, ta đã xét tới các nguyên nhân, đặc tính phân bố cũng như cách tính toán sai số khi đo lường. Một điều cần rút ra là, để có thể đo chính xác một đại lượng, ta cần phải tiến hành đo đi đo lại nhiều lần với một tính chu đáo như nhau. Kết quả cuối cùng là rút ra từ các kết quả của các lần đo thông qua một sự tính toán để xác định. Trình tự xác định có thể được thực hiện theo các bước như trong ví dụ cụ thể dưới đây.

Ví dụ: Khi đo điện cảm của một cuộn dây, ta tiến hành đo 10 lần; các kết quả đo được sắp xếp thành bảng để dễ tính toán, (bảng 2-3).

Trình tự hiệu chỉnh như sau:

1. Tính trị số trung bình cộng:

$$a_{tb} = \frac{\sum a_i}{n} = 275.2 \text{mH}$$

Trường hợp số liệu đo có trị số lớn, ta cũng có thể xác định  $a_{tb}$  bằng cách khác, để tránh phải cộng một dãy trị số lớn có thể gây sai lầm. Ta tự ước định chọn trong số liệu kết quả đo đó một trị số là trung bình cho dãy đó. Trị số này là  $a'_{tb}$ . Lập cột  $(a_i - a'_{tb})$ , phép tính này đơn giản, vì hầu như chúng chỉ sai khác nhau từ một đến hai con số cuối. Và  $a_{tb}$

$$\text{được tính bằng: } a_{tb} = a'_{tb} + \frac{\sum (a_i - a'_{tb})}{n} = 275,0 + \frac{2,0}{10} = 275,2 \text{mH}$$

Bảng 2-3

| Số thứ tự các lần đo | Kết quả các lần đo: $a_i$ (mH) | $(a_i - a'_{tb})$                       | $\varepsilon_i = a_i - a_{tb}$ | $(\varepsilon_i)^2$        |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 1                    | 275,3                          | +0,3                                    | +0,1                           | 0,01                       |
| 2                    | 274,5                          | -0,5                                    | -0,7                           | 0,49                       |
| 3                    | 273,4                          | -1,6                                    | -1,8                           | 3,24                       |
| 4                    | 276,8                          | +1,8                                    | +1,6                           | 2,56                       |
| 5                    | 275,0                          | 0                                       | -0,2                           | 0,04                       |
| 6                    | 276,1                          | +1,1                                    | +0,9                           | 0,81                       |
| 7                    | 274,8                          | -0,2                                    | -0,4                           | 0,16                       |
| 8                    | 275,0                          | 0                                       | -0,2                           | 0,04                       |
| 9                    | 276,2                          | +1,2                                    | +1,0                           | 1,00                       |
| 10                   | 274,9                          | -0,1                                    | -0,3                           | 0,09                       |
|                      | Lấy $a'_{tb}=275,0$            | $\sum(a_i - a'_{tb}) = 4,4 - 2,4 = 2,0$ | $\sum(a_i - a_{tb}) = 7,2$     | $(\varepsilon_i)^2 = 8,44$ |

2. Tính sai số dư  $\varepsilon_i = (a_i - a_{tb})$ . Lập thành cột, cộng riêng các trị số  $\varepsilon_i$  có dấu "+" và  $\varepsilon_i$  có dấu "-", và tổng trị số tuyệt đối  $\sum(a_i - a_{tb})$ :

$$\sum(a_k - a_{tb}) = 3,6$$

$$- \sum(a_s - a_{tb}) = 3,6$$

$$\sum(a_i - a_{tb}) = 7,2$$

Để kiểm tra lại phép tính ta thực hiện bằng cách thử tổng đại số các sai số dư bằng không:

$$\sum(a_k - a_{tb}) - \sum(a_s - a_{tb}) = 3,6 - 3,6 = 0$$

3. Tính sai số trung bình

$$d = \frac{\sum|a_i - a_{tb}|}{\sqrt{n(n-1)}} = \frac{7,2}{\sqrt{90}} = 0,76$$

Kiểm tra lại các sai số dư  $\varepsilon_i$ , nếu  $\varepsilon_i$  nào có trị số thoả mãn  $|\varepsilon_i| > 6d$ , thì kết quả lần đo tương ứng với  $\varepsilon_i$  đó là sai. Nếu chỉ có một, hai trường hợp như vậy, thì ta loại bỏ và phải tiến hành tính toán lại từ đầu. Nếu là nhiều trường hợp như vậy thì phép đo là có vấn đề, phải tiến hành đo lại.

4. Tính sai số trung bình bình phương. Lập cột  $\varepsilon_i^2$  và tính theo công thức:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{8,44}{10-1}} = 0,93$$

Tính sai số trung bình bình phương của trị số trung bình cộng của  $\sigma_{a_{tb}}$  :

$$\sigma_{a_{tb}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,93}{\sqrt{10}} \approx 0,30$$

5. Xác định kết quả đo:

$$X = a_{tb} + t\sigma_{a_{tb}} :$$

trị số t lấy theo bảng 2-2. Ở đây  $n=10$ , thì  $t=3,6$

$$X = 275,2 \pm (3,6 \cdot 0,3) = 275,2 \pm 1,1 \text{ mH}$$

Cuối cùng, ta còn phải chú ý tới cách viết hàng chữ số của kết quả cuối cùng và cách tính tới sai số đo cho trong catalog sử dụng của máy đo.

a. Cách viết hàng chữ số của kết quả đo:

Khi lấy  $t\sigma_{a_{tb}}$  chỉ cần lấy với hai số, vì bản thân  $t\sigma_{a_{tb}}$  là một đại lượng gần đúng có trị số bé, và cũng đã có nghĩa là tất cả các sai số với độ tin cậy 0,997 đều nhỏ hơn nó. Do đó nếu lấy số con số có nghĩa lớn hơn 2, thì việc làm kỹ lưỡng đó đã trở nên vô nghĩa.

Khi lấy  $a_{tb}$ , phải chú ý lấy chữ số sao cho bậc của các số cuối của nó, không được thấp hơn bậc của hai con số của  $t\sigma_{a_{tb}}$ .

Ví dụ, nếu như kết quả ở ví dụ trên lại là :  $X = 275,24 \pm 1,08$  thì ta phải viết lại là:  $X = 275,2 \pm 1,1$ .

b. Cách xử lý sai số của máy đo:

Trị số sai số trong catalog của máy đo là sai số cực đại. Nó biểu thị khả năng sai số có thể gặp phải khi tiến hành đo lường ở điều kiện tiêu chuẩn đã quy định cho máy. Như vậy, nếu không thực hiện lấy chuẩn được máy, tức so sánh với máy mẫu, để xác định ra sai số hệ thống của máy, thì trị số đã cho trong thuyết minh được coi là trị số sai

số ngẫu nhiên cực đại. Các xử lý đối với nó cũng coi như một sai số ngẫu nhiên khác. Khi đó ta không thể cộng gộp lại theo quy luật cộng đại số, như sai hệ thống, mà phải cộng theo quy luật cộng trung bình bình phương.

#### 2.3.4 Tính sai số trong trường hợp đo gián tiếp

Trong nhiều trường hợp, đại lượng cần đo không thể được biểu thị trực tiếp ngay, mà phải tính toán gián tiếp bằng công thức thông qua các đại lượng đo trực tiếp khác. Ví dụ, đo hệ số phẩm chất  $Q$  của mạch điện, ta thực hiện bằng cách đo hai lần tần số giới hạn ở mức 0,707 của mức điện áp cực đại:

$$Q = \frac{f_1 + f_2}{2(f_2 - f_1)}$$

Xét trường hợp tổng quát, đại lượng cần đo là:

$$R = \varphi(B_1, B_2)$$

$B_1$ , và  $B_2$  ở đây là các đại lượng độc lập với nhau, và được đo bằng phép đo trực tiếp.

Khi đo  $B_1$ , ta tiến hành đo  $n_1$  lần và có các sai số là:  $x'_1, x'_2, \dots, x'_{n_1}$

Khi đo  $B_2$ , ta đo  $n_2$  lần và có các sai số là:  $x''_1, x''_2, \dots, x''_{n_2}$

Còn đại lượng cần đo  $R$  được biểu thị bằng  $n$  sai số:  $x_1, x_2, \dots, x_n$

Như vậy, sai số trung bình bình phương của các đại lượng đo trực tiếp và gián tiếp là:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sqrt{\frac{\sum (x'_i)^2}{n_1}} \\ \sigma_2 &= \sqrt{\frac{\sum (x''_i)^2}{n_2}} \\ \sigma &= \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}}\end{aligned}\tag{39}$$

Để tính sai số cho kết quả cần đo, ta phải xét quan hệ giữa các sai số trên. Vì các sai số đều có trị số bé so với kết quả đo, nên để cho tiện tính toán, ta thay nó bằng các gia số, và tìm quan hệ giữa các gia số này:

$$R + \Delta R = \varphi(B_1 + \Delta B_1, B_2 + \Delta B_2)$$

Phân tích vế phải phương trình trên theo chuỗi Taylo:

$$\begin{aligned} R + \Delta R = \varphi(B_1, B_2) &+ \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} \Delta B_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} \Delta B_2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial B_1^2} \Delta B_1^2 + \\ &+ \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial B_2^2} \Delta B_2^2 + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial B_1 \partial B_2} \Delta B_1 \Delta B_2 + \dots \end{aligned}$$

Do đó:

$$\begin{aligned} \Delta R = &\frac{\partial \varphi}{\partial B_1} \Delta B_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} \Delta B_2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial B_1^2} \Delta B_1^2 + \\ &+ \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial B_2^2} \Delta B_2^2 + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial B_1 \partial B_2} \Delta B_1 \Delta B_2 + \dots \end{aligned}$$

Với giả thiết ở trên,  $\Delta B_1, \Delta B_2$  là các trị số bé, nên biểu thức phân tích trên chỉ cần lấy một thành phần đầu thôi:

$$\Delta R = \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} \Delta B_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} \Delta B_2$$

Vì mỗi dãy sai số đều độc lập với nhau, cũng như các sai số trong một dãy cùng độc lập; nên mỗi sai số  $x'_i$  có thể tương ứng với bất kỳ sai số  $x''_i$  nào khi ta áp dụng kết quả trên. Các sai số của đại lượng cần đo  $R$  là một dãy  $n$  sai số sau:

$$\begin{array}{ccccccc} \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} x'_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} x''_1; & \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} x'_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} x''_2 & \dots & \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} x'_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} x''_{n_2}; \\ \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} x'_2 + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} x''_1; & \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} x'_2 + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} x''_2 & \dots & \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} x'_2 + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} x''_{n_2}; \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} x'_{n_1} + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} x''_1; & \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} x'_{n_1} + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} x''_2 & \dots & \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} x'_{n_1} + \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} x''_{n_2}; \end{array}$$

Ta có  $n_1$  dòng và  $n_2$  cột sai số, như vậy:

$$n = n_1 \cdot n_2$$

Tìm tổng bình phương các sai số:

$$\sum x_i^2 = n_2 \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} \right)^2 \sum (x'_i)^2 + n_1 \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} \right)^2 \sum (x''_i)^2 + 2 \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} \right) \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} \right) \sum x'_i x''_i \quad (40)$$

Như đã biết, theo quy tắc phân bố đối xứng của hàm số phân bố sai số, nếu số lần đo lớn thì có thể coi:

$$\sum x'_i x''_i \approx 0$$

Do đó:

$$\sum x_i^2 = n_2 \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} \right)^2 \sum (x'_i)^2 + n_1 \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} \right)^2 \sum (x''_i)^2$$

Chia cả hai vế cho  $n = n_1 n_2$ :

$$\frac{\sum x_i^2}{n} = \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} \right)^2 \frac{\sum (x'_i)^2}{n_1} + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} \right)^2 \frac{\sum (x''_i)^2}{n_2}$$

Thay theo (39), ta có:

$$\sigma^2 = \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B_1} \right)^2 \sigma_1^2 + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B_2} \right)^2 \sigma_2^2 \quad (41)$$

Công thức (41) cho phép tính được sai số của đại lượng đo bằng cách tính gián tiếp theo các sai số của các đại lượng đo trực tiếp:

$$R = \varphi(B_1, B_2, \dots, B_m)$$

Ta cũng có:

$$\sigma_R = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial \varphi}{\partial B_i} \right)^2 \sigma_i^2} \quad (42)$$

Như vậy, sai số của một đại lượng phải đo gián tiếp thì bằng trị số trung bình bình phương của các sai số mỗi đại lượng cục bộ đo trực tiếp.

Từ phép cộng trung bình bình phương, ta có nhận xét là : sai số của đại lượng tính toán gián tiếp thì chủ yếu được xác định bằng các thành phần sai số cục bộ nào có giá trị lớn, mà ít phụ thuộc vào các thành phần sai số cục bộ nào có trị số bé. Điều này cho ta một chú ý cần thiết khi đo là: tăng độ chính xác của phép đo trực tiếp những đại lượng cục bộ nào có vai trò quyết định hơn; cũng như có thể bỏ qua những thành phần sai số cục bộ nào bé hơn ba lần so với thành phần sai số cục bộ lớn nhất để cho phép tính được đơn giản hơn.

### 2.3.6 Tính sai số khi đo tại vị trí chỉ thị cực trị

Trong kỹ thuật đo lường điện tử, có nhiều trường hợp chỉ cần xác định vị trí có mức cực trị của điện áp tín hiệu, khi ta biến đổi đại lượng cần đo hay biến đổi mạch đo. Những trường hợp đo này ví dụ như khi đo tần số bằng tần số-mét cộng hưởng; khi đo thông số của mạch điện bằng Q-mét hay bằng dây đo...

Cũng còn có những trường hợp đo mà để nâng cao độ chính xác, người ta còn tiến hành đo bằng cách đo hai vị trí cùng mức ở hai phía của vị trí chỉ thị cực đại hay cực tiểu của điện áp tín hiệu. Mức độ này thường là một mức đã chọn một cách hợp lý tùy theo khả năng của thiết bị đo; nó bằng một phần nào đó trị số của mức cực đại hay gấp khoảng vài lần trị số của mức cực tiểu.

Những trường hợp như vậy thường gặp khi đo, nên ta cần tính sai số đo trong các trường hợp chung này.

Sai số khi đo để xác định vị trí cực trị của phép đo tiến hành một lần đo, tùy thuộc vào mức khả năng phân biệt của thang độ chỉ thị của thiết bị chỉ thị. Khả năng phân biệt thang độ chỉ thị được biểu thị trên hình 2-9 là trị số của  $\Delta x$  mà đại lượng cần đo  $\beta$  có trị số bất kỳ nằm trong khoảng từ  $\beta_1$  đến  $\beta_2$ .

Để xác định sai số, thì cần phải tìm được giá trị độ lệch cực đại  $\Delta\beta$ , khi ứng với mức  $\Delta\alpha$  đã cho. Muốn vậy, ta phân tích hàm số  $\alpha=f(\beta)$  thành chuỗi Taylo tại vị trí cực đại của hàm số, nghĩa là tại  $\beta=\beta_{cd}$  ở hình 2-9. Sau đó bỏ các thành phần có đạo hàm lớn hơn bậc hai, ta có:

$$\alpha = f(\beta_{cd}) + f'(\beta_{cd})\Delta\beta + \frac{1}{2}f''(\beta_{cd})\Delta\beta^2 \quad (43)$$

Từ hình 2-9 ta có:

$$f(\beta_{cd})=\alpha_d$$

và :  $f'(\beta_{cd})=0$

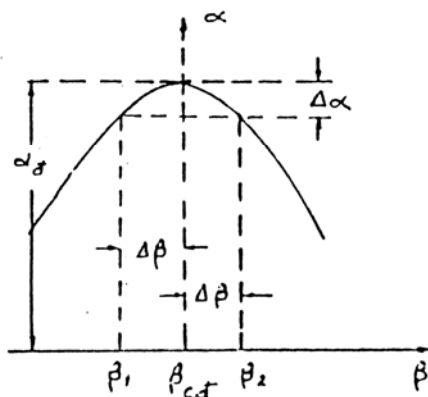
Do đó:

$$\alpha = \alpha_d + \frac{1}{2}f''(\beta_{cd})\Delta\beta^2$$

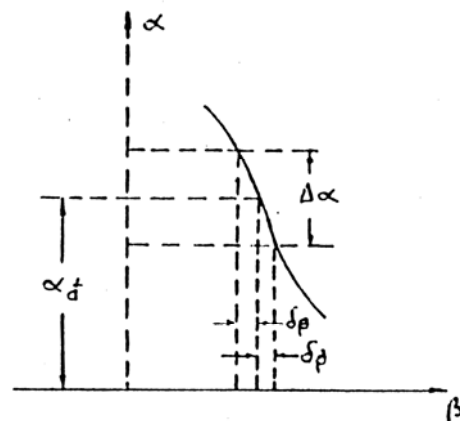
Khi:  $\alpha - \alpha_d = \Delta\alpha$  (44)

thì ta có:

$$\Delta\alpha = \frac{1}{2}f''(\beta_{cd})\Delta\beta^2 \quad (45)$$



Hình 2-9



Hình 2-10

Giải phương trình (45) để tìm  $\Delta\beta$ , ta có:

$$\Delta\beta = \sqrt{\frac{2\Delta\alpha}{f''(\beta_{cd})}} = M_\beta \quad (46)$$

Công thức (46) là công thức để tính sai số cực đại khi đo ở vị trí chỉ thị cực đại hay cực tiểu.

Khi đo ở vị trí chỉ thị tại một mức đã định nào đó, ví dụ như tại điểm uốn, thì sai số của phép đo cũng tùy thuộc vào mức khả năng phân biệt chỉ thị thang độ  $\Delta\alpha$  của thiết bị chỉ thị. Hình 2-10 biểu thị trị số sai số cực đại  $\delta\beta$  mắc phải tương ứng với giá trị của  $\Delta\alpha$ . Ta cần tìm quan hệ giữa  $\delta\beta$  và  $\Delta\alpha$ . Muốn vậy, phân tích hàm số  $\alpha=f(\beta)$  theo chuỗi Taylor như biểu thức (43), chỉ cần thay ở đây  $\beta=\beta_d$  như hình 2-10. Thông thường người ta chọn mức chỉ thị tùy ý là tương ứng với vị trí điểm uốn của đường biểu diễn điện áp trường hợp đo, sở dĩ vậy vì tại đây hàm số có độ dốc cực đại. Như vậy, trong trường hợp này đạo hàm bậc hai sẽ bằng không, nghĩa là ta có:

$$\alpha = f(\beta_d) + f'(\beta_d)\delta\beta$$

Ta đặt:

$$\alpha - f(\beta_d) = \frac{\Delta\alpha}{2} \quad (48)$$

thì ta có

$$\frac{\Delta\alpha}{2} = f'(\beta_d)\delta\beta$$

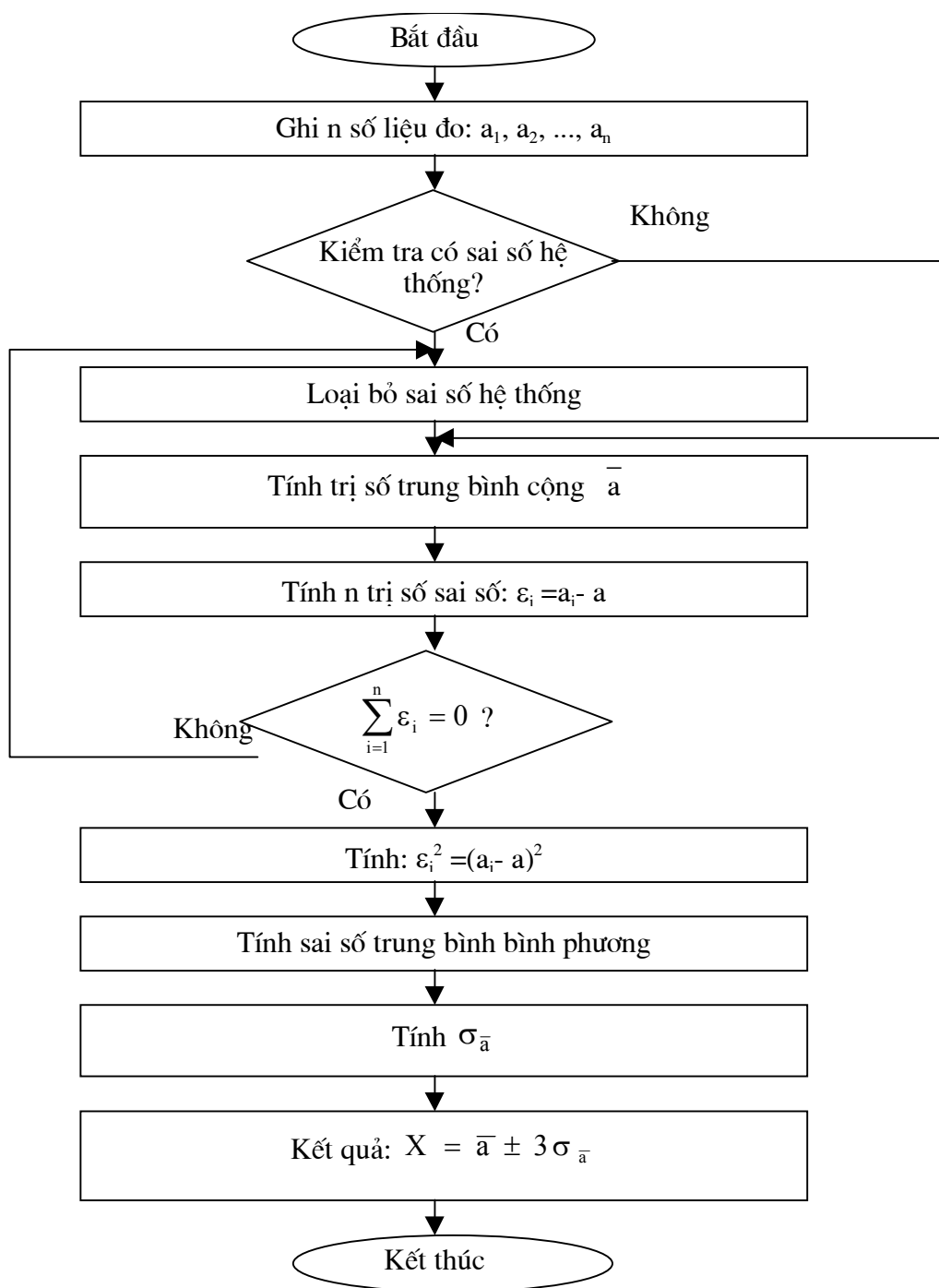
Do vậy:

$$\delta\beta = \frac{\Delta\alpha}{2f'(\beta_d)} \quad (49)$$

Công thức (49) là công thức để tính sai số cực đại khi đo tại một mức nào đó của điện áp tín hiệu, được tính theo khả năng phân biệt thang độ chỉ thị của thiết bị đo.

Trên đây là các công thức tính sai số cho trường hợp chung khi đo tại vị trí chỉ thị cực đại và cực tiểu, hay chỉ thị tại một mức đã cho nào đó. Ở các chương tiếp theo sẽ trình bày các ví dụ cụ thể để tính sai số cho các trường hợp dùng phương pháp đo này.

### 2.3.7 Lưu đồ thực hiện quá trình xử lý, định giá sai số và xác định kết quả đo.



## Chương III

# QUAN SÁT VÀ ĐO LƯỜNG DẠNG TÍN HIỆU

### 3.1 KHÁI NIỆM CHUNG

Trong kỹ thuật đo lường điện tử, một trong những yêu cầu cơ bản để xác định tín hiệu là quan sát dạng của tín hiệu. Các tín hiệu trong kỹ thuật điện tử thường được biểu diễn theo quan hệ biến thiên theo thời gian hay theo quan hệ tần số. Do vậy, cần phải có thiết bị để vẽ được trực tiếp đồ thị biến thiên của tín hiệu (ví dụ  $u=f(t)$ ) để có thể quan sát dạng và đo lường được các thông số cường độ và thời gian của tín hiệu. Đo lường bằng phương pháp quan sát dạng như vậy có các ưu điểm là có thể tận dụng được một giác quan nhạy cảm nhất của con người là thị giác. Phép đo như vậy cho phép định tính một cách nhanh chóng, phân biệt được cụ thể các loại tín hiệu, và cũng còn có thể định lượng được chính xác các đại lượng cần đo. Cũng vì vậy mà các loại thiết bị này thường được dùng rất phổ biến trong kỹ thuật đo.

Thiết bị trực tiếp dùng để nghiên cứu dạng của tín hiệu là dao động ký. Dao động ký điện tử thực hiện vẽ đồ thị dao động của tín hiệu bằng một ống tia điện tử. Nó là một loại máy đo có nhiều tính năng tốt như: trở kháng vào lớn, độ nhạy cao, quán tính ít, chỉ thị bằng ống tia điện tử..., nên có nhiều khả năng đo lường, và là một trong số những máy đo cơ bản nhất, được sử dụng phổ biến nhất trong lĩnh vực đo lường trong điện tử.

Dao động ký còn có tên gọi là “máy hiện sóng”; trên thực tế, ta hay gọi theo phiên âm là “ô-xi-lô”. Nó là một loại máy đo để xem cũng như để ghi lại trên phim ảnh các giá trị tức thời của các điện áp biến đổi có chu kỳ hay không có chu kỳ.

Trong kỹ thuật điện tử, muốn quan sát, đo lường tín hiệu sóng điện từ, ví dụ như: các dạng tín hiệu cao tần điều chế, các dạng tín hiệu xung; xác định các thành phần trong phổ tín hiệu; đo lường biên độ, tần số, độ di pha..., của tín hiệu, thì dao động ký là loại thiết bị đo lường hiệu quả và tiện dụng hơn cả.

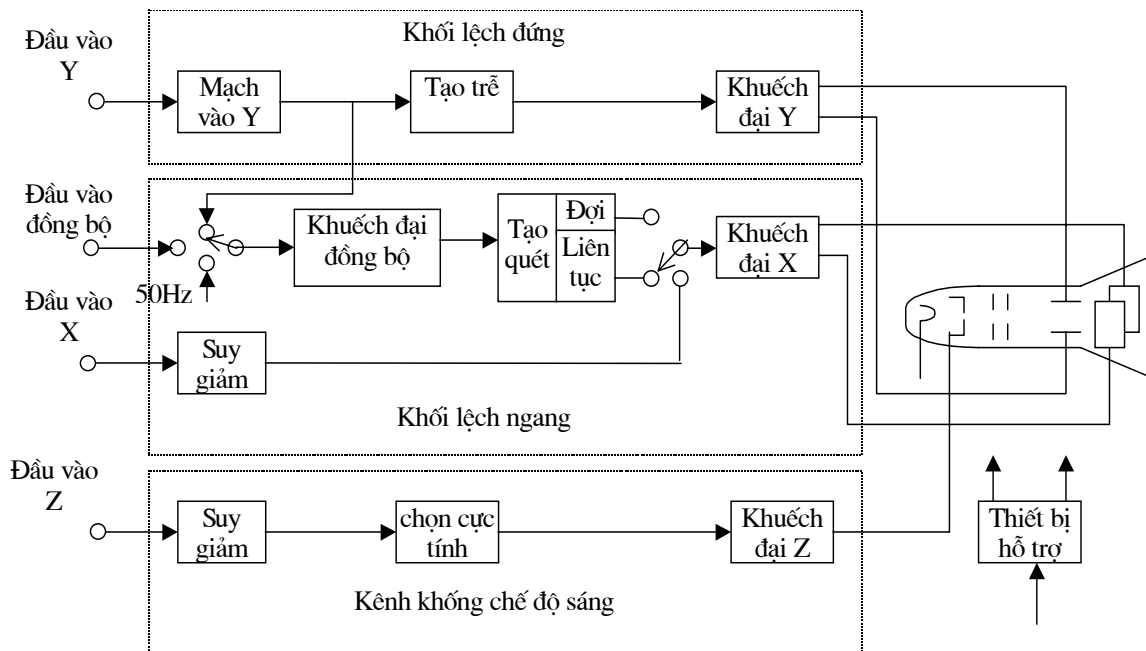
Ngoài ra, nó còn được dùng để đo lường rất nhiều các đại lượng biến đổi khác, như các biến đổi trong cơ học, sinh vật học, y học... Cách đo thường được thực hiện bằng cách dùng một bộ chuyển đổi để chuyển hoá các dạng năng lượng cần đo sang dạng năng lượng điện rồi dùng ôxilô để nghiên cứu.

Vì vậy, dao động ký có thể coi là một máy đo vạn năng không những được dùng rộng rãi trong ngành điện tử, mà còn được dùng trong rất nhiều các ngành công nghiệp khác nữa.

Trong các giáo trình về đo lường điện, ở tần số thấp, ta đã xét đến loại dao động ký từ điện, có khung dây quay. Nó là loại dao động ký có quán tính, nghĩa là điện áp hay dòng điện cần nghiên cứu được tác dụng lên một hệ thống có quán tính của dao động ký. Do đó, dao động ký này chỉ được dùng trong phạm vi tần số thấp, chừng khoảng đến 10kHz.

Khi đặt vấn đề chọn dùng ôxilô, có nghĩa là chọn được loại ôxilô mà các tính năng kỹ thuật của nó phù hợp với yêu cầu đặt ra của bài toán đo lường, nghiên cứu, với các đặc tính và thông số của tín hiệu hay mạch điện tử.

Khi chỉ quan sát tín hiệu biến đổi liên tục hay tín hiệu xung, với tần số lặp lại tương đối cao, và chỉ cần các thông số chính của chúng là biên độ, độ rộng thì có thể chỉ dùng loại ôxilô tương tự (analog) vạn năng thông dụng.



Hình 3-1

Khi cần đo lường, quan sát đồng thời hai hay nhiều tín hiệu thì dùng loại ôxilô nhiều kênh; để có thể trực tiếp so sánh dao động đồ của hai hay nhiều tín hiệu trên màn hình. Với cách quan sát, đo lường này cho phép ta đánh giá, so sánh các thông số, đặc tính của chúng một cách định tính song nhanh chóng và có nhận xét hiệu quả. Thường thì có các ôxilô hai kênh với cấu tạo hai hệ thống súng điện tử riêng biệt trong cùng một ống phóng tia điện tử (CRT); còn trường hợp để quan sát đồng thời số kênh nhiều hơn

hai, thì ôxilô có kèm theo thiết bị chuyển mạch điện tử trợ giúp. Với sự kèm theo chuyển mạch điện tử, có thể đồng thời vẽ trên cùng một màn hình từ 2,4,6... đến 12,14 dao động đồ để so sánh, quan sát. Cách thức “chuyển mạch” ở đây thông dụng là “chuyển mạch phân kênh theo thời gian” và “chuyển mạch phân kênh theo biên độ (theo mức)”.

Khi cần nghiên cứu, đo lường các tín hiệu độc lập, (không lặp lại, tín hiệu phi chu kỳ) thì ta dùng loại **ôxilô không đồng bộ**. Tùy theo yêu cầu nghiên cứu, tùy thuộc vào tần số của tín hiệu nghiên cứu, mà với tín hiệu phi chu kỳ ta còn có thể dùng loại **ôxilô có nhớ**. Có loại **ôxilô có nhớ kiểu tương tự** và loại **ôxilô có nhớ kiểu số**.

Khi cần nghiên cứu tín hiệu như tín hiệu xung có độ rộng rất nhỏ hay tín hiệu có chu kỳ với tần số cao (tín hiệu siêu cao tần) thì dùng **ôxilô hoạt nghiệm**, loại ôxilô được thực hiện theo phương pháp quan sát lấy mẫu (ôxilô stroboscop).

Khi có yêu cầu nghiên cứu chi tiết, cụ thể hơn về các thông số, đặc tính của tín hiệu, muốn đo các thông số khác của nó, muốn xử lý được các kết quả quan sát, muốn so sánh chúng với các giá trị chuẩn mà đã được cho trước, hoặc khi sử dụng ôxilô như là một phần của hệ đo lường tự động thì ta cần chọn dùng **ôxilô có cấu tạo cài đặt bộ vi xử lý (microprocessor)**.

Trong kỹ thuật điện tử, tần đoạn được sử dụng nhiều là cao tần nên dao động ký được dùng ở đây là loại hầu như không có quán tính. Loại dao động ký này là dao động ký điện tử. Tuy nhiên, trong dao động ký điện tử cũng còn phân loại tùy theo tia điện tử bị khống chế bởi điện trường hay từ trường. Nhưng ở đây, ta chỉ xét tới các loại dao động ký điện tử dùng điện trường để khống chế tia điện tử. Nó là loại được dùng nhiều trong đo lường.

Sơ đồ khối của dao động ký điện tử tiêu biểu bao gồm các bộ phận như hình 3-1. Ta sẽ nghiên cứu lần lượt các tính năng, tác dụng của từng khối riêng rẽ của sơ đồ khối cơ bản này.

## 3.2 CẤU TẠO ÔXILÔ

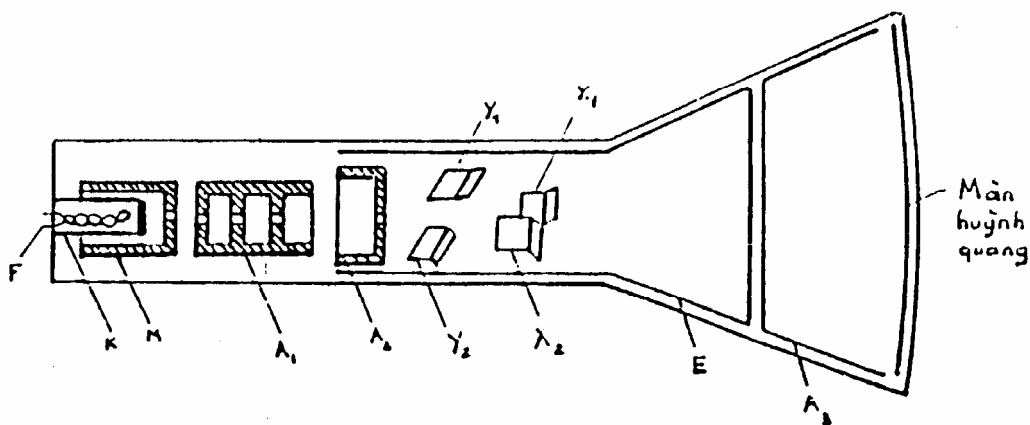
### 3.2.1 Cấu tạo ống tia điện tử

Bộ phận chủ yếu của dao động ký là ống tia điện tử. Về cấu tạo, ống tia điện tử là một ống chân không có vỏ bằng thủy tinh, bên trong có chứa các điện cực. Đầu ống là hình trụ tròn, chứa súng điện tử và hai cặp phiến làm lệch. Đầu cuối của ống loe to thành hình dạng nón cụt, đáy hình nón là màn huỳnh quang, bên trong có quét một vài lớp mỏng huỳnh quang. Bên trong vách thành cuối ống có quét một lớp than chì dẫn điện,

suốt từ hai cặp phiến lệch tới gần màn huỳnh quang. Hình dạng bổ dọc của ống tia như hình 3-2.

### 1. Cấu tạo của súng điện tử

Súng điện tử gồm có: sợi đốt F, catốt K, lưới điều chế M, các anốt  $A_1$  và  $A_2$  (hình 3-2). Nhiệm vụ của súng điện tử là tạo nên một chùm tia điện tử nhỏ, gọn, và bắn tới



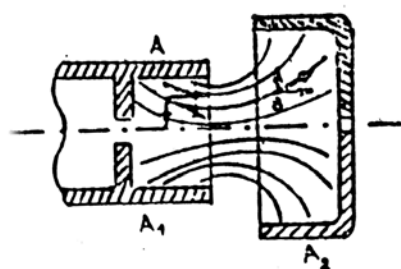
Hình 3-2

màn huỳnh quang để gây tác dụng phát sáng. Do tính chất này nên người ta đặt tên cho một tập hợp các điện cực đó là súng điện tử.

Chùm tia điện tử được phát xạ từ catốt K, do được nung nóng nhờ sợi đốt F, đi qua một số các lỗ tròn nhỏ của các điện cực M,  $A_1$ ,  $A_2$ , tạo thành một chùm tia có hình dạng nhọn bắn tới màn huỳnh quang.

Sở dĩ tạo nên được một chùm tia nhọn là do các điện cực M,  $A_1$  và  $A_2$  có các điện thế khác nhau tạo thành một điện trường không đều tác động tới chùm tia và làm hội tụ chùm tia đó lại trên màn huỳnh quang.

Ta xét quỹ đạo của chùm tia điện tử khi đi qua điện trường của hai anốt  $A_1$  và  $A_2$ .



Hình 3-3

Hình 3-3 vẽ các đường sức điện trường giữa hai điện cực này. Điện thế tại  $A_2$  lớn hơn  $A_1$ , nên chiều của đường sức là chiều đi từ  $A_2$  đến  $A_1$ . Nếu điện tử chuyển động theo chiều từ  $A_1$  tới  $A_2$ , khi tới vị trí điểm A của điện trường (hình 3-3) thì nó đồng thời chịu tác dụng của hai thành phần lực, một phần thành phần theo phương vuông góc với chùm tia, và một thành phần dọc theo chùm tia. Như vậy tại vị trí A, khuynh hướng của chùm tia điện tử là chuyển

động dọc theo phương trục ống; đồng thời co ép lại (hội tụ) với nhau theo phương bán kính của chùm tia. Sang tới vị trí điểm B thì thành phần lực theo phương bán kính lại đổi chiều. Như vậy, chùm tia điện tử lại có khuynh hướng tản đi (phân kỳ) khỏi tâm theo phương bán kính, song do cấu tạo của các điện cực, sự phân bố của đường sức ở điểm B ít bị cong hơn ở phần vị trí điểm A. Do vậy phân lượng vận tốc theo phương bán kính ở điểm B có trị số bé hơn ở điểm A. Khuynh hướng hội tụ của chùm tia điện tử là nhiều hơn khuynh hướng phân kỳ. Tác dụng của các anốt  $A_1$  và  $A_2$  như một thấu kính điện tử để hội tụ tia điện tử. Nếu biến đổi điện áp cung cấp của các điện cực này, tức thay đổi hiệu điện thế giữa chúng, (thông thường bằng cách thay đổi điện áp trên  $A_1$ ), thì có thể điều chỉnh được độ hội tụ của chùm tia điện tử trên màn huỳnh quang (vì vậy, anốt  $A_1$  còn được gọi là anốt tiêu tụ).

Tác dụng của điện trường giữa  $A_1$  và M cũng hình thành một thấu kính điện tử tương tự. Nó cũng hội tụ sơ bộ tia điện tử tại vị trí trên trục vào khoảng giữa cực  $A_1$ .

Điện áp anốt  $A_2$  được chọn sao cho điện tử có được một vận tốc đủ để khi bắn tới màn huỳnh quang có thể gây phát sáng với một độ sáng cần thiết trên màn huỳnh quang. Điện áp  $U_{A_2}$  tăng thì điện tử càng được tăng tốc và sự phát sáng càng sáng hơn. Vì vậy anốt  $A_2$  còn được gọi là anốt tăng tốc.

Về hình dạng của các điện cực được cấu tạo là các điện cực về bên trái có vành hẹp, các điện cực về bên phải có vành rộng hơn (hình 3-2) và các anốt đều có một hay hai vách ngăn. Tác dụng của các vách này là ngăn lại các điện tử đi quá xa trục ống, tác dụng hội tụ dễ hơn và tạo nên một điện trường đặc biệt theo ý muốn, để tạo nên khả năng hội tụ lớn hơn phân kỳ. Như vậy là do cấu tạo hình dạng của các điện cực và điện áp đặt lên các điện cực, mà nó được bộ súng điện tử có khả năng phát ra chùm tia điện tử và tiêu tụ được chùm tia này trên màn huỳnh quang.

## **2. Hệ thống cặp phiến làm lệch tia điện tử**

Chùm tia điện tử nhỏ gọn được súng điện tử tạo nên, trước khi tới màn huỳnh quang thì có qua một hệ thống các cặp phiến làm lệch. Hệ thống này gồm hai cặp phiến làm lệch đặt lần lượt trước sau và vuông góc với nhau bao quanh trục ống (hình 3-2). Một cặp theo phương vuông góc, một cặp theo phương nằm ngang; mà ta thường gọi là cặp phiến làm lệch Y và cặp phiến làm lệch X (vì căn cứ vào phương của hệ toạ độ vuông góc mà xác định).

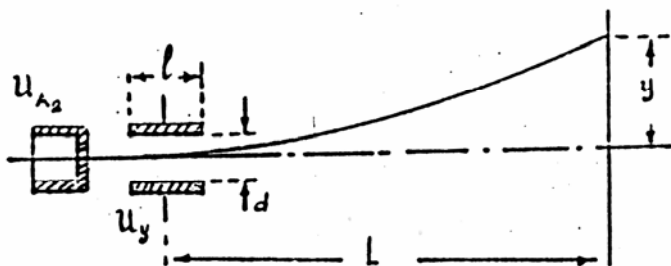
Nếu trên một cặp phiến làm lệch có đặt một hiệu điện thế, thì khoảng không gian giữa chúng có suất hiện một điện trường. Khi điện tử đi qua giữa hai phiến, do bị tác dụng của điện trường này mà nó bị thay đổi quỹ đạo chuyển động. Khoảng cách lệch của điểm sáng do chùm tia tạo nên trên màn so với vị trí ban đầu phụ thuộc vào cường độ điện trường và thời gian bay của điện tử qua khoảng không gian giữa hai phiến.

Cường độ điện trường càng lớn, cũng như thời gian bay càng lâu thì độ lệch của quỹ đạo càng tăng. Cường độ điện trường tỷ lệ với điện áp  $U_y$  đặt lên cặp phiến lệch (hình 3-4), và tỷ lệ nghịch với khoảng cách hai phiến  $d$ . Thời gian bay của điện tử qua khoảng giữa hai phiến thì tỷ lệ với độ dài của phiến  $l$  và tỷ lệ nghịch với tốc độ của điện tử. Tốc độ của điện tử lại tỷ lệ với điện áp trên anốt  $A_2$ . Như vậy, tăng điện áp  $U_{A_2}$  thì độ sáng trên màn tăng, nhưng đồng thời cũng làm giảm độ lệch tia điện tử; hay nói một cách khác, là làm giảm độ nhạy của ống tia.

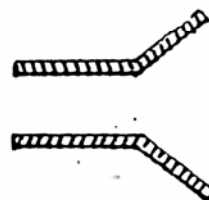
Từ hình 3-1 còn thấy độ lệch tia điện tử tỷ lệ với khoảng cách  $L$  là khoảng cách từ điểm giữa của phiến lệch đến màn huỳnh quang.

Như vậy, ta có quan hệ biểu thị độ lệch:

$$y = \frac{U_y l L}{2d U_{A_2}} \quad (1)$$



Hình 3-4



Hình 3-5

Trong đó,  $y$  là độ lệch của tia sáng trên màn hình, được tính theo mm;  $l$  là chiều dài phiến, tính ra mm;  $U_y$  là hiệu điện thế đặt trên cặp phiến, tính ra vôn;  $L$  là khoảng cách từ tâm phiến đến màn, tính theo mm;  $d$  là khoảng cách giữa hai phiến của một cặp, tính ra mm;  $U_{A_2}$  là điện áp trên anốt  $A_2$  tính ra vôn.

Nếu chia (1) cho  $U_y$  thì được một đại lượng đặc trưng cho đặc tính của ống tia, gọi là độ nhạy của ống. Nó là độ lệch của tia sáng trên màn tính ra mm khi đặt trên cặp phiến lệch một hiệu điện thế là 1 vôn. Với các dao động ký hiện nay, thì thường dùng ống tia có độ nhạy khoảng 0,2-1mm/V.

Trong một số trường hợp, khi ta muốn tăng độ nhạy mà không thể tăng chiều dài  $l$ , vì không thể tăng quá mức chiều dài của ống. Nên thường cấu tạo cặp phiến lệch có loa ở đầu cuối chứ không phải là một bản phẳng hoàn toàn (hình 3-5).

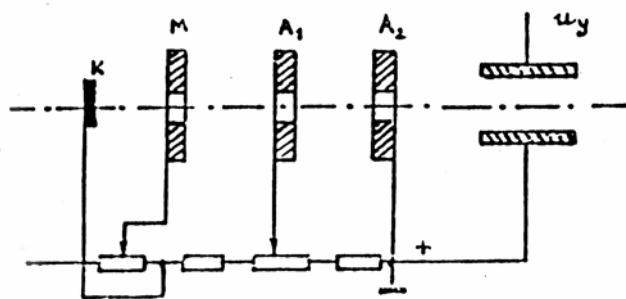
### 3. Màn huỳnh quang

Trên phía trong màn của ống tia điện tử được quét một vài lớp mỏng chất huỳnh quang. Khi có điện tử bắn vào, thì tại những vị trí bị bắn phá, chất huỳnh quang sẽ phát sáng. Sau tác dụng bắn phá của điện tử, thì tại nơi bắn phá, ánh sáng còn được giữ lại một thời gian ngắn. Thời gian này gọi là độ dư huy của màn hình. Với sự cấu tạo của các chất huỳnh quang khác nhau, thì màn có độ dư huy khác nhau. Và tùy theo công dụng quan sát tín hiệu biến đổi nhanh hay chậm khác nhau, mà dao động ký được dùng các ống tia có độ dư huy lớn hay bé.

Về màu sắc ánh sáng, thì tùy theo chất huỳnh quang mà dao động ký có màu tia sáng khác nhau. Để dễ quan sát, thì ánh sáng thường dùng là màu xanh lá cây, vì màu xanh thường thích nghi với sinh lý của mắt. Với các dao động ký cần dùng để chụp ảnh lại, thì màu tia sáng hay dùng là màu tím, vì màu tím bắt nhạy hơn với phim ảnh. Với các dao động ký để quan sát các quá trình biến đổi chậm thì dùng các ống tia có độ dư huy cao.

### 4. Vấn đề gây méo đồ thị dao động

Độ sáng của dao động đồ trên màn của dao động ký thì không những chỉ phụ thuộc vào năng lượng của mỗi điện tử, mà còn vào tất cả số lượng điện tử được bắn tới màn hình trong một đơn vị thời gian, (tức là phụ thuộc vào mật độ điện tử). Vì thế, nếu thay đổi được mật độ của tín hiệu điện tử thì có thể thay đổi được độ sáng của dao động đồ trên màn hiện sóng. Thay đổi mật độ điện tử thì có thể thực hiện một cách dễ dàng bằng cách thay đổi điện áp trên cực điều chế M (hình 3-2). Ta đã biết, giữa M và  $A_1$  cũng có cấu tạo điện trường như giữa  $A_1$  và  $A_2$ , để hội tụ tia điện tử. Do vậy, nếu thay đổi điện áp trên M thì độ tiêu tụ của tia điện tử cũng bị ảnh hưởng. Đó là lý do tại sao mà khi thực hiện điều chế độ sáng, ta chỉ dùng được điện áp có biên độ bé thôi. Vì nếu cực M có điện thế dương lớn thì không những độ sáng của dao động đồ tăng mà còn gây méo cả dao động đồ trên màn do sự tiêu tụ bị giảm đi. Phép đo do vậy cũng sai đi.

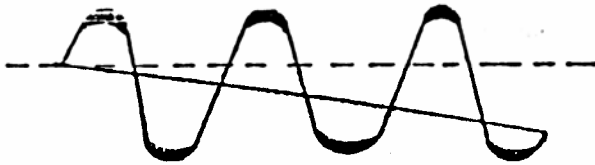


Hình 3-6

Độ sáng của dao động đồ còn tăng khi ta tăng điện áp trên anốt  $A_2$ . Nhưng khi tăng điện áp trên  $A_2$  thì độ nhạy bị giảm. Để loại bỏ mâu thuẫn này, trong ống tia điện tử thường được cấu tạo thêm anốt  $A_3$  ở sau các phiến làm lệch. Cấu tạo của anốt  $A_3$  là lớp than chì dẫn điện được quét lên xung quanh thành ống ở gần sát màn (hình 3-2). Điện áp trên  $A_3$  thường lớn gấp đôi điện áp trên  $A_2$ . Dưới tác

dụng của điện trường này, điện tử được gia tốc thêm nhưng độ nhạy hầu như không bị ảnh hưởng gì. Tuy nhiên, điện tử cũng vẫn được tăng tốc khi đi qua các cặp phiến lệch do tác dụng của  $U_{A_3}$ , nhưng khoảng thời gian này không đáng kể so với khoảng thời gian điện tử đi từ cặp phiến lệch đến màn hình. Hơn nữa, sự giảm độ nhạy do  $U_{A_3}$  có thể bù lại bằng cách giảm điện áp  $U_{A_2}$ .

Độ nhạy và độ tiêu tụ của dao động ký còn bị ảnh hưởng bởi hiệu điện thế giữa  $A_2$  và với các cặp phiến làm lệch. Để khử bỏ ảnh hưởng này, thì phải làm cho điện thế của  $A_2$  bằng điện thế ở giữa hai cặp phiến (tức điện thế trên đường trục của ống). Giữa K và  $A_2$  có điện áp khoảng 1,5÷2kV; để dễ dàng thực hiện được điện thế trên  $A_2$  bằng điện thế giữa hai phiến lệch thì thường nối đất điện cực  $A_2$  mà không nối đất K. Nếu lại không chú trọng một cách đầy đủ đến vấn đề trên, mà nối đất một phiến trong hai phiến của cặp, còn phiến kia thì đưa vào điện áp xoay chiều cần quan sát (hình 3-6) thì sẽ có hiện tượng méo dao động đồ. Thật vậy, ứng với từng thời điểm khác nhau, điện thế ở



Hình 3-7

giữa hai cặp phiến sẽ được phụ thêm một đại lượng bằng nửa điện áp xoay chiều cần quan sát  $U_y$ . Nó trở thành một điện thế biến thiên tùy theo  $U_y$ . Ví dụ ứng với khi  $U_y$  có trị số dương thì điện thế tại điểm giữa phiến là

$$U_{A_2} + \frac{U_y}{2}; \text{ khi đó độ nhạy sẽ}$$

nhỏ nhất. Khi ứng với  $U_y$  có trị số âm, thì điện thế tại điểm giữa phiến là :  $U_{A_2} - \frac{U_y}{2}$ ;

khi đó, độ nhạy lại có trị số lớn nhất. Dao động đồ của  $U_y$  (ví dụ  $U_y$  là điện áp hình sin), sẽ không còn đối xứng đối với trị số trung bình nữa (hình 3-7).

Vì độ hội tụ phụ thuộc vào điện trường giữa các phiến và  $A_2$ , trong trường hợp này vì chúng có thay đổi, nên sự tiêu tụ chỉ thực hiện được tốt ứng với một thời điểm nào đó thôi. Nên nếu như thực hiện tiêu tụ tốt ứng với khi điện thế giữa hai phiến không có điện

áp phụ thêm, thì nó sẽ mất tiêu tụ nhất ứng với các thời điểm có phụ thêm  $\pm \frac{U_y}{2}$  (hình 3-7).

Để khử hiện tượng méo dao động đồ này, thì người ta thực hiện cung cấp điện áp cần quan sát vào cặp phiến lệch là điện áp đối xứng (đối xứng đối với điểm điện thế bằng không), tức điện áp trên hai phiến đồng thời có lệch pha nhau  $180^\circ$ . Như vậy thì điện thế tại các điểm giữa các cặp phiến là không đổi khi có điện áp cần quan sát đặt vào

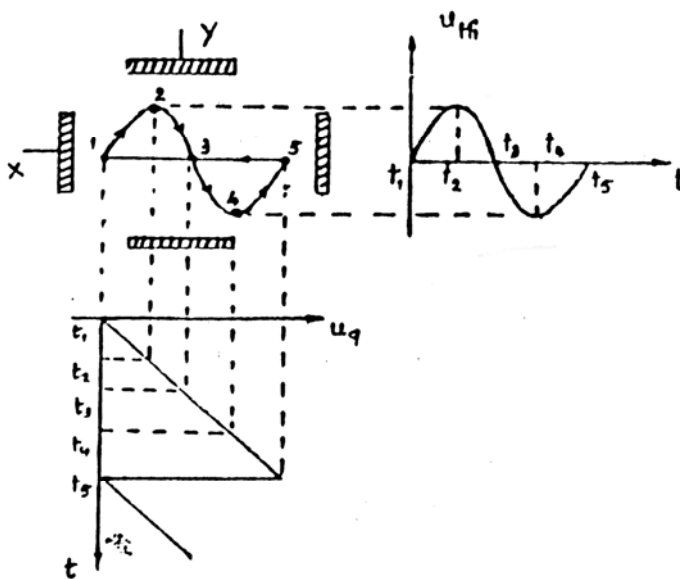
phiến lệch. Để thực hiện như vậy, thì tầng khuếch đại điện áp tín hiệu cần quan sát trước khi đưa vào cặp phiến làm lệch thường dùng là kiểu khuếch đại đẩy kéo hay tự động đảo pha.

Kênh Z trên hình 3-1 là kênh khống chế cường độ sáng, để thay đổi độ sáng của vết tia điện tử trên màn hình. Tín hiệu điều khiển cường độ sáng được đưa tới cực điều chế M của ống tia điện tử CRT.

### 3.2.2 Bộ tạo điện áp quét

#### 1. Nguyên lý quét đường thẳng trong dao động ký

Để có được hình dạng của tín hiệu dao động biến thiên theo thời gian trên màn của dao động ký thì người ta phải đưa điện áp của tín hiệu cần nghiên cứu lên cặp phiến làm lệch Y, còn trên cặp phiến lệch X là điện áp quét răng cưa. Điện áp quét răng cưa là điện áp có hình dạng biến thiên bậc nhất theo thời gian như hình răng cưa. Như vậy, do tác dụng đồng thời của cả hai điện trường lên hai cặp phiến, mà tia điện tử dịch chuyển cả theo phương trục x và phương trục y. Quỹ đạo của tia điện tử dịch chuyển trên màn sẽ vạch ra hình dạng của điện áp nghiên cứu biến thiên theo thời gian. Để minh họa đơn giản hơn, ta dùng giản đồ vẽ từng điểm tương ứng theo thời gian như hình 3-8.

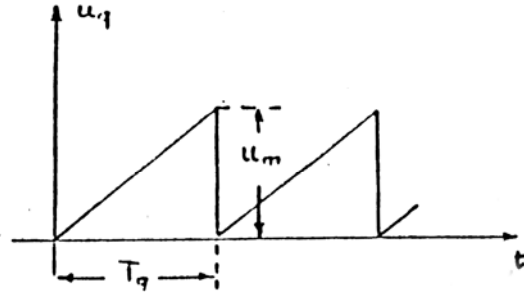


Hình 3-8

Dạng lý tưởng của điện áp quét răng cưa như hình 3-9. Với điện áp quét như vậy, tia điện tử mới quét được với vận tốc đều theo phương trục ngang. Ứng với  $U_{\text{quét}} = U_m$  thì điểm sáng (tức vị trí của tia điện tử trên màn huỳnh quang) sẽ ở đầu giới hạn cuối của đường quét màn, so với điểm giới hạn đầu là khi điện áp quét bằng không, (điểm 1 và điểm 5 trên hình 3-8). Sau khi hết một chu kỳ thì tia điện tử được trở về vị trí cũ. Sau đó, với các chu

kỳ tiếp theo, nó lại cũng được quét đi quét lại trên cùng một quỹ đạo đó của màn huỳnh quang. Nếu tần số quét đủ cao, màn huỳnh quang có độ dư huy đủ mức cần thiết, thì khi chỉ mới có điện áp quét đặt vào cặp phiến X, thì ta có một đường sáng theo phương nằm

ngang. Khi lại có cả điện áp cần nghiên cứu đặt vào phiến Y, và nếu chu kỳ của điện áp quét răng cưa bằng một hay một số nguyên lần chu kỳ của điện áp nghiên cứu, thì trên màn hình xuất hiện dao động đồ của một hay vài chu kỳ của điện áp nghiên cứu (hình 3-8 là khi ứng với  $T_{\text{quét}} = T_{\text{tín hiệu}}$ ). Nếu không thoả mãn là một hình đứng yên mà là một hình luôn di động rồi loạn làm ta không quan sát được. Hiện tượng như vậy gọi là *không đồng bộ* (tức là không đồng pha giữa điện áp quét và điện áp tín hiệu nghiên cứu).



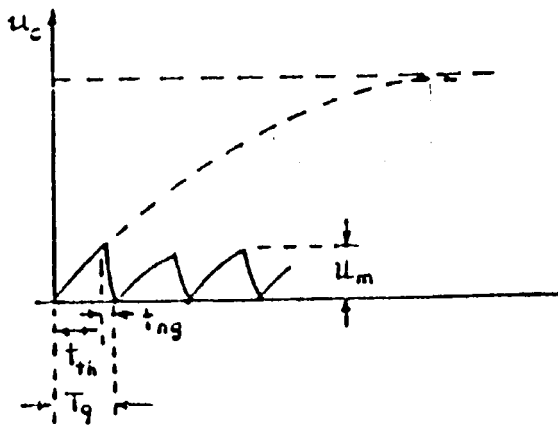
Hình 3-9

Để có được điện áp quét răng cưa, thì dùng cách lấy điện áp nạp hay phóng của một tụ điện. Vì vậy, dạng điện áp răng cưa đạt được thực tế là bị cong đi, vì chúng biến thiên theo quy luật của hàm số mũ:

$$u_c = \frac{1}{C} \int i dt$$

Muốn cho dạng tín hiệu điện áp quét gần giống như dạng lý tưởng, thường người ta chỉ lấy một phần nhỏ ở đầu của đường cong điện áp. Phần điện áp răng cưa có tốc độ biến đổi điện áp chậm hơn là phần thời gian quét thuận ( $t_{th}$ ). Phần này để vẽ dao động đồ. Vì sự phóng điện của tụ điện là không thể tức thời, mà phải có một thời gian nào đó. Thời gian này là khoảng quét ngược ( $t_{ng}$ ), nó cần thiết để cho tia điện tử trên màn dịch chuyển trở lại vị trí ban đầu để rồi lại tiếp tục quét trên quỹ đạo cũ.

Vì  $t_{th} \gg t_{ng}$ , nên đường sáng mà tia điện tử vạch lên trên màn hình trong khoảng  $t_{th}$  thì sáng hơn so với đường sáng của thời gian quét ngược  $t_{ng}$ . Trên dao động đồ của điện



Hình 3-10

áp nghiên cứu cũng bị mất đi một phần chu kỳ để tia điện tử quay trở về vị trí ban đầu, khoảng mất này chính bằng  $t_{ng}$ . Tuy có mờ hơn, nhưng dù sao đường vạch sáng của tia điện tử trong thời gian quét ngược cũng gây rắc rối cho sự quan sát dao động đồ. Hầu hết trong các dao động ký, nó được xoá đi bằng cách là ứng với lúc  $t_{ng}$  thì tạo nên một xung điện áp âm có độ rộng bằng  $t_{ng}$ , đưa tới cực điều chế của ống tia điện tử, nên tia điện tử bị mất đi trong khoảng thời gian này.

Khi điện áp quét răng cưa không thẳng thì gây nên méo dao động đồ do tốc

độ quét không đều nên dao động bị dày sít và dẫn thừa ra khác nhau tại những vị trí khác nhau theo phương X. Vì vậy, cần cố gắng cải tiến mạch điện để có được điện áp quét răng cưa có dạng gần như lý tưởng.

Để định lượng sự sai khác của điện áp quét thực tế (hình 3-10) với điện áp quét răng cưa lý tưởng (hình 3-9), người ta đánh giá bằng hệ số không đường thẳng  $\gamma$ . Hệ số không đường thẳng là tỷ số của khoảng biến thiên tốc độ điện áp quét trong thời gian quét thuận trên trị số tốc độ trung bình:

$$\gamma = \frac{\left(\frac{dU}{dt}\right)_{\max} - \left(\frac{dU}{dt}\right)_{\min}}{\left(\frac{dU}{dt}\right)_{\text{tb}}} \quad (2)$$

Giá trị tốc độ quét trung bình được lấy là trị số trung bình cộng của giá trị tốc độ cực đại và cực tiểu. Nên:

$$\gamma = 2 \frac{\left(\frac{dU}{dt}\right)_{\max} - \left(\frac{dU}{dt}\right)_{\min}}{\left(\frac{dU}{dt}\right)_{\max} + \left(\frac{dU}{dt}\right)_{\min}} \quad (3)$$

$\gamma$  được tính theo phần trăm (%).

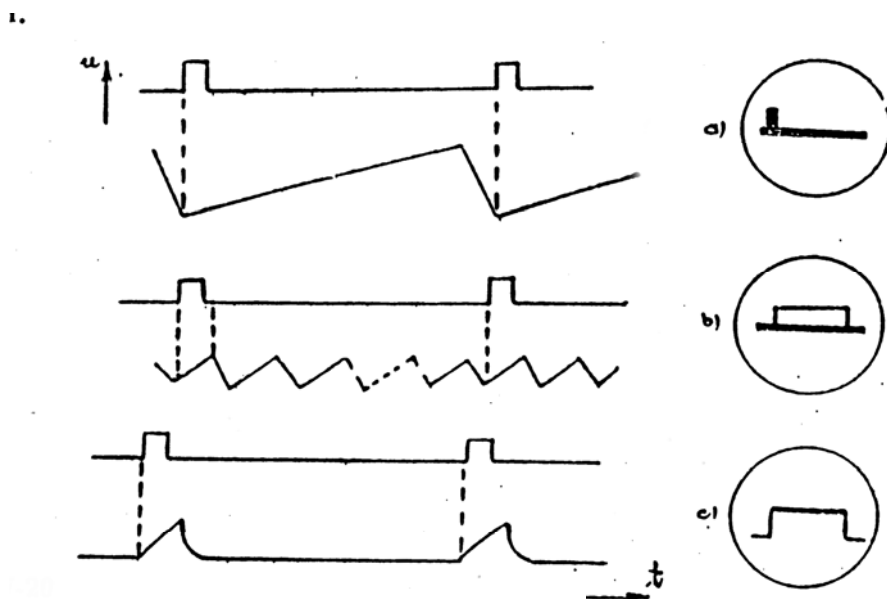
## 2. Bộ tạo điện áp quét răng cưa có chu kỳ

Trong dao động ký thường dùng hai chế độ điện áp quét răng cưa chế độ tạo quét liên tục và chế độ tạo quét đợi.

Chế độ quét liên tục dùng để quan sát các điện áp tín hiệu có chu kỳ, có hệ số  $\frac{\tau}{T}$  lớn ( $\tau$  là độ rộng của thời gian duy trì tín hiệu,  $T$  là chu kỳ của tín hiệu). Có nhiều loại mạch tạo điện áp quét răng cưa đã được dùng trong dao động ký, trong đó, để nắm được nguyên lý và các tính năng kỹ thuật, ta chỉ xét tới vài loại hay gặp trong các dao động ký thông thường. Mạch tạo quét liên tục sẽ bao phần tạo dao động liên tục và phần tạo ra điện áp quét.

## 3. Mạch tạo điện áp quét làm việc ở chế độ đợi

Các mạch tạo quét làm việc ở chế độ liên tục nói trên có thể chuyển thành mạch làm việc ở chế độ quét đợi, nghĩa là mạch chỉ tạo ra điện áp răng cưa khi nào có xung điện áp hiệu với cực tính và biên độ xác định kích động.



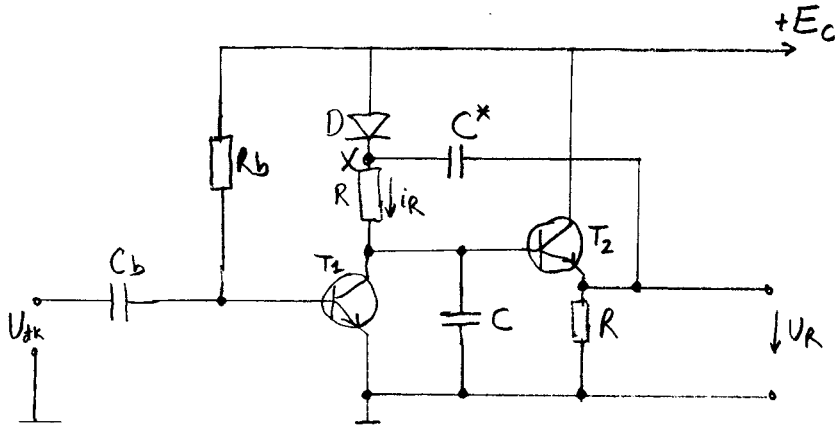
Hình 3-11

Sở dĩ phải thực hiện quét ở chế độ đợi, vì khi cần quan sát tín hiệu có hệ số  $\frac{\tau}{T}$  bé, thì không thể dùng cách quét liên tục có chu kỳ được. Các hình vẽ 3-11 minh họa các trường hợp đồ thị dao động có được khi thực hiện quét liên tục và quét đợi.

Hình 3-11a là trường hợp khi lấy chu kỳ quét bằng chu kỳ lặp lại của tín hiệu ( $T_q = T$ ). Khi đó, trên dao động đồ có hình dạng xung rất bé, không thể tiến hành quan sát và đo lường được. Nếu chọn cho chu kỳ quét bằng một ước số nguyên của chu kỳ tín hiệu ( $nT_q = T$ ), như hình 3-11b; thì trên dao động đồ hình dạng xung đã được khuếch đại ra, đã tận dụng được kích thước của màn huỳnh quang, nhưng đường sáng vẽ dạng của tín hiệu lại rất mờ so với độ sáng của đường quét ngang. Sở dĩ như vậy, vì trong  $n$  lần xuất hiện hiệu điện áp quét, thì chỉ có một lần xuất hiện xung tín hiệu trên màn của dao động ký. Hơn nữa, dao động đồ cũng không ổn định, vì rất khó thực hiện đồng bộ (xung đồng bộ chỉ đồng bộ có một lần trong  $n$  chu kỳ điện áp quét). Do vậy, phải thực hiện quét đợi như hình 3-11c. Quá trình quét đợi có nghĩa là cứ "đợi" đến khi có tín hiệu nghiên cứu thì mạch quét mới tạo ra điện áp răng cưa). Nếu như vậy thì dao động đồ sẽ được như ý muốn của ta.

Cũng như các mạch tạo điện áp quét làm việc ở chế độ liên tục, các mạch tạo điện áp chế độ đợi cũng có nhiều kiểu. Ở đây, chúng tôi chỉ trình bày một mạch làm ví dụ minh họa, để diễn giải được nguyên lý của chế độ quét đợi, đó là mạch BOOSTRAP (hình 3-12).

Sơ đồ biểu diễn điện áp của mạch điện hình 3-12 cho trên 3-13.



Hình 3-12

Từ sơ đồ mạch ta có thể sơ bộ đưa ra nhận xét sơ bộ như sau: Khi đi-ốt thông tầng  $T_1$  đóng vai trò như một mạch TF đơn giản, trong đó  $T_1$  làm nhiệm vụ của một khoá điện tử.

Điện áp trên tụ  $C$  được đưa ra một tầng của tải  $C$  chung  $T_2$  rồi thông qua tụ  $C^*$ . Do đó điện áp bù để đưa về điểm  $X$  để bù méo do sự giảm dòng điện trên điện trở  $R$  tích phân gây ra.

Ta sẽ phân tích chi tiết hoạt động của mạch này.

1. *Trạng thái ban đầu:* ( $t_1 \geq t \geq 0$ )

-Đi-ốt  $D$  thông. Khi đó:  $U_X = E_C - U_D \approx E_C$ .

- $T_1$  thông bão hoà:  $U_C = U_{C_{bh}} \approx 0V$ .

- $T_2$  khuếch đại  $C$  chung nên:

$$U_{RE} = U_q \approx 0V$$

Điện áp trên  $C^*$ :  $U_{C^*} = U_R - U_q \approx E_C$ .

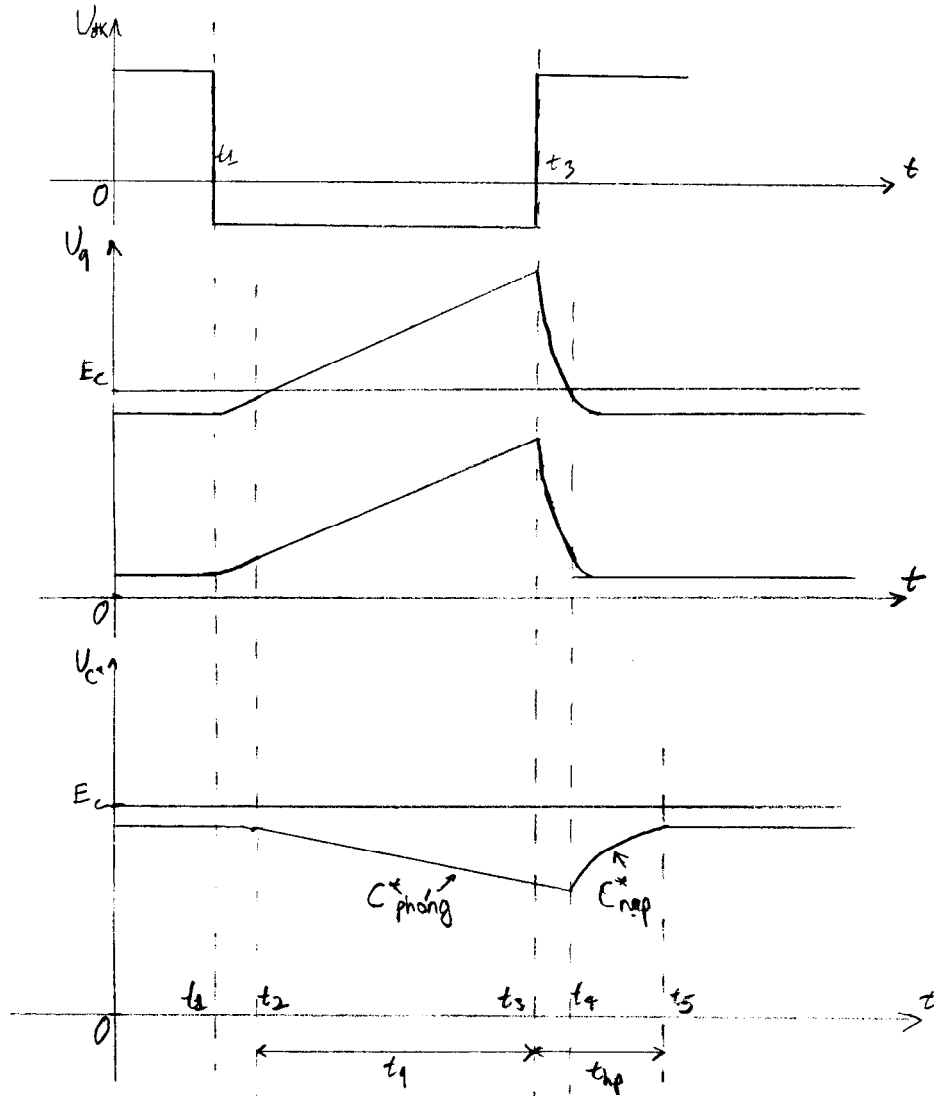
2. *Trạng thái tạo điện áp quét  $U_q$*  ( $t_3 \geq t \geq t_1$ )

Tại thời điểm  $t=t_1$  ta có một điện áp điều khiển  $U_{dk}$ , có độ rộng  $\tau=t_3 - t_2$ .

Lúc này  $T_1$  tắt nên tụ  $C$  nạp điện theo hai giai đoạn.

*Giai đoạn 1:* khi đi-ốt  $D$  còn thông: ta có, khi  $C$  nạp điện thì  $U_C$  tăng, nên  $U_q$  tăng, thông qua tụ  $C^*$  làm cho  $U_X$  tăng (với  $U_X$  là điện áp tại điểm  $X$  như trên hình 3-12). Nhưng trong lúc này, do đi-ốt  $D$  còn thông nên  $U_q$  tăng theo quy luật đường cong.

Giai đoạn 2: khi  $t=t_2$  thì  $U_X$  tăng lớn hơn  $E_C$ .  $U_X$  tăng theo quy luật tuyến tính vì khi  $U_C$  tăng thì  $U_q$  tăng và do  $C^* \gg C$  nên  $U_X$  tăng tương ứng. Trên điện trở  $R$  sẽ có một điện áp không thay đổi vì  $U_R = U_X - U_C$  không đổi (do  $U_C$  tăng bao nhiêu thì  $U_X$  cũng tăng bấy nhiêu. Do  $U_R$  không đổi nên  $I_R$  không đổi do đó dòng nạp cho tụ  $C$  không



Hình 3-13

đổi, với thời gian nạp  $t_q=t_3 - t_2$ .

3. Thời gian hồi phục: tại  $t = t_3$  kết thúc xung đầu vào.  $T_1$  bão hoà, do đó tụ  $C$  phóng điện qua  $T_1$  dẫn đến  $U_C$  giảm nên  $U_q$  giảm và do đó  $U_X$  giảm. Đến  $t = t_4$  thì  $U_X \leq E_C$  làm cho đi-ốt  $D$  thông trở lại.

Khi D thông, tụ  $C^*$  sẽ được nạp bổ xung, tới khi tụ  $C^*$  được nạp đầy thì sẽ kết thúc thời gian hồi phục.

*Nhận xét:* Ta có thể đưa ra ba nhận xét cơ bản sau.

Sở dĩ trong giai đoạn tạo quét  $t_q$ , điện áp trên tụ điện C tăng tuyến tính là nhờ có nguồn nạp chính là  $C^*$  có trị số cực lớn để tích điện làm nhiệm vụ giống như nguồn một chiều để nạp cho tụ C.

Để giảm méo phi tuyến thì tầng khuếch đại  $T_2$  phải được điều chỉnh sao cho hệ số khuếch đại  $k_U \rightarrow 1$  nghĩa là R đủ lớn.

Tụ  $C^*$  phải lớn nhưng không quá lớn vì nếu quá lớn thì sẽ làm tăng thời gian hồi phục của mạch. Tụ C phải nhỏ nhưng cũng không được chọn quá nhỏ vì nếu quá nhỏ thì nó có giá trị tương đương như tụ ký sinh, do đó mạch sẽ không làm việc ổn định.

### 3.2.3 Bộ khuếch đại của dao động ký

Hầu hết các dao động ký đều có bộ khuếch đại điện áp của cặp phiên lệch dọc Y. Bộ khuếch đại này là khuếch đại dải rộng. Độ rộng của dải thông tần của nó tùy thuộc vào yêu cầu quan sát của phổ tín hiệu nghiên cứu.

Với các dao động ký đơn giản, thì bộ khuếch đại có dải thông tần khoảng chừng 150-200kHz (tính với mức 0,7). Với các dao động ký dùng để quan sát và đo lường các xung có độ rộng đến  $1\mu s$ , thì chúng có dải thông tần khoảng từ 3-5MHz. Với các dao động ký để quan sát xung có độ rộng nhỏ hơn nữa ( $<1\mu s$ ), thì dải tần là 1-30MHz. Đặc biệt với các dao động ký để ghi tín hiệu có tốc độ biến thiên nhanh, thì dải thông tần của bộ khuếch đại tới 90MHz.

Hệ số khuếch đại của các bộ khuếch đại tùy thuộc vào dải thông tần, và chúng khác nhau với các loại dao động ký khác nhau. Đặc điểm chất lượng của các bộ khuếch đại dao động ký còn khác nhau ở chỗ chúng có hay không các tầng sau: tầng khuếch đại catốt ở đầu vào, tầng khuếch đại đẩy kéo hay tự động đảo pha ở đầu ra. Sở dĩ vậy, vì khuếch đại phụ tải catốt có điện trở vào lớn, điện dung vào nhỏ, như vậy khi quan sát dao động ký không gây nên tác dụng ghép trở lại với mạch điện được quan sát tín hiệu. Có thực hiện đảo pha tín hiệu để cung cấp đối xứng ở cặp phiên lệch, thì độ tiêu tụ chòm tia mới tốt, độ nhạy mới đối xứng nhau đối với trục X, và không gây nên méo đồ thị dao động do cách cung cấp tín hiệu không đối xứng gây nên.

Ngoài bộ khuếch đại Y, hầu hết các dao động ký còn dùng bộ khuếch đại X. Vì nhiệm vụ chủ yếu của khuếch đại X chỉ để khuếch đại điện áp răng cưa, nên dải thông tần cũng như hệ số khuếch đại của nó bé và hẹp hơn của bộ khuếch đại Y. Bộ khuếch đại X còn được dùng để khuếch đại tín hiệu ngoài khi không dùng bộ tạo điện áp quét

răng cưa. Mạch điện khuếch đại X cũng như Y, đều có bộ phận để điều chỉnh độ khuếch đại.

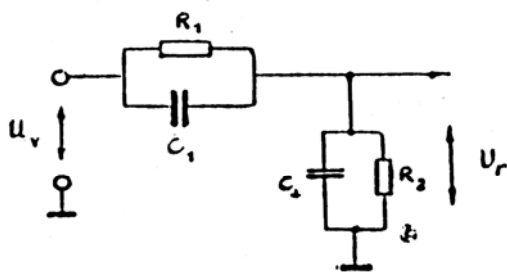
Khi không có bộ khuếch đại X, mà chỉ cần khuếch đại tín hiệu theo cặp phiên X thì dùng bộ khuếch đại đồng bộ.

Trong các dao động ký có quét dời, thì bộ khuếch đại đồng bộ (để khuếch đại tín hiệu đồng bộ) cũng như khuếch đại X, thì cần dải thông tần hẹp, hệ số khuếch đại nhỏ và không thực hiện đảo pha ở đầu ra.

Ở một vài loại dao động ký còn thêm bộ khuếch đại tín hiệu điều chế (khuếch đại này đôi khi còn gọi là khuếch đại Z), để điều chế độ sáng của đồ thị dao động trên màn huỳnh quang.

Ngoài ra, cũng cần xét riêng các bộ phận chi tiết của bộ khuếch đại như: bộ phân áp, bộ chuyển cực, bộ tạo trễ, bộ dịch chuyển chùm tia điện tử...

### 1. Bộ phân áp



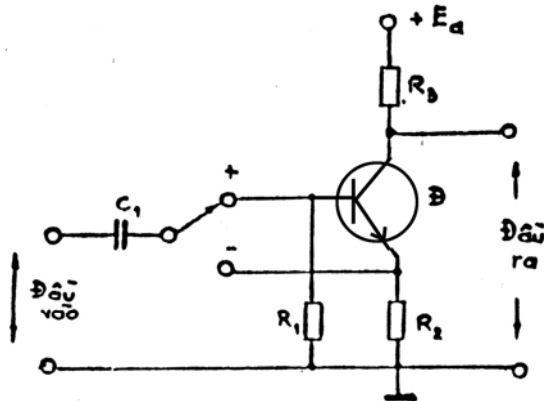
Hình 3-14

Ở đầu vào của bộ khuếch đại có bộ phân áp. Phân áp thường là mạch điện dung-điện trở, nó có đặc điểm là có hệ số phân áp không đổi trong một dải tần số rộng.

Hình 3-14 là một mắt của bộ phân áp. Hệ số phân áp là:

$$k = \frac{U_v}{U_r} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} \quad (4)$$

Trong đó,  $U_v$  là điện áp đầu vào,  $U_r$  là điện áp ở đầu ra, và:



Hình 3-15

$$Z_1 = \frac{R_1}{1 + j\omega C_1 R_1}$$

$$Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega C_2 R_2}$$

Như vậy, từ biểu thức (4) ta thấy trong trường hợp chung thì hệ số phân áp tùy thuộc vào tần số, ( $k$  là hàm số của  $\omega$ ).

Nếu chọn các linh kiện sao cho thỏa mãn điều kiện:

$$R_1 C_1 = R_2 C_2 = \tau$$

thì:

$$Z_1 = \frac{R_1}{1 + j\omega\tau}$$

$$Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega\tau}$$

do đó:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{R_1}{R_2};$$

nghĩa là:  $k = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$  là hằng số, không phụ thuộc vào tần số.

## 2. Bộ chuyển cực

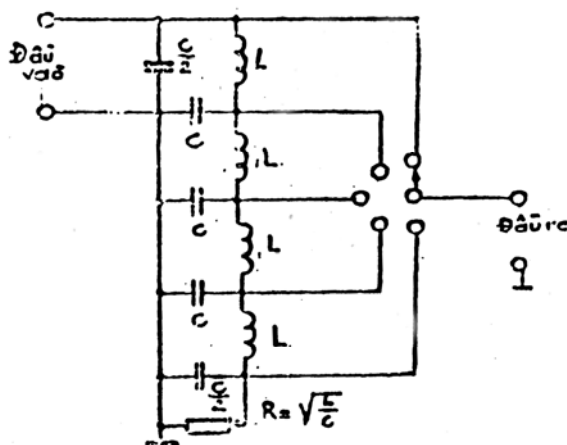
Đầu ra của bộ khuếch đại đồng bộ trong các dao động ký có quét đội thường có bộ chuyển cực xung tín hiệu đồng bộ. Một ví dụ mạch chuyển cực đơn giản như hình 3-15. Công dụng của bộ chuyển cực là để biến đổi xung có cực tính bất kỳ thành xung có một cực tính nhất định, và một biên độ yêu cầu để đưa tới kích thích cho bộ tạo điện áp quét là xung âm, thì nếu xung tín hiệu nghiên cứu có cực tính dương thì nó được đưa vào cực lưới của bộ chuyển cực hình 3-15. Nếu xung tín hiệu có cực tính âm thì lại cần đưa vào ca-tốt của đèn. Như vậy, ở đầu ra ta luôn luôn có tín hiệu có một cực tính theo yêu cầu.

## 3. Bộ tạo trễ

Thông thường ở hầu hết các bộ quét đội đều được kích thích bằng bản thân tín hiệu điện áp cần nghiên cứu. Do vậy, vì thời điểm bắt đầu của điện áp quét chậm hơn thời điểm bắt đầu xung tín hiệu cần quan sát một khoảng thời gian nào đó, nên sườn trước của xung tín hiệu cần quan sát dễ bị mất đi, không được vẽ đầy đủ trên màn huỳnh quang của dao động ký. Để khắc phục điều này, trong các dao động ký hiện nay thì bộ khuếch đại Y có mắc thêm đường dây làm chậm.

Như vậy, xung nghiên cứu tới được cặp phiến làm lệch Y đã làm chậm đi một thời gian sau khi bộ tạo điện áp quét đã bắt đầu cho điện áp quét răng cưa. Do đó, xung tín hiệu sẽ được hiện lên trên màn hình một cách đầy đủ mà không bị mất đi như trước nữa.

Tất cả quá trình quét đội mà có cả sự làm chậm tín hiệu nghiên cứu như trên, còn được gọi là quá trình quét trễ.



Hình 3-16

Một ví dụ mạch tạo trễ như đường dây giả. Đường dây làm chậm pha của tín hiệu là đường dây giả (vì nếu là "dây thực"

thì kích thước sẽ công kênh). Nó bao gồm một số mắt điện cảm và điện dung như hình 3-16.

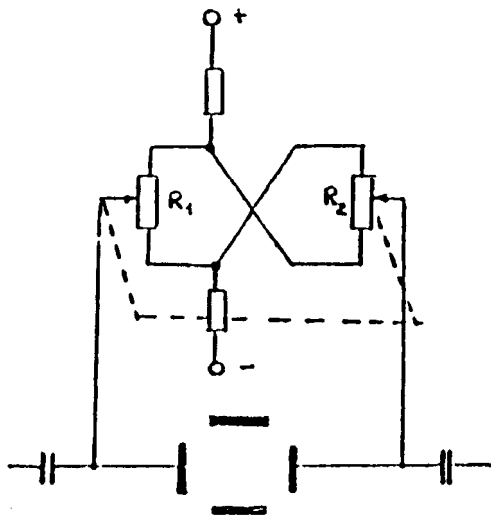
Thời gian làm trễ của điện áp tín hiệu ở đầu ra so với đầu vào của đường dây có  $n$  mắt là:

$$t = n\sqrt{LC} \quad (5)$$

Với  $L$  và  $C$  là trị số điện cảm và điện dung ở mỗi mắt của đường dây.

Trên thực tế cấu tạo, các dao động ký thường có mức trễ tín hiệu khoảng 0,2-0,3 $\mu$ s.

#### 4. Bộ dịch chuyển tia điện tử



Hình 3-17

Bộ dịch chuyển tia điện tử hay dao động đồ trên màn theo trục  $X$  và  $Y$  được thực hiện bằng cách biến đổi điện áp một chiều đặt giữa hai phiến của một cặp phiến lệch.

Về mạch điện cấu tạo thì có nhiều cách khác nhau. Có dao động ký thực hiện bằng cách biến đổi điện áp một chiều cung cấp cho tầng khuếch đại đẩy kéo cuối của bộ khuếch đại  $Y$  hay  $X$ . Vì điện áp này là đối xứng đối với đất, nên tại một phiến có gia tăng dương thì phiến kia lại có trị số giảm âm.

Hình 3-17 là ví dụ một loại mạch để dịch chuyển tia điện tử. Mạch này có hai biến trở thống nhất điều chỉnh  $R_1$  và trên  $R_2$ .

Khi điều chỉnh biến trở thì điện thế tại hai phiến biến thiên thì điện thế tại hai phiến biến thiên hơn kém nhau một lượng điện áp bằng hai lần  $\Delta U$  là điện áp biến thiên trên  $R_1$  và trên  $R_2$ . Với loại này thì có độ dịch chuyển tia điện tử nhảy gấp đôi so với loại dùng một biến trở.

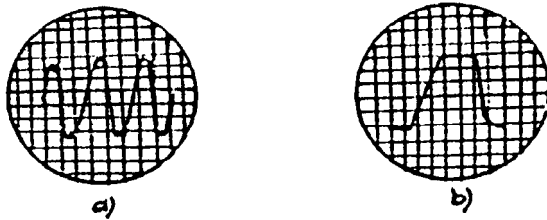
### 3.3 CÔNG DỤNG CỦA DAO ĐỘNG KÝ (Ô-XI-LÔ)

Dao động ký không chỉ là một thiết bị để quan sát dạng của tín hiệu cần nghiên cứu, mà nó còn dùng để đo lường các thông số đặc tính (thông số cường độ và thời gian) của tín hiệu. Ví dụ như có thể đo biên độ, đo tần số, đo di pha, đo khoảng thời gian, đo hệ số điều chế...

Các phương pháp đo lường bằng dao động ký được dùng rất thông dụng, vì phép đo thường đơn giản, thực hiện dễ dàng và cũng khá chính xác. Kỹ thuật đo lường bằng dao động ký càng ngày càng được phong phú thêm theo những yêu cầu đo lường mới của kỹ thuật điện tử, và đã đóng một vai trò quan trọng (Ở đây, ta chỉ xét tới những phương pháp đo cơ bản mà chưa đề cập tới ở các chương khác).

### 3.3.1 Đo biên độ của điện áp tín hiệu

Đo biên độ điện áp có thể thực hiện bằng cách so sánh dao động đồ của điện áp cần đo với dao động đồ của một điện áp chuẩn đã biết trị số. Cách thực hiện đo như hình 3-18, ở đây biên độ của điện áp tín hiệu cần đo (hình 3-18b) được so sánh với biên độ của tín hiệu điện áp chuẩn (hình 3-18a) bằng kích thước dao động đồ của chúng trên màn hiển sóng có kẻ ô ly.



Hình 3-18

Phép đo biên độ điện áp bằng dao động ký tuy có độ chính xác không thật cao nhưng nó có ưu điểm là vừa quan sát được dạng lại vừa định lượng được nhanh chóng trị số biên độ của tín hiệu cần nghiên cứu. Nó càng có ưu điểm khi đo biên độ của tín hiệu có dạng bất kỳ, khác với dạng của hình sin và thường khó có thể đo được bằng vôn-mét.

Để nâng cao độ chính xác của phép đo, người ta thường dùng một bộ điện áp chuẩn là bộ tạo dao động tần số thấp có biên độ ổn định.

Cách đo tiến hành như sau: đầu tiên, đo chiều dài của dao động đồ  $l_x$  của tín hiệu điện áp nghiên cứu bằng trị số độ dài hình học của các ô kẻ ly trên màn dao động ký. Sau đó, thay điện áp cần nghiên cứu bằng điện áp có dạng hình sin của bộ tạo dao động điện áp chuẩn, mà tần số của bộ tạo dao động này bằng tần số cơ bản của tín hiệu nghiên cứu. Sở dĩ như vậy, để tín hiệu của bộ tạo dao động điện áp chuẩn có cùng một dải tần phổ gần như của tín hiệu nghiên cứu cần đo biên độ. Đo độ dài dao động đồ  $l_{ch}$  của tín hiệu điện áp hình sin chuẩn. Khoảng  $l_{ch}$  được tính từ đỉnh cực đại đến đỉnh cực tiểu của điện áp. Dùng một vôn-mét để đo  $U_{ch}$  của điện áp tín hiệu chuẩn. Vì ta có quan hệ giữa  $U_{mx}$  và  $l_x$  cũng như  $2\sqrt{2}U_{ch}$  và  $l_{ch}$  nên ta có:

$$U_{mx} = 2\sqrt{2}U_{ch} \frac{l_x}{l_{ch}} \quad (6)$$

Để tính sai số của phép đo này, thì dùng cách tính sai số của phép đo gián tiếp. Trong đó, sai số tương đối cực đại là:

$$m_x^2 = m_{ch}^2 + m_{t_x}^2 + m_{t_{ch}}^2 \quad (7)$$

Trong công thức (7):

$m_{ch}$  là sai số tương đối cực đại của vôn-mét

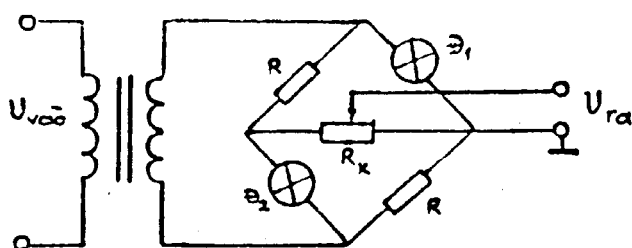
$m_{t_x}$  là sai số tương đối cực đại khi đo độ dài dao động đồ của điện áp cần đo.

$m_{t_{ch}}$  là sai số tương đối khi đo độ dài dao động đồ của điện áp hình sin chuẩn.

Muốn cho  $m_{t_x}$  và  $m_{t_{ch}}$  bé thì cần tạo dao động đồ có kích thước lớn, và bề dày của tia điện tử (đường kính của điểm sáng trên màn) phải thật mảnh (nét). Trên thực tế, kích thước của dao động đồ thường lấy trong khoảng hai phần ba đường kính của màn. Nếu lấy quá lớn thì khó hội tụ ở phần rìa của dao động đồ do đó có sai số sẽ lớn.

Để dễ đo, thường điều chỉnh để có  $I_x = I_{ch}$ , và độ sáng được điều chỉnh với mức độ vừa phải để đảm bảo tia điện tử có độ tiêu tụ tốt nhất.

Khi đó, các công thức (6) và (7) sẽ tương đương với:



Hình 3-19

$$U_{mx} = 2\sqrt{2}U_{ch}$$

$$m_x^2 = m_{ch}^2 + m_1^2$$

Nếu thực hiện được chu đáo các bước nói trên, thì độ chính xác của phép đo có thể đạt được khá cao, và có thể so sánh được với độ chính xác khi đo bằng vôn-mét.

Với một số dao động ký, điện áp của bộ phận chuẩn điện áp được đo bằng vôn-mét lắp đặt ngay trong dao động ký. Với các dao động ký đơn giản thì không có vôn-mét, trị số của điện áp được xác định trên thang độ của một điện trở biến đổi được trực tiếp khắc độ bằng vôn hay đơn vị theo biểu đồ khắc độ.

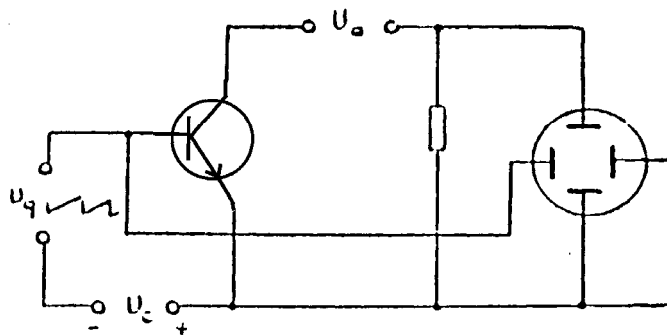
Một loại mạch chuẩn biên độ đơn giản và thông dụng như hình 3-19. Nguyên lý làm việc của mạch này là: điện áp xoay chiều có tần số 50Hz lấy từ nguồn cung cấp, qua biến áp đưa vào một đường chéo của cầu. Cầu gồm hai điện trở không đổi R và hai điện trở không đường thẳng  $R_D$ .  $R_D$  thường dùng loại đèn điot sáng công suất nhỏ; trị số của  $R_D$  nhỏ khoảng bằng nửa điện trở R. Vì vậy, trên đường chéo kia của cầu có thể lấy ra điện áp khoảng bé bằng một phần ba điện áp đưa vào cầu. Điện áp ra lấy trên điện trở

$R_K$ ; nó là chiết áp và được khắc độ. Điện trở không đường thẳng  $R_D$  dùng để ổn định điện áp trên  $R_K$  khi điện áp nguồn điện có thay đổi. Ví dụ, khi điện áp trên mạch cung cấp tăng, thì điện áp trên  $R_K$  cũng tăng lên hơn giá trị đã xác định. Song do tác dụng của các đèn, nên khi điện áp cung cấp cho mạch tăng thì dòng điện qua đèn cũng tăng, do đó nội trở của đèn tăng theo. Vì  $R_D < R$  nên tác dụng của việc tăng  $R_D$  dù bé, cũng làm cho cầu tiến nhanh về trạng thái cân bằng hơn. Do đó, điện áp trên  $R_K$  lại giảm đi. Sự giảm này bù lại được cho sự tăng điện áp trên  $R_K$  do điện áp nguồn cung cấp tăng. (Khi điện áp trên nguồn cung cấp biến đổi khoảng 10% thì điện áp trên  $R_K$  sẽ biến đổi khoảng 3%).

### 3.3.2 Đặc tuyến vôn-ampe và đặc tuyến tần số

#### 1. Đặc tuyến vôn-ampe

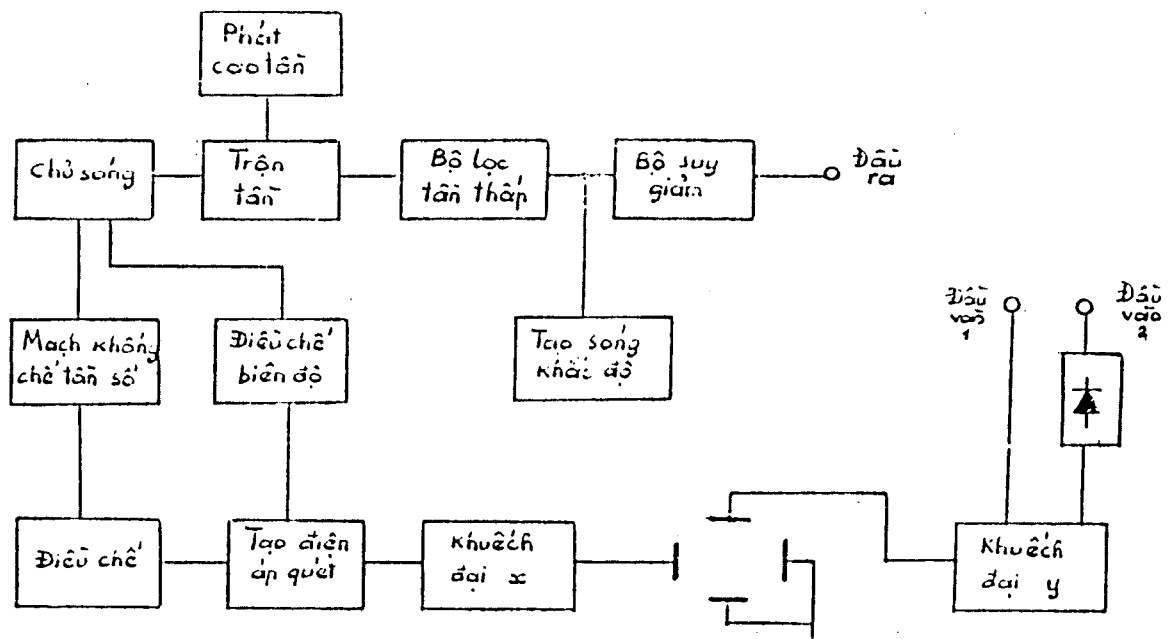
Dùng dao động ký để vẽ đặc tuyến vôn-ampe của mạch rất thuận tiện. Ta sẽ xét một ví dụ cụ thể là vẽ đặc tuyến vôn-ampe của một tranzito. Nếu như dùng phương pháp lấy điểm để vẽ đặc tuyến vôn-ampe thì ta sẽ mất nhiều thời gian và đôi khi không thực hiện được. Khi đặt điện áp lên các điện cực của tranzito, nhất là khi chế độ quá mức trong một thời gian lâu thì có thể làm hỏng đèn. Trong khi đó, nếu dùng dao động ký để vẽ đặc tuyến vôn-ampe thì có thể vẽ ngay được trên màn hình toàn bộ đặc tuyến vôn-ampe của tranzito mà không làm hỏng nó.



Hình 3-20

Sơ đồ nguyên lý của phương pháp vẽ như trên hình 3-20. Trong đó, điện áp được đưa vào cực điều khiển cần vẽ đặc tuyến là điện áp răng cưa và điện áp một chiều làm thiên áp âm, để định cho đèn có chế độ làm việc với góc cắt bằng  $90^\circ$ . Đồng thời, điện áp răng cưa này cũng được đưa tới

cần nhiên làm lệch X của ống tia điện tử. Điện áp được đưa tới cần nhiên X của ống tia



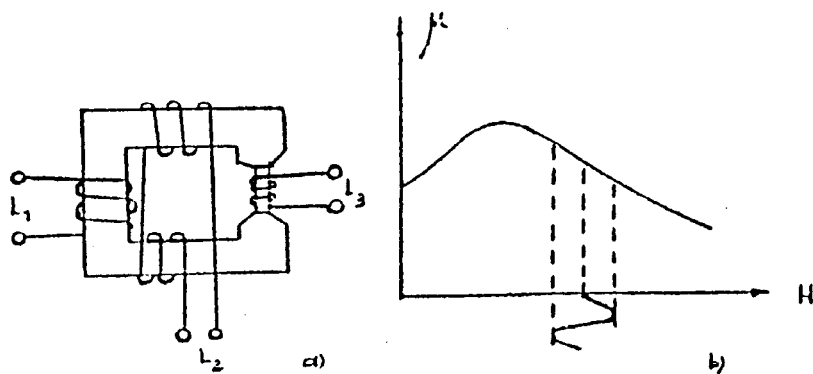
Hình 3-22

quan hệ của điện áp đầu ra (hay hệ số khuếch đại) theo tần số, khi điện áp đầu vào không đổi. Ví dụ như khi điều chỉnh các bộ khuếch đại cao tần, khuếch đại trung tần của máy thu thanh hay máy thu hình; khảo sát một bộ lọc, một mạch cộng hưởng... thì cần biết dải thông, tính chọn lọc, độ khuếch đại... của nó. Muốn vẽ đặc tuyến tần số thì dùng phương pháp lấy từng điểm một. Cách làm như vậy thường mất nhiều công sức. Ta có thể dùng dao động ký để vẽ đặc tuyến thông số bằng cách kết hợp nó với một máy phát điều tần. Sơ đồ khối của phương pháp này như hình 3-21.

Điện áp từ bộ phát sóng quét đưa tới phiên lệch X của dao động ký, đồng thời, nó cũng được đưa tới điều chế tần số của bộ tạo dao động, để bộ này có thể thực hiện điều tần được. Như vậy, độ lệch tia điện tử theo cặp phiên ngang sẽ đồng bộ với sự biến đổi của tần số bộ phát sóng điều tần đưa tới đầu vào của mạng bốn cực cần nghiên cứu. Do đó, trục hoành trên màn dao động ký không phải là trục thời gian mà đã là trục tần số. Điện áp ra của mạng bốn cực được tách sóng rồi đưa tới cặp phiên lệch Y. Nên dao động đồ vẽ được ở trên màn của dao động ký là biểu thị quan hệ giữa điện áp đầu ra của mạng bốn cực và tần số. Nó chính là đặc tuyến tần số của mạng bốn cực cần nghiên cứu.

Một thiết bị được cấu tạo để thực hiện phương pháp đo trên là máy vẽ đặc tuyến biên độ - tần số. Để nghiên cứu nguyên lý của loại máy này, ta xét sơ đồ khối của một máy cụ thể như hình 3-22. (Cần lưu ý là các chỉ tiêu, số liệu và cấu tạo cụ thể các khối đưa ra ở đây chỉ là ví dụ, để tiện diễn giải nguyên lý, tính năng của phương pháp đo này)

Sơ đồ khối của máy gồm hai phần: bộ phận dao động ký, và bộ phận phát sóng điều tần. Nên thực ra loại máy này chỉ là sự kết hợp giữa dao động ký và một bộ phận phụ để lấy đặc tuyến tần số. Bộ phận dao động ký ở đây được cấu tạo đơn giản, nó chỉ có: ống tia điện tử, bộ khuếch đại Y, khuếch đại X và bộ phát sóng quét. Bộ phận phát sóng điều tần gồm có: bộ chủ sóng có mạch khống chế tần số, bộ điều chế, bộ tạo dao động cao tần, bộ trộn tần, bộ lọc tần thấp, bộ suy giảm và bộ tạo dao động khác độ.



Hình 3-23

Bộ chủ sóng là bộ dao động cao tần (ví dụ phát ra tần số  $f_0$ ), nó dùng để điều chế tần số. Để điều chế tần số thì có nhiều cách: ví dụ ở đây được thực hiện bởi mạch không chế tần số là dùng cách điều chỉnh độ từ hoá của lõi cuộn dây điện cảm của mạch cộng hưởng anốt. Ví dụ cuộn dây có lõi được cấu tạo như hình 3-23a, khi biến đổi từ thẩm của lõi, thì có thể biến đổi được trị số điện cảm của cuộn dây (hình 3-23b), do vậy, tần số của bộ tạo dao động cũng thay đổi. Trong hình vẽ 3-23a, cuộn  $L_1$  có điện áp cố định, để xác định điểm công tác; độ ổn định của nó quyết định độ ổn định của tần số trung tâm của bộ phát- điều tần. Cuộn  $L_2$  có điện áp là điện áp của tần số điều chế, nó được lấy từ bộ tạo dao động quét. Điện áp biến đổi này làm thay đổi từ thẩm trong lõi cuộn  $L$  do đó làm cho tần số của bộ chủ sóng cũng thay đổi theo. Bộ phát sóng quét ở đây còn có thể là bộ tạo dao động hình sin, có tần số cố định.

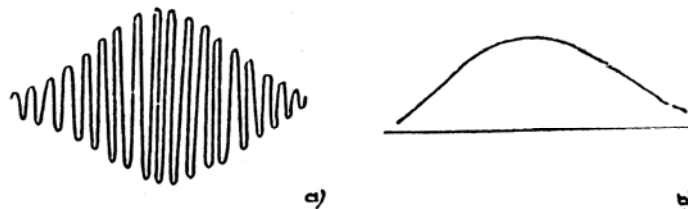
Bộ điều chế là bộ khuếch đại công suất, để đảm bảo cho dòng điện từ hoá, có tần số của bộ tạo quét, có được trị số cần thiết. Biên độ điện áp điều chế lấy được từ bộ dao động quét còn có thể điều chỉnh được, do vậy có thể điều chỉnh được độ di tần, ví dụ như độ di tần cực đại là  $\pm \Delta f_{\max}$ , và độ di tần cực tiểu là  $\pm \Delta f_{\min}$ .

Bộ điều chế biên độ để điều chế tầng chủ sóng, mục đích là để cho tầng chủ sóng không làm việc trong phần chu kỳ quét ngược; như vậy, dao động đồ trên màn dao động ký sẽ không được vẽ trong khoảng thời gian quét ngược này.

Điện áp từ bộ chủ sóng và bộ phát cao tần được đưa chung vào bộ trộn tần. Mục đích để lấy ra được tần số điều tần có trị số tùy ý, thích hợp với dải thông tần của mạng bốn cực cần vẽ đặc tuyến tần số. Ví dụ như bộ phát sóng cao tần phát ra tần số có thể điều chỉnh được trong khoảng từ  $f_1$  đến  $f_2$ . Qua bộ trộn tần ta có tần số hiệu là :

$$(|f_0 - f_1| \div |f_0 - f_2|) = (\Delta f_{\min} - \Delta f_{\max})$$

Sau khi trộn tần, điện áp được đưa qua bộ lọc tần thấp, nên chỉ cho qua được phân lượng sóng có tần số thấp là tần số hiệu, mà sóng tổng hợp thì bị ngăn lại. Qua bộ suy giảm ở đầu ra, điện áp được đưa vào mạng bốn cực cần nghiên cứu đặc tuyến tần số. Đầu ra của mạng bốn cực có bộ tách sóng, sau đó điện áp được đưa tới bộ khuếch đại Y của dao động ký. (trên hình 3-22, đầu vào 1 và 2 là ứng với hai trường hợp khi mạng bốn cực có hay không có bộ tách sóng).



Hình 3-24

Điện áp trước khi đưa vào bộ tách sóng có dạng như hình 3-24a, tức là tín hiệu vừa bị điều chế tần số và điều chế biên độ. Sau khi tách sóng, trên tải của bộ tách sóng chỉ còn lại hình bao của điện áp tín hiệu như hình 3-24b.

Dao động như hình 3-24b chính là đặc tuyến tần số của mạng bốn cực cần nghiên cứu.

Để đo lường được tần số cộng hưởng, độ rộng của dải thông tần và độ chọn lọc của mạng bốn cực, thì cần phải khắc độ trục X của dao động đồ theo thang độ tần số. Bộ tạo sóng khắc độ phải làm nhiệm vụ này. Bộ tạo sóng khắc độ là bộ phát tần số thạch anh chuẩn, (ví dụ như các thạch anh có tần số  $f_{t.a1}$  và  $f_{t.a2}$ ). Như vậy, ở đầu ra của bộ tách sóng có thành phần tần số thấp là tần số phách giữa tần số tín hiệu điện áp điều tần và các phân lượng tần số hài của bộ phát sóng thạch anh chuẩn. Kết quả là trên dao động đồ, đường cong đặc tuyến tần số của mạng bốn cực cần nghiên cứu có xuất hiện các dao động đánh dấu tại các khoảng tần số bằng nhau (bằng  $f_{t.a1}$  hay  $f_{t.a2}$ ) như trong hình 3-25.



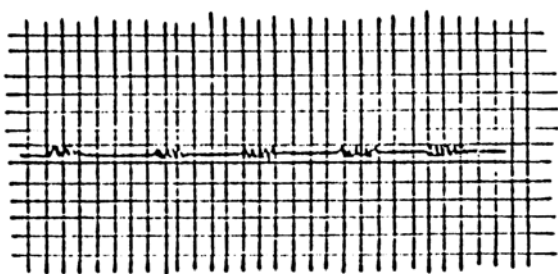
Hình 3-25

Khi xác định tần số cộng hưởng thì sai số chủ yếu là do sai số khắc độ của bộ phát sóng cao tần.

Khi xác định bề rộng của dải thông tần, thì bề rộng này được xác định bằng số lượng các điểm khắc độ của đường đặc tuyến tần số tính từ

mức 0,7 của mức điện áp cực đại.

Để nâng cao độ chính xác của phép đo bề rộng dải thông tần thì còn thực hiện bằng cách đưa trực tiếp điện áp từ đầu ra của bộ suy giảm vào bộ tách sóng của máy (đầu vào 2 của mạch hình 3-22). Trên màn hình của dao động ký lúc này có dao động đồ chính là đặc tuyến tần số của bản thân bộ phát sóng khắc độ trùng với thang độ kẻ ly trên màn hình bằng cách biến đổi độ di tần của bộ phát sóng điều tần, để dễ đọc (hình 3-26). Sau đó, để nguyên không thay đổi độ di tần, đưa điện áp tín hiệu tới mạng bốn cực nghiên cứu và có thể bỏ bộ phận khắc độ tần số. Độ rộng dải thông tần được xác định bằng các ô kẻ ly trên màn dao động ký đã được lấy chuẩn từ trước.



Hình 3-26

Về các nguyên nhân gây sai số của thiết bị đo này còn do sự không đồng đều của đặc tuyến tần số của bản thân máy đo, sự gây méo dạng đường cong đặc tuyến tần số do chính dao động khắc độ cũng được khuếch đại cùng với dao động tín hiệu. Đặc biệt là khi đo dải thông tần của các mạng bốn cực mà rất hẹp, thì có

tình trạng là điện áp tín hiệu không đạt tới được trị số cực đại của nó, do tốc độ biến đổi tần số của bộ phát sóng điều tần.

### 3.4 CẤU TẠO CỦA DAO ĐỘNG KÝ (ÔXILÔ) NHIỀU KÊNH

Trong những trường hợp cần so sánh nhiều tín hiệu cần đo, ta phải khảo sát hai hay nhiều quá trình trên một dao động ký. Vấn đề này được giải quyết bằng các biện pháp:

-Mỗi quá trình nghiên cứu được dùng một tia điện tử riêng biệt.

-Chỉ dùng một tia điện tử để ghi cả hai quá trình nhưng làm cho tia điện tử thay đổi có chu kỳ để ghi từ quá trình này sang quá trình khác.

Phương pháp thứ nhất phải dùng nhiều dao động ký khác nhau, mỗi dao động ký nghiên cứu một quá trình riêng biệt. Cách thực hiện như vậy thì rất tốn kém, vì phải dùng nhiều dao động ký. Hơn nữa, vì độ nhạy của các ống tia điện tử khác nhau, tỷ lệ xích về thời gian không giống nhau, nên phương pháp này ít dùng.

Trên thực tế, người ta dùng dao động ký nhiều tia, mà phổ biến là loại hai tia. Trong các loại dao động ký này, ống tia điện tử được cấu tạo theo hai cách.

-Loại ống tia có ngăn đôi (hoặc nhiều hơn), hệ thống súng điện tử. Những hệ thống này tạo nên hai tia điện tử (hay nhiều tia) tác dụng lên cùng một màn hình.

-Loại ống có chia điện tử phát ra từ cùng một catốt ra một số tia.

Cả hai loại ống trên đều có khó khăn trong chế tạo là làm sao để khử bỏ được tác dụng ảnh hưởng lẫn nhau của các tia điện tử. Khó khăn này càng lớn khi số tia điện tử càng nhiều. Vì vậy, thông thường thì chỉ có loại ống có hai tia. Trong một số quá trình có cùng tần số, có thể khảo sát đồng thời trên màn của một dao động ký có ống tia điện tử có một tia. Cách này được thực hiện theo biện pháp thứ hai đã nói ở trên; nó được kèm thêm một bộ phận phụ của dao động ký nữa là *chuyển mạch điện tử*.

Chuyển mạch điện tử là thiết bị dùng đèn điện tử hoặc đèn bán dẫn, đầu vào được đưa tới cả hai quá trình điện áp cần nghiên cứu. Đầu ra của nó đưa tới cặp phiên lệch Y (hay bộ khuếch đại y) của dao động ký.

Tác dụng của chuyển mạch điện tử là làm cho tia điện tử chuyển đổi thời gian quét để ghi quá trình cần nghiên cứu này sang quá trình cần nghiên cứu khác. Sự chuyển mạch trên được thực hiện do sự khống chế dao động xung vuông đối xứng được tạo ra từ một bộ đa hài. Điện áp chuyển mạch cần yêu cầu dạng xung của nó gần vuông góc, có như vậy thì sự chuyển trạng thái mới tức thời, không gây mờ rối dao động đồ cần quan

sát. Xung điện áp này cần phải đối xứng, tức thời gian hai khoảng chu kỳ dương và âm phải bằng nhau, có như vậy thì độ sáng của hai dao động đồ mới bằng nhau.

### 3.4.1 Cấu tạo của dao động ký (ôxilô) hai tia

Cấu tạo của máy hiện sóng hai tia được minh hoạ như ở hình 3-27.

Cấu tạo cơ bản của máy hiện sóng điện tử hai tia giống như máy hiện sóng một tia, nhưng ở máy hiện sóng hai tia cần chú ý rằng trong một ống tia điện tử có hai súng phóng tia điện tử riêng biệt, tức là ngăn đôi hệ thống súng điện tử, ta có hai súng phóng tia điện tử riêng biệt. Mỗi chùm tia điện tử cho một vết dạng sóng. Mỗi tia điện tử được súng điện tử tạo ra từ catốt qua các điện cực đến màn huỳnh quang được qua các cặp phiến làm lệch riêng của nó ( $Y_{11}$ ;  $Y_{12}$  và  $Y_{21}$ ;  $Y_{22}$ ) để lái tia điện tử (1) và (2) theo chiều đứng. Dạng sóng quét răng cưa từ bộ tạo gốc thời gian đưa vào cặp phiến lệch ngang và cả hai chùm tia điện tử này được làm lệch ngang màn hình một cách đồng thời.

Trong hình 3-27, các điện cực:

F: Sợi đốt

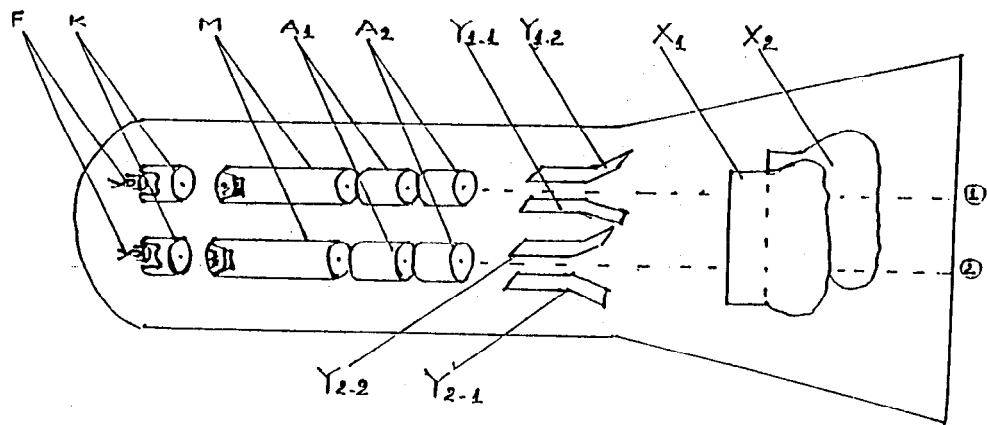
K: Catốt

$A_1$ : Anốt1 (tiêu tụ)

$A_2$ : Anốt2 (tăng tốc)

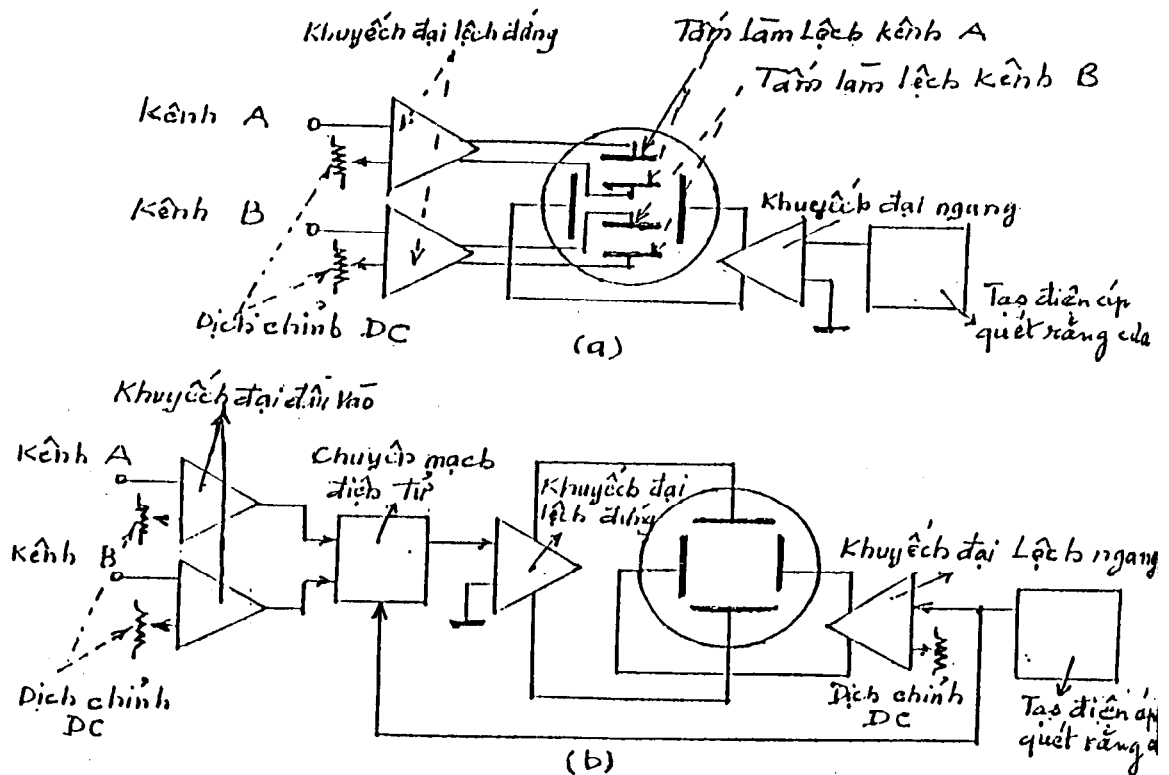
M: Cực điều chế

Để hiểu rõ hơn cấu tạo của máy hiện sóng hai tia, chúng ta sẽ nghiên cứu hình 3-28.



Hình 3-27

Hình 3-28a cho ta thấy máy hiện sóng hai chùm tia có lối vào cặp phiên lệch đứng tách biệt hoàn toàn, kênh A và kênh B. Mỗi kênh đều có các mạch khuếch đại làm lệch riêng biệt của nó để tới một cặp phiên làm lệch đứng. Bộ tạo gốc thời gian điều khiển một bộ duy nhất các tấm lái tia ngang.



Hình 3-28

Hình 3-28b là một CRT một chùm tia với một bộ tấm lái tia đứng. Hai bộ khuếch đại tín hiệu vào riêng kênh A và kênh B được sử dụng một bộ khuếch đại lệch đứng để tới các tấm lái tia đứng. Tín hiệu vào bộ khuếch đại này được chuyển mạch luân phiên giữa các kênh A và kênh B với tần số chuyển mạch được điều khiển bởi mạch tạo gốc thời gian.

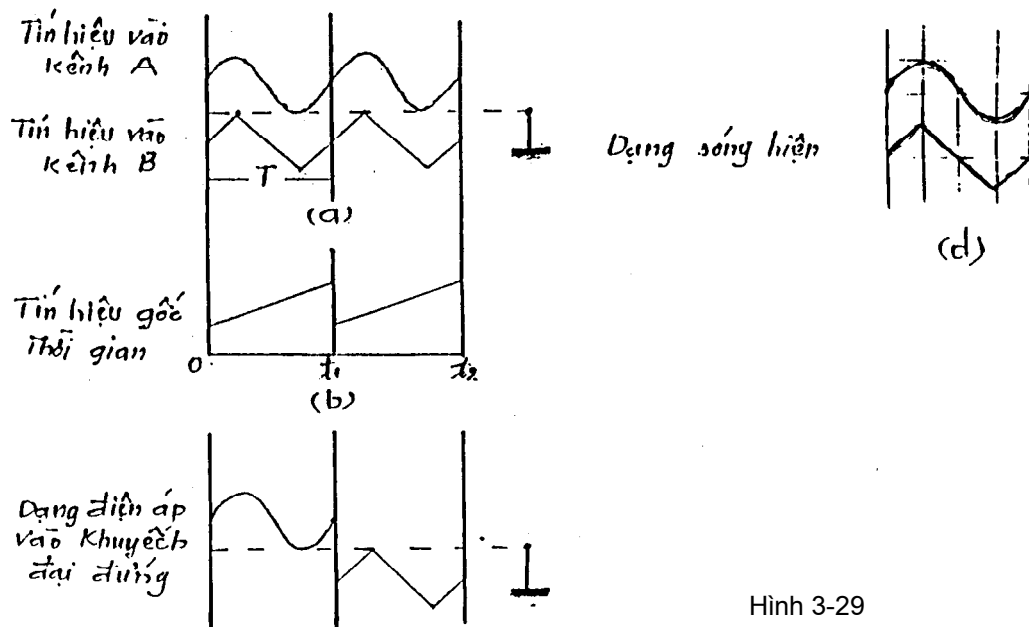
### 3.4.2 Phương pháp biến đổi luân phiên-chuyển mạch điện tử

#### 1. Phương pháp chuyển đổi luân phiên

Phương pháp chuyển đổi luân phiên thực hiện theo nguyên tắc tín hiệu vào bộ khuếch đại lệch đứng được chuyển mạch luân phiên giữa các kênh A và B, tần số chuyển mạch luân phiên được điều khiển bởi một mạch tạo gốc thời gian (bộ tạo sóng quét ngang).

Quá trình luân phiên được thể hiện như hình 3-29. Đầu tiên sóng này vào, sau đó sóng khác vào hay nói khác đi ta chỉ việc thay đổi thời gian sao cho tín hiệu vào kênh A được chuyển sang bộ khuếch đại lái tia đứng tạo thành vết trên màn hiện sóng trong thời gian từ 0 đến  $t_1$ . Sau đó, tín hiệu vào kênh B tiếp theo nối tạo vết trên màn hiện sóng trong thời gian từ  $t_1$  đến  $t_2$ .

Khi tín hiệu vào kênh A là một sóng hình sin có chu kỳ T; tín hiệu vào kênh B là một sóng tam giác cùng có chu kỳ T, hai sóng đã được đồng bộ với nhau. Nhưng tín hiệu vào kênh A có sự chuyển dịch bởi điện áp một chiều nó đưa tín hiệu lên trên mức đất khiến cho sóng ở kênh A tạo vết ở nửa trên của máy hiện sóng. Trong khi đó tín hiệu vào kênh B ở nửa dưới của máy hiện sóng. Trong chu kỳ tiếp theo của bộ tạo gốc thời gian, tín hiệu vào kênh A lại tạo vết trên màn hình, tiếp theo tín hiệu kênh B tạo vết ở nửa dưới của màn hình. Như vậy hai tín hiệu được vạch trên màn hình một cách luân phiên và lặp đi lặp lại. Tần số lặp cao đến mức mà các dạng sóng như được hiện một cách đồng thời.



Hình 3-29

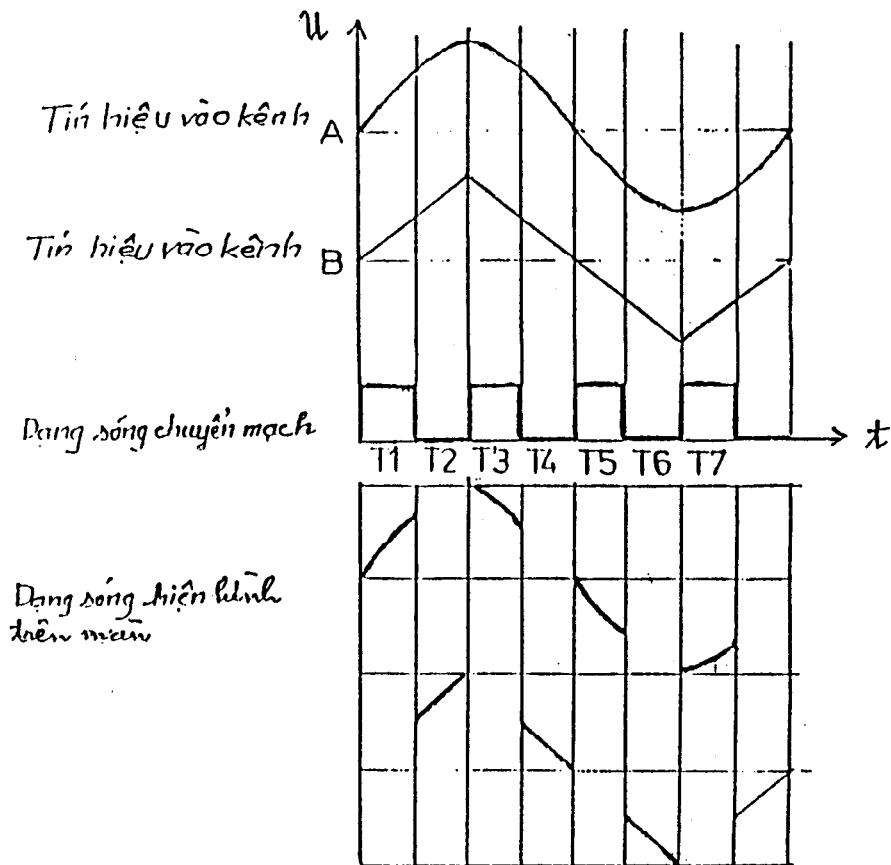
Khi sử dụng phương pháp trên để hiện hình hai dạng sóng thì máy hiện sóng được coi là hoạt động theo chế độ luân phiên.

## 2. Phương pháp chuyển mạch điện tử

Phương pháp này tương tự như phương pháp chuyển đổi luân phiên nhưng nó sử dụng tần số chuyển mạch cao hơn nhiều, gọi là chuyển mạch loại ngắt quãng. Nguyên tắc của chuyển mạch điện tử "ngắt quãng" được thể hiện chính ở hình vẽ 3-30. Tín hiệu vào kênh A được tạo trên màn trong khoảng thời gian ngắn  $T_1$ , sau đó tín hiệu vào kênh

B được tạo vết trên màn trong thời gian  $T_2$ , lại đến tín hiệu kênh A trong thời gian  $T_3$ , sau đó lại đến kênh B trong khoảng thời gian  $T_4$ ... cứ thế luân phiên nhau cho kênh A và kênh B. Người ta còn gọi đó là chế độ chuyển mạch ngắt quãng (chop mode switching).

Các dạng sóng ở kênh A và kênh B được hiện hình như những đường đứt nét. Tuy nhiên những chỗ đứt nét ở dạng sóng đã tạo ra ngắn tới mức không thể nhận ra chúng khi tần số chuyển mạch là cao tần. Khi tín hiệu nghiên cứu ở tần số thấp thì tín hiệu hiện hình trên màn máy xem sóng gần như liên tục. Khi tín hiệu nghiên cứu ở tần số cao, thực hiện không đồng bộ  $nf_{cm} \neq mf_{th}$  thì đoạn ngắt bị lấp do độ dư huy của ống và độ lưu ảnh của mắt. Trong đó  $f_{cm}$  là tần số chuyển mạch,  $f_{th}$  là tần số tín hiệu. Khi dao động ký có dùng chuyển mạch điện tử thường cho phép lựa chọn cách hoạt động ở kiểu luân phiên hoặc ở kiểu đứt quãng (ngắt quãng). Đối với tín hiệu cao tần thì kiểu luân phiên là tốt nhất, bởi vì vết dạng sóng có vẻ liên tục hơn là bị đứt quãng. Khi sử dụng kiểu luân phiên đối với tín hiệu tần số thấp thì hai dạng sóng không được hiện hình liên tục, làm khó cho việc quan sát so sánh.



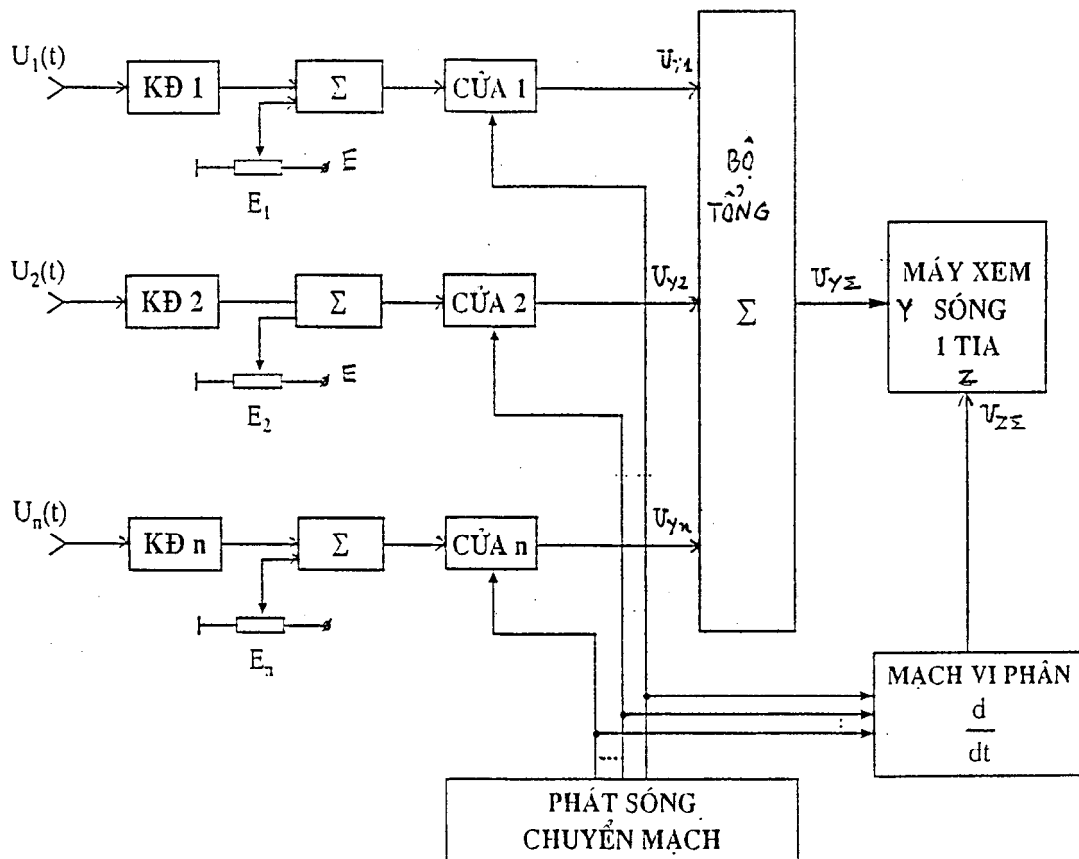
Hình 3-30

Để khắc phục nhược điểm này của kiểu luân phiên đối với tần số thấp ta sử dụng chuyển mạch ngắt quãng. Bởi vì những chỗ đứt quãng trong từng vết ngắn tới mức không thể nhìn thấy được, khiến cả hai dạng sóng tín hiệu đều được hiện hình một cách liên tục, dễ dàng cho việc quan sát so sánh.

### ***Chuyển mạch điện tử phân đường theo thời gian***

Cấu trúc của máy hiện sóng (ôxilô) nhiều kênh phân đường theo thời gian như hình 3-31. Các giá trị của điện áp cần quan sát của các kênh đưa vào bộ khuếch đại đứng của máy xem sóng một tia.

Nhìn sơ đồ khối của máy xem sóng một tia (hình 3-31) dùng để quan sát nhiều dạng tín hiệu cùng một lúc, có thể thấy ở mỗi kênh tín hiệu đo có cộng thêm một lượng điện áp một chiều  $E$  khác nhau, nên các hình biểu diễn trên màn hình của máy hiện sóng được tách riêng từng đường tùy ý không bị chồng chéo lên nhau. Sau đó đưa đến mạch cửa và chỉ cho qua cửa khi có tín hiệu mở cửa. Tín hiệu mở cửa của các kênh được tạo ra

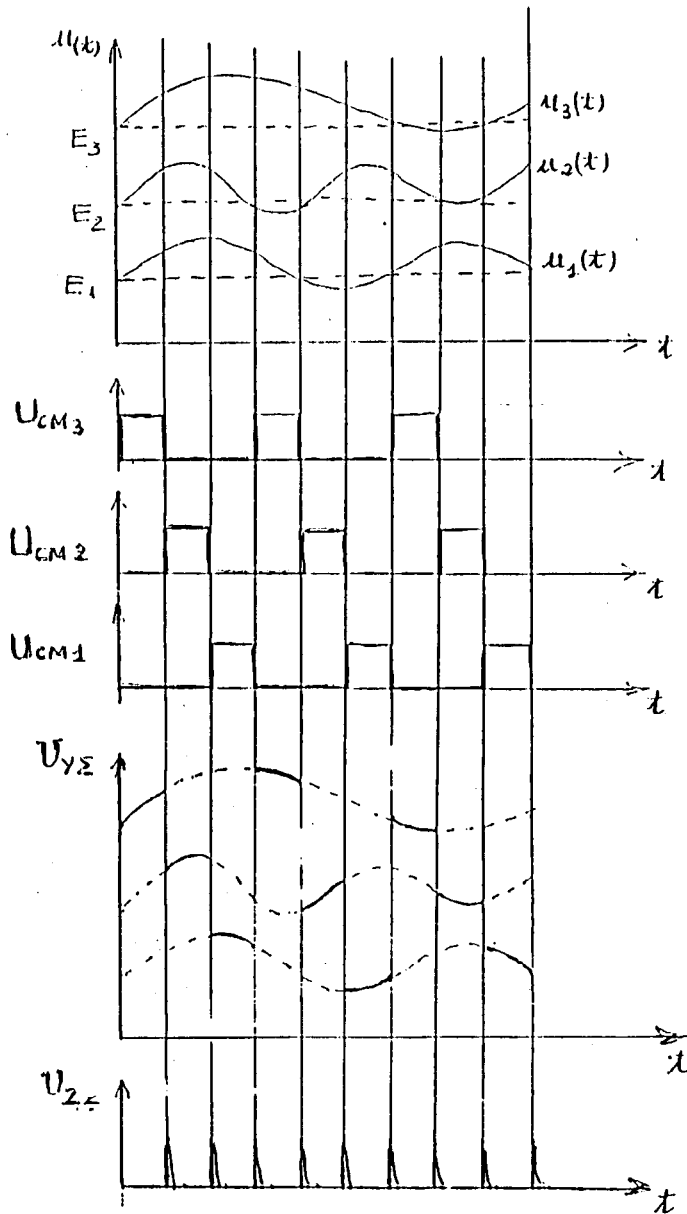


Hình 3-31

từ bộ phát sóng chuyển mạch. Tín hiệu đó là các xung vuông có thời gian xuất hiện xen kẽ và lần lượt cho từng cửa một.

Nhờ vậy tại mỗi thời điểm nào đó cũng chỉ cho một trong số các cửa trên được mở và cho tín hiệu của một kênh đi qua, không có trường hợp hai cửa mở đóng đồng thời.

Các tín hiệu ở đầu ra các cửa được cộng lại với nhau trong mạch tổng. Tín hiệu ở đầu ra mạch tổng  $U_y$  có dạng xung mà biên độ của nó tỷ lệ với giá trị của các tín hiệu cần quan sát tại thời điểm có xung mở cửa tương ứng với các kênh. Như vậy sau khuếch đại Y, máy hiện sóng có được hình biểu diễn tín hiệu của các kênh dưới dạng đường nét đứt (hình 3-32).



Hình 3-32

Nếu làm cho chu kỳ của các tín hiệu mở cửa không đồng bộ với tín hiệu nghiên cứu và tín hiệu quét thì vạch sáng biểu thị cho tín hiệu các kênh qua các chu kỳ quét khác nhau sẽ bị thay đổi vị trí. Kết quả là trên màn hiện sóng, ta không thấy các đường biểu diễn bị đứt nét nữa, tức là cần thực hiện không đồng bộ giữa tín hiệu quét và tín hiệu mở cửa. Để thực hiện được điều đó thì máy xem sóng phải làm việc ở chế độ đồng bộ với chu kỳ của tín hiệu cần quan sát và không đồng bộ với tín hiệu chuyển mạch.

Vấn đề điều chỉnh độ sáng của vết trên màn hình hiển thị của ống tia, người ta dùng những xung có độ rộng rất nhỏ  $U_2$ , tạo ra từ mạch vi

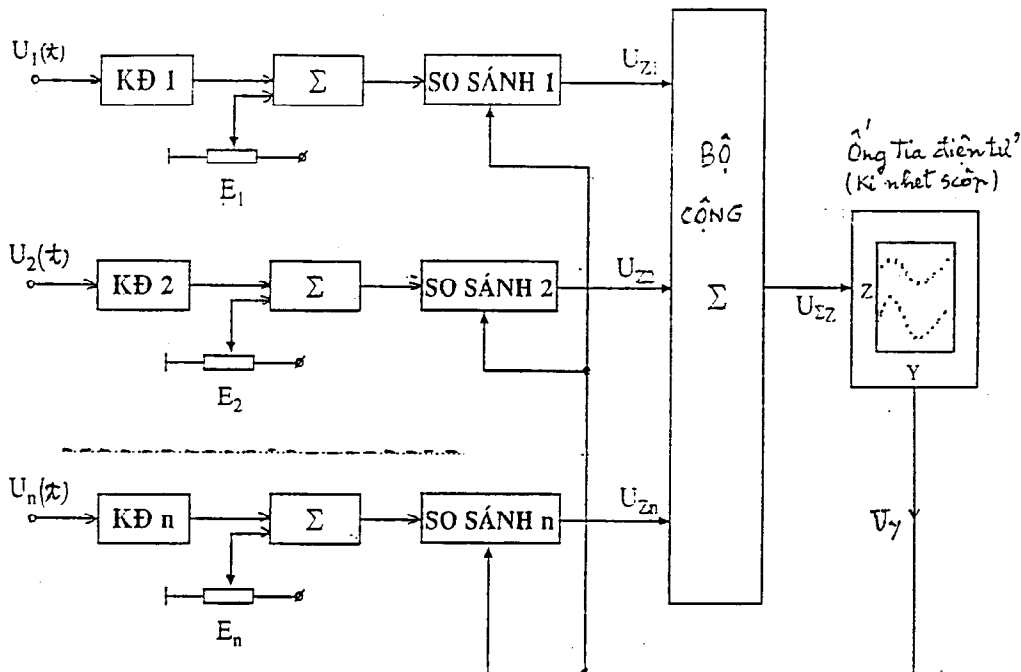
phân từ các xung mở cửa rồi đưa vào điều chế độ sáng của ống tia.

Các xung rất hẹp trên sẽ xóa đi tia sáng vào thời gian chuyển tiếp kênh. Thông thường loại chia kênh theo thời gian chỉ có từ 2 đến 4 kênh. Nếu số kênh càng nhiều thì độ dài đoạn sáng trên đoạn tối sẽ giảm và làm cho hình biểu diễn sẽ bị kém sáng, cảm giác bị đứt nét thể hiện rõ hơn.

### Chuyển mạch điện tử phân đường theo mức

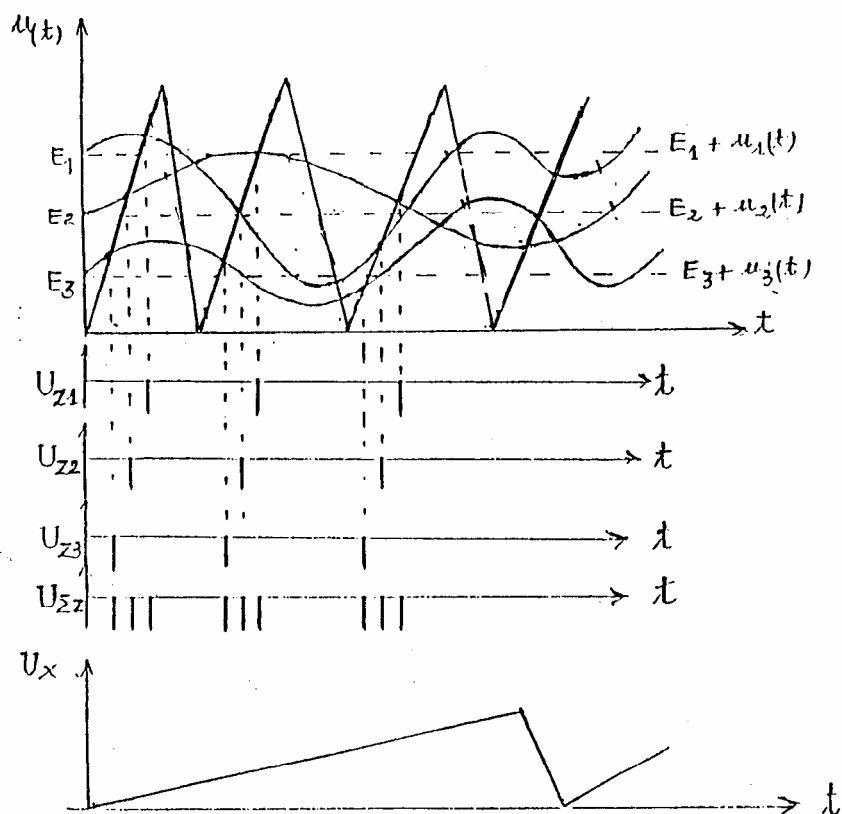
Chuyển mạch điện tử loại này thường có khả năng làm việc với nhiều kênh tín hiệu. Hiện nay thường dùng loại 6, 8, 12 kênh, dùng máy xem sóng một tia có màn ảnh rộng để đổi chỗ cho nhiều kênh. Phần hiển thị là ống truyền hình làm lệch bằng từ trường.

Hình 3-33 là sơ đồ cấu tạo của máy hiện sóng nhiều kênh phân đường theo mức. Nguyên lý chuyển mạch điện tử phân đường theo mức là chuyển các giá trị tức thời của tín hiệu các kênh thành các chuỗi xung rất hẹp xuất hiện ở các thời điểm mà tùy thuộc vào độ lớn của điện áp tín hiệu nghiên cứu. Các xung này được đưa vào không chế độ sáng của ống hiện hình cũng giống như kiểu chuyển mạch điện tử theo thời gian, ở đây mỗi tín hiệu nghiên cứu được cộng thêm một lượng điện áp một chiều  $E_1, E_2, \dots, E_n$  để dịch chuyển cho từng đường biểu diễn trên màn hiện sóng. Tín hiệu sau khi cộng thêm một lượng điện áp một chiều, đến so sánh với tín hiệu là xung răng cưa đưa tới từ bộ khuếch đại lệch đứng của máy hiện sóng (tín hiệu quét dòng của ống Ki-nhét-scốp). Tại các thời điểm tín hiệu xung răng cưa bằng tín hiệu đưa vào so sánh thì ở đầu ra bộ so sánh sẽ cho ra một xung hẹp. Các xung hẹp này, sau khi được cộng lại sẽ đưa vào không chế độ sáng



Hình 3-33

của ống hiện hình. Tại các thời điểm có xung trên màn hình xuất hiện một chấm sáng trong khi bình thường thì tối. Vết của các chấm sáng trên màn hình cho hình điện áp của các tín hiệu cần khảo sát.



Hình 3-34

Trên hình 3-34, thứ tự và thời điểm xuất hiện các xung không nhất thiết theo đúng thứ tự về thời gian dành cho từng kênh mà chỉ phụ thuộc vào giá trị tức thời của tín hiệu đưa vào so sánh. Tín hiệu nào có giá trị thấp nhất thì sẽ có xung biểu diễn sớm nhất.

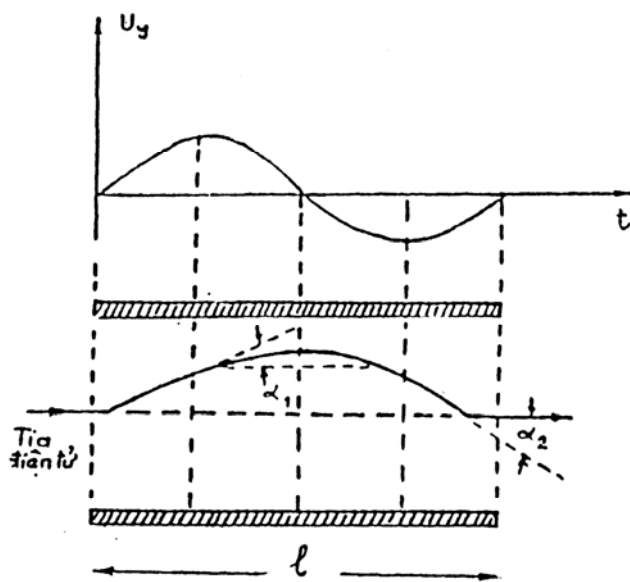
### 3.5 CẤU TẠO DAO ĐỘNG KÝ (ÔXILÔ) QUAN SÁT TÍN HIỆU SIÊU CAO TẦN

#### 3.5.1 Đặc điểm

Nếu dùng các loại dao động ký cao tần thông thường như đã trình bày ở trên để quan sát các tín hiệu siêu cao tần hay tín hiệu xung có độ rộng rất hẹp (ví dụ khoảng nanô giây), thì không quan sát được, do có nhiều hạn chế về cấu tạo của bản thân dao động ký cũng như về phương pháp quan sát.

Như đã biết, khi đặt điện áp xoay chiều vào cặp phiến làm lệch của ống tia điện tử, thì điểm sáng trên màn của ống tia sẽ dịch chuyển tỷ lệ với điện áp đặt vào. Tất nhiên, sự tỷ lệ này chỉ đúng khi mà thời gian bay của điện tử qua hệ thống cặp phiến lệch được coi là bé hơn nhiều so với chu kỳ của dao động của điện áp đặt vào cặp phiến lệch. Song khi thời gian bay của điện tử là một trị số có thể so sánh được với chu kỳ của dao động, thì ống tia điện tử chẳng còn là một phần tử không có quán tính nữa. Với các loại ống thông thường, thì thời gian bay của điện tử qua hệ thống cặp phiến lệch vào khoảng 1-10 nanô giây, tức là một trị số có thể so sánh được với chu kỳ của dao động siêu cao tần, hay với loại xung cỡ nanô giây (ví dụ dao động có bước sóng 30cm thì có chu kỳ bằng 1 nanô giây). Khi đó, chu kỳ của dao động xấp xỉ bằng thời gian bay của điện tử qua hệ thống cặp phiến làm lệch, nên tia điện tử không bị dịch chuyển trên màn dao động ký khi có tín hiệu đặt vào cặp phiến làm lệch.

Để giải thích điều này, ta xét tín hiệu được minh họa như hình 3-35, trong đó thời gian bay của điện tử qua hệ thống cặp phiến làm lệch bằng chu kỳ của điện áp nghiên



Hình 3-35

cứ. Lúc này độ nhạy “động” của ống tia điện tử là bằng không. Độ nhạy của ống tia điện tử là một thông số tùy thuộc vào các yếu tố: độ nhạy tĩnh của ống, tần số của điện áp nghiên cứu và thời gian bay của điện tử qua cặp phiến làm lệch. Trong hình 3-35, hai góc lệch tia điện tử  $\alpha_1$  và  $\alpha_2$  ở các nửa chu kỳ dương và chu kỳ âm, có trị số bằng nhau, do đó tia điện tử không bị lệch khỏi vị trí ban đầu. Điều này còn có thể suy rộng hơn cho trường hợp khi mà chiều dài của cặp phiến lệch  $l$  bằng một số chẵn  $n$  của nửa bước sóng tín hiệu cần quan sát, khi đó thì tia điện tử cũng không bị

khống chế để dịch chuyển khỏi vị trí ban đầu. Ngược lại, độ nhạy của ống tia sẽ có trị số cực đại khi chiều dài  $l$  bằng một số lẻ  $m$  của nửa bước sóng tín hiệu cần quan sát, vì khi đó hai góc lệch tia điện tử  $\alpha_1$  và  $\alpha_2$  có trị số không bù trừ hết cho nhau được.

Những điều giải thích trên chỉ đúng với trường hợp được minh hoạ như hình vẽ, tức với các giả thiết là: điện áp nghiên cứu được cung cấp từ một đầu của cặp phiến, và tia điện tử có tiết diện rất mảnh, có thể coi như là một điện tử, và chúng cách đều hai phiến lệch.

Muốn tần số của tín hiệu cần quan sát không ảnh hưởng tới độ nhạy của ống trong một dải tần số rộng, thì cần phải làm cho thời gian bay của điện tử qua hệ thống cặp phiến làm lệch nhỏ. Muốn vậy, cần phải giảm kích thước của cặp phiến làm lệch và tăng điện áp tăng tốc  $U_{A2}$ . Tất nhiên  $U_{A2}$  tăng thì độ nhạy của ống lại bị giảm. Kích thước của hệ thống cặp phiến làm lệch đối với tần số cao thì cũng còn gây ảnh hưởng tới dao động cần quan sát do điện dung bản thân của nó. Ví dụ như với xung cỡ nanô giây, thì nó gây nên hiện tượng méo sườn của xung.

Ở tại tần số siêu cao tần, dao động đồ còn bị méo dạng do sự lệch pha giữa hai điện áp đưa vào cặp phiến lệch X và Y tác dụng không đồng thời lên tia điện tử. Sở dĩ vậy, vì do cấu tạo hai cặp phiến lệch không thể bố trí cùng trên một tiết diện, mà phải đặt lần lượt trước sau theo phương của ống.

Hơn nữa, khả năng sử dụng ống tia điện tử ở siêu cao tần còn bị hạn chế bởi tác dụng của cộng hưởng của bản thân hệ thống cặp phiến làm lệch. Mạch cộng hưởng ở đây hình thành bao gồm điện dung bản thân của cặp phiến và điện cảm bản thân của vật dẫn. Để nâng cao trị số tần số cộng hưởng bản thân của hệ thống cặp phiến, sao cho nó có trị số lớn hơn nhiều ngay đối với các thành phần hài bậc cao của điện áp tín hiệu cần nghiên cứu, thì cần giảm điện cảm bản thân của vật dẫn. Vì vậy, về cấu tạo, đường dây vào cặp phiến thì thường được đưa trực tiếp ngay từ thân ống thuỷ tinh mà không đưa vào qua chân đế của ống.

Ngoài ra, dao động ký dùng ở siêu cao tần còn bị hạn chế do bản thân bộ khuếch đại Y, vì bộ này cần có dải thông tần khá rộng, phải từ vài trăm tới vài nghìn MHz. Nó cũng còn bị hạn chế do yêu cầu bộ tạo điện áp quét phải có tần số khá cao. Ngay cả dao động đồ của dao động ký dùng ở siêu cao tần cũng không được thật rõ vì tốc độ dịch chuyển tia điện tử trên màn quá nhanh.

Đó là một số đặc điểm đã hạn chế tính năng sử dụng của dao động ký ở siêu cao tần. Muốn quan sát được tín hiệu siêu cao tần hay tín hiệu xung có độ rộng khá hẹp, thì dao động ký cần có cấu tạo đặc biệt, khác với các loại dao động ký cao tần đã trình bày ở các phần trên. Ngoài ra, nó cũng còn cần phải có cả phương pháp quan sát, đo lường thích hợp khác nữa.

### 3.5.2 Phương pháp quan sát lấy mẫu

Để nghiên cứu xung cỡ nano giây, có biên độ không lớn lắm cũng không thể trực tiếp dùng dao động ký có tốc độ ghi nhanh được, lý do chủ yếu là vì loại này có độ nhạy kém. Muốn quan sát được tốt, thì nên dùng phương pháp quan sát hoạt nghiệm.

Sử dụng dao động ký để quan sát theo phương pháp hoạt nghiệm thì có thể quan sát được tín hiệu có tần số đến vài nghìn MHz, khi dải thông tần của bộ khuếch đại Y thực tế chỉ có vài MHz, hay thậm chí chỉ vài kHz.

Nguyên lý của phương pháp quan sát hoạt nghiệm bằng dao động ký cũng có thể ví như phương pháp hoạt nghiệm dùng trong cơ học để đo tốc độ quay và xác định độ rung bằng cách quan sát. Nguyên lý đo tốc độ quay trong cơ học bằng phương pháp hoạt nghiệm là dùng một đĩa có chia độ đều thành các miền đen trắng cách biệt nhau, số lượng các miền chia là được xác định. Đĩa này được chiếu sáng một cách đứt quãng, thời gian được chiếu sáng ngắn và quá trình được lặp đi lặp lại với một chu kỳ nhất định. Khi gắn đĩa vào đối tượng quay cần đo, thì với một quan hệ nào đó của tần số quay và tần số chiếu sáng, ta có thể thấy đĩa như không quay, hay quay với tốc độ chậm. Khi tần số chiếu sáng bằng hay bằng một ước số chẵn với tần số quay thì thấy đĩa đứng yên. Khi tần số chiếu sáng có chênh lệch ít nhiều với tần số quay của đĩa thì thấy đĩa quay với tốc độ chậm. Còn nếu khi quan hệ của chúng khác với các quan hệ trên thì thấy đĩa quay mà các miền đen và trắng nhòa với nhau không phân biệt rõ rệt được.

Như vậy, phương pháp đo hoạt nghiệm đã biến công việc đo một đối tượng quay có tốc độ cao thành việc đo một đối tượng có tốc độ thấp mà ta có thể đo trực tiếp được dễ dàng.

Cũng tương tự như vậy, quan sát một tín hiệu biến đổi nhanh bằng dao động ký theo phương pháp hoạt nghiệm thì cũng được thực hiện tương đương như quá trình đã nói trên. Nghĩa là làm cho quá trình như biến đổi chậm lại bằng cách làm chậm thang độ thời gian mà không gây ảnh hưởng gì tới dạng của tín hiệu cần nghiên cứu.

Do đó, với phương pháp quan sát này, thì dao động ký có thể giảm được tốc độ quét của bộ tạo điện áp quét và giảm được độ rộng của dải thông tần bộ khuếch đại phiên làm lệch Y.

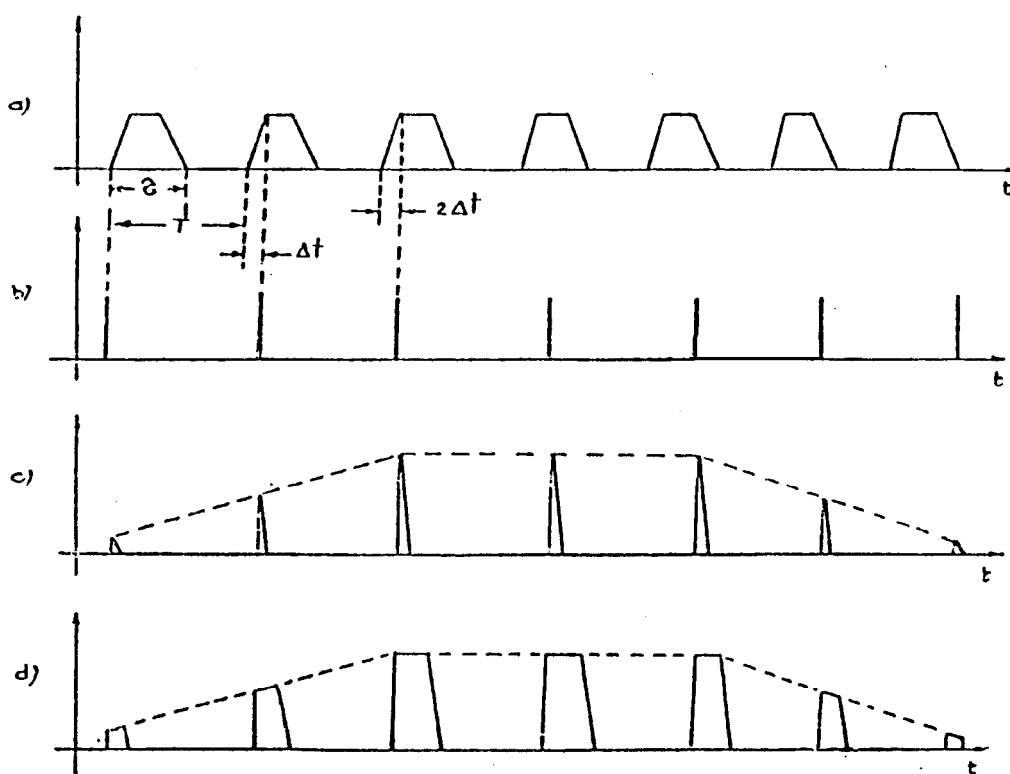
Nguyên lý của phương pháp này là dùng cách phân tích biên độ- thời gian của tín hiệu cần quan sát bằng các xung đánh dấu có độ rộng rất hẹp. Với các xung đánh dấu này thì dạng của tín hiệu nghiên cứu được vẽ không phải là một đường cong liên tục, mà dưới dạng các điểm hay đoạn thẳng nhỏ rời rạc nhau, tương ứng với các thời điểm có tác động của xung đánh dấu.

Cách biến đổi thang độ thời gian của dao động đồ được minh họa như hình 3-36. Khi đưa tín hiệu cần nghiên cứu (hình 3-36a) và xung đánh dấu (hình 3-36b) vào bộ

biến đổi, thì xuất hiện hiện tượng điều chế biên độ xung. Tại đầu ra của bộ biến đổi có xung đánh dấu mà biên độ của nó tỷ lệ với trị số tức thời của tín hiệu nghiên cứu. Nếu chu kỳ của hai điện áp ở đầu vào bộ biến đổi bằng nhau thì các xung ở đầu ra bộ biến đổi có biên độ không đổi. Nếu chu kỳ của hai điện áp này khác nhau một trị số không đổi bằng  $\Delta t$ , thì các xung ở đầu ra bộ biến đổi sẽ có biên độ thay đổi. Hình bao của các xung này có dạng tương ứng với tín hiệu nghiên cứu và các tín hiệu này có thang độ thời gian đã được khuếch đại rộng ra (hình 3-36c).

Nếu chu kỳ  $T$  của tín hiệu nghiên cứu bằng bội số  $n$  của  $\Delta t$ , thì có nghĩa là hình bao của các xung ở đầu ra bộ biến đổi được mở rộng ra  $n$  lần. Do đó, tốc độ quét của dao động ký dùng để quan sát tín hiệu bao này có thể giảm đi  $n$  lần.

Để cho dao động đồ có đủ độ sáng cần thiết, thì các xung ở đầu ra bộ biến đổi còn được khuếch đại độ rộng bằng bộ mở rộng xung. Điều này còn có tác dụng là làm cho dải thông của bộ khuếch đại Y hẹp bớt lại được (hình 3-36d).



Hình 3-36

Để định lượng sự giảm tốc độ quét của dao động ký bằng phương pháp hoạt nghiệm, ta có thể xét một ví dụ cụ thể sau đây.

Nếu xung cần nghiên cứu có độ rộng  $\tau = 10\text{ns}$  và có tần số lặp lại là  $f = 100\text{kHz}$  (tức là  $T = 10\mu\text{s}$ ), thì khi lấy  $\Delta t = 1\text{ns}$ , hệ số biến đổi của thang độ thời gian là:

$$n = \frac{T}{\Delta t} = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{10^{-9}} = 10.000$$

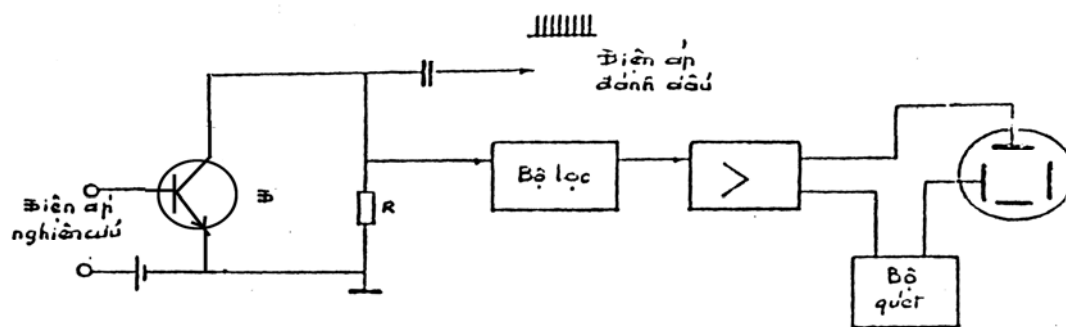
Nếu dùng loại dao động ký có tốc độ quét cao hơn để quan sát xung này, để cho dao động đồ mở rộng được khắp diện tích hiệu dụng của màn ống tia, ví dụ diện tích này bằng  $(10 \times 15)\text{mm}^2$  chẳng hạn, thì tốc độ quét này phải bằng:

$$v = \frac{15}{10} = 1,5\text{mm/ns}$$

Nhưng nếu dùng phương pháp quan sát hoạt nghiệm, thì tốc độ quét chỉ cần bằng:

$$v = \frac{1,5}{10.000}\text{mm/ns} = 0,15\text{mm}/\mu\text{s}$$

Như vậy, ta có thể dùng loại dao động ký cao tần để quan sát được xung cần nghiên cứu trên. Hình 3-37 trình bày sơ đồ nguyên lý quan sát tín hiệu xung đó.

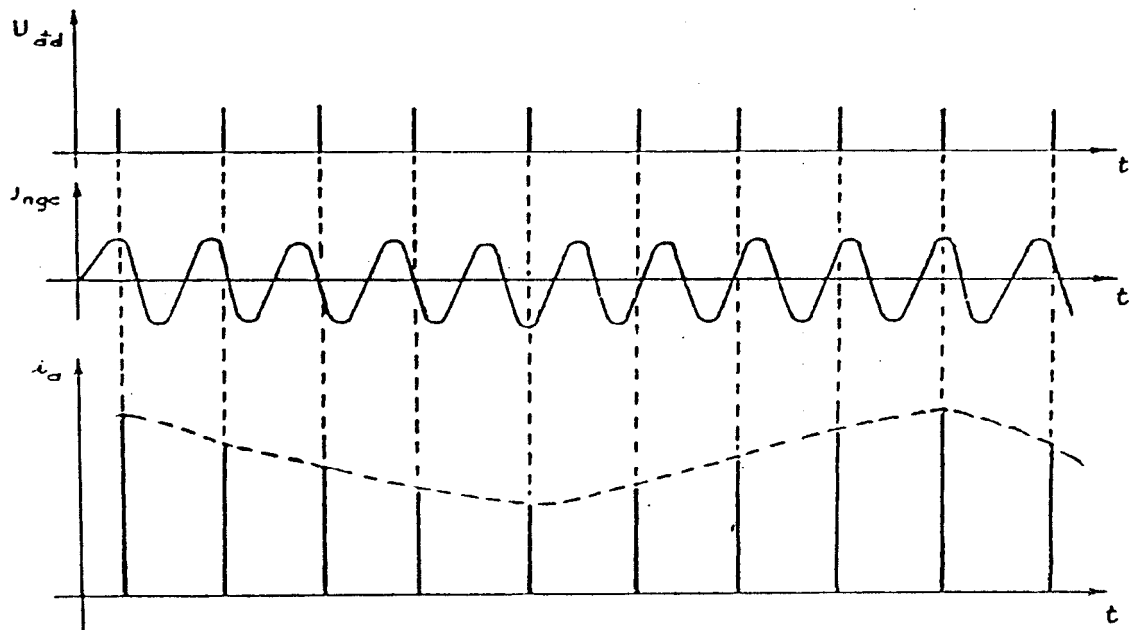


Hình 3-37

Với mạch này, nó có thể dùng để quan sát tín hiệu với chu kỳ có phổ tần số khoảng chừng 50-70MHz. Nguyên lý công tác của mạch này như sau:

Đèn T là bộ biến đổi, các xung đánh dấu ở đây là xung dương, có độ rộng khoảng  $0,01\mu\text{s}$ , tần số lặp là 100kHz và có biên độ không đổi. Tín hiệu quan sát được đưa vào cực B của đèn T, biên độ của xung ra trên tải R tỷ lệ với điện áp tín hiệu nghiên cứu ở đầu vào. Hình 3-38 là giản đồ điện áp diễn giải nguyên lý công tác của mạch đo này. Bộ lọc ở đây là bộ lọc tần số thấp, để chọn lấy tín hiệu là hình bao của các xung. Bộ khuếch đại làm nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu này trước khi đưa vào hệ thống cặp phiên làm lệch. Bộ quét được đồng bộ với tín hiệu hình bao, tín hiệu hình bao này có dạng tín hiệu của

điện áp cần nghiên cứu, có tần số bằng hiệu của hai tần số điện áp xung đánh dấu và điện áp tín hiệu cần nghiên cứu.



Hình 3-38

### 3.6 CẤU TẠO CỦA DAO ĐỘNG KÝ (ÔXILÔ) CÓ NHỚ LOẠI TƯƠNG TỰ

#### 3.6.1 Cấu tạo

Ôxilô có nhớ loại tương tự là ôxilô dùng ống tia điện tử đặc biệt, gọi là "ống tia có nhớ". Cấu tạo của ống tia có nhớ loại tương tự như hình 3-39. Nó có cấu tạo như ống tia điện tử thông thường, có "súng điện tử" và hệ thống cặp phiến lệch X và Y.

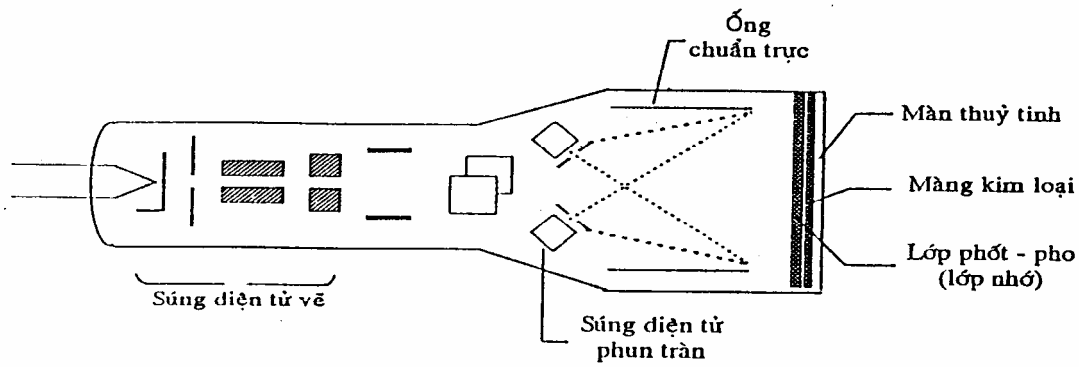
Bộ phận đặc biệt cần nghiên cứu ở đây là cấu tạo của màn hình. Màn hình bao gồm một "lớp nhớ", cấu tạo bằng phốt-pho có nhiều khả năng phát xạ thứ cấp, một màng kim loại và màn thủy tinh của ống.

"Lớp nhớ" được cấu tạo đặc biệt, thành các hạt nhỏ và có độ cách điện cao giữa các hạt, và làm bằng loại phốt-pho có khả năng phát xạ thứ cấp cao.

Màng kim loại là màng mỏng dẫn điện được cấu tạo kết tựa giữa màn thủy tinh và lớp nhớ.

Ống chuẩn trực, là màng mỏng bằng kim loại khác bao quanh cổ ống.

Súng điện tử vẽ và hệ thống cặp phiến lệch X và Y như loại ống thông thường.



Hình 3-39

Hai súng điện tử phun tràn (flood gun), là hai catốt được nung nóng để tạo ra nguồn phát electron có năng lượng thấp. Có thể có loại có lưới điều khiển ở hệ thống này, để có thể làm thay đổi được độ lưu sáng của màn.

Điện thế các catốt phun tràn và ống chuẩn trực có thể là điện thế "đất" hay dương một chút. Điện thế màng kim loại có điện thế khoảng  $1V \div 3V$  so với điện thế "đất".

### 3.6.2 Nguyên lý hoạt động của ôxilô có nhớ

Khi súng điện tử vẽ chưa hoạt động, các điện tử do "súng phun tràn" phát ra được hút về phía màn kim loại, song các điện tử này có năng lượng thấp, không xuyên qua được lớp phốt-pho và bị ống chuẩn trực gom lại, trên màn hình không có xuất hiện gì. Khi súng điện tử vẽ được kích thích, và có tín hiệu cần quan sát đưa vào ôxilô, điện tử từ súng điện tử vẽ sẽ có năng lượng cao, đủ để tạo ra sự phát xạ thứ cấp cho lớp nhớ, các điện tử thứ cấp này cũng được ống chuẩn trực gom lại. Tại mỗi điểm có sự phát xạ thứ cấp trên màn hình sẽ trở thành có điện tích dương hơn, vì các điện tử đã mất bớt đi tại các điểm đó. Như vậy một dao động đồ có điện tích dương được vạch ra ở lớp nhớ.

Vì mỗi phân tử điểm lớp nhớ có độ cách điện cao, nên đường vẽ dao động đồ có điện tích dương này có thể lưu lại hàng giờ. Các điện tử có năng lượng thấp tạo từ súng điện tử phun tràn bây giờ bị hút về phía đường điện tích dương để xuyên qua nó tới màng kim loại có điện thế dương hơn. Khi đi qua lớp nhớ, các điện tử làm cho phốt-pho tiếp tục phát sáng và dạng dao động của tín hiệu được hiện lại liên tục. Nếu muốn xóa dạng dao động đã nhớ thì cần phải làm cho màng kim loại có điện thế âm, nó sẽ đẩy các điện tử từ súng phun tràn quay trở lại lớp nhớ, tích tụ lại, làm cho vùng đã được vẽ trở về cùng mức điện thế như các phân tử xung quanh.

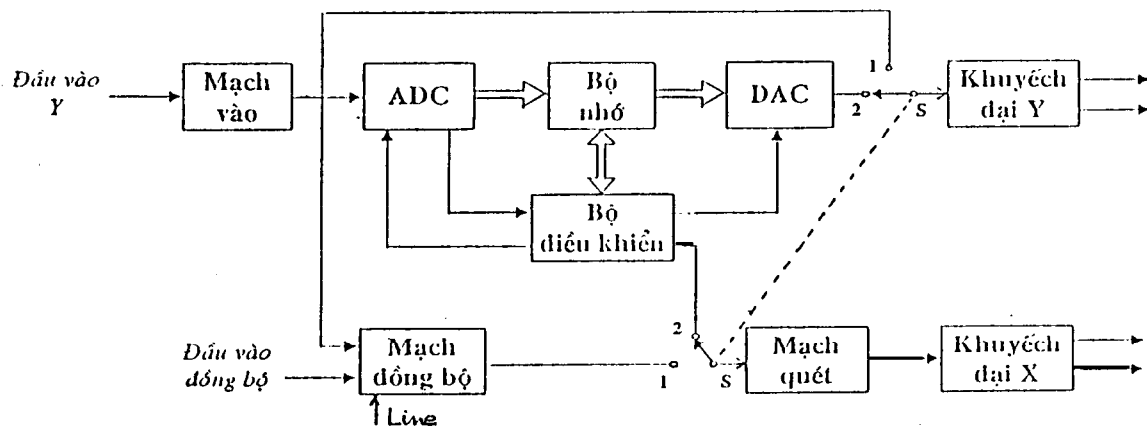
Đối với ôxilô có nhớ tương tự này, ưu điểm của chúng là có thể quan sát tín hiệu trong dải tần số rộng.

### 3.7 ÔXILO ĐIỆN TỬ SỐ

#### 3.7.1 Cấu trúc và khả năng của ôxilô số

Ôxilô điện tử số có các ưu điểm là:

- Duy trì hình ảnh dạng của tín hiệu trên màn hình với khoảng thời gian không hạn chế.
- Tốc độ đọc có thể thay đổi trong giới hạn rộng.
- Các đoạn hình ảnh lưu giữ có thể xem lại được ở tốc độ thấp hơn nhiều, tốc độ quét có thể tới 1cm/ 1h.
- Tạo được hình ảnh dao động đồ tốt hơn, tương phản hơn loại ôxilô tương tự.
- Đơn giản hơn trong sử dụng, vận hành.



Hình 3-40

- Có thể truyền trực tiếp số liệu của tín hiệu cần quan sát dưới dạng số, ghép trực tiếp với máy tính hay được xử lý trong ôxilô.

Sơ đồ khối cấu tạo của ôxilô (có nhớ) số, được vẽ cơ bản như hình 3-40.

Khi chuyển mạch S (đồng trực) ở vị trí 1 thì ôxilô làm việc như một ôxilô đa năng thông thường.

Khi chuyển mạch S đặt ở vị trí 2 thì ôxilô làm việc là một ôxilô có nhớ số. Điện áp tín hiệu cần quan sát được đưa vào đầu vào Y, tới bộ biến đổi tương tự - số ADC. Tại thời điểm đó ( $t_1$ ), khối điều khiển gửi một lệnh tới đầu vào điều khiển của bộ ADC và khởi động quá trình biến đổi. Kết quả là điện áp tín hiệu được số hoá, có nghĩa là bộ

biến đổi lấy mẫu dạng tín hiệu ở nhiều điểm và biến đổi giá trị tức thời của biên độ tại mỗi điểm thành giá trị mã nhị phân tỷ lệ với biên độ đo. Tại thời điểm kết thúc quá trình biến đổi, bộ ADC gửi tín hiệu kết thúc tới bộ điều khiển.

Mỗi số nhị phân được chuyển tới bộ nhớ và được nhớ ở vị trí ô nhớ riêng biệt. Bởi vì đây là bộ nhớ không linh hoạt (cố định - nonvolatile memory) nên nó có thể lưu trữ lượng lưu trữ lớn các số nhị phân với bất kỳ độ dài thời gian nào. Khi cần thiết, một lệnh từ khối điều khiển có thể làm cho các số nhị phân này được sắp xếp theo chuỗi lại theo thứ tự đã xác định và được đưa tới bộ biến đổi DAC. Bộ biến đổi số-tương tự sẽ biến các giá trị nhị phân thành điện áp tương tự, và điện áp này được đưa qua bộ khuếch đại Y và tới cặp phiến làm lệch Y của ống tia điện tử.

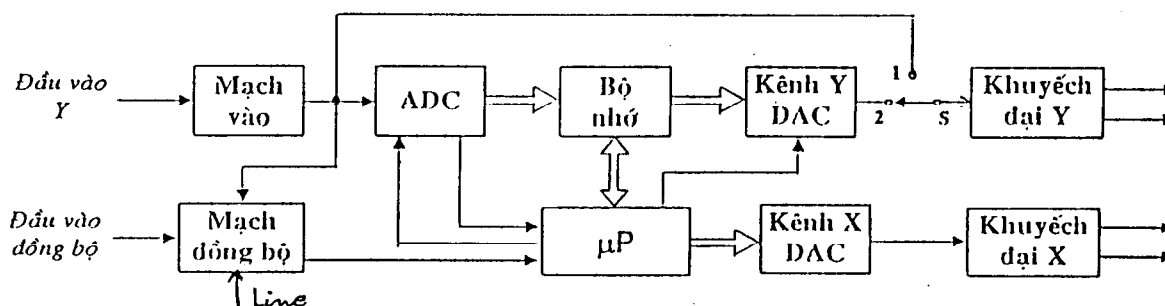
Do bộ nhớ được liên tiếp quét nhiều lần trong một giây nên màn hình được sáng liên tục và hiện lên dạng sóng là hình vẽ các điểm sáng, biểu thị dạng sóng cần quan sát.

Để đạt được một đường sáng liên tục, còn có thể có thêm một mạch nội suy (làm mượt) giữa bộ DAC và bộ khuếch đại Y.

Một điểm hạn chế của ôxilô có nhớ số vừa mô tả trên là dải tần bị hạn chế, do tốc độ của bộ biến đổi ADC thấp (thông thường hiện nay, ôxilô có nhớ số có dải tần 1-10 MHz).

Gần đây, các ôxilô có nhớ số có dải tần rộng được phát triển nhờ có cài đặt microprocessor, các bộ biến đổi ADC có tốc độ biến đổi nhanh hơn, kỹ thuật số hoá mới hơn, cách nội suy và phương pháp thể hiện tín hiệu.

Một loại ôxilô có nhớ khác được trình bày ở hình 3-41.



Hình 3-41

Sơ đồ hình 3-41 khác với sơ đồ hình 3-40 ở chỗ bộ dao động quét thực sự là bộ biến đổi DAC kênh X, được điều khiển từ số liệu của *microprocessor*. Đầu ra bộ DAC tạo ra điện áp nhảy bậc, sao cho sự nhảy bậc thang không khác biệt quá nhiều so với điện áp bậc thang được tạo từ bộ dao động quét tương tự.

Với DAC loại 10 bit, số bước nhảy là  $2^{10}=1024$ . Toàn bộ đoạn điện áp ra được chia thành 1023 bước riêng biệt, và sự lệch ngang của tia điện tử thực tế là tỷ lệ theo thời gian. Tốc độ biến đổi DAC và bộ điều khiển quét quyết định tốc độ quét cực đại. Tốc độ quét có thể điều chỉnh được bằng việc thay đổi số đến đầu vào số của bộ DAC.

Còn tổ hợp các bộ phận phía trên, gồm: ADC, bộ nhớ, và DAC của kênh Y cho phép khả năng thay đổi trễ của tín hiệu vào hệ thống làm lệch Y trong một giới hạn rộng, đồng thời nó có thể kết hợp được với DAC của kênh X, như vậy đảm bảo sự đồng bộ chính xác.

### 3.7.2 Ôxilô có cài đặt vi xử lý (micropocessor- $\mu$ P)

Ôxilô có cài đặt vi xử lý là loại ôxilô trong đó việc điều khiển ôxilô đã được chương trình hóa, điều này cho phép thay đổi một cách cơ bản quá trình xử lý của ôxilô. Ví dụ, đã có ôxilô mà toàn bộ các giá trị cần thiết như đo biên độ, độ dài của tín hiệu,... được thay bằng một chuyển mạch. Các chức năng điều khiển được nhóm lại theo yêu cầu về nguyên tắc logic, việc lựa chọn chức năng cần thiết theo yêu cầu, được đơn giản bằng việc nhấn nút tương ứng. Điều này đã làm thay đổi hoàn toàn cấu tạo mặt trước của ôxilô. Việc điều khiển không những được đơn giản hóa mà còn tiện lợi hơn. Nó có thể được thực hiện theo chương trình làm việc của bộ kiểm tra đặt bên trong hay bởi sự trợ giúp của bộ kiểm tra hệ thống các giao diện (interface) mà thiết bị được nối vào. Như thế là đã xuất hiện khả năng tự động hóa hoàn toàn quá trình điều khiển chế độ làm việc của ống tia điện tử, mà thông thường nó được thiết lập ngay từ ban đầu và giữ được suốt trong quá trình đo lường, quan sát. Nó còn đưa được kết quả đo được qua các giao diện đến các thiết bị hay các thiết bị xử lý khác.

Các khả năng khác của ôxilô có xử dụng  $\mu$ P là đơn giản hoá các thao tác đo: giảm bớt khối lượng công việc của quá trình đo; tăng cao độ chính xác; mở rộng được khả năng đo các thông số của tín hiệu; thực hiện được các phép tính toán học...

Ví dụ, muốn đo biên độ của xung vuông, chỉ cần đặt trên mặt hiển thị của biên độ hai dấu sáng: một dấu ở mức không, một dấu ở đỉnh biên độ xung và bấm một nút tương ứng. Kết quả đo sẽ hiển thị trên màn hình dưới dạng số thập phân cùng với đơn vị đo.

Trong các ôxilô dùng bộ vi xử lý, các yêu cầu về độ chính xác, độ ổn định của hệ số truyền đặt trên các kênh được giảm xuống do các sai số có thể xảy ra đã được triệt tiêu bằng các giá trị chính xác của các hệ số truyền đặt trên các kênh đã được lưu giữ trong bộ nhớ của phần sai số theo hai kênh dọc và ngang.

Việc thực hiện tính giá trị trung bình của tín hiệu được nghiên cứu trong một thời gian dài, đã làm giảm xuống đáng kể các ảnh hưởng đo nhiễu và tăng đáng kể về chất lượng biểu đồ được vẽ trên ôxilô.

Việc tăng các khả năng đo các thông số của tín hiệu được nghiên cứu, ví dụ như: đo tần số của tín hiệu có chu kỳ; đo giá trị trung bình bình phương của điện áp; đo diện tích, độ rộng xung; đo năng lượng.... Việc các thông số trên chỉ cần nhấn một nút tương ứng, mà không đòi hỏi phải tính toán gì thêm để có được kết quả.

Việc sử dụng ôxilô có cài đặt vi xử lý còn làm tăng hiệu quả của việc làm thực nghiệm và hiệu chỉnh các sơ đồ mạch điện trong quá trình thiết kế. Các thông số của một sơ đồ mạch hoàn hảo, các kết quả phản ứng của toàn mạch hay riêng của từng phần mạch khi cho tín hiệu thử, tín hiệu chuẩn vào bộ nhớ của bộ vi xử lý. Các giá trị này sẽ được so sánh với các giá trị thu được khi thực nghiệm mạch mới, từ đó có thể hiệu chỉnh hay điều chỉnh thêm, bổ xung cho tới khi đạt hoàn chỉnh. Việc thử đi thử lại và so sánh với các giá trị lưu cho phép đánh giá được vai trò của mỗi một mắt, mỗi một khâu trong mạch đang thiết kế và chọn lựa được tối ưu các thành phần đó sao cho phù hợp nhất với các chỉ tiêu đã chọn trước.

Một khả năng đáng kể nữa của ôxilô có cài đặt  $\mu P$  là việc nhanh chóng hiệu chỉnh và thiết lập các đơn vị chuẩn.

Đây là một việc phải làm định kỳ trong quá trình sử dụng theo đúng chỉ dẫn, thì bây giờ công việc được đơn giản hoá đi như không cần phải mở vỏ máy ôxilô như trước để can thiệp vào bên trong, mà việc đó chỉ cần thực hiện trên mặt điều khiển. Theo chương trình đặt trước các giá trị chuẩn sẽ được tính toán, sau đó được ghi vào bộ nhớ không xoá. Trong bộ nhớ cũng ghi các hướng dẫn để đặt các giá trị chuẩn và được thông báo ra trên màn hình từng bước một cho người đặt các giá trị chuẩn, Mặc dù vẫn còn đòi hỏi sự tham gia của con người, nhưng nó đã đơn giản hơn rất nhiều so với cách sử dụng ôxilô thông thường. Trong quá trình thí nghiệm, việc xác định các giá trị chuẩn được thực hiện tự động khi người sử dụng bấm vào một nút tương ứng.

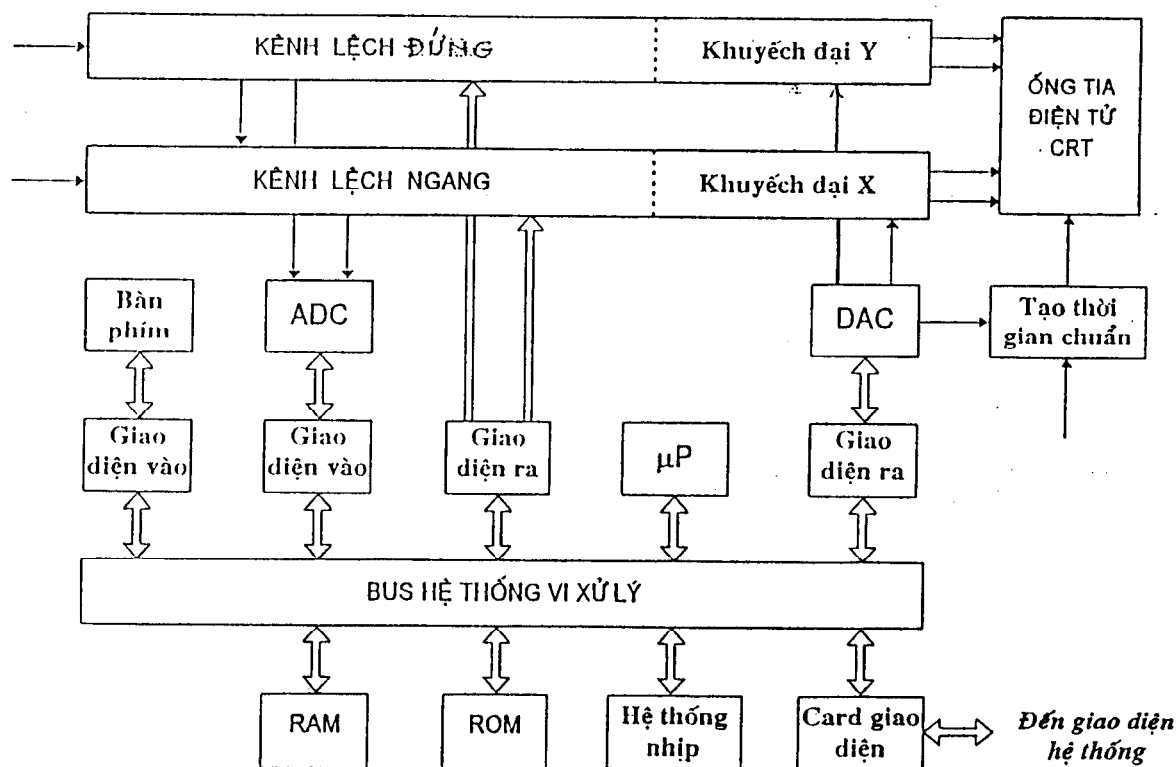
Có rất nhiều các khả năng khác nhau để xây dựng cấu trúc của ôxilô có sử dụng vi xử lý. Các chức năng của ôxilô loại này cũng không giống nhau. Trên bộ vi xử lý có thể chỉ đặt chức năng điều khiển, như một trong số dụng cụ mà chỉ để giả quyết một số vấn đề hẹp trong đo lường, Cũng có lúc chức năng cơ bản của bộ vi xử lý là để thực hiện các phép đo. Trong một số các bộ vi xử lý khác lại thực hiện được một loạt các bài toán về cả điều khiển, về đo và cả về tự động thực hiện các phép đo, kể cả việc xác lập các giá trị chuẩn; đồng thời tiến hành các phép tính toán cần thiết, xử lý tín hiệu và các kết quả đo. Tất nhiên là khối lượng và tính chất các chức năng mà bộ vi xử lý có thì phụ thuộc vào cấu trúc chung của ôxilô.

## 1. Ôxilô tương tự có cài đặt bộ vi xử lý

Một ôxilô “thông minh”, có nghĩa là đã được chương trình hoá. Nó là một “ôxilô tương tự” loại thông thường cộng thêm với một thiết bị xử lý số có dùng bộ vi xử lý.

Tất cả, được đặt chung vào một khối, ôxilô này có được một số các khả năng đã nói trên về loại ôxilô có cài đặt *microprocessor*.

Hình 3-42 là sơ đồ khối đơn giản của ôxilô loại này.



Hình 3-42

Với sơ đồ khối này, có thể chia thành ba phần. Phần trên giống như ôxilô tương tự (ở đây, để không rối hình nên hình vẽ không vẽ kênh Z cũng như các thiết bị đo và hiển thị các thông số của tín hiệu). Phần giữa có các bộ biến đổi tương tự số (ADC) và bộ biến đổi số tương tự (DAC) cũng với các mô đun để nhớ và một hệ vi xử lý với chức năng kiểm tra; có thể coi phần này như là một ôxilô có nhớ. Phần dưới là bộ vi xử lý để phục vụ cho việc điều khiển bằng chương trình và xử lý tín hiệu số. Card giao diện dùng để nối ôxilô với giao diện hệ thống.

Khi chỉ cần nhận dạng của tín hiệu được nghiên cứu theo tỷ lệ thời gian thực tế thì ôxilô làm việc như một ôxilô vạn năng. Khi sử dụng không dùng đến khả năng điều khiển bằng chương trình và xử lý số theo những khả năng của bộ vi xử lý thì ôxilô làm

việc như một ôxilô tương tự thông thường. Khi đó có thể đổi một số khối chuẩn (bộ khuếch đại Y, X, máy phát chuẩn...) như đối với một số ôxilô thông thường mà cấu tạo được thiết kế có thể thay thế các khối này hay nối thêm các khối mới. Xu hướng chia thiết bị ra hai phần: phần tương tự và phần số cũng được thể hiện ở chỗ phân bố vị trí của các phần thuộc hệ điều khiển. Những cái để điều khiển thông thường, hay gặp ở ôxilô thông thường thì vẫn được giữ nguyên vị trí “nguyên thủy” được cách riêng với bàn phím.

Vi xử lý làm cho ôxilô có thêm các đặc điểm mới. Nó có chứa tất cả các mô đun mới mà một hệ thống như thế phải có. Mối xích chính nối giữa hệ thống vi xử lý và phần tương tự của ôxilô là bộ biến đổi tương tự-số (ADC). Chúng ta cần phải khảo sát những đặc điểm của ADC.

Ôxilô dùng hệ vi xử lý được mô tả ở trên là loại có dải tần số rộng. Dải tần số của kênh lệch dọc có thể đạt là 400 MHz (hệ số phân giải thấp nhất của điện áp quét là 0,5ns/độ chia). Sự cần thiết phải nhớ những tín hiệu tần số cao trong khi phải giữ nguyên khả năng cho phép phản ánh được tín hiệu nghiên cứu đã được xác định do các đặc trưng của bộ biến đổi ADC.

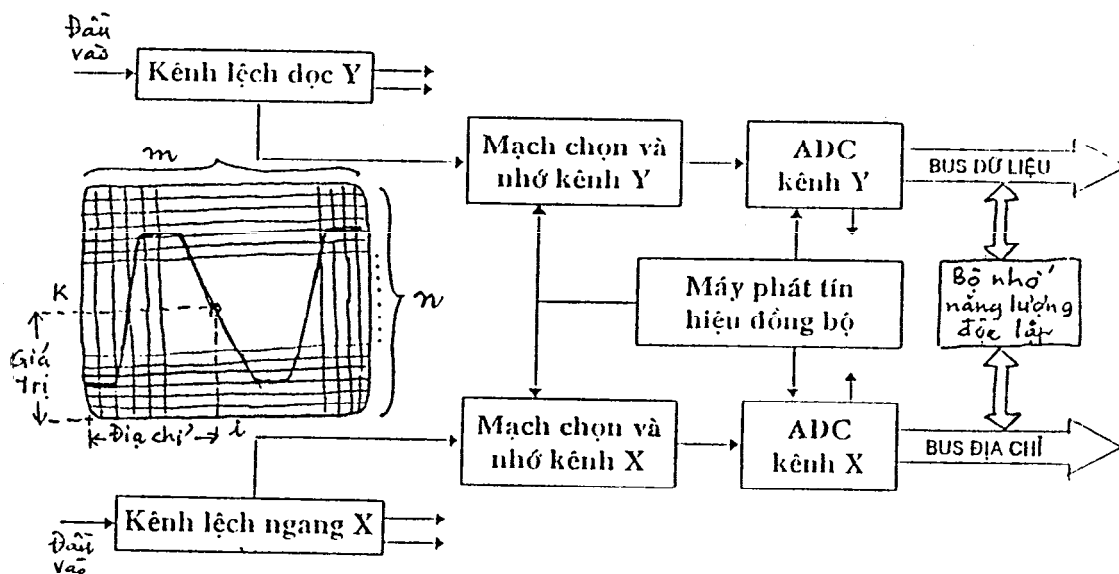
Sự rời rạc hoá bằng cách lấy mẫu tín hiệu tương tự với quãng ngắn (tần số cao) và sự lượng tử hóa tín hiệu theo số lượng lớn các mức; hai phép tính này đã được thực hiện với sai số tương đối không vượt quá  $2^{-10}$ , có nghĩa là khả năng cho phép theo hai trục X và Y của màn ảnh là 1/1024 (0,1%). Để đạt được mức cao như thế đòi hỏi phải có 10 hàng nhị phân (10 bit), và rời rạc hoá với tần số không dưới 1GHz (trong dải tần 400 MHz). Các ADC hiện đại không thể hoạt động với tốc độ nhanh như thế. Bởi vậy, đối với tín hiệu phản ánh trên màn ôxilô phải áp dụng phương pháp lấy mẫu quét ngẫu nhiên (không lặp lại có chu kỳ). Phương pháp này cho phép làm bộ biến đổi ADC với 10 bit, mà trong đó thời gian biến đổi đặc trưng cho loại này là 1 $\mu$ s.

Bản chất của phương pháp này là (xem hình 3-43):

Màn ảnh ống tia phóng tia điện tử CRT là màn gồm m.n ô nhỏ, n=1024, là số ô theo chiều dọc; m=n (hay bằng n/2; n/4; n/8) là số ô theo hàng ngang.

Giá trị của i (tính theo hàng ngang là địa chỉ ô của đường cong một tín hiệu xác định, còn k là giá trị của ô đó (tính theo hàng dọc, là giá trị tương ứng của i).

Giá trị là kết quả biến đổi tương tự-số của điện áp quét từ kênh lệch ngang vào ADC kênh X. Số ở đầu ra của ADC tương ứng với giá trị điện áp quét, vào thời điểm chọn sẽ được chuyển vào bus địa chỉ và được sử dụng để tạo nên địa chỉ của một ô bộ nhớ năng lượng độc lập.



Hình 3-43

Giá trị  $k$  là kết quả biến đổi tương tự-số của tín hiệu quan sát của ôxilô, được truyền từ kênh lệch dọc đến ADC kênh Y. Số ở đầu ra cũng được truyền qua bus dữ liệu vào bộ nhớ có địa chỉ  $i$  trên và được lưu giữ tại đó.

Những thời điểm chọn lấy mẫu của tín hiệu xuất hiện từ kênh lệch dọc và kênh lệch ngang tương ứng với mạch chọn và nhớ được xác định bởi các xung. Các xung này do máy phát tín hiệu đồng bộ tạo ra và nó có độ rộng rất hẹp (chúng giống các xung dùng để lấy mẫu tín hiệu trong ôxilô quan sát tín hiệu ngẫu nhiên).

Điện áp của điểm chọn được tạo lại bằng một tụ chứa trong mạch chọn và nhớ trong một khoảng thời gian đủ để có biến đổi với sự trợ giúp của ADC, trong trường hợp này là cỡ nhỏ hơn  $1\mu s$ . Khoảng cách liên tiếp giữa các xung chọn thay đổi ngẫu nhiên, do vậy sự chọn cũng sẽ là ngẫu nhiên đối với tín hiệu tương tự được biến đổi. Sự chọn lấy mẫu này sẽ xảy ra tại các điểm khác nhau của tín hiệu lặp lại theo chu kỳ.

Sau khi lấp đầy từng ô của bộ nhớ theo các số liệu ở đầu ra ADC kênh X theo địa chỉ sẽ xuất hiện một tín hiệu báo đầy. Kết quả của những lần lấy mẫu sau sẽ được đưa vào các ô nhớ khác, và cứ như thế tiếp tục cho tới khi lấp đầy được ít nhất là 99% tổng số ô mà bộ nhớ đã dành để nhằm phục vụ cho việc hiện số của tín hiệu qua ôxilô. Như vậy, giá trị của tín hiệu đã ghi được vào bộ nhớ, và nó là cần thiết để phản ánh lại dạng tín hiệu đó lên màn hình của ôxilô.

Trên nguyên tắc có thể dùng ADC thập phân và *microprocessor* 8 bit, nhưng thường không thoả mãn yêu cầu của tốc độ xử lý và khả năng tính toán, nên người ta

thường dùng *microprocessor* 16 bit. Điều này là do giá trị tương đương sau khi qua ADC (có nghĩa là từ dữ liệu) phải chia ra làm 2 bytes nhớ nối tiếp, và được xử lý nối tiếp. Như vậy làm tăng đáng kể thời gian biến đổi tương tự-số, tính toán và hiển thị. *Microprocessor* dùng trong ôxilô và có 16 vector ngắt, các vector ngắt là rất quan trọng trong các chế độ làm việc đặc trưng cho ôxilô và khi được nối với giao diện hệ thống. Nó cho phép đơn giản hoá và tăng tốc độ tính toán, xử lý dữ liệu.

ROM dùng để chứa chương trình điều khiển có dung lượng 32 Kbyte. RAM chính được thiết kế cho 4K các từ 2 byte; trường hợp cần thiết dung lượng RAM có thể tăng lên.

Bàn phím điều khiển ôxilô thường chia làm hai phần. Phần thứ nhất gồm tập hợp các phím gắn trực tiếp vào mặt trước của ôxilô dùng để thực hiện một số chức năng “kinh điển” của ôxilô như: đo các giá trị max, min của điện áp; giá trị trung bình bình phương; độ rộng sườn và đỉnh xung... Có thể giảm số lượng phép chọn xuống, thông thường là 1024 thì có thể đặt 512, 256 hay 128 phép chọn. Điều này cho phép tăng số lượng lớn tín hiệu nhớ được song nó lại làm giảm đi khả năng phân biệt.

Phần thứ hai là gồm các phím có chức năng mở rộng của thiết bị và cho phép điều khiển được nó từ xa. Để tiện sử dụng, thường trên các phím được ghi các ký hiệu tương tự như trên máy tính nhỏ (calculator) thông thường. Mỗi phép tính cụ thể được thực hiện bằng cách nhấn một phím tương ứng. Mỗi phép tính này (do người sử dụng thiết lập) được thực hiện ngay và độc lập với các phép tính khác, kết quả được nhận ngay và có thể biểu diễn trên màn hình của ôxilô.

Một nhóm phím nữa dùng để chọn chế độ ghi dạng tín hiệu theo tỷ lệ thời gian thực tế, có nhớ, hoặc là đồng thời cả hai chế độ.

Một nhóm phím khác dùng để chọn các đặc điểm của hình trên màn (các chấm điểm hay đường liền nét), hoặc dùng trong chế độ ghi dạng sóng theo các hệ qui chiếu: tín hiệu-thời gian hay tín hiệu-tín hiệu và xoá bỏ hình ảnh (một phần hay toàn bộ) dạng tín hiệu; hoặc để điều khiển dạng sóng trong chế độ nhớ.

Một số phím dùng để thay đổi tỷ lệ hai trục hoành và tung, di chuyển dạng sóng dọc theo màn. Có các phím để đưa hằng số vào, thay đổi số lượng và vị trí các mức chuẩn dùng trong khi đo.

Một số phím dùng để thực hiện các phép tính số học, các phép tính logarit, số mũ, thực hiện các phép tính vi phân, tích phân, trung bình bình phương, trung bình cộng, các phép nội suy tuyến tính hoá để cho phép khôi phục lại dạng đường cong tín hiệu từ một số các điểm riêng cách biệt nhau.

Một số phím khác tạo thành nhóm để làm chương trình cho chế độ làm việc, có khả năng ngắt, do người sử dụng điều khiển.

Đó là các cấu trúc cơ bản cũng như các khả năng, chức năng của ôxilô tương tự có cài đặt *microprocessor*.

## **2. Ôxilô được lập trình điều khiển hoàn toàn (the Software - Based Oscilloscope)**

### **a. Các đặc tính chung**

Được thiết kế trên cơ sở một ôxilô dùng bộ vi xử lý, ôxilô được lập trình điều khiển hoàn toàn có khác biệt với các ôxilô khác cả từ về bên ngoài; về cấu trúc bên trong và về sự điều khiển.

Thông thường mặt trước của thiết bị được chia làm hai phần gần như nhau: một phần (ví dụ ở bên trái) là một màn hình lớn dùng ống phóng tia điện tử, còn phần khác (ví dụ ở bên phải) là các bộ phận điều khiển (nút chuyển mạch và các bàn phím) và một bộ phận chỉ thị là các LED.

Cấu trúc bên trong của ôxilô hoàn toàn giống cấu trúc của một máy điện toán dùng *microprocessor*. Do vậy, toàn bộ hệ thống tin có dạng số, như các số liệu được đưa vào *microprocessor* thông qua sử dụng bàn phím hay các thông tin được chuyển qua các bus giao diện của bộ điều khiển xa (remote control).

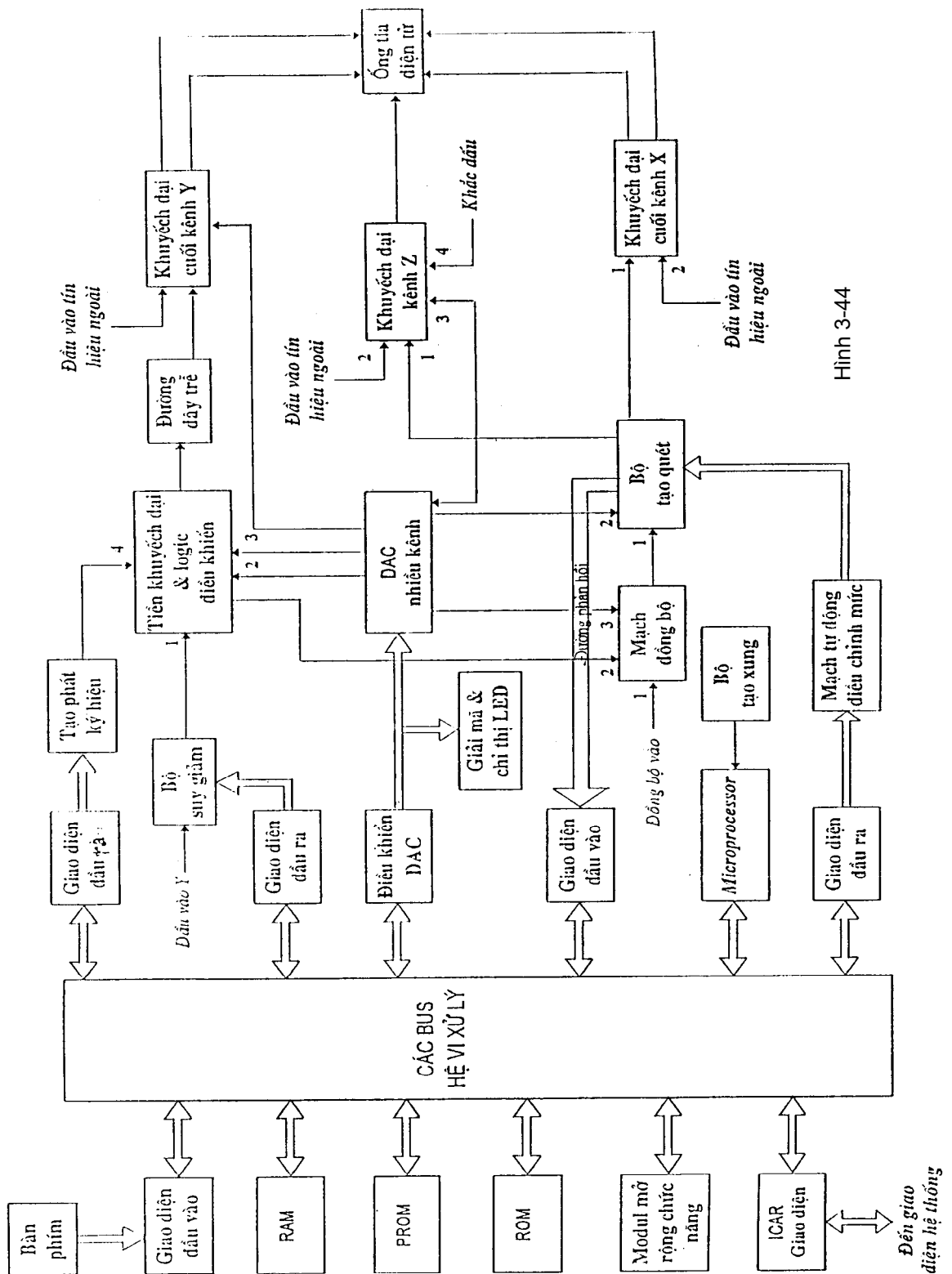
Việc có thêm bộ vi xử lý vào ôxilô làm cho vấn đề trao đổi thông tin giữa người sử dụng và thiết bị (chế độ đối thoại) trở lên tích cực hơn. Thiết bị sẽ tự động hoàn toàn sự tiếp nhận, xử lý và cho ra thông báo tất cả các số liệu trong thời gian tức thời.

### **b. Cấu tạo sơ đồ khối**

Sơ đồ khối như hình 3-44.

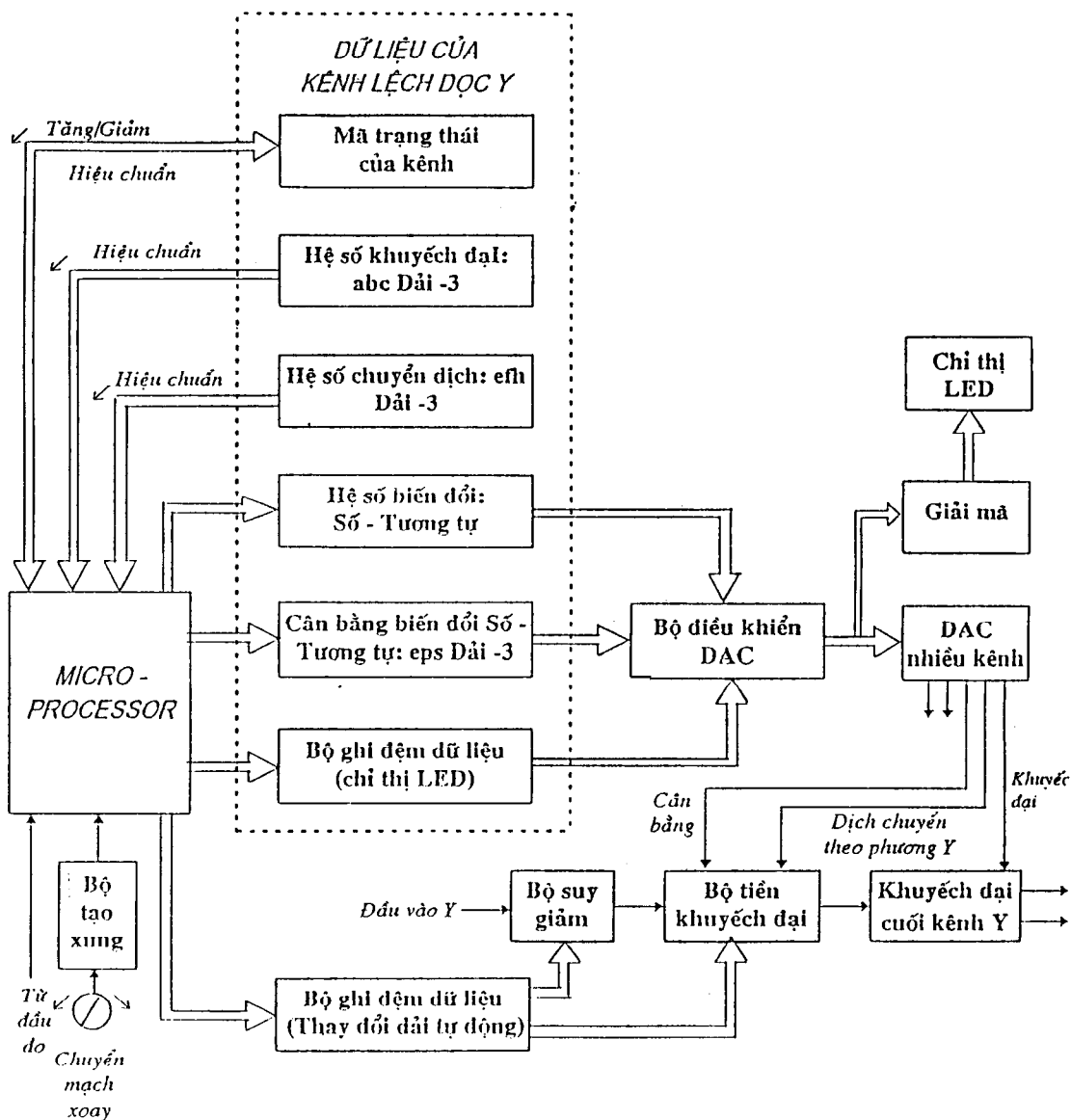
Theo cấu tạo sơ đồ này thì các bộ phận đặc trưng cho một ôxilô điện tử chỉ chiếm một phần khiêm tốn so với hệ thống mô đun của hệ vi xử lý.

Được xây dựng với *microprocessor* 16 bit, thiết bị phức tạp hơn một số các thiết bị được thiết kế trước. Điều này thể hiện qua một loạt các chức năng của thiết bị đo và đặc điểm điều khiển của nó. Sự điều chỉnh từng nấc các hệ số khuếch đại lệch tia và dải tần số quét được thực hiện bởi các phần tử số điều khiển bộ suy giảm và bộ tạo quét. Qua giao diện đầu ra, toàn bộ dữ liệu cần thiết cho điều khiển do bộ vi xử lý cung cấp. Người ta dùng bộ biến đổi số-tương tự 16 kênh loại 14 bit để điều chỉnh liên tục những dữ liệu chính độ nhạy của kênh Y, sự chuyển dịch tia, độ dài điện áp quét,... Những số liệu số được đưa vào các đầu ra vào của chúng được tạo ra ở đầu ra của bộ biến đổi số-tương tự được chuyển tới bộ tiền khuếch đại (đầu 2 và 3) tới bộ khuếch đại cuối của kênh lệch dọc Y, tới bộ tạo quét (đầu 2), tới mạch đồng bộ (đầu 3), tới khuếch đại chiếu sáng Z (đầu 3)... Hình ảnh thông tin được hiển thị dưới dạng chữ số về kết quả đo, đơn vị đo, về những lệnh đã thực hiện,... được tạo nên nhờ bộ tạo quét sóng ký hiệu được điều khiển bằng *microprocessor*, và được đưa tới bộ tiền khuếch đại (đầu 4).



Hình 3-44

Sự điều khiển bằng chương trình phần mềm đã giản ước về cơ bản những công việc như hiệu chuẩn, và thiết lập chế độ làm việc của ôxilô cho người sử dụng. Ta hãy xem xét kỹ hơn mấy công việc này để hiểu rõ hơn chế độ làm việc tự động hoá qua trình ghi vẽ giản đồ dao động của tín hiệu.



Hình 3-45

### *b.1. Hiệu chuẩn ban đầu*

Để thực hiện hiệu chuẩn, không cần phải mở vỏ máy ôxilô và kiểm tra bằng máy đo một số điểm nhất định trong mạch. Tất cả các thao tác được thực hiện bằng bấm nút trên mặt tiền của thiết bị.

Theo chương trình hướng dẫn hiệu chuẩn *microprocessor* tính các hệ số hiệu chỉnh và đưa kết quả vào bộ nhớ RAM. Trong bộ nhớ có lưu giữ các chỉ dẫn hiệu chuẩn. Bộ tạo phát tín hiệu sẽ giúp đưa lần lượt các chỉ dẫn đó xuất hiện trên màn hình của ôxilô. Theo các chỉ dẫn đó, người sử dụng quay nút chuyển mạch nằm ở phần mặt trước máy, cho tới khi có tiếng “pip” sinh bởi tín hiệu hiệu chuẩn (lấy từ bên trong hay bên ngoài ôxilô) và nó chiếm một vị trí nhất định nào đó trên màn hình. Sau đó, người sử dụng ấn nút, chương trình sẽ được thông báo và các dữ liệu về điểm hiệu chuẩn được lưu lại. Thủ tục này được lặp đi lặp lại nhiều lần cho các điểm hiệu chuẩn cho tới khi trong bộ nhớ lưu giữ đủ số liệu về các điểm được hiệu chuẩn thì *microprocessor* sẽ tính các hệ số hiệu chuẩn (mỗi hệ số được sử dụng cho từng loại hiệu chuẩn riêng) và các hệ số này được ghi vào bộ nhớ RAM không phụ thuộc năng lượng (nonvolatile RAM).

Mỗi một chức năng của bộ phận điều khiển bố trí trên mặt trước của thiết bị thì tương ứng với một tập hợp các biến số. Mỗi tập hợp này được lưu giữ trong từng vùng riêng của bộ nhớ RAM. Các giá trị số của các tín hiệu vào đưa tới bộ ghi đệm số liệu và bộ biến đổi số-tương tự nhiều kênh (hình 3-45).

### *b.2. Thiết đặt quá trình ghi vẽ dao động đồ*

Công việc này được tiến hành tự động sau khi người sử dụng nhấn phím gọi “auto adjust” hay sau khi xuất hiện tín hiệu từ bộ điều khiển của giao diện hệ thống, nếu nối ôxilô với hệ thống *microprocessor* sẽ điều khiển theo những dữ liệu chứa trong bộ nhớ RAM.

Hãy xem xét một ví dụ: Thiết đặt trong kênh lệch dọc Y như thế nào? (xem hình 3-45)

Trong vùng đánh dấu đường nét rời là vùng bộ nhớ không phụ thuộc năng lượng RAM trong đó lưu giữ những thông tin về trạng thái của kênh Y.

Trạng thái của kênh được chỉ định bởi hai số: số có 3 chữ số (ví dụ a,b,c) là thể hiện hệ số lệch của kênh mong muốn. Còn có một chữ số (ví dụ -3), chỉ thứ tự của dải có hệ số trên.

Ngay từ khi bắt đầu thủ tục điều chuẩn, *microprocessor* lấy từ bộ nhớ RAM ra “số liệu của dải”, (ví dụ: -3) và tự động xác định hệ số chia toàn bộ đầu đo của ôxilô (nếu như có sử dụng bộ đầu đo); sau đó nó sẽ tiến hành tính toán cần thiết và gửi kết quả

tới bộ ghi đệm biến đổi dải. Giá trị số được đưa vào trong bộ ghi sẽ xác định các bước mà các giá trị cách biệt của hệ số chia của bộ suy giảm, và hệ số khuếch đại của bộ tiền khuếch đại kênh Y, sẽ phải thay đổi. Sau đó, theo thứ tự của dải, *microprocessor* sẽ xác định một giá trị để đưa vào bộ biến đổi số-tương tự, sao cho tại đầu ra của bộ biến đổi này có thể tạo ra được một điện áp mong muốn để làm cân bằng bộ tiền khuếch đại. Cũng từ số thứ tự của dải (ví dụ: -3), *microprocessor* cũng đọc từ bộ nhớ RAM những số liệu đã được ghi vào trong khi hiệu chuẩn (những hệ số hiệu chuẩn). Những số liệu đó xác định hệ số khuếch đại của kênh và số xác định dịch chuyển ban đầu của tia. Tất cả những giá trị tìm ra được gửi vào trong bộ nhớ và những giá trị này có thể được bộ điều khiển gọi ra khi giải quyết các bài toán khác. Khi đó bộ điều khiển tự gửi tuần tự những giá trị này vào bộ biến đổi số-tương tự. Trên đầu ra của bộ biến đổi số-tương tự nhiều kênh sẽ xuất hiện một cách tuần tự những điện áp để hiệu chuẩn các mạch khác của kênh lệch dọc Y.

Thông tin về trạng thái của kênh nhận được bởi *microprocessor* cũng được gửi tới bộ ghi đệm dữ liệu của màn chỉ thị LED. Từ bộ ghi nó được khôi phục lại bởi bộ điều khiển biến đổi số-tương tự (DAC), và truyền tới bộ giải mã để điều khiển màn hình chỉ thị LED. Lúc này người sử dụng có thể tắt máy phát tín hiệu để hình ảnh không bị trùng lặp trên màn hình của ống phóng tia điện tử.

### *b.3. Chế độ tự động quá trình ghi vẽ dao động đồ*

Trong chế độ này, khi bấm các phím tương ứng thì việc điều khiển là do *Microprocessor* đảm nhận. Mạch đồng bộ xác lập các giá trị mức phát (trigger level) mong muốn và tốc độ phát (trigger rate) (hình 3-46a)

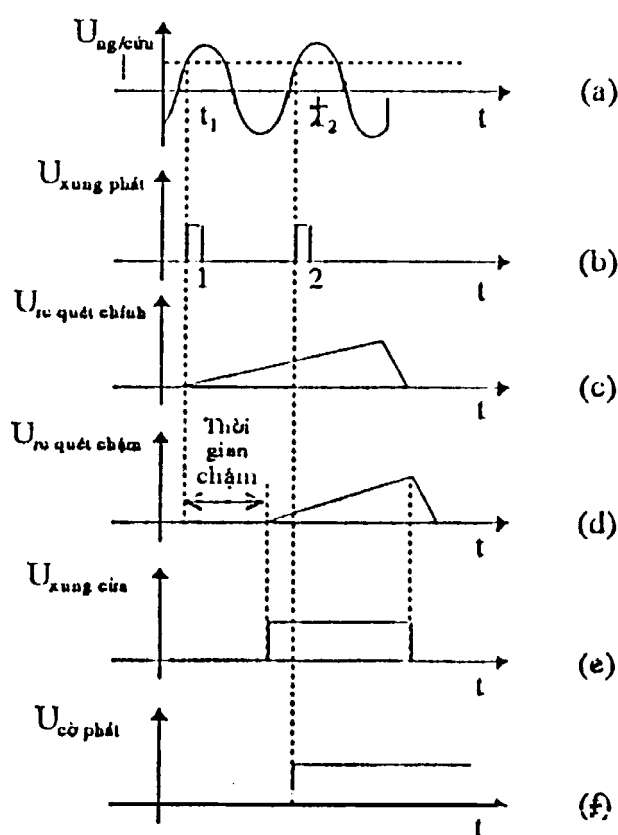
Khi tín hiệu nghiên cứu  $\mu_x$  từ kênh lệch dọc hoặc của tín hiệu đồng bộ ngoài được đưa vào, thì tại thời điểm  $t_1$  (hình 3-46a) mạch đồng bộ tạo ra một xung: xung 1 (hình 3-46b). Xung phát này kích phát bộ quét chính để tạo ra điện áp quét có dạng răng cưa:  $U_{rc}$  (hình 3-46c) và kích cả cho bộ tạo quét chậm. Khi cách một quãng thời gian chậm đã được đặt trước thì bộ quét chậm bắt đầu hoạt động (hình 3-46d). Hai bộ tạo xung quét chính và chậm này đều được tạo theo sơ đồ mạch tích phân. Điện áp có dạng răng cưa ở đầu ra của bộ tạo quét chậm thì tương ứng với xung của hình chữ nhật ở đầu vào của bộ tích phân (hình 3-46c).

Khi tín hiệu nghiên cứu lại cắt mức phát lần thứ hai ở thời điểm  $t_2$ , thì có tín hiệu xung phát: xung 2 được tạo ra (hình 3-46b). Nếu như nó xuất hiện trong thời gian có xung cửa (hình 3-46b và 13-46e), thì xung phát 2 sẽ tạo sự chuyển trạng thái của flip-flop sao cho ở đầu ra có mức điện thế cao, nó ứng với mức logic 1. Mức cao này là “cờ phát” (trigger flag) sẽ được chuyển từ tạo gốc thời gian qua đường thông tin phản hồi tới *microprocessor* (hình 3-45). Bằng cách này *microprocessor* sẽ nhận biết được thông tin

về việc có tín hiệu nghiên cứu đã được đặt ở đầu vào kênh lệch dọc Y, hay một tín hiệu đồng bộ ngoài đã được cung cấp tới mạch đồng bộ.

Sau khi *microprocessor* nhận được tín hiệu chờ phát thì có 4 nhóm phép tính được thực hiện một cách tự động: thiết đặt các thông số ban đầu; tìm kiếm theo chiều dọc; tìm kiếm theo chiều ngang; và thiết đặt các thông số cuối cùng.

Mục tiêu của quá trình thiết đặt các thông số ban đầu là điều chuẩn các giá trị thông số của các kênh sao cho chúng ở vào tình trạng bình thường. Trong đó kể cả nếu như có lỗi do người sử dụng có thể tạo ra, thì nó sửa lại đúng ngay. Ví dụ như người sử dụng đặt khoảng thời gian chậm giữa bộ tạo quét chính và quét chậm lớn quá, làm khó hoặc không quan sát được, thì máy tự động thiết đặt lại chế độ bình thường. Ngoài ra nó còn chọn được các trạng thái của các kênh sao cho xác suất chọn được hình ảnh có chất lượng cao nhất của dạng sóng tín hiệu là lớn nhất.



Hình 3-46

Mục tiêu tìm kiếm theo chiều dọc là để đặt được một biên độ tín hiệu mong muốn vào kênh lệch dọc Y. Việc tìm kiếm theo chiều dọc phải làm trước việc tìm kiếm theo chiều ngang bởi vì trong trường hợp ngược lại, có thể làm bộ khuếch đại lệch dọc Y

bị qua tải. Bản chất của việc tìm kiếm theo chiều dọc là xác định được độ nhảy của kênh, nó đạt được bằng cách tự động chọn được một trong 4 giá trị có thể của hệ số truyền của bộ suy giảm. Điều đó có nghĩa là hệ số lệch có các dải nhỏ và chỉnh đều liên tục được độ nhảy trong các dải nhỏ đã chọn.

Việc tìm kiếm theo chiều dọc diễn ra với thời gian đợi là 42 ms, cần thiết để phát hiện các tín hiệu có tần số 50 Hz (chu kỳ 20 ms). Do chương trình tìm kiếm được thực hiện mới mỗi lần với việc *microprocessor* nhận được cờ phát, nên đối với các tín hiệu tần số cao thì thời gian tìm kiếm giảm. Cờ phát tạo ra khi phát hiện được tín hiệu trong kênh, được ghi vào bộ nhớ và được sử dụng trong quá trình thiết đặt các thông số cuối cùng.

Việc tìm kiếm theo hàng ngang được thực hiện sau khi nhận được biên độ cần thiết của tín hiệu. Theo chương trình, bộ tạo ra xung phát của bộ tạo quét chính được nối vào kênh lệch dọc, mà trong kênh này cũng tiến hành việc tìm kiếm tín hiệu. Mức phát sóng trong mạch đồng bộ được đặt ở mức kém hơn ba lần biên độ của tín hiệu đã điều chỉnh, còn đầu thì lấy ra từ bộ nhớ. Quá trình tự động tìm kiếm tốc độ quét cần thiết được bắt đầu.

Việc tìm kiếm tín hiệu nhanh vì thời gian chờ phát không vượt quá hai lần chu kỳ của tín hiệu. Khi nghiên cứu những tín hiệu tần số thấp (ví dụ 50 Hz) thì các tụ được thay nhau lần lượt nối vào mạch, cho tới khi hằng số RC của mạch tích phân tăng tới khi nhận được độ dài điện áp quét mong muốn (42 ms).

Thiết đặt các thông số cuối cùng được *microprocessor* tiến hành trên cơ sở các dữ liệu thu được qua việc tìm kiếm theo chiều dọc và theo chiều ngang. Bộ tạo quét chính được khởi động, trị giá hệ số quét tìm thấy được nhân với 2 (như vậy dao động đồ sẽ có hai chu kỳ của tín hiệu nghiên cứu). Tốc độ bộ quét chậm được xác định cao hơn 10 lần tốc độ bộ quét chính. Trong kênh lệch dọc (hay nhiều kênh lệch dọc) đã phát hiện được tín hiệu thì vẫn làm việc, còn các kênh khác thì tắt. Theo các thông tin nhận được từ kênh này thì tia điện tử sẽ dịch chuyển theo chiều dọc. Trên bus của bộ vi xử lý sẽ có những điện thế để đảm bảo được sự làm việc của các mô-đun khác mà có thể mở rộng các chức năng của ôxilô.

## *Chương IV*

# ĐO TẦN SỐ, KHOẢNG THỜI GIAN VÀ ĐO ĐỘ DI PHA

### 4.1 KHÁI NIỆM CHUNG

Trong kỹ thuật điện tử, thường hay dùng các tín hiệu có phổ tần số hết sức rộng. Dải phổ tần số này bắt đầu từ các tần số bằng một vài phần trăm Hz đến  $10^{15}$  Hz. Toàn bộ tần phổ này có thể chia làm hai dải tần số có tính chất khác nhau: dải tần số thấp (tần số âm thanh...) và dải tần số cao (tần số sóng vô tuyến...). Tất nhiên sự phân chia này chỉ là tương đối. Dải tần số âm thanh gồm các tần số mà tai người có thể nghe được, những tần số thấp hơn 20MHz gọi là ngoại âm tần (hạ âm); những tần số cao hơn 20kHz gọi là siêu âm. Những tần số của các dao động điện cao hơn 10kHz là thuộc về tần số vô tuyến. Giới hạn dùng và kỹ thuật đo lường các tần số cao tần tăng lên cùng với sự phát triển của kỹ thuật điện tử và ngày nay đã xác định được các tần số chừng độ  $3 \cdot 10^{15}$  Hz.

Phổ của tần số sử dụng trong kỹ thuật điện tử chia thành nhiều dải tần số khác nhau, do tính chất của các dải này mà yêu cầu của phép đo tần số có các mức độ chính xác khác nhau, cũng như các phương pháp đo khác nhau.

Các phương pháp đo tần số thông dụng trong kỹ thuật điện tử là: phương pháp cầu, phương pháp so sánh và phương pháp đếm. Tùy theo các tần đoạn khác nhau mà các phương pháp đo được dùng nhiều hay ít khác nhau do đặc tính tần số của nó. Ta sẽ xét trong chương này theo các phương pháp đo cơ bản nói trên, chứ không xét theo tần đoạn.

Về trị số so sánh của phép đo tần số, có thể được cho dưới dạng tuyệt đối, song phổ biến hơn vẫn là dưới dạng tương đối  $\frac{\Delta f}{f}$ .

Đo tần số là một trong những phép đo thông số đặc tính quan trọng nhất của tín hiệu sử dụng trong kỹ thuật điện tử.

Tần số, là số chu kỳ của dao động trong một khoảng thời gian. Nếu trong một đơn vị thời gian số chu kỳ dao động tăng lên, thì tần số cũng tăng lên.

Một cách chung hơn, tần số được xác định theo tần số góc, nó biểu thị tốc độ biến đổi pha của dao động. Tần số góc  $\omega(t)$  là đạo hàm của góc pha theo thời gian:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} \quad (1)$$

hay  $\omega(t)$  còn được biểu thị theo công thức:

$$\omega(t) = 2\pi f(t)$$

$\omega(t)$  và  $f(t)$  là trị số tần số góc và tần số tức thời.

Với dao động điều hoà, thì góc pha biến đổi, tỷ lệ với thời gian, do vậy đạo hàm của góc pha theo thời gian có trị số không thay đổi :  $\omega_0 = 2\pi f_0$ . Nên cũng cần lưu ý khi nói danh từ “tần số”, thì hiểu đó là  $f_0$ , nghĩa là trị giá trung bình của tần số.

Quan hệ giữa tần số và bước sóng là:

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (2)$$

ở đây,  $f$  là tần số tính ra Héc (Hz);  $\lambda$  là chiều dài bước sóng, tính ra m, và  $v$  là tốc độ pha của dao động điện từ truyền lan trong môi trường, tính ra m/s.

Tốc độ pha truyền lan của dao động điện từ tùy thuộc vào môi trường và vào cách thức truyền năng lượng. Với môi trường có hệ số điện môi tương đối  $\epsilon_r > 1$  thì tốc độ pha bằng:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

ở đây,  $c$  là tốc độ ánh sáng truyền lan tự do. Chiều dài bước sóng trong trường hợp này bằng:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

$\lambda_0$  ở đây là chiều dài bước sóng trong truyền lan tự do.

Do đó, khi tốc độ pha thay đổi, thì chiều dài bước sóng thay đổi, còn tần số thì không phụ thuộc vào điều kiện truyền lan. Đó là điều cần lưu ý phân biệt về quan hệ giữa tần số và bước sóng.

Quan hệ giữa tần số và chu kỳ của dao động là:

$$f = \frac{1}{T} \quad (5)$$

trong đó,  $T$  là chu kỳ của dao động, tính ra giây. Do đó, đo tần số còn có thể thông qua phép đo thời gian, nghĩa là đo chu kỳ của dao động.

Như vậy, để xác định đặc tính của tín hiệu dao động điện từ, thì thường đo tần số  $f$ , chu kỳ  $T$ , hay chiều dài bước sóng  $\lambda$ . Tại tần số âm tần và cao tần thì đo tần số và chu kỳ; còn ở siêu cao tần, vì chiều dài bước sóng là một đại lượng có thể so sánh được với kích thước của hệ thống đường dây truyền, nên vấn đề đo tần số  $f$  được đổi thành phép đo trực tiếp đại lượng chiều dài bước sóng  $\lambda$ .

Trong kỹ thuật điện tử, đo tần số được dùng nhiều trong các trường hợp như: căn chỉnh độ và chuẩn lại các máy tạo tín hiệu đo lường, máy phát, máy thu; căn xác định tần số cộng hưởng của các mạch dao động; căn xác định dải thông của bộ lọc, của mạng bốn cực, căn kiểm tra mức độ lệch tần số của các thiết bị đang làm việc...

## 4.2 ĐO TẦN SỐ BẰNG CÁC MẠCH ĐIỆN CÓ THÔNG SỐ PHỤ THUỘC TẦN SỐ

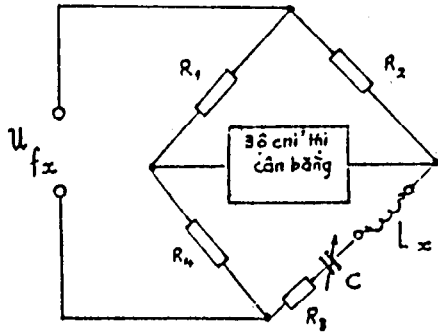
### 4.2.1 Phương pháp cầu

Để đo tần số, có thể dùng các cầu đo mà điều kiện cân bằng của cầu phụ thuộc vào tần số của nguồn điện cung cấp. Ví dụ như hình 4-1 là sơ đồ của một mạch cầu đơn giản có một nhánh là mạch cộng hưởng.

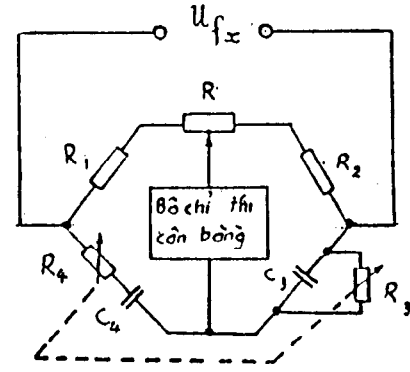
Điều kiện cân bằng của cầu này là:

$$R_1 Z_3 = R_2 R_4 \quad (6)$$

Như vậy, phép đo tần số ở đây là thực hiện điều chuẩn nhánh cộng hưởng sao cho cộng hưởng tại tần số cần đo, để thực hiện được cầu cân bằng. Với mạch cụ thể trên, thì nhánh 3 được điều chuẩn bằng tụ điện biến đổi  $C$ ; và thang độ của nó có thể trực tiếp khắc độ theo đơn vị tần số. Để mở rộng giới hạn đo tần số, ở đây được thực hiện bằng cách thay đổi cuộn  $L$ . Bộ chỉ thị cân bằng là vôn-mét chỉnh lưu, vôn-mét điện tử; hay ở tần số thấp (từ 100Hz đến 5000Hz) thì có thể dùng ống nghe. Nhược điểm chủ yếu của loại cầu này là khó chế tạo được cuộn điện cảm ở tần số thấp và khó thực hiện chỉ thị không do có tác động của điện từ trường lên cuộn điện cảm.



Hình 4-1



Hình 4-2

Một loại sơ đồ mạch cân đo tần số được dùng phổ biến hơn như hình 4-2. Điều kiện cân bằng của mạch đo này là:

$$\frac{R_1 R_3}{1 + j\omega_x C_3 R_3} = R_2 \left( R_4 + \frac{1}{j\omega_x C_4} \right) \quad (7)$$

(ở đây, ta có thể bỏ qua điện trở của biến trở R)

Từ (7), phân tích riêng biệt phần thực và phần ảo, ta có:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} + \frac{C_3}{C_4} \quad (8)$$

$$\frac{1}{\omega_x C_4} = \omega_x C_3 R_3 R_4 \quad (9)$$

Từ phương trình (9), có thể tìm được trị số tần số cần đo:

$$\omega_x = 2\pi f_x = \frac{1}{\sqrt{R_3 R_4 C_3 C_4}}$$

Nếu chọn các điện trở và tụ điện sao cho có:  $R_3 = R_4 = R$ , và  $C_3 = C_4 = C$  thì kết quả thu được sẽ đơn giản hơn:

$$f_x = \frac{1}{2\pi RC}$$

Để đo tần số, còn có thể dùng loại kiểu cầu kiểu chữ “T kép” như hình 4-3. Điều kiện cân bằng của cầu là:

$$\omega_x^2 R_2^2 C_1 C_2 = 2 \quad (10)$$

và:

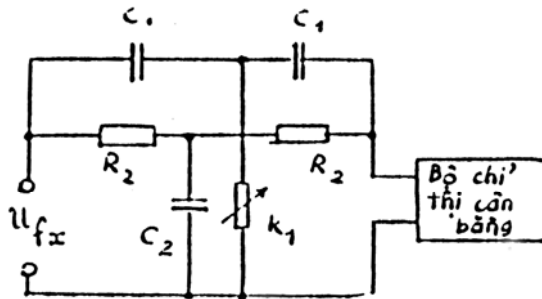
$$2\omega_x^2 C_1^2 R_1 R_2 = 1 \quad (11)$$

Khi  $R_2 = 2R_1$  và  $C_2 = 2C_1$ , thì ta có:

$$\omega_x = \frac{1}{2} R_1 C_1$$

hay:

$$f_x = \frac{1}{4} \pi R_1 C_1$$



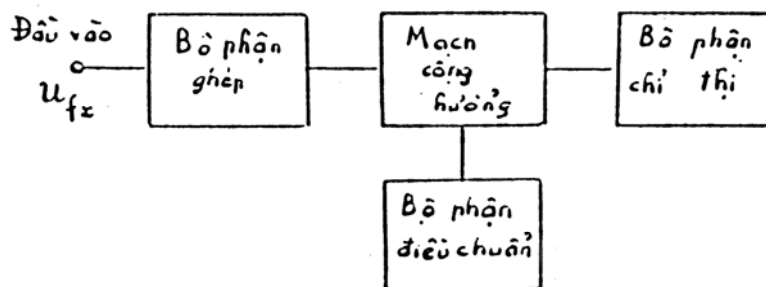
Hình 4-3

Thang độ của  $R_1$  có thể trực tiếp khác độ theo đơn vị tần số.

Phương pháp câu dùng để đo tần số từ vài chục Hz tới vài trăm kHz, sai số đo khoảng (0,5% ÷ 1%).

#### 4.2.2 Phương pháp cộng hưởng

Đo tần số bằng phương pháp cộng hưởng dựa trên nguyên lý dùng tác dụng chọn lọc tần số của mạch cộng hưởng. Sơ đồ khối của phép đo này như hình 4-4.



Hình 4-4

Bộ phận chính của sơ đồ này là mạch cộng hưởng. Mạch này được kích thích bằng dao động lấy từ nguồn cần đo tần số thông qua bộ phận ghép. Quá trình điều chỉnh đạt tới tần số cần đo được thực

hiện bằng bộ phận điều chuẩn. Cấu tạo của bộ phận điều chuẩn này tùy thuộc vào cấu tạo của mạch cộng hưởng. Khi mạch cộng hưởng có gây hiện tượng cộng hưởng tại tần số đo thì hiện tượng này được phát hiện bằng bộ phận chỉ thị. Bộ phận chỉ thị thường là một vôn-mét tách sóng (ví dụ như diốt tách sóng mắc nối tiếp với một micro ampe-mét điện tử).

Tùy theo dải tần số mà mạch cộng hưởng có các cấu tạo khác nhau. Trong các thiết bị đo tần số bằng phương pháp cộng hưởng, thì thực tế để dùng được trong các tần đoạn khác nhau, mạch cộng hưởng có ba loại:

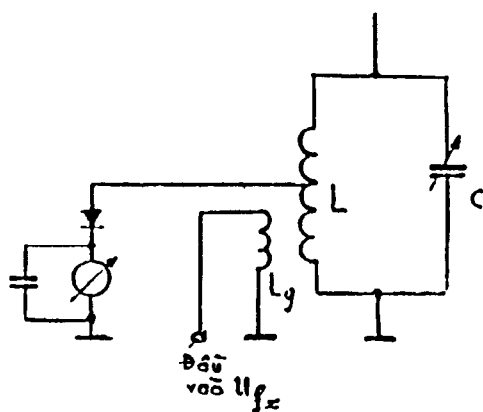
1. Mạch cộng hưởng có điện dung và điện cảm đều là các linh kiện có thông số tập trung.

2. Mạch cộng hưởng có pha trộn giữa linh kiện có thông số tập trung là điện dung, và linh kiện có thông số phân bố là điện cảm.

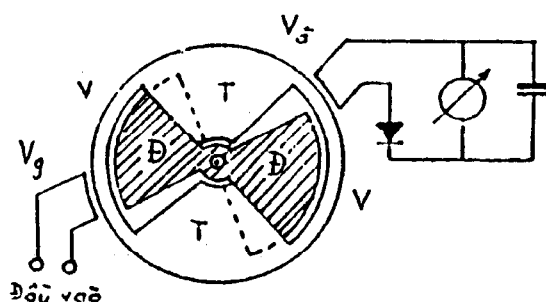
3. Mạch cộng hưởng có điện dung và điện cảm đều là các linh kiện có thông số phân bố.

Hình 4-5 là sơ đồ của loại mạch thứ nhất. Trong đó, điện dung và điện cảm là các linh kiện có thông số tập trung L và C. Bộ phận điều chuẩn chính là tụ điện biến đổi C, có thang độ được khắc độ theo đơn vị tần số. Vì tụ C có hệ số biến đổi  $\left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}}\right)$  không

lớn lắm, nên muốn mở rộng dải tần số thì tần số mét thường còn phải thay đổi cả cuộn L. Mạch cộng hưởng được kích thích bằng dao động lấy từ nguồn cần đo thông qua cuộn dây ghép  $L_g$ . Sự chỉ thị cộng hưởng của mạch điện tại tần số đo được thực hiện bằng bộ



Hình 4-5



Hình 4-6

tách sóng và đồng hồ từ điện đo dòng điện một chiều. Khi mạch cộng hưởng thì trị số của đồng hồ là cực đại. Để giảm nhỏ tác dụng mắc song song của mạch chỉ thị, thì ở đây, nó chỉ được ghép trên một phần tử của cuộn L.

Tần số mét loại này có lượng trình từ 10kHz đến 500MHz. Sai số đạt trong khoảng 0,25%÷3%.

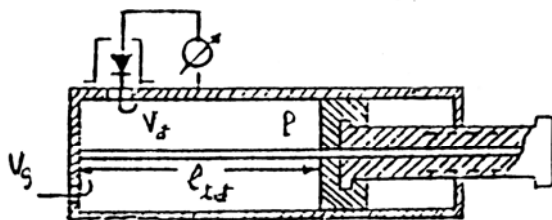
Hình 4-6 là mạch điện của tần số-mét mà mạch cộng hưởng là có pha trộn các linh kiện có thông số tập trung và linh kiện có thông số phân bố. Mạch cộng hưởng ở đây gồm có tụ xoay kiểu hình bướm. Bộ phận tĩnh điện của tụ được nối với nhau bằng vòng kim loại V, vòng này đóng vai trò điện cảm phân bố của mạch.

Khi phần tĩnh điện T và phần động Đ của tụ điện được hoàn toàn lồng vào nhau, thì tụ điện có trị số điện dung là cực đại. Khi chúng hoàn toàn đưa ra khỏi nhau thì tụ

điện có trị số điện dung là cực tiểu. Khi đó, không những chỉ biến đổi được trị số của điện dung mà đồng thời còn biến đổi cả trị số điện cảm nữa; vì khi hai bộ phận T và Đ đưa ra khỏi nhau thì từ trường của vòng dây V bị bọc kim bởi bộ phận động Đ của tụ điện, lúc này trị số điện cảm là bé nhất. Còn khi ứng với hai bộ phận T và Đ của tụ lồng vào nhau, thì vòng V có trị số điện cảm lớn nhất. Như vậy, trị số điện dung và điện cảm của mạch đồng thời thay đổi trị số, cùng tăng hoặc cùng giảm sẽ làm cho hệ số thay đổi tần số của khoảng tần số đo  $\left( \frac{f_{\max}}{f_{\min}} \right)$  lớn. Tại tần đoạn từ 200-1000MHz, vì kích thước

hình học của mạch đã nhỏ đi nhiều (đường kính của tụ điện khoảng >10cm); nên kích thước của tần số-mét cũng được thu nhỏ hơn. Vòng dây  $V_g$  để ghép điện áp kích thích lấy từ nguồn đo; vòng dây  $V_d$  để ghép với mạch chỉ thị cộng hưởng.

Sai số của loại này khoảng  $0,1\% \div 1\%$ .

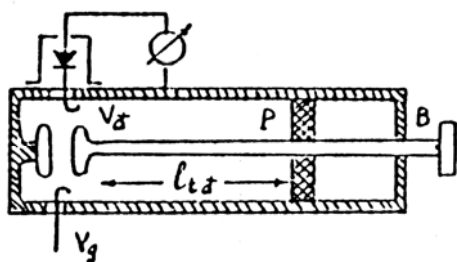


Hình 4-7

Hình 4-7 là sơ đồ cấu tạo một loại tần số-mét dùng ở siêu cao tần. Trong đó, tần số-mét được kết cấu là đoạn dây đồng trục có nối tắt. Một đầu dây được nối tắt bằng pittông P có thể dịch chuyển dọc theo dây bởi hệ thống răng của xoắn ốc có khắc độ B. Vòng  $V_g$  để ghép tần số mét với nguồn dao động cao tần; vòng  $V_d$  để ghép đường

dây với mạch chỉ thị. Các chỗ ghép đều ở gần vị trí nối tắt cố định, để gần được vị trí bụng của dòng điện phân bố có chiều dài  $l_{td} = \frac{\lambda}{2}$ . Khi đó thiết bị chỉ thị sẽ chỉ cực đại.

Các tần số-mét có cấu tạo bằng đoạn dây đồng trục này được dùng ở đoạn sóng từ 3cm đến 20cm. Nhờ có hệ số phẩm chất của mạch cao (khoảng 5000) nên sai số đo của loại này khoảng 0,5%.



Hình 4-8

Hình 4-8 là sơ đồ tần số-mét dùng dây đồng trục có nối tắt một đầu, còn một đầu là điện dung C. Trở kháng vào của đoạn dây này khi chiều dài tương đương  $l_{td} < \frac{\lambda}{4}$  có tính chất cảm kháng, nên cùng với điện dung C hình thành một mạch cộng hưởng. Điều chỉnh mạch cộng hưởng bằng cách biến đổi chiều dài đoạn dây và trị số điện dung C. Điều kiện cộng hưởng

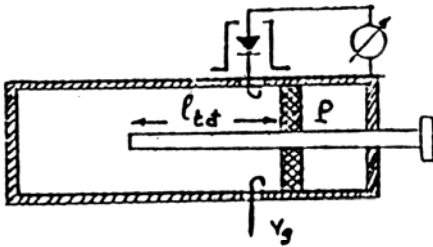
được thực hiện khi:

$$\frac{1}{\omega C} = W \operatorname{tg} \frac{2\pi l}{\lambda} = W \operatorname{tg} \frac{\omega l}{v}$$

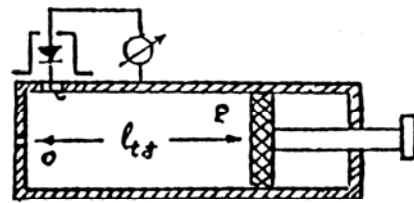
trong đó,  $W$  là trở kháng sóng của đường dây.

Cách thức ghép đường dây với nguồn đo và mạch chỉ thị cũng được thực hiện bởi các vòng  $V_g$  và  $V_d$  như loại mạch trên.

Tần số-mét loại này được dùng ở đoạn sóng từ 20cm đến 2m. Sai số khoảng 0,5%.



Hình 4-9



Hình 4-10

Hình 4-9 là một sơ đồ khác của tần số-mét loại dùng dây đồng trực. Trong đó có một đầu dây nối tắt còn một đầu kia để hở. Chiều dài tương đương là  $l_{td}$  nhỏ hơn  $\frac{\lambda}{4}$ ; và đầu cuối của trực dây với thành nối tắt để tạo nên một điện dung của mạch. Các vòng ghép đều đặt ở vị trí bụng của dòng điện. Điều chỉnh tần số-mét ở đây bằng cách điều chỉnh độ dài của trực dây.

Hình 4-10 là sơ đồ tần số-mét loại dùng hốc cộng hưởng cấu tạo bằng ống dẫn sóng. Ống dẫn sóng có thể dùng là loại ống tròn hay ống vuông góc. Pittông nối tắt  $P$  có thể điều chỉnh dọc theo ống bởi hệ thống răng cưa xoắn ốc. Khi điều chỉnh để có  $l_{td} = \frac{\lambda}{2}$ , ( $\lambda$  là bước sóng của sóng truyền lan trong ống) thì đồng hồ chỉ thị chỉ trị số cực đại. Năng lượng kích thích hốc cộng hưởng được ghép qua lỗ 0 trên thành nối tắt của ống. Vì hệ số phẩm chất của hốc cộng hưởng lớn (khoảng 30.000), nên số đo của loại tần số-mét này bé hơn loại trên; nó vào khoảng 0,01 đến 0,05%.

Các nguyên nhân cơ bản gây sai số của phép đo tần số bằng phương pháp cộng hưởng là: sai số do sự xác định điểm cộng hưởng không chính xác; sai số do nhiệt độ, độ ẩm của môi trường xung quanh và sai số do khắc độ.

Sai số do xác định điểm cộng hưởng không chính xác sẽ được giảm nhỏ hơn nếu dùng mạch đo có hệ số phẩm chất cao và chú ý giảm nhỏ ảnh hưởng ghép trở kháng của

mạch chỉ thị vào mạch cộng hưởng. Về thao tác đo, để nâng cao độ chính xác xác định điểm cộng hưởng, thì dùng cách đo hai điểm có mức chỉ thị bằng nhau ở hai phía điểm cộng hưởng, sau đó lấy trị số trung bình cộng để xác định điểm cộng hưởng có độ dốc lớn, dễ điều chỉnh và dễ phát hiện.

Sai số do nhiệt độ, độ ẩm là do nhiệt độ, độ ẩm của môi trường chung quanh làm thay đổi kích thước gây hư hỏng các linh kiện của mạch cộng hưởng do đó làm thay đổi tần số cộng hưởng. Để giảm sai số này cần có thiết bị bù nhiệt, có sơn tẩm chống ẩm và dùng các vật liệu để chế tạo linh kiện có hệ số nhiệt độ bé (ví dụ: niken hay thép không gỉ...).

Sai số do khắc độ như khắc độ tần số theo trị số điện dung, khắc độ chiều dài bước sóng theo trị số độ dài..., không chính xác. Để giảm nhỏ sai số này, thường dùng các cách khắc độ đặc biệt cho thang độ tần số.

Để tính toán sai số do sự xác định không đúng ở vị trí cộng hưởng, ta dùng cách tính sai số khi xác định vị trí cực trị đã giới thiệu ở chương sai số. Sai số cực đại của phép đo tần số theo phương pháp cộng hưởng ở đây được xác định theo công thức (46) ở chương 2. Để lấy đạo hàm bậc hai ở công thức tính sai số cực đại này, trước hết cần xác định phương trình đường cong của mạch cộng hưởng đơn:

$$u = \frac{u_0}{\sqrt{1 + 4Q^2 \left( \frac{f}{f_0} - 1 \right)^2}} \quad (12)$$

Trong đó:

$u_0$  là điện áp của mạch cộng hưởng khi  $f=f_0$ ;

$f_0$  là tần số cộng hưởng của mạch;

$Q$  là hệ số phẩm chất của mạch cộng hưởng.

Nếu đặc tính tách sóng của bộ chỉ thị là đường thẳng, nghĩa là trị số chỉ thị bằng:

$$\alpha = Ku \quad (13)$$

thì biểu thức (12) có dạng:

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{\sqrt{1 + 4Q^2 \left( \frac{f}{f_0} - 1 \right)^2}} \quad (14)$$

trong đó,  $K$  là hệ số truyền đạt của bộ tách sóng:

$\alpha_0 = Ku_0$  là trị số chỉ thị cực đại của bộ chỉ thị khi cộng hưởng.

Đạo hàm bậc nhất của biểu thức (14) theo tần số là:

$$\frac{d\alpha}{df} = \frac{4Q^2\alpha_0\left(\frac{f}{f_0}-1\right)}{f_0\sqrt{\left[1+4Q^2\left(\frac{f}{f_0}-1\right)^2\right]^3}} \quad (15)$$

Đạo hàm bậc hai của biểu thức (14) có dạng:

$$\frac{d^2\alpha}{df^2} = -\frac{4Q^2\alpha_0\left[1-8Q^2\left(\frac{f}{f_0}-1\right)^2\right]}{f_0\sqrt{\left[1+4Q^2\left(\frac{f}{f_0}-1\right)^2\right]^5}} \quad (16)$$

Khi  $f=f_0$  thì đạo hàm bậc hai bằng:

$$\frac{d^2\alpha}{df^2} = -\frac{4Q^2\alpha_0}{f_0^2} \quad (17)$$

Dấu âm của biểu thức (17) vào công thức tính sai số, có trị số sai số cực đại:

$$M_{f_0} = \frac{f_0}{Q} \sqrt{\frac{\Delta\alpha}{2\alpha_0}} \quad (18)$$

Và trị số sai số tương đối cực đại bằng:

$$m_{f_0} = \frac{M_{f_0}}{f_0} = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{\Delta\alpha}{2\alpha_0}} \quad (19)$$

Nếu đặc tuyến tách sóng là bậc hai, tức là khi tín hiệu đưa vào bộ tách sóng rất nhỏ và dùng đồng hồ chỉ thị có độ nhạy cao. Khi đó:

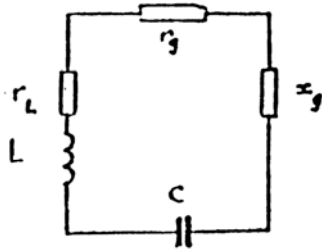
$$\alpha = Ku^2 \quad (20)$$

Lúc này, biểu thức (12) có dạng:

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{\sqrt{1 + 4Q^2 \left( \frac{f}{f_0} - 1 \right)^2}} \quad (21)$$

ở đây,  $\alpha_0 = Ku_0^2$  là trị số chỉ thị của đồng hồ khi cộng hưởng.

Cũng tiến hành tính toán như trên, lấy đạo hàm bậc hai của (21) tại  $f=f_0$  rồi thay vào (19), ta có các kết quả:



Hình 4-11

$$M_{f_0} = \frac{f_0}{2Q} \sqrt{\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0}}$$

$$m_{f_0} = \frac{1}{2Q} \sqrt{\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0}}$$

Từ các biểu thức sai số tuyệt đối (18) và (22) ta có nhận xét là: nếu hệ số phẩm chất của mạch đo càng lớn, thì sai số xác định không đúng vị trí cộng hưởng càng nhỏ. Cũng có nhận xét nữa là: nếu  $\alpha_0$  có trị số càng lớn, tức trị số chỉ thị khi cộng hưởng có trị số càng lớn, thì sai số mắc phải càng nhỏ. Song cũng cần phải chú ý thêm là nếu  $\alpha_0$  tăng trong khi công suất của nguồn dao động không đổi thì phải tăng độ ghép. Khi tăng độ ghép tức là đã tăng thành phần điện kháng ghép vào mạch cộng hưởng, như vậy sẽ sinh ra một sai số khác do sự dịch chuyển tần số cộng hưởng của mạch đo.

Trị số sai số do ghép mạch chỉ thị tạo nên, cũng có thể tính toán được.

Dựa trên cơ sở của lý thuyết ghép mạch, mạch đo hình 4-5 có thể biến thành mạch tương đương như hình 4-11. Trong đó,  $x_g$  là thành phần điện kháng được ghép sang mạch đo.

Trị số tần số cộng hưởng khi mạch cộng hưởng có kể tới các ảnh hưởng ghép là:

$$\omega'_0 L - \frac{1}{\omega'_0 C} + x_g = 0 \quad (24)$$

Nhân biểu thức (24) với  $\omega'_0$  và chia cho  $L$ , ta có:

$$(\omega'_0)^2 - \frac{1}{LC} + \frac{\omega'_0}{L} x_g = 0 \quad (25)$$

vì:

$$\frac{1}{LC} = \omega_0^2 \quad (26)$$

nên

$$\omega_0^2 - (\omega'_0)^2 = \frac{\omega'_0}{L} x_g \quad (27)$$

đặt  $\omega'_0 = \omega_0 - \Delta\omega$  (28)

thay vào (27) và (28)

$$\omega_0^2 - \omega_0^2 + 2\omega_0\Delta\omega - \Delta\omega^2 = \frac{\omega_0 - \Delta\omega}{L} x_g \quad (29)$$

Chia hai vế của (29) cho  $2\omega_0^2$ , ta có:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{x_g}{2\omega_0 L} \left( 1 - \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right) \quad (30)$$

do đó:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\frac{x_g}{\rho}}{2 + \frac{x_g}{\rho}} \quad (31)$$

ở đây:  $\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$  (32)

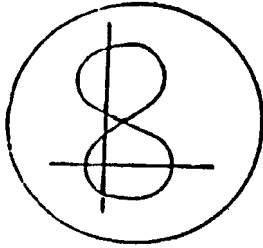
Nếu giả thiết là  $\rho \gg x_g$ , thì biểu thức (31) có thể đơn giản hơn. Trị số sai số tương đối của tần số-mét khi có kể tới ảnh hưởng của ghép thành phần điện kháng là:

$$m_x = \frac{x_g}{2\rho} \quad (33)$$

Từ biểu thức (33) ta có nhận xét: để giảm sai số thì cần cho tần số-mét làm việc ở chế độ ghép lỏng nhất. Ta cũng còn có nhận xét khác nữa là vì phần tử điều chỉnh của tần số-mét là tụ điện, nên trở kháng  $\rho$  có trị số nhỏ nhất ở phần tần số thấp của mỗi băng tần số. Như vậy, khi có cùng một chế độ ghép thì  $m_x$  khác nhau ở trên một băng, và nó sẽ có trị số nhỏ nhất ở phần tần số cao của băng tần số.

## 4.3 ĐO TẦN SỐ BẰNG PHƯƠNG PHÁP DÙNG THIẾT BỊ SO SÁNH

### 4.3.1 Phương pháp dùng dao động đồ của ôxilô



Hình 4-12

Đo tần số bằng dao động ký được thực hiện bằng cách so sánh tần số cần đo với tần số của một bộ tạo dao động tần số chuẩn thông qua các dao động đồ “litxagiu”. Muốn tạo được các hình litxagiu thì đưa điện áp có tần số cần đo  $f_{ch}$  vào cặp phiên làm lệch khác, (lúc này dao động ký không dùng bộ phát sóng quét). Điều chỉnh tần số  $f_{ch}$  sao cho trên màn có một dao động không dịch chuyển của một hình litxagiu nào đó, ví dụ như hình 4-12.

Cắt dao động đồ theo trục dọc và theo trục ngang bằng hai cát tuyến bất kỳ như hình vẽ; chú ý chọn để cho giao điểm của đường cắt với dao động đồ không bị trùng với các giao điểm của bản thân dao động đồ hay các điểm tiếp tuyến của dao động đồ. Sau đó đếm số giao điểm, ví dụ như các giao điểm với đường cắt ngang là  $n$ , các giao điểm với đường cắt dọc là  $m$ . Nếu  $f_x$  được đưa vào cặp phiên làm lệch ngang,  $f_{ch}$  được đưa vào cặp phiên lệch dọc, thì tỷ số các giao điểm là tỷ số của hai tần số:

$$\frac{f_x}{f_{ch}} = \frac{m}{n}$$

do đó:

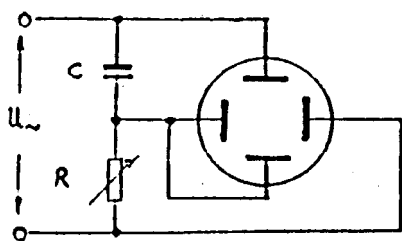
$$f_x = \frac{m}{n} f_{ch} \quad (34)$$

Muốn biết xem tần số nào lớn hơn, thì so sánh xem giữa  $n$  và  $m$  số nào lớn hơn. Nếu  $n$  (số giao điểm với đường cắt ngang) lớn hơn  $m$  (số giao điểm với đường cắt dọc), có nghĩa là: cùng trong một khoảng thời gian, tia điện tử dịch chuyển theo trục dọc (biểu thị bằng  $n$  điểm cắt với cát tuyến ngang), bé hơn sự dịch chuyển theo trục ngang (biểu thị bằng  $m$  điểm cắt với cát tuyến dọc). Như vậy, tần số của điện áp đưa vào cặp phiên lệch dọc bé hơn tần số điện áp đưa vào cặp phiên lệch ngang.

Trong hình vẽ 4-12,  $f_x$  đưa vào cặp phiên lệch ngang,  $f_{ch}$  đưa vào cặp phiên làm lệch dọc:  $n=2$  và  $m=4$ . Vậy  $f_x = 2f_{ch}$ .

Để dễ đo, thường người ta hay chọn dùng sao cho có được các hình litxagiu đơn giản. Hình litxagiu đơn giản nhất có dạng elíp, tức là khi  $f_x = f_{ch}$ .

Song để tránh sai số, thường người ta không lấy quan hệ tần số như vậy, vì khi tần số của máy này gần với tần số của máy kia thì thường sinh ra hiệu ứng lôi kéo tần số. Hiện tượng này làm cho tần số của nguồn này trùng với tần số của nguồn kia, mặc dù chúng còn sai khác nhau. Như vậy, phép đo sẽ có sai số, và trị số sai số càng lớn khi dải lôi kéo tần số này càng rộng.



Hình 4-13

Phương pháp đo so sánh tần số bằng dao động đồ litxagiu là phương pháp thông dụng nhất của dao động ký dùng để đo tần số. phương pháp này dùng điện áp quét tia điện tử của ống tia dao động ký là điện áp có dạng điều hoà.

Ngoài ra, còn có phương pháp quét tròn và quét đường thẳng để đo tần số bằng dao động ký.

Khi đo so sánh bằng phương pháp quét tròn (hay elíp), thì điện áp chuẩn dùng để so sánh được đưa qua bộ di pha rồi đưa vào hai đầu của dao động ký như hình 4-13. Hai đầu vào có điện áp lệch pha nhau  $90^\circ$ . Trên màn hiện sóng của dao động ký sẽ có dao động đồ hình tròn hay elíp. Thời gian để tia điện tử quét thành một vòng tròn chính bằng chu kỳ của điện áp mẫu. Điện áp cần đo được đưa tới cực điều chế của ống tia điện tử của dao động ký, và có tác dụng điều chế độ sáng của ống tia. Nếu tần số chuẩn bằng tần số cần đo thì dao động đồ sẽ có một phần nửa tối và một phần nửa sáng như hình 4-14a. Nếu tần số cần đo lớn hơn tần số mẫu thì dao động đồ có dạng hình đứt nét như hình 4-14b. Số lượng các đoạn tối hay đoạn sáng n chính là tỷ số của hai tần số.

$$n = \frac{f_x}{f_{ch}}; (f_{ch} \text{ là tần số chuẩn})$$

Khi  $f_x$  và  $f_{ch}$  là bội số của nhau, thì dao động đồ đứng yên, còn khi khác với điều kiện trên thì dao động đồ không tạo thành các đoạn đứt nét và không đo lường được.



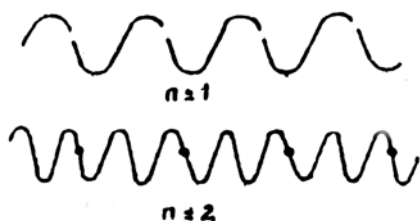
Hình 4-14

Nếu tần số cần đo thấp hơn tần số chuẩn, thì phải đưa các điện áp vào dao động ký ngược với trường hợp trên. Lúc này ta có:

$$n = \frac{f_{ch}}{f_x}$$

Trường hợp đưa điện áp cần đo vào anốt hai (tức là anốt tăng tốc) của ống tia điện tử, thì độ nhạy của ống sẽ thay đổi tùy theo phần chu kỳ dương hay phần chu kỳ âm của điện áp cần đo. Lúc này dao động đồ có dạng như hình 4-14c. Số lượng các múi lõm lõm của dao động đồ là tỷ số của hai tần số cần đo và tần số mẫu.

Khi đo so sánh bằng phương pháp quét đường thẳng, thì điện áp cần đo được đưa vào đầu vào của cặp phiên làm lệch đứng. Tần số quét đường thẳng (không có đồng bộ) của bộ phát sóng quét, được điều chỉnh biến đổi về phía có điện áp đo, khi đó thì tần số cần đo bằng chính tần số quét.

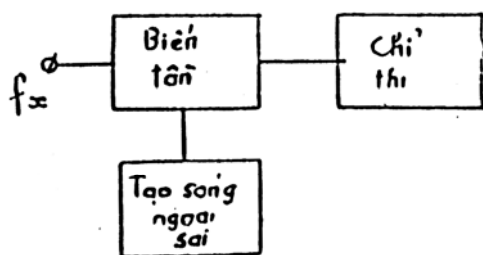


Hình 4-15

tần số điện áp khác độ (hình 4-15).

Phương pháp đo tần số bằng cách quét đường thẳng này thường chỉ dùng khi cần chuẩn lại tần số quét. Phương pháp đo này còn có thể đạt được độ chính xác cao nếu đưa thêm điện áp khác độ thời gian vào cực điều chế của ống tia điện tử. Điều chỉnh để các điểm khác độ của dao động đồ (cũng tức là các điểm khác độ tạo thành một đường thẳng song song với trục hoành), thì ta có tần số của điện áp cần đo bằng hay là bội số của

#### 4.3.2 So sánh bằng phương pháp ngoại sai



Hình 4-16

Nguyên lý của phương pháp này là so sánh tần số đo với tần số có độ ổn định cao của một nguồn tần số dùng làm chuẩn để so sánh (bộ tạo dao động ngoại sai).

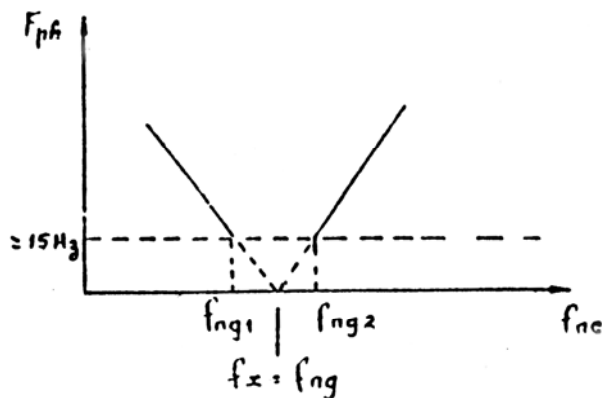
Sơ đồ khối đơn giản của tần số-mét loại này như hình 4-16. Các điện áp được đưa đồng thời vào bộ biến tần là điện áp của tần số cần đo  $f_x$  và điện áp của bộ

ngoại sai  $f_{ng}$ . Đầu ra của bộ biến tần có tần số phách  $F_{ph}$ , là hiệu của  $f_x$  và  $f_{ng}$ . Biến đổi tần số ngoại sai thì có thể đạt tới trị số  $f_x = f_{ng}$  khi  $F_{ph} = 0$ . Khi không còn tần số phách ( $F_{ph} = 0$ ), thì được xác định bởi bộ phận chỉ thị. Bộ phận chỉ thị có thể được dùng là ống nghe, đèn chỉ thị hay đồng hồ chỉnh lưu bằng chất rắn.

Hình 4-17 biểu thị quan hệ giữa tần số  $F_{ph}$  và  $f_{ng}$  khi dùng bộ phận chỉ thị là ống nghe. Vì sinh lý của tai con người, nên không thể phát hiện được tần số thấp hơn 20Hz, vì thế mà có một khoảng tần số không nghe rõ từ  $f_{ng1}$  đến  $f_{ng2}$ . Khi đó  $f_x$  bằng:

$$f_x = \frac{f_{ng1} + f_{ng2}}{2}$$

Sai số trong trường hợp này có thể giảm xuống tới 2-4Hz.



Hình 4-17

Khi tần số  $f_x$  gần tần số  $f_{ng}$ , thì có khả năng xuất hiện hiện tượng lôi kéo tần số; khi đó sai số lại tăng lên. Để giảm bớt sai số này, thường dùng phương pháp phách hai lần.

Hình 4-18 là sơ đồ khối của tần số-mét kiểu ngoại sai có thực hiện phách hai lần. Đầu ra của bộ biến tần 1 có tần số  $F = f_{ng} - f_x$  nằm trong băng tần số của bộ ngoại sai thứ hai. Đầu ra của bộ biến tần thứ hai có xuất hiện tần số hiệu  $F_{ph} = F -$

$f_{ng}$ . Biến đổi của bộ ngoại sai thứ hai  $F_{ng}$  thì có thể đạt tới cân bằng  $F = F_{ng}$ . ( $F_{ph} = 0$ ). Do đó:

$$f_x = f_{ng} - F$$

Nhưng trong trường hợp này cũng còn có thể là:  $f_x = f_{ng} + F$  vì khi đó, ở đầu ra của bộ biến tần thứ nhất có tần số:  $F = f_x - f_{ng}$ . Như vậy cần thiết phải đo tại hai trị số tần số của  $f_{ng}$  (bằng cách điều chỉnh tần số  $f_{ng}$ ), tức là:

$$f_x = f_{ng1} - F$$

và:

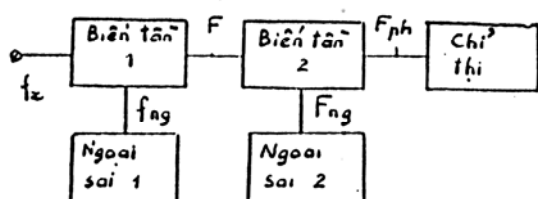
$$f_x = f_{ng2} + F \pm \Delta F$$

Do đó:

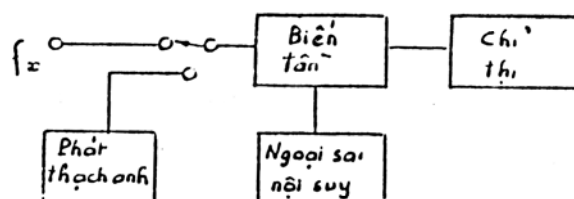
$$f_x = \frac{f_{ng1} - f_{ng2}}{2} \pm \frac{\Delta F}{2}$$

Ở đây,  $\Delta F$  là sự dịch chuyển vì tần số không ổn định của bộ ngoại sai thứ hai trong quá trình đo. Muốn giảm  $\Delta F$ , thì cần phải có bộ ngoại sai thứ hai thật ổn định.

Như đã nói ở phần trên, đo tần số bằng phương pháp ngoại sai thì cần có bộ tạo dao động có thể điều chỉnh tần số liên tục với trị số nhỏ được. Thực hiện được bộ tạo dao động điều chỉnh tần số được như vậy đồng thời lại có độ ổn định tần số cao là một



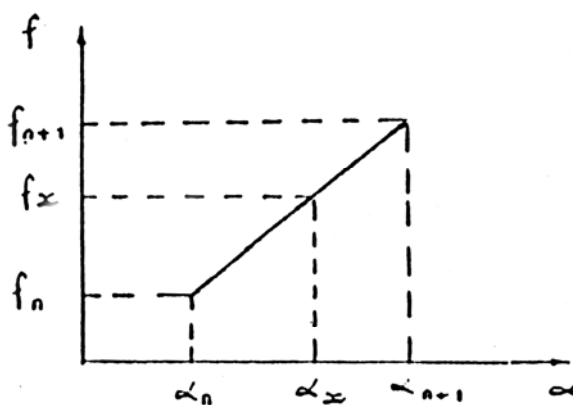
Hình 4-18



Hình 4-19

vấn đề khó. Do đó, phần nhiều khi cấu tạo thiết bị thường dùng hai bộ tạo dao động. Một bộ có thể điều chỉnh nhỏ tần số với thang khắc độ đường thẳng dùng làm bộ ngoại sai. Còn bộ thứ hai thì có độ ổn định tần số cao, và có phổ tần số đã xác định (phổ này là các tần số bội và tần số phân nhỏ của tần số thạch anh chuẩn) bộ này dùng để chuẩn cho bộ thứ nhất. Phép đo ở đây được thực hiện bằng phương pháp nội suy.

Sơ đồ khối của tần số-mét ngoại sai có cấu tạo theo phương pháp trên như hình 4-19. Đầu tiên, điện áp của tần số cần đo  $f_x$  và điện áp của bộ ngoại sai nội suy được cùng đưa vào bộ biến tần. Khi đó, với phách bằng không, ta ghi lại trị số đọc trên thang khắc độ của bộ ngoại sai nội suy (hình 4-20), với độ khắc là  $\alpha_x$ . Sau đó, tắt điện áp có tần số



Hình 4-20

$f_x$  mà đưa vào bộ biến tần là điện áp của bộ thạch anh chuẩn. Tại hai phía của độ khắc  $\alpha_x$  của bộ ngoại sai nội suy xác định hai lần đo với phách bằng không cho các sóng hài bậc  $n$ : ( $f_n$ ), và bậc  $n+1$ : ( $f_{n+1}$ ) của bộ thạch anh chuẩn. Ta lại ghi lại hai trị số đọc trên thang khắc độ này, là  $\alpha_n$  và  $\alpha_{n+1}$ . Nếu thang độ của bộ ngoại sai dùng để nội suy đó là đường thẳng, thì có thể lập được đồ biểu như hình 4-20. Tại

đó, có kẻ một đường thẳng nội suy nối hai điểm đã đo và có thể tính được  $f_x$  theo  $\alpha_x$ . Ta có tỷ số:

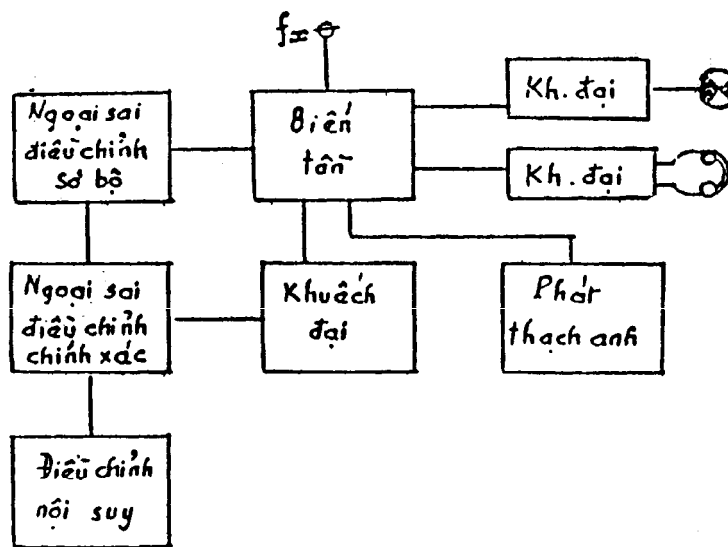
$$\frac{f_x - f_n}{f_{n+1} - f_n} = \frac{\alpha_x - \alpha_n}{\alpha_{n+1} - \alpha_n}$$

do đó:

$$f_x = f_{t.a} \left( n + \frac{\alpha_x - \alpha_n}{\alpha_{n+1} - \alpha_n} \right) \quad (35)$$

Trong đó,  $f_{t.n}$  là tần số cơ bản của thạch anh chuẩn. Công thức (35) có được với biến đổi:  $f_n = n f_{t.n}$  và  $f_{n+1} = (n+1) \cdot f_{t.a}$ . Công thức này cho phép tính được tần số cần đo, nếu như ta biết được thứ bậc của tần số đo, vì như vậy thì xác định được trị số  $n$ .

Sau đây, ta ví dụ phân tích nguyên lý đo của một tần số-mét thực tế, đại diện cho một phương pháp đo ngoại sai này, được biểu diễn sơ đồ khối như trên hình 4-21. Các số liệu về trị số cụ thể chỉ là ví dụ để diễn giải quá trình đo.



Hình 4-21

Ở mạch đo này có bộ ngoại sai điều chỉnh sơ bộ để xác định sơ bộ được tần số của tín hiệu cần đo. Ví dụ tần số mét này đo được tần số trong khoảng từ 100-1000MHz; bộ ngoại sai điều chỉnh sơ bộ có tần số biến đổi trong khoảng giới hạn từ 100 đến 300MHz và có độ chính xác bằng  $\pm 2\text{MHz}$ . Như vậy, từ 300MHz trở lên thì phép đo được thực hiện bằng cách so sánh với các thành phần sóng hài. Vì dải tần của bộ

ngoại sai điều chỉnh sơ bộ bé hơn dải tần số đo nhiều, nên ở đây không thể đo bằng cách so sánh trị số bằng nhau giữa tần số đo với tần số ngoại sai. Do đó, phép đo ở đây cần phải sơ bộ biết trước (một cách gần đúng) trị số của tần số cần đo với sai số vào khoảng 1%. Điều này được thực hiện bằng cách dùng một loại tần số-mét khác bên cạnh tần số ngoại sai, để xác định sơ bộ được  $f_x$ . Do vậy, các tần số mét kiểu ngoại sai thường được dùng trong các phép đo tổ hợp.

Quá trình đo tiến hành như sau: Đầu tiên bật điện cho bộ ngoại sai điều chỉnh sơ bộ làm việc; khi độ ổn định tần số của bộ này đạt yêu cầu rồi, ví dụ khoảng  $3.10^{-5}$ , thì điều chỉnh và ghi lại tần số này để xác định bậc sóng hài của tần số đo. Bậc của sóng hài này bằng:

$$n = \frac{f_x}{f_{ng.s}}$$

(ở đây,  $f_{ng.s}$  là tần số của bộ ngoại sai điều chỉnh sơ bộ).

Sau đó, đưa tới bộ biến tần cả điện áp của bộ ngoại sai điều chỉnh sơ bộ và bộ ngoại sai điều chỉnh chính xác. Ví dụ bộ ngoại sai điều chỉnh chính xác có dải tần từ 18.5 ÷ 22.5MHz. Do vậy, các phách bằng không nhận được là phách giữa tần số cơ bản của bộ ngoại sai điều chỉnh sơ bộ và mỗi một phân lượng sóng hài của bộ ngoại sai điều chỉnh chính xác. Để đo được, ở đây phải dùng các phân lượng sóng hài từ bậc 5 đến bậc 15. Sau đó, xác định thứ tự bậc sóng hài của bộ ngoại sai điều chỉnh chính xác theo tần số của bộ ngoại sai điều chỉnh sơ bộ. Bậc thứ tự của sóng hài này bằng:

$$m = \frac{f_{ng.s}}{f_{ng.ch}}$$

ở đây,  $f_{ng.ch}$  là tần số của bộ ngoại sai điều chỉnh chính xác.

Bộ ngoại sai điều chỉnh chính xác được chuẩn hoá bằng bộ phát sóng chuẩn thạch anh. (Ví dụ bộ thạch anh có các tần số 1.000kHz, 100kHz và 10kHz).

Bộ điều chỉnh nội suy ở đây là một tụ điện có khắc độ để điều chỉnh nhỏ phụ thêm. Điều chỉnh bộ phận này để có phách bằng không, và ghi lại trị số  $f_n$  ở trên thang khắc độ để tính  $f_x$ .

Bộ chỉ thị phách bằng không ở đây là đèn chỉ thị và ống nghe.

Như vậy, tần số cần đo  $f_x$  được tính theo công thức.

$$f_x = n.m(f_{nc.ch} + f_n)$$

Giả sử sơ bộ xác định được tần số  $f_x$  là 925MHz. Quá trình đo ta có các số liệu đọc được là:  $f_{ng.s}=230\text{MHz}$ ; như vậy có nghĩa là:

$$n = \frac{f_x}{f_{ng.s}} = \frac{925}{230} \approx 4$$

Trị số tần số đọc được của bộ ngoại sai điều chỉnh chính xác:  $f_{ng.ch}=19,25\text{MHz}$  có nghĩa là:

$$m = \frac{f_{ng,s}}{f_{ng,ch}} = \frac{230}{19,25} \approx 12$$

Trị số tần số đọc được trên thang độ của bộ phận điều chỉnh nội suy là:  $f_n=7,4\text{kHz}$ .  
Nhu vậy,  $f_x$  có trị số chính xác bằng:

$$f_x = n.m(f_{ng,ch} + f_n) = 4.12(19,5 + 0,0074) = 924,3552\text{MHz}$$

Ví dụ, nếu sai số cho phép của máy đo trên là  $5.10^{-6}$ , thì kết quả đo  $f_x$  là:

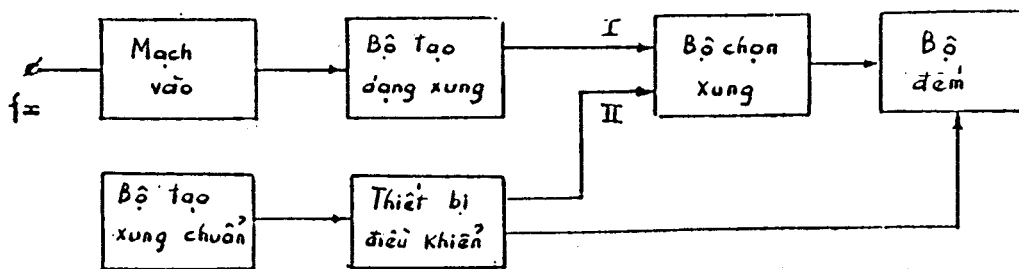
$$f_x = (924,3552 \pm 0,005)\text{MHz}$$

### 4.3.3 Đo tần số bằng phương pháp đếm xung

Tần số-mét cấu tạo theo phương pháp đếm có sơ đồ như hình 4-22. Nó bao gồm các khối chính: mạch vào, bộ phận tạo dạng xung, bộ tạo xung có thời gian chuẩn, bộ phận điều khiển, bộ chọn xung theo thời gian và bộ đếm xung.

#### 1. Bộ tạo dạng xung

Tần số cần đo  $f_x$  đi qua mạch vào đến bộ tạo dạng xung. Bộ này có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu điện áp điều hoà thành dạng tín hiệu dạng xung có các chỉ tiêu yêu cầu cần



Hình 4-22

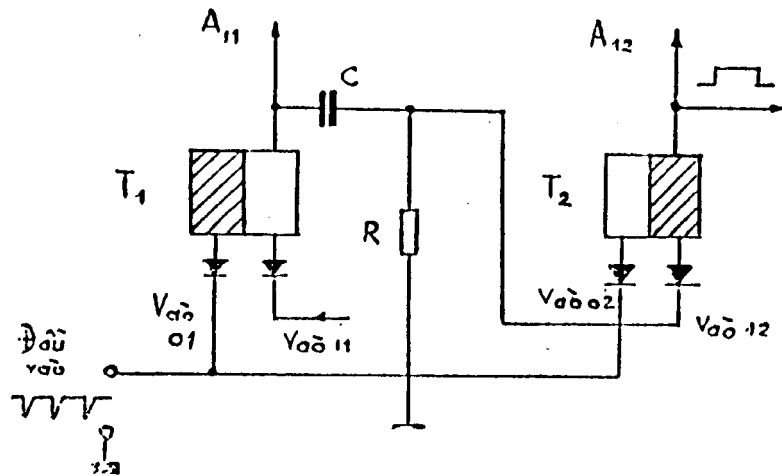
thiết về biên độ, độ rộng, sườn và đỉnh.... Các xung này có cùng một cực tính và có chu kỳ lặp lại bằng chính chu kỳ của điện áp điều hoà cần đo  $f_x$ .

#### 2. Bộ tạo xung có thời gian chuẩn

Bộ này để tạo nên các xung thời gian chuẩn có độ ổn định cao. Nó thường bao gồm các phần: bộ dao động thạch anh, các bộ chia hay nhân tần số, và bộ tạo dạng xung. Đầu ra của bộ này có nhiều tần số khác nhau. Ví dụ tần số của bộ dao động thạch anh là 100kHz thì tần số chia là 10kHz, 1kHz, 100Hz, 10Hz, 1Hz và 0,1Hz. Tương ứng với các tần số này là các khoảng thời gian chuẩn bằng chu kỳ của chúng: 0,0001s, 0,001s, 0,01s, 1s và 10s.

### 3. Bộ điều khiển

Thiết bị này làm nhiệm vụ điều khiển quá trình đo. Cụ thể là làm hai chức năng: tạo chu trình thời gian “mở cửa” và “xoá”, để đưa bộ đếm về trạng thái ban đầu.

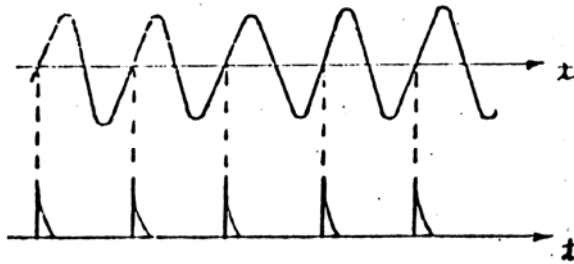


Hình 4-23

Mạch tạo chu trình thời gian mở cửa có cấu tạo ví dụ như hình 4-23. Các xung đến đầu vào 01 của mạch tạo chu trình thời gian mở cửa là các xung lấy từ đầu ra của các bộ phân tần của bộ tạo xung thời gian chuẩn. Nếu muốn tạo các chu trình thời gian mở cửa khác nhau, thì tần số đưa tới cũng khác nhau. Các xung này phải có biên độ và dấu nhất định (như ở mạch 4-23 là các xung âm).

*Nguyên lý làm việc của mạch này là:*

Ban đầu  $T_1$  ở trạng thái “1” còn  $T_2$  ở trạng thái “0”. Xung âm đầu tiên từ bộ phân tần đưa tới đồng thời cả hai đầu vào 01 và 02 của cả hai trigơ. Xung này không gây tác



Hình 4-24

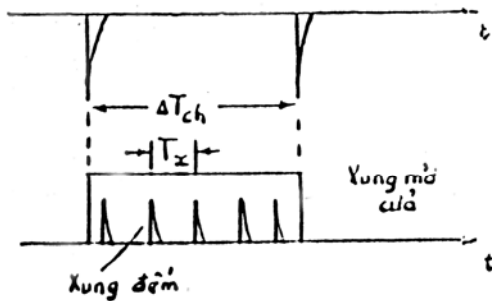
động lên  $T_2$  (vì  $T_2$  đang ở trạng thái “0”), nhưng lại tác động trực tiếp lên  $T_1$ , làm cho  $T_1$  chuyển sang trạng thái “0”. Khi đó, ở đầu ra  $A_{11}$  có đột biến âm, thông qua mạch vi phân CR lại tác động tới  $T_2$  qua đầu vào 12, làm cho  $T_2$  chuyển trạng thái từ “0” sang “1”. Lúc này đầu ra  $A_{12}$  có đột biến dương, đây là sườn trước

của xung mở cửa, nó được đưa tới đầu vào 11 của bộ chọn xung theo thời gian (hình 4-22).

Xung âm thứ hai từ bộ phân tần tiếp tục tới các đầu vào 01 và 02 của hai trigơ. Xung này không làm thay đổi trạng thái của  $T_1$ , nhưng lại làm thay đổi trạng thái của  $T_2$  từ “1” về “0”. Đầu ra  $A_{12}$  có đột biến âm, là sườn sau của xung “mở cửa”. Như vậy là sau hai xung từ bộ phân tần đến kích động, thì đầu ra  $A_{12}$  có một xung “mở cửa” bằng chính khoảng thời gian giữa hai xung kích thích. Lúc này cả  $T_1$  và  $T_2$  đều ở trạng thái “0”, và chúng giữ nguyên trạng thái này cho tới khi nào thiết bị điều khiển cho một xung âm tới đầu vào 11 của  $T_1$ , làm cho  $T_1$  chuyển về trạng thái ban đầu. Quá trình lại chuẩn bị để bắt đầu hình thành một chu trình thời gian mở cửa khác.

Như vậy, nguyên lý công tác của tần số-mét có sơ đồ khối như hình 4-22 ở trên cũng là nguyên lý đo tần số bằng phương pháp đếm rời rạc. Trong đó, tần số cần đo  $f_x$  có dạng hình sin được đưa qua mạch vào đến bộ tạo dạng xung. Qua bộ này, tín hiệu hình sin được biến đổi thành tín hiệu dạng xung có cùng tần số (hình 4-24). Những xung này được đưa vào bộ chọn xung tới bộ đếm trong những khoảng thời gian tương ứng của xung mở cửa. Nghĩa là, bộ chọn xung theo thời gian chỉ cho xung qua bộ đếm khi nào “cửa thời gian” bắt đầu mở, và cũng sẽ ngăn các xung lại không cho qua, khi nào “cửa thời gian” bắt đầu đóng, (xem hình 4-25). Như vậy, mạch chọn xung cũng như là mạch “Và”, có hai đầu vào và một đầu ra. Chỉ khi nào cả hai đầu vào I và II có tín hiệu, thì đầu ra mới có tín hiệu.

Số xung qua bộ chọn xung, được bộ đếm xung ghi lại. Như vậy, tần số  $f_x$  cần đo bằng:



Hình 4-25

$$f_x = \frac{n}{\Delta T_{ch}}$$

Trong đó,  $n$  là số lượng xung đếm;  $\Delta T_{ch}$  là khoảng thời gian mở cửa, cũng chính bằng chu kỳ của bộ tạo xung thời gian chuẩn.

Vì  $f_{ch}$  đã biết, nên kết quả chỉ thị số của bộ đếm có thể trực tiếp biểu thị ra đại lượng tần số.

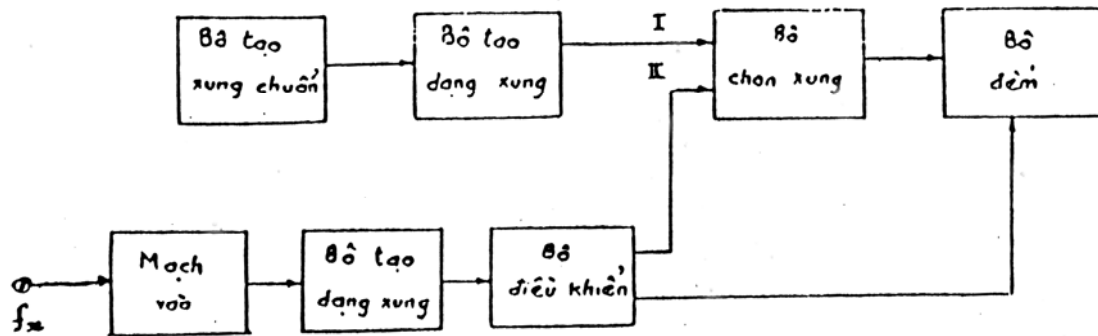
Sai số của phương pháp đo này chủ yếu là do sai số của khoảng thời gian chuẩn, tức là độ ổn định tần số của bộ tạo tần số chuẩn. Ngoài ra, còn có sai số do không đồng bộ giữa xung mở cửa và xung đếm, cũng như sai số do số lượng xung đếm được sai.

Sai số do không đồng bộ giữa xung mở cửa và xung đếm làm cho số lượng xung đếm được trong khoảng thời gian  $T_{ch}$  có thể tăng lên hay giảm đi. Sai số này còn gọi là sai số  $\pm 1$ , sai số này càng có ảnh hưởng lớn khi tần số đo càng thấp, nghĩa là số lượng

xung đếm được càng ít. Vì ở tần số cao, số lượng xung đếm được nhiều, nên việc tăng hay giảm bớt một xung thì sai số đo cũng không đáng kể. Song ở tần số thấp thì điều này lại trở thành rất đáng kể.

Để giảm sai số này, thường dùng cách tăng thời gian đo, có nghĩa là thời gian mở cửa  $\Delta T_{ch}$  phải lớn. Song như vậy cũng chưa giải quyết được, vì thời gian đo sẽ phải lâu. Nên phương pháp chủ yếu dùng để đo tần số thấp là đo chu kỳ của tín hiệu cần đo.

Nguyên lý của phương pháp đo chu kỳ của điện áp có tần số cần đo (cũng là phương pháp đo khoảng thời gian), được trình bày như trong sơ đồ khối hình 4-26.



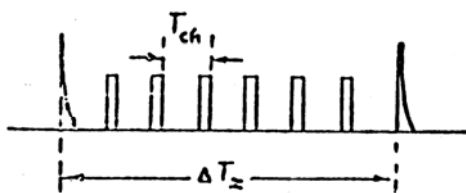
Hình 4-26

Cách đo  $T_x$  ngược lại với cách đo  $f_x$  đã trình bày ở trên. Trong đó, khoảng thời gian chưa biết là  $T_x$ , (hay  $\Delta T_x$ ); còn  $T_{ch}$  là chu kỳ của xung chuẩn đã biết (hình 4-27). Như vậy ta có:

$$T_x = nT_{ch} \quad (37)$$

và do đó:

$$f_x = \frac{f_{ch}}{n} \quad (38)$$



Hình 4-27

ở đây,  $f_{ch}$  là tần số của bộ tạo xung chuẩn.

Những ưu điểm cơ bản của phép đo tần số bằng phương pháp đếm (phương pháp rời rạc hoá tín hiệu đo) là: phương pháp này có độ chính xác cao; (về độ chính xác, nó có thể được xếp vào loại hàng đầu trong các phương pháp đo tần số). Phương pháp này còn có khả năng đo được các tần số rất thấp, đến một vài Hz. Về giới hạn tần số cao đo được thì phương pháp này còn bị hạn chế, do khả năng chuyển biến của các trigơ đếm. Giới hạn tần số cao đo được

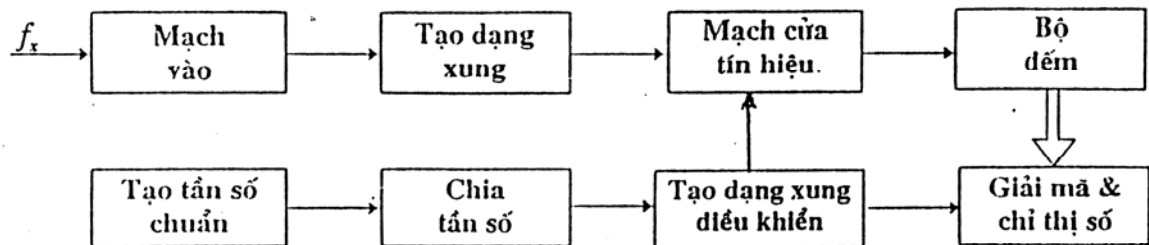
chùng khoảng 10MHz. Các máy đo tần số có chỉ thị số đều được cấu tạo theo nguyên lý của phương pháp đo này.

## 4.4 ĐO KHOẢNG THỜI GIAN

### 4.4.1 Máy đếm điện tử

Các thiết bị đo số dùng để đo các thông số của tín hiệu như: Tần số mét số, pha-mét số, ... và các loại máy đo số dùng để đo các thông số của mạch điện như: đo điện dung, điện trở, đo hệ số phẩm chất, đo tổn hao,... hầu như có chung một bộ phận cơ sở là máy đếm điện tử chỉ thị số.

#### 1. Cấu tạo sơ đồ khối



Hình 4-28

Máy đếm điện tử dùng để đo tần số như hình 4-28. Nguyên lý của phương pháp đo như hình 4-29.

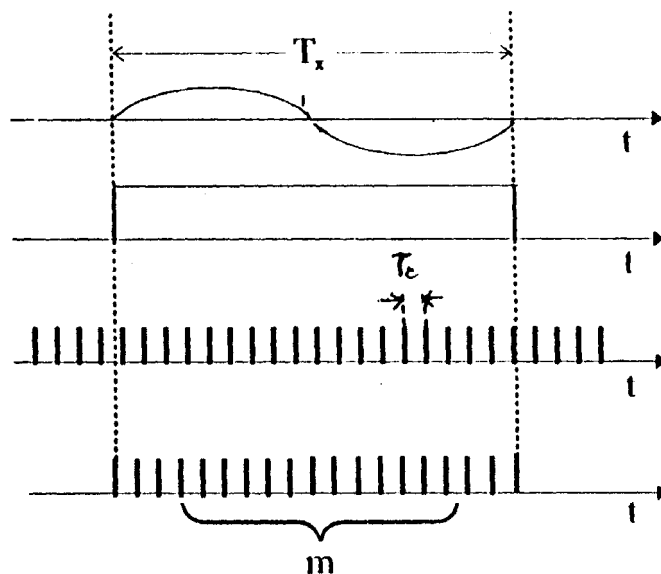
Chu kỳ của tín hiệu dạng sin cần đo  $T_x$  được đem so sánh với chu kỳ của tín hiệu chuẩn  $T_c$ , mà được coi như một đơn vị thời gian cần đo chưa biết được biến đổi thành con số chỉ số lượng xung đếm được  $m$ . Do đó:

$$T_x = m \cdot T_c = \frac{m}{F_c}$$

Ví dụ nếu xung đếm được chọn là:

$$F_c = 10^k \text{ Hz (với } k=1, 2, 3, \dots)$$

thì ta có:  $T_x = m \cdot 10^k \text{ s.}$



Hình 4-29

## 2. Các nguồn gây sai số của thiết bị đếm điện tử

Có ba nguồn sai số chủ yếu cần quan tâm ở thiết bị đếm điện tử là: sai số của nguồn tín hiệu chuẩn; sai số do các flip-flop và sai số do mạch cửa tín hiệu không đồng bộ.

a. Sai số của nguồn tín hiệu tần số chuẩn, là do nguồn tạo dao động tần số chuẩn có tần số không ổn định. Nó do sự xác định tần số sau khi chế tạo và khi chuẩn tần số cho thiết bị. Khi đo tần số cao thì sai số này là tương đối đáng kể.

b. Sai số do các flip-flop là sai số do các tri-gơ được sử dụng trong thiết bị như tri-gơ mạch cửa, tri-gơ mạch điều khiển, tri-gơ mạch đếm.

Vì điện áp tín hiệu bị điện áp nhiễu tác động, nên tại các thời điểm mà tri-gơ chuyển biến trạng thái sẽ bị xê dịch đi một cách ngẫu nhiên, tương ứng với sự xê dịch thời điểm của điện áp tín hiệu khi vượt qua mức 0. Do vậy, độ dài của xung cửa tạo ra bởi flip-flop sẽ khác với chu kỳ  $T_x$  của tín hiệu cần đo, nên gây ra sai số đếm xung.

c. Bản thân của tín hiệu còn là nguồn gây sai số do sự không đồng bộ của xung cửa và xung đếm. Trong khoảng thời gian bằng độ rộng xung cửa có thể làm cho số lượng xung đếm được lớn hơn hay bé hơn 1 xung đếm so với trị số trước, nó tùy thuộc vào thời điểm đóng mở cửa xung. Sai số này bằng:  $\Delta T = \pm T_c$ , được gọi là sai số  $\pm 1$  xung đếm.

Sai số này là sai số do phương pháp đo và phương pháp số hoá gây ra, là sai số phương pháp, có tính chất ngẫu nhiên, ta không thể loại bỏ hoàn toàn, mà chỉ có khả năng nghiên cứu để làm giảm tối thiểu nó. Ở đây, ta chú ý đến loại sai số này, vì nó đặc biệt riêng cho các loại thiết bị đo số.

### 3. Giảm nhỏ $\pm 1$ xung đếm

Để làm giảm nhỏ loại sai số  $\pm 1$ , do sự không đồng bộ giữa xung mở cửa và xung đếm, có thể thực hiện bằng một trong các cách sau:

-Tăng tần số chuẩn. Như vậy, kết quả đếm  $m \pm 1$  sẽ có  $m \gg 1$ . Song biện pháp này lại bị giới hạn về tốc độ của bộ đếm, nó làm cho thiết bị đo thêm phức tạp về cấu tạo và tăng giá thành.

-Tăng chu kỳ xung tín hiệu đo là  $q.T_x$ . Thực hiện biện pháp này bằng cách biến đổi tín hiệu cần đo thành dãy xung có chu kỳ bằng  $T_x$ ; sau đó, tiếp tục chia cho  $q$  bằng bộ chia tần, có dãy xung có chu kỳ bằng  $q.T_x$ . Tần số xung chuẩn ở đây vẫn được giữ nguyên, nên sai số  $\pm 1$  xung vẫn giống khi đo với chu kỳ  $T_x$ . Do đó, tác dụng của các số  $\pm 1$  xung đếm bị giảm đi  $q$  lần.

Vấn đề tăng thời gian ở đây cũng còn tác dụng kéo theo sự giảm một cách tỷ lệ nữa về tác dụng sai số của sai số tri-gor. Tuy nhiên, biện pháp này cũng bị giới hạn.

Hai phương pháp trên đã được thực hiện khi sử dụng tần số-mét chỉ thị số để đo tần số nhất là khi trường hợp tần số cần đo là tần số thấp. Sự giới hạn của các phương pháp này là ở khả năng cấu tạo của thiết bị đo, ở khả năng của bộ tạo tần số chuẩn.

Một phương pháp để giảm nhỏ sai số  $\pm 1$  nữa là “phương pháp đếm nội suy”. Hình 4-30 là giản đồ thời gian để minh hoạ nguyên lý phương pháp đo này.

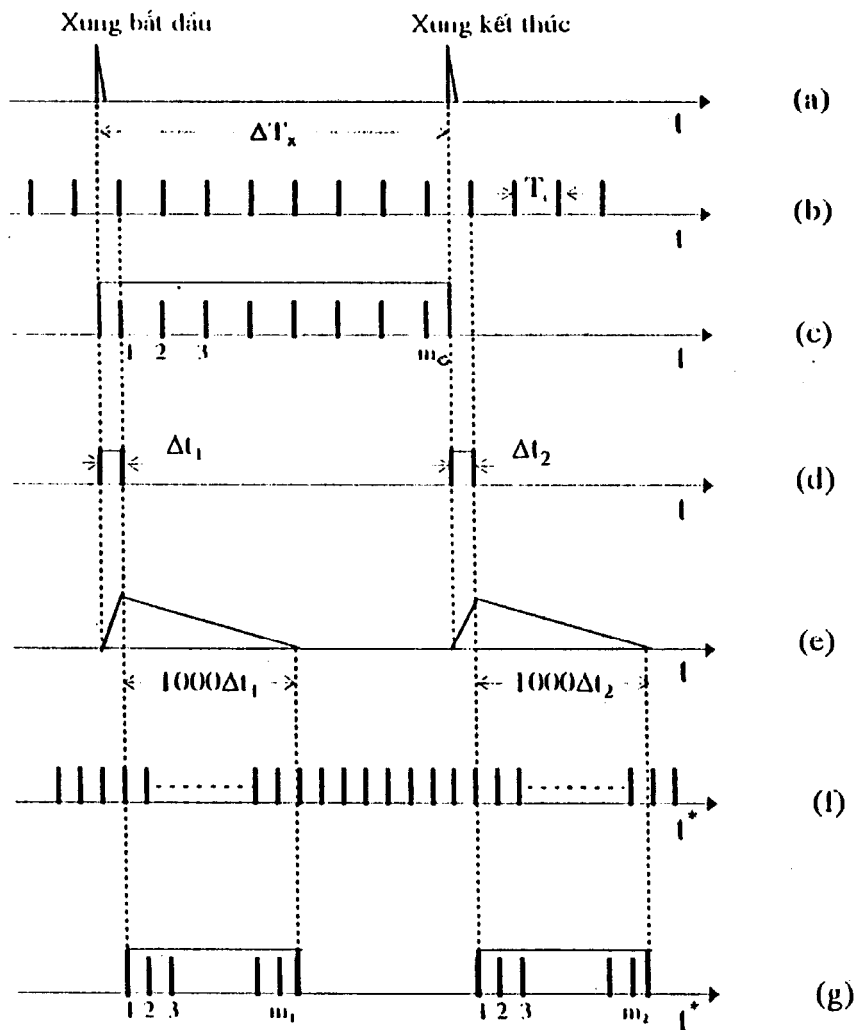
Ở đây, cần đo được cả hai phân chu kỳ do sự không đồng bộ tạo nên, giữa sườn xung bắt đầu của tín hiệu xung cửa với xung đếm thứ nhất và giữa xung đếm cuối cùng với sườn xung kết thúc của xung cửa.

Hình 4-30a là khoảng cách giữa xung bắt đầu và xung kết thúc, bằng khoảng thời gian cần đo  $\Delta T_x$ , là độ rộng xung của tín hiệu.

Hình 4-30b là xung đếm, có chu kỳ  $T_c$ , bằng chu kỳ của tín hiệu số chuẩn. Các xung đếm chứa đầy trong khoảng thời gian xung cửa  $\Delta T_x$  với số lượng đếm là  $m_0$  (hình 4-30c). Xung đếm thứ nhất chậm sau sườn xung bắt đầu của xung cửa một khoảng bằng  $\Delta t_1$ , trong khi sườn xung kết thúc của xung cửa chậm sau xung tiếp ngay sau xung đếm  $m_0$  một khoảng thời gian bằng  $\Delta t_2$  (hình 4-30c và 4-30d). Như vậy, khoảng thời gian cần đo bằng:

$$\Delta T_x = m_0 T_c + \Delta t_1 - \Delta t_2$$

Nếu ta đo được các khoảng thời gian  $\Delta t_1$  và  $\Delta t_2$  chính xác thì có thể giảm tối thiểu ảnh hưởng của sai số  $\pm 1$ .



Hình 4-30

Một cách thực hiện để đo  $\Delta t_1$  và  $\Delta t_2$  như sau:

Dùng một tụ điện, cho nạp điện trong khoảng thời gian  $\Delta t_1$ , với đường nạp cần thật tuyến tính. Sau đó, cho tụ điện phóng điện với tốc độ biến đổi chậm hơn nhiều, ví dụ bằng một phần nghìn của tốc độ khi nó nạp điện. Đường phóng điện cũng thật tuyến tính (hình 4-30e). Cũng lại dùng xung đếm có chu kỳ  $T_c$  để đo khoảng thời gian  $1000 \Delta t_1$ , với

số lượng xung đếm được làm  $m_1$ , hình 4-30f và 4-30g; mà ở đây vẽ được với thang độ thời gian  $t^*$  khác đi, cho tiện vẽ và quan sát. Khoảng thời gian  $\Delta t_2$  cũng được thực hiện bằng cách làm tương tự trên, và với số lượng xung đếm được trong khoảng thời gian  $1000 \Delta t_2$  là  $m_2$ . Do đó, ta có:

$$m_1 = \frac{1000\Delta t_1}{T_c}$$

$$m_2 = \frac{1000\Delta t_2}{T_c}$$

Thay thế vào trên, ta được:

$$\Delta T_x = \frac{(1000m_0 + m_1 - m_2).T_c}{1000} = \frac{(1000m_0 + m_1 - m_2)}{1000F_c}$$

Để đơn giản hơn, đặt

$$(1000m_0 + m_1 - m_2) = m, \text{ và}$$

$$1000F_c = F'_c \text{ ta có:}$$

$$\Delta T_x = \frac{m}{F'_c}$$

Từ kết quả này, ta thấy: sai số  $\pm 1$  ở đây đã được đo với chu kỳ xung đếm mới  $T'_x = \frac{T_c}{1000}$ , nghĩa là tương đương với xung đếm có tần số cao gấp 1000 lần tần số tín hiệu chuẩn  $F_c$ .

Để minh họa, ta xét một ví dụ cụ thể. Giả sử ta cần đo chu kỳ  $T_x = 100\mu s$  với một thiết bị số có xung đếm với tần số chuẩn là  $F_c = 10\text{MHz}$ . Như vậy sai số  $\pm 1$  tính theo giá trị sai số tuyệt đối là:

$$\Delta T = \pm T_c = \pm 0,1\mu s$$

và trị số sai số tương đối của sai số  $\pm 1$  sẽ là:

$$\delta_r = \pm \left( \frac{T_c}{T_x} \right) = \pm \left( \frac{1}{m} \right) = 0,001 \text{ hay } 1\%$$

Nếu cũng với xung đếm như trên, để đo chu kỳ  $T_x = 1,5\mu s$  thì sai số tuyệt đối  $\pm 1$  xung đếm bằng:

$$\Delta T = \pm 0,1\mu s$$

Trị số sai số tuyệt đối này có tính độc lập với chu kỳ xung cần đo  $T_x$ , song trị số sai số tương đối sẽ lớn hơn:

$$\delta_r = 0,2 = 20\%$$

Nếu thực hiện phương pháp đo nội suy, mà vẫn dùng xung đếm có tần số như trên,  $F_c = 10\text{MHz}$ , để đo chu kỳ  $T_x = 0,5\mu\text{s}$ , thì sai số tương đối sẽ là 0,0002; nghĩa là 0,02%, chứ không phải 20% như trên. Như vậy, nếu muốn đạt cùng độ chính xác như trên, với phương pháp đo trực tiếp, ta phải dùng một tần số chuẩn phải có tần số đếm 10GHz, và bộ đếm phải có tốc độ đếm cao hơn nhiều.

#### 4.4.2 Bộ đếm trong thiết bị đo số

Bộ đếm trong thiết bị đo số được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau, trong các thiết bị điều khiển, trong máy tính,... Trong máy đo, thường dùng để phân chia tần số; biến đổi tự động tương tự-số và số-tương tự, điều khiển thiết bị làm việc theo chương trình, thực hiện đo đếm và chỉ thị số trong các máy đo số.

##### 1. Cấu tạo

Trong máy đo sử dụng thông dụng là tri-gơ tĩnh, mỗi tri-gơ đóng vai trò một phần tử nhớ nhị phân, phần tử nhớ có hai trạng thái cân bằng ổn định của flip-flop. Mỗi trạng thái biểu thị bằng một mã cơ số hai.

Ví dụ sơ đồ cấu tạo của một phần tử nhớ 2 trạng thái như hình 4-31a, và sơ đồ ký hiệu ô đếm như hình 4-31b.

Sự phân loại thường dựa trên phương pháp làm việc của các phần tử nhớ. Nếu làm việc tuần tự, xung tác động vào phần tử nhớ thứ nhất, rồi phần tử này lại tác động đến phần tử nhớ thứ hai,... thì là bộ đếm tuần tự.

Nếu xung vào tác động cùng một lúc tới các phần tử của hệ thì đó là bộ đếm song song.

Còn có cách phân loại khác:

-*Bộ đếm cộng*: Cứ sau một xung tác động ở đầu vào, dung lượng tăng một đơn vị.

-*Bộ đếm trừ*: Cứ sau một xung tác động ở đầu vào, dung lượng bị trừ đi một đơn vị.

-*Bộ đếm thuận nghịch*: Bộ đếm làm việc được cả ở hai chế độ đếm cộng và đếm trừ.

Trong thiết bị đo số, để diễn giải được khả năng hiển thị kết quả đo, bộ đếm được trình bày theo ứng dụng của cơ số đếm: Bộ đếm nhị phân và bộ đếm thập phân.

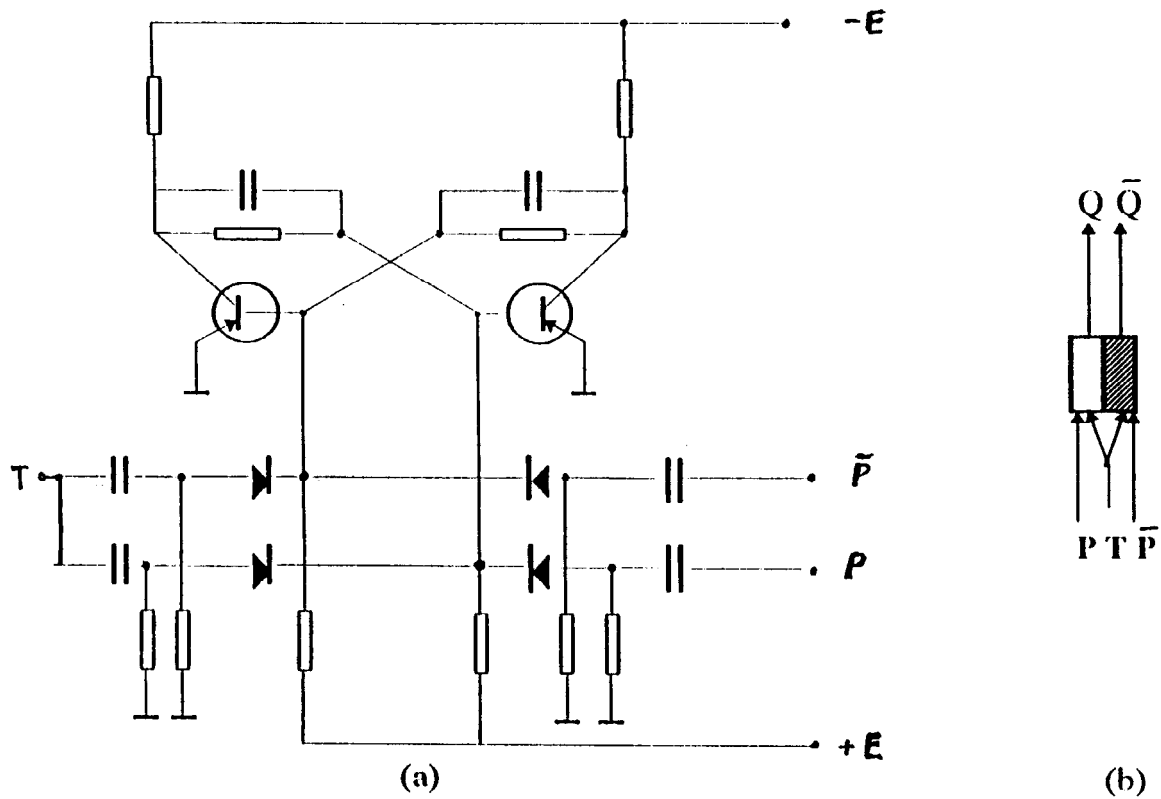
Các chỉ tiêu đặc trưng của bộ đếm là:

a. *Dung lượng đếm*: Là số xung cực đại mà bộ đếm có thể đếm được. Khi có K xung vào và có 1 xung ra, thì dung lượng đếm là K. K là số trạng thái có thể có của bộ đếm.

ở bộ đếm cơ số 2:  $K=2^n$ , n là số hàng ô đếm 2

ở bộ đếm cơ số 10:  $K=10^n$ , n là số hàng ô đếm 10

b. *Tốc độ đếm*: Được xác định bằng tần số trung bình lớn nhất (hay khoảng thời gian lặp lại nhỏ nhất) của hệ xung đếm, mà bộ đếm còn làm việc tin cậy.



Hình 4-31

Các bộ đếm dùng trong thiết bị đo điện tử có tốc độ đếm cao, có thể  $\geq 100\text{MHz}$ .

c. *Cơ số đếm*: Với các số liệu được xử lý và biểu thị kết quả đo là các giá trị số. Một số có thể được biểu diễn theo các cách khác nhau bằng cách sắp xếp các chữ số và chữ cái.

Một số nguyên N, dương có thể biểu diễn dưới dạng:

$$N_{(h)} = a_{n-1}h^{n-1} + a_{n-2}h^{n-2} + \dots + a_1h^1 + a_0h^0$$

Với

h: Cơ số đếm

a: Trọng số

n: Chỉ số hàng con số của số

Thường cách viết bộ số ở kết quả đo được thực hiện bằng cách bỏ “h lũy thừa” và “dấu +” nên N sẽ có dạng như sau:

$$N_{(h)} = a_{n-1}a_{n-2} \dots a_i \dots a_1 a_0$$

#### a. Hệ đếm nhị phân

Hệ đếm nhị phân hay còn gọi là hệ đếm cơ số 2 là hệ đếm chính thức dùng cho kỹ thuật số và thiết bị đo số.

Hệ đếm nhị phân dùng hai ký tự “0” và “1”.

Trong một số, hàng con số đứng bên trái là gấp 2 lần con số ở hàng đứng bên phải kề nó.

$$N_{(2)} = a_{n-1}2^{n-1} + a_{n-2}2^{n-2} + \dots a_i2^i + \dots a_12^1 + a_02^0$$

Ví dụ:

$$10110 = 1.2^4 + 0.2^3 + 1.2^2 + 1.2^1 + 0.2^0 = 21_{10}$$

$$11,01 = 1.2^1 + 1.2^0 + 0.2^{-1} + 1.2^{-2} = 3,25_{10}$$

#### b. Hệ đếm thập phân

Hệ đếm thập phân là hệ đếm được dùng thông thường trong đời sống và để biểu thị kết quả đo. Hệ đếm thập phân dùng mười ký tự, gồm các con số 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Trong một số, hàng con số đứng bên trái có giá trị gấp 10 lần trị số con số đứng bên phải kề nó (cùng ký tự).

Ví dụ:

$$1997 = 1.10^3 + 9.10^2 + 9.10^1 + 7.10^0$$

$$0,195 = 1.10^{-1} + 9.10^{-2} + 5.10^{-3}$$

#### c. Hệ đếm cơ số 8

Hệ đếm cơ số 8 là cách viết chuyển từ hệ cơ số 2 cho tiện lợi. Hệ đếm cơ số 8 dùng 8 ký tự là 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Trong một số, mỗi con số bên trái có giá trị gấp 8 lần con số bên phải kề với nó.

Ví dụ

$$512_{(8)} = 5.8^2 + 4.8^1 + 2.8^0 = 354_{(10)} = 101100010_{(2)}$$

Vì số 7 trong hệ cơ số 8 là 111 trong hệ đếm cơ số 2, nên mỗi số trong hệ đếm cơ số 2, nên mỗi số trong hệ đếm cơ số 2 muốn đổi sang hệ cơ số 8 thì chỉ việc nhóm 3 con số lại, và thay đó bằng một con số trong hệ cơ số 8.

Ví dụ:

$$1\ 110\ 100\ 010\ 101_{(2)} = 16425_{(8)}$$

#### *d. Hệ đếm cơ số 16*

Hệ đếm cơ số 16 sử dụng 16 ký tự : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F. Hệ đếm này thường được gọi là hệ hexa (Hexadecimal system)

Trong một số, một con số đứng bên trái có giá trị gấp 16 lần giá trị của con số bên phải kề với nó. Để chỉ số Hexa, người ta thường dùng chữ H trước hoặc sau số đó.

Ví dụ

$$15H = 1.16^1 + 5.16^0 = 21_{(10)}$$

$$F0H = 15.16^1 + 0 = 240_{(10)}$$

Vì chữ số 15 (chữ F) trong hệ cơ số 16 là 1111 trong hệ cơ số 2, do đó, có thể đổi số nhị phân sang số Hexa bằng cách nhóm 4 con số lại với nhau. Ví dụ

$$1111\ 0110\ 1110\ 0011 = F6E3_{(16)}$$

Như vậy mỗi byte sẽ chứa 2 con số Hexa, và số lớn nhất tương ứng là FFh = 255.

Thiết bị đo số không trực tiếp chỉ thị hệ cơ số 8 hay hệ cơ số 16, song quan hệ giữa chúng đã rút ngắn số ký hiệu, nhất là với những số lớn. Với các thiết bị đo có cài đặt, sử dụng microprocessor, thì các dạng số nhị phân, cơ số 8, cơ số hexa thường dùng để xử lý bên trong, còn thể hiện bên ngoài thì vẫn dùng hệ cơ số đếm thập phân. Do vậy phải thực hiện chuyển đổi mã. Mã thông thường được sử dụng ở đây là BCD (Binary Coded Decimal).

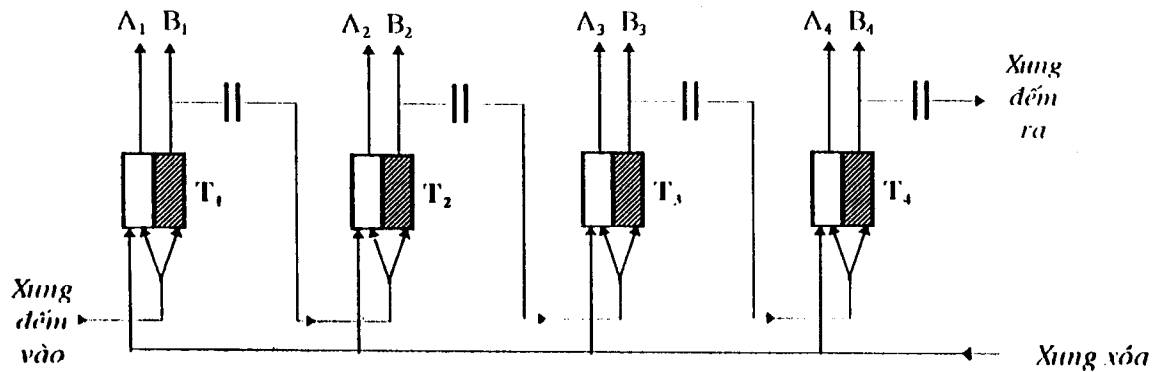
## **2. Bộ đếm nhị phân**

Bộ đếm nhị phân thường gồm nhiều mạch tri-gor nối tiếp nhau. Trong các thiết bị đo lường số, thường dùng bộ đếm nhị phân để: chia tần, cấu tạo bộ chia thời gian trong các thiết bị đo nhiều kênh; thực hiện chuẩn tỷ lệ thang đo với cơ số bất kỳ (ví dụ trong máy đo độ di pha, cần chuẩn tần số đếm là bội của 360, ...).

Về cấu tạo, có bộ đếm cộng, bộ đếm trừ, và bộ đếm thuận nghịch. Cả ba loại bộ đếm này đều được dùng trong thiết bị đo để làm tăng khả năng và chức năng đo.

a. Ví dụ đếm cộng

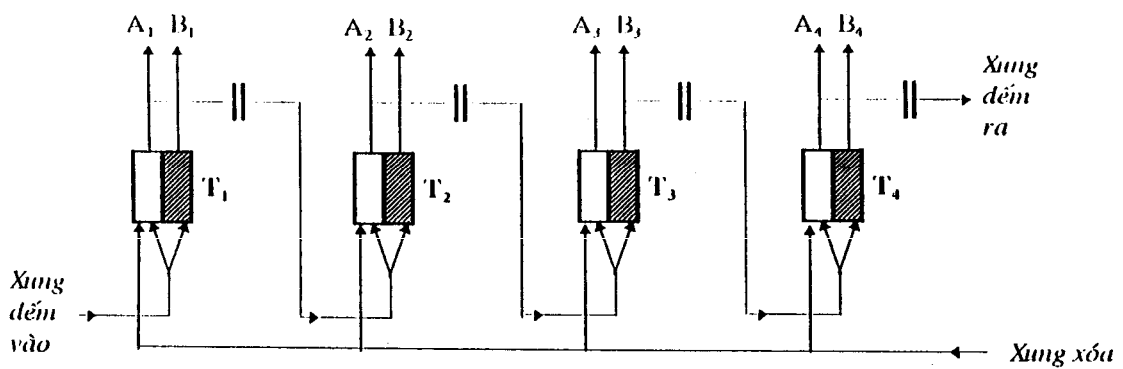
Sơ đồ bộ đếm cộng trên hình 4-32.



Hình 4-32

Dung lượng đếm là  $K=2^4=16$ . Bộ đếm có 16 trạng thái ổn định khác nhau, để biểu diễn 16 số theo mã cơ số 2 với từ mã 4 bit (từ 0000 đến 1111).

b. Ví dụ bộ đếm trừ



Hình 4-33

Sơ đồ bộ đếm trừ như trong hình 4-33.

Giả sử bộ đếm đã có số 1100. Khi có 1 xung đếm vào  $T_1$ , vì ghép ở các đầu ra A của tri-gơ, nên  $T_1$  chuyển từ 0→1, từ  $A_1$  có xung qua bộ vi phân tác động lên  $T_2$ , làm  $T_2$  chuyển từ 0→1; và cũng có ghép sang  $T_3$ , làm cho  $T_3$  chuyển từ 1→0.  $T_4$  không có tác động gì, nên  $T_4$  vẫn ở 1. Kết quả là sau khi đếm 1 xung, bộ đếm có con số 1011, tương ứng bớt đi một đơn vị. Cứ tiếp tục làm mãi thì sẽ tới số 0000.

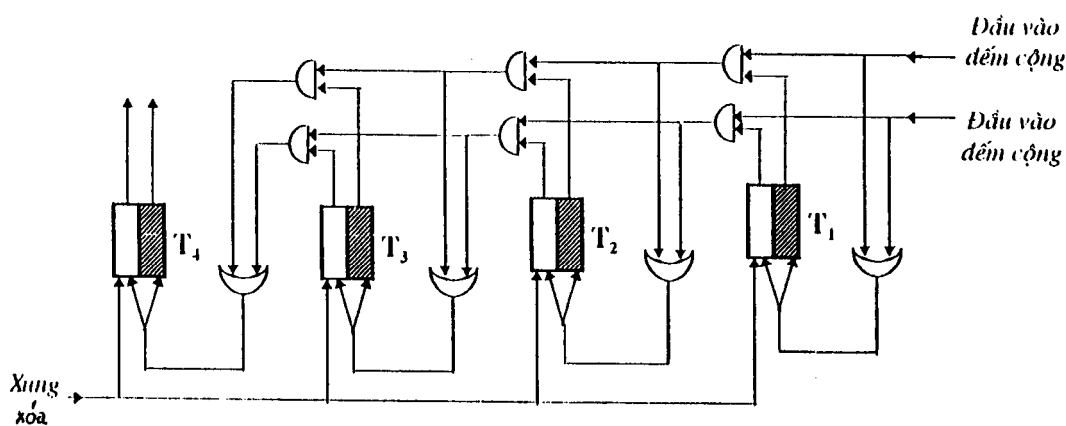
### c. Ví dụ bộ đếm thuận nghịch

Sơ đồ bộ đếm thuận nghịch như hình 4-34.

Bộ đếm có thể thực hiện theo cách cộng và có thể thực hiện theo cách trừ.

Sơ đồ như hình 4-34 là tổ hợp hai bộ đếm phát xung chuyển song song để thực hiện đếm cộng và đếm trừ.

Một ví dụ ứng dụng như trong máy đo di pha chỉ thị số. Dùng đếm thuận nghịch thì không phụ thuộc gốc thời gian (pha đầu) của hai dao động cần đo di pha; đồng thời có khả năng loại bỏ sai pha sinh do hai kênh tín hiệu có sự di pha không đồng nhất.



Hình 4-34

### 3. Bộ đếm thập phân

Trong kỹ thuật đo lường phải dùng bộ đếm thập phân vì lý do đơn giản là từ trước tới nay, con người đã quen với sự sử dụng cơ số 10 trong đo đếm.

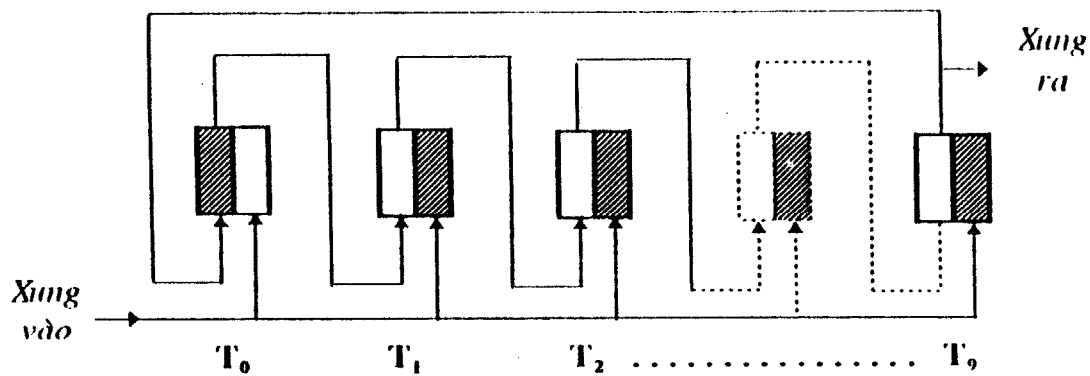
Hệ đếm nhị phân có ưu điểm là: thực hiện dễ dàng các phép tính logic và cấu tạo dễ, khuyết điểm của hệ này là số hàng con số (độ dài từ mã) nhiều và không thuận tiện cho việc đọc kết quả đo. Do vậy, cần phải thực hiện biến đổi kết quả từ việc hiển thị trong hệ cơ số 2 sang hệ 10.

Có hai phương pháp thực hiện cấu tạo đếm thập phân chủ yếu:

- Dùng các phần tử có 10 trạng thái ổn định. Ví dụ đèn có khí Decatron; bộ đếm vòng 10 trạng thái,...
- Dùng cách mắc nối tiếp các mạch đếm nhị phân và có thực hiện phản hồi.

#### a. Bộ đếm vòng

Sơ đồ bộ đếm vòng ghi dịch trạng thái như hình 4-35.



Hình 4-35

Mỗi xung đều được đưa vào đồng thời tất cả các tri-gơ đếm. Song chỉ có tri-gơ  $T_0$  (ví dụ dùng ở trạng thái logic 1) bị tác động, còn tất cả các tri-gơ  $T_1 \div T_9$  (ví dụ dùng ở trạng thái logic 0) không bị tác động.  $T_0$  đổi trạng thái lại tạo ra xung tác động tới  $T_1$  làm  $T_1$  lật trạng thái. Quá trình cứ được ghi dịch như vậy khi có xung đếm tác động vào.

*b. Phương pháp cấu tạo bộ đếm thập phân bằng cách dùng chuỗi đếm nhị phân có hồi tiếp*

Cách tổ hợp: Khi mắc nối tiếp  $n$  tri-gơ (ô đếm nhị phân) thì dung lượng đếm là  $K=2^n$ . Vậy muốn xây dựng bộ đếm có  $K_d \neq 2^n$  thì cần giảm bớt trạng thái ổn định của bộ đếm  $K=2^n$  ( $K_d < K=2^n$ ).

Do vậy, số ô đếm (số bit) của bộ đếm có cơ số đếm  $K_d$  bất kỳ là:

$$n \geq \log_2 K_d, \text{ và } n \text{ phải là số nguyên.}$$

Số lượng trạng thái ổn định phải giảm là:

$$m = 2^n - K_d$$

Biểu diễn  $m$  dưới dạng mã số nhị phân với số bit của mã là  $n$  sau đó dùng phản hồi để giảm trạng thái.

Ví dụ: Xây dựng bộ đếm thập phân  $K_d = 10$

Số lượng tri-gơ (ô đếm nhị phân) là:

$$n \geq \log_2 10 = 3,4. \text{ Lấy số nguyên là } 4, \text{ vậy } n=4.$$

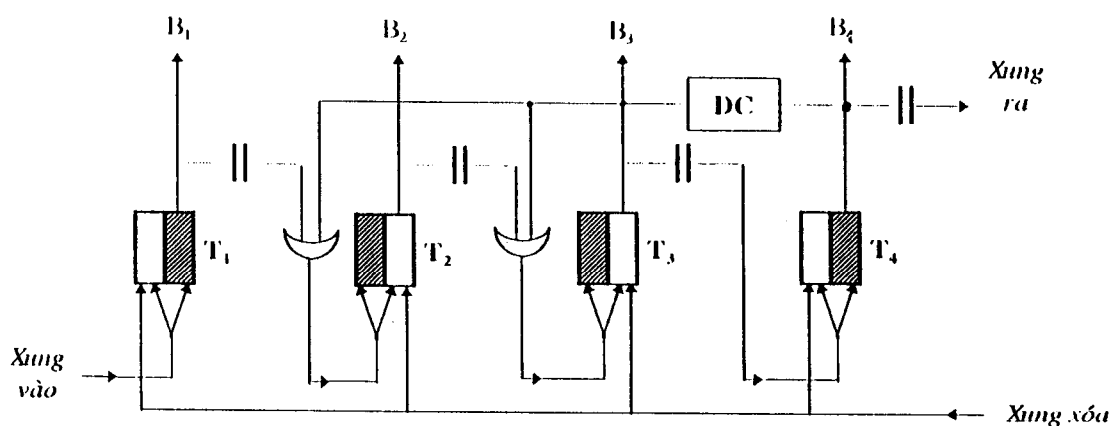
Số lượng trạng thái ổn định cần phải giảm bớt là

$$m = 2^4 - 10 = 16 - 10 = 6$$

Biểu diễn  $6_{(10)}$  dưới dạng cơ số 2 với 4 bit:  $m=0110$

Như vậy, tín hiệu từ hàng bit già đưa phản hồi về phải đảm bảo ghi trước vào bộ đếm số 0110.

Ví dụ mạch thực hiện như hình 4-36



Hình 4-36

Mạch đếm có thực hiện phản hồi về để thiết lập trạng thái 1 cho  $T_2$  và  $T_3$ , đó là trạng thái đầu của bộ đếm; đầu xoá cũng được tổ hợp để đạt được trạng thái đó.

Có thể giải thích bộ đếm bằng đồ thị trạng thái như bảng 4-1

Bảng 4-1

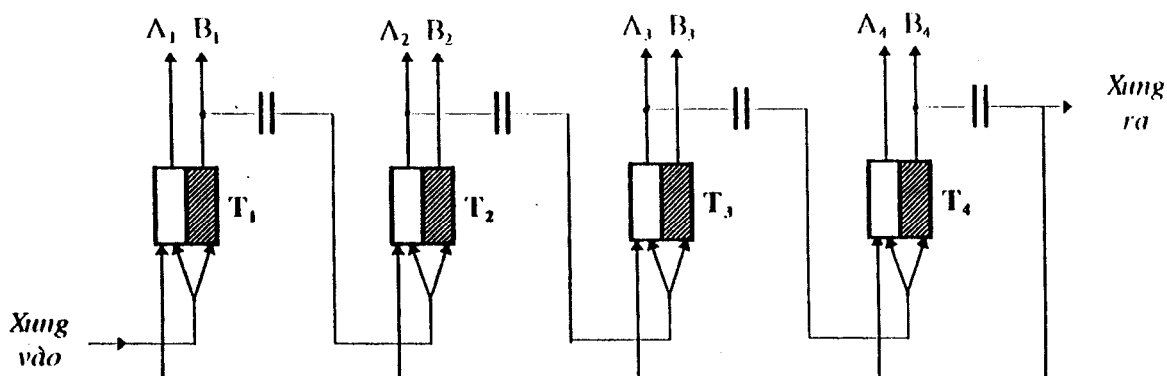
| Số xung đến<br>đầu vào | Trạng thái các trigơ |       |       |       |
|------------------------|----------------------|-------|-------|-------|
|                        | $T_4$                | $T_3$ | $T_2$ | $T_1$ |
| 0                      | 0                    | 1     | 1     | 0     |
| 1                      | 0                    | 1     | 1     | 1     |
| 2                      | 1                    | 0     | 0     | 0     |
| 3                      | 1                    | 0     | 0     | 1     |
| 4                      | 1                    | 0     | 1     | 0     |
| 5                      | 1                    | 0     | 1     | 1     |
| 6                      | 1                    | 1     | 0     | 0     |
| 7                      | 1                    | 1     | 0     | 1     |
| 8                      | 1                    | 1     | 1     | 0     |
| 9                      | 1                    | 1     | 1     | 1     |
| 10                     | 0                    | 0     | 0     | 0     |

Arrows in the original image indicate the sequence of states: 0 → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10. A curved arrow points from state 10 back to state 0, indicating a reset or clear action.

Ban đầu có trạng thái 0110. Đầu ra tri-gơ  $B_1, B_2, B_3, B_4$  có xung chuyển khi tri-gơ tương ứng chuyển trạng thái từ 1  $\rightarrow$  0.

Với cách tổ hợp mạch như trên, thì mã số ghi nhớ trên bộ đếm là không đúng với mã cơ số 2 biểu thị số xung đếm ở đầu vào.

Một ví dụ khác của bộ đếm, cũng được tổ hợp theo phương pháp trên, nhưng ghép nối với nhau ở đầu ra A và đầu ra B của các tri-gơ đếm như hình 4-37.



Hình 4-37

Trạng thái ban đầu của các tri-gơ khi chưa có xung vào là 000. Khi tri-gơ chuyển trạng thái từ 0  $\rightarrow$  1 thì đầu ra A có xung chuyển ghép sang tri-gơ khác. Khi tri-gơ chuyển trạng thái từ 1  $\rightarrow$  0 thì đầu ra B có xung chuyển ghép đi.

Cách tổ hợp bộ đếm loại này cũng có tình trạng mã số trạng thái các tri-gơ không phù hợp với mã số viết theo cơ số 2 biểu thị số xung đếm ở đầu vào.

*c. Phương pháp cấu tạo bộ đếm thập phân có biến đổi trạng thái theo mã số bậc tự nhiên*

Trong kỹ thuật đo lường số, để thuận tiện cho việc kiểm tra, thường có các cách xây dựng bộ đếm thập phân có trạng thái ghi nhớ phải tương ứng với số xung đếm được biểu diễn theo cơ số đếm nhị phân.

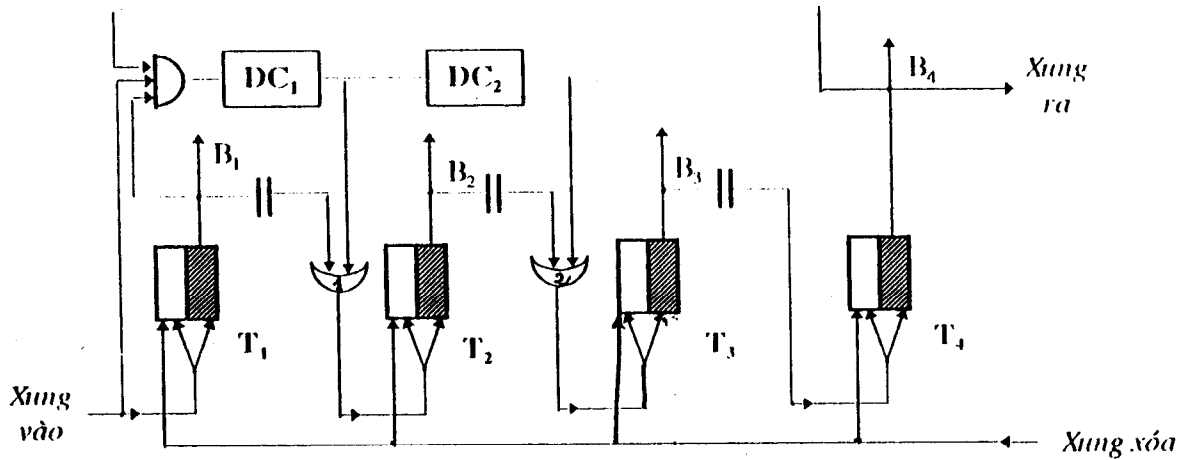
Thông thường, người ta có hai cách tổ hợp mạch đếm loại này, bằng cách:

- Đưa vào bộ đếm một xung, bằng m, vào nhịp đếm cuối cùng, để bộ đếm tràn.
- Cắm các xung chuyển, ở nhịp đếm cuối cùng.

1. Ví dụ, bộ đếm được cấu tạo như cách thứ nhất ở hình 4-38

Bộ đếm được tổ hợp để có thể biến đổi trạng thái bình thường cho tới nhịp xung đếm cuối cùng, thì dựa vào mạch phản hồi, nó được đưa một số lượng trạng thái ổn định cần loại trừ (số m trạng thái), để cho bộ đếm tràn (hay là quay trở lại trạng thái ban đầu).

Trong mạch hình vẽ 4-38, mạch “Và” chỉ thông khi  $T_4$  và  $T_1$  cùng ở trạng thái 1. Mạch đếm làm việc ghi nhớ trạng thái bình thường từ xung 1 đến xung thứ 9. Trạng thái hết xung đếm thứ 9 là 1001, khi đó mạch “Và” có thể sẵn sàng thông.



Hình 4-38

Khi có xung thứ 10,  $T_1$  bị tác động chuyển trạng thái từ 1→0; đầu  $B_1$  có xung chuyển qua, “Hoặc 1” tác động chuyển  $T_2$  từ trạng thái 0→1.

Tín hiệu xung 10, qua “Và” vào dây chậm (điều chế 1), qua “Hoặc 1” tác động  $T_2$  làm  $T_2$  chuyển trạng thái từ 0→1; đầu ra  $B_2$  có xung chuyển, tác động  $T_3$  qua “Hoặc 2” làm  $T_3$  chuyển từ trạng thái 0→1.

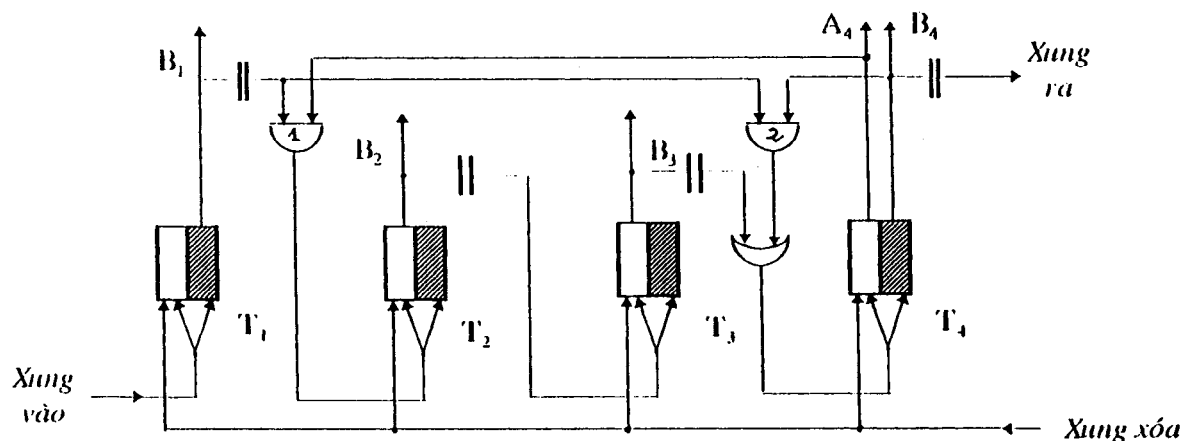
Khi  $T_3$  xác lập trạng thái 1, thì tín hiệu qua điều chế 2, qua “Hoặc 2” lại chuyển  $T_3$  từ trạng thái từ 1→0; đầu ra  $B_3$  có xung chuyển tác động lên  $T_4$  làm  $T_4$  chuyển trạng thái từ 1→0.

Như vậy sau 10 xung đếm, trạng thái bộ đếm là: 0000.

Điều kiện yêu cầu để đảm bảo tin cậy là:  $\tau_{VA} < \tau_{đảo\ tri-gi\acute{c}} < \tau_{DC}$ .

2. Ví dụ bộ đếm được cấu tạo bằng cách cấm các xung chuyển ở nhịp đếm cuối cùng như hình 4-39.

Trạng thái ban đầu của bộ đếm là : 0000, bộ đếm bình thường từ xung 1 đến xung thứ 9; 1001. Khi có xung 10,  $T_1$  chuyển 1 →0, có xung chuyển qua “Và 1” và “Và 2” thông, có xung qua “Hoặc” chuyển  $T_4$  : 1→0, “Và 1” cấm nên  $T_2$  không chuyển. Trạng thái bộ đếm sau xung 10 là: 0000.



Hình 4-39

### 4.4.3 Bộ giải mã trong thiết bị đo số

#### 1. Công dụng

Khi thiết bị đo số làm việc, đầu ra của bộ đếm là dãy số nhị phân. Để tiện lợi cho việc quan sát và đọc kết quả đo, cần phải chuyển đổi thành dãy số thập phân và được đưa tới thiết bị chỉ thị để hiển thị kết quả đo được. Đó là nhiệm vụ của bộ giải mã.

Tuỳ theo cách hiển thị, thể hiện chữ số trong hệ cơ số 10, mà có sự cấu tạo các bộ giải mã khác nhau.

Khi chỉ thị dùng đèn số (đèn có khí, có 10 catốt ứng với 10 số trong hệ thập phân và 1 anốt), hay đèn nêon, các tổ hợp điốt, tinh thể lỏng ..., đèn báo được bố trí theo kiểu vị trí thì bộ giải mã là loại “giải mã 2-10”. Bộ giải mã này có cấu tạo 8 đầu vào và 10 đầu ra.

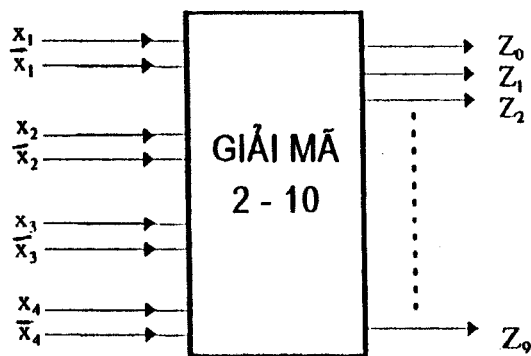
Khi chỉ thị dùng kiểu tổ hợp các thanh hay điểm để thể hiện chữ số: khi đó đầu ra không phải là 10, mà tuỳ thuộc số phần tử thanh hay điểm dùng để tổ hợp. Bộ giải mã này có tính chuyên dụng, là loại “giải mã chuyên dụng”.

#### 2. Cấu tạo bộ giải mã 2- 10

##### a. Sơ đồ logic

Sơ đồ của bộ giải mã 2-10 như trên hình 4-40.

Tối thiểu phải dùng 4 tri-gơ để tạo nên bộ đếm dùng cho hệ đếm cơ số 10. Số trạng thái là :  $2^4=16$ , dùng 10 trạng thái thừa 6 trạng thái.



Hình 4-40

Mỗi tri-gơ có 2 trạng thái ổn định "1" và "0", được biểu thị là một giá trị của biến logic. Như vậy, có 4 biến logic ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ), với  $x_j=0$  hay  $x_j=1$ . Bộ giải mã có 10 hàm trạng thái đầu ra  $z_0, z_1, \dots, z_9$ .

Khi một số thập phân  $K$  nào đó được biểu diễn ở đầu ra thứ  $K$ , thì hàm trạng thái  $z_k$  tương ứng lấy giá trị "1", khi số thập phân  $K$  không xuất hiện thì  $z_k$  lấy giá trị "0".

Bảng quan hệ giá trị biến và hàm trạng thái của bộ giải mã ứng với mã nhị phân tự nhiên, như bảng 4-2.

Bảng 4-2

| $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $z_0$ | $z_1$ | $z_2$ | $z_3$ | $z_4$ | $z_5$ | $z_6$ | $z_7$ | $z_8$ | $z_9$ | Số thập phân |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0            |
| 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1            |
| 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2            |
| 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3            |
| 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4            |
| 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 5            |
| 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 6            |
| 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 7            |
| 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 8            |
| 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 9            |

*b. Ví dụ xây dựng sơ đồ logic của bộ giải mã*

Trong trường hợp này, vì số biến ít nên có thể dùng phương pháp bảng Carnaugh tối thiểu hoá các hàm trạng thái, do đó, mạch giải mã có số phần tử logic là tối thiểu.

Bảng 4-3

| $x_1 x_2$ |  | $x_3 x_4$ |    |    |    |
|-----------|--|-----------|----|----|----|
|           |  | 00        | 01 | 11 | 10 |
| 00        |  | 0         | 4  | X  | 8  |
| 01        |  | 1         | 5  | X  | 9  |
| 11        |  | 3         | 7  | X  | X  |
| 10        |  | 2         | 6  | X  | X  |

Các chữ số thập phân tương ứng với các trạng thái của bộ đếm được biểu diễn trên bảng Carnaugh như bảng 4-3.

Để rút gọn các hàm trạng thái  $z_K$  ( $K = 0, 1, 2, \dots, 9$ ), có thể sử dụng những ô thừa trong bảng, sao cho việc tối thiểu hoá đạt tối thiểu nhất. Ví dụ một cách thực hiện dựa trên các định

$z_0$

| $x_1 x_2$ |  | $x_3 x_4$ |    |    |    |
|-----------|--|-----------|----|----|----|
|           |  | 00        | 01 | 11 | 10 |
| 00        |  | 1         |    | X  |    |
| 01        |  |           |    | X  |    |
| 11        |  |           |    | X  | X  |
| 10        |  |           |    | X  | X  |

Ta có:  $z_0 = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4$  (1)

$z_1$

| $x_1 x_2$ |  | $x_3 x_4$ |    |    |    |
|-----------|--|-----------|----|----|----|
|           |  | 00        | 01 | 11 | 10 |
| 00        |  |           |    | X  |    |
| 01        |  | 1         |    | X  |    |
| 11        |  |           |    | X  | X  |
| 10        |  |           |    | X  | X  |

Ta có:  $z_1 = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4$  (2)

$z_2$

| $x_1 x_2$ |  | $x_3 x_4$ |    |    |    |
|-----------|--|-----------|----|----|----|
|           |  | 00        | 01 | 11 | 10 |
| 00        |  |           |    | X  |    |
| 01        |  |           |    | X  |    |
| 11        |  |           |    | X  | X  |
| 10        |  | 1         |    | X  | X  |

$(\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4)$   $z_2 = \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4$  (3)  
 $(x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4)$

$z_3 = \bar{x}_2 x_1 x_4$  (4)

$z_4 = x_2 \bar{x}_1 \bar{x}_4$  (5)

$z_5 = x_2 \bar{x}_3 x_4$  (6)

$z_6 = x_2 x_3 \bar{x}_4$  (7)

$z_7 = x_2 \bar{x}_3 x_4$  (8)

$z_8 = x_1 \bar{x}_4$  (9)

$z_9$

| $x_1 x_2$ |  | $x_3 x_4$ |    |    |    |
|-----------|--|-----------|----|----|----|
|           |  | 00        | 01 | 11 | 10 |
| 00        |  |           |    | X  |    |
| 01        |  | 1         |    | X  | 1  |
| 11        |  |           |    | X  | X  |
| 10        |  |           |    | X  | X  |

$(x_1 x_2 \bar{x}_3 x_4)$

$(x_1 x_2 x_3 x_4)$

$(x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4)$

$(x_1 \bar{x}_2 x_3 x_4)$

$z_9 = x_1 x_4$  (10)

Bảng 4-4

lý của đại số logic, có sự rút gọn các hàm trạng thái như bảng 4-4.

Từ các biểu thức (1) đến (10) là một ví dụ đã tối thiểu hoá để có thể xây dựng mạch điện thực hiện chức năng hàm logic, với các bộ giải mã cụ thể sẽ được tiếp tục đề cập sau đây.

### c. Bộ giải mã dùng ma trận đi-ốt

Trong thiết bị đo số, loại này được dùng nhiều vì đơn giản về linh kiện, và chừng mực nào đó, nó vẫn đảm bảo được tốc độ tác động nhanh.

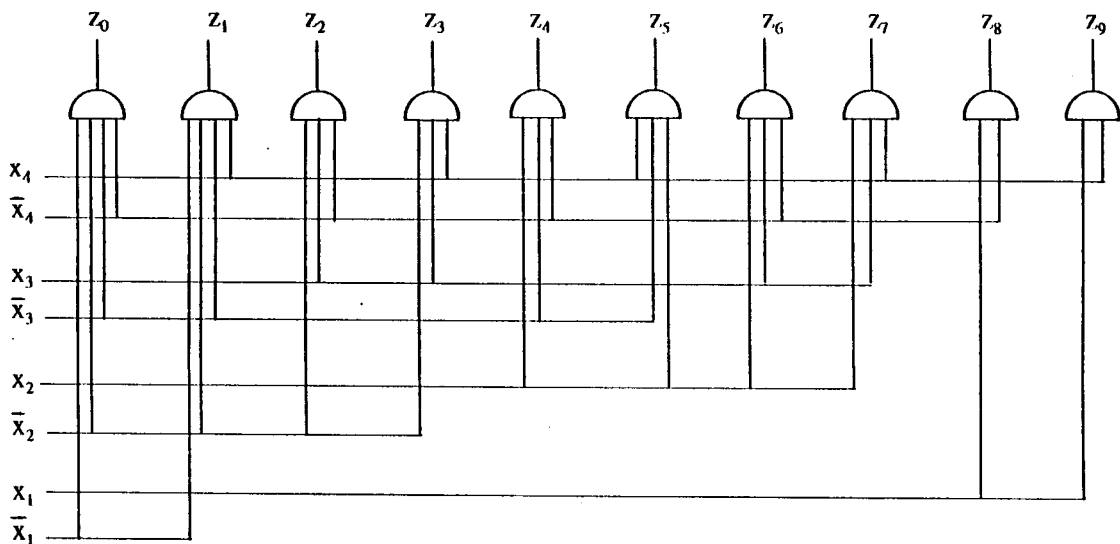
Sơ đồ chức năng bộ giải mã dùng ma trận đi-ốt cho mã 1-2-4-8, xây dựng theo ví dụ trên (các biểu thức 1 đến 10) như hình 4-41. Trong đó, mỗi đầu ra (hàm  $z_k$ ) tín hiệu chỉ qua một mạch logic là mạch "Và"

Sơ đồ logic nguyên lý mạch điện thiết lập theo sơ đồ chức năng trên, như hình 4-42. Trong đó, dùng đi-ốt để cấu tạo mạch "Và" cần một đi-ốt.

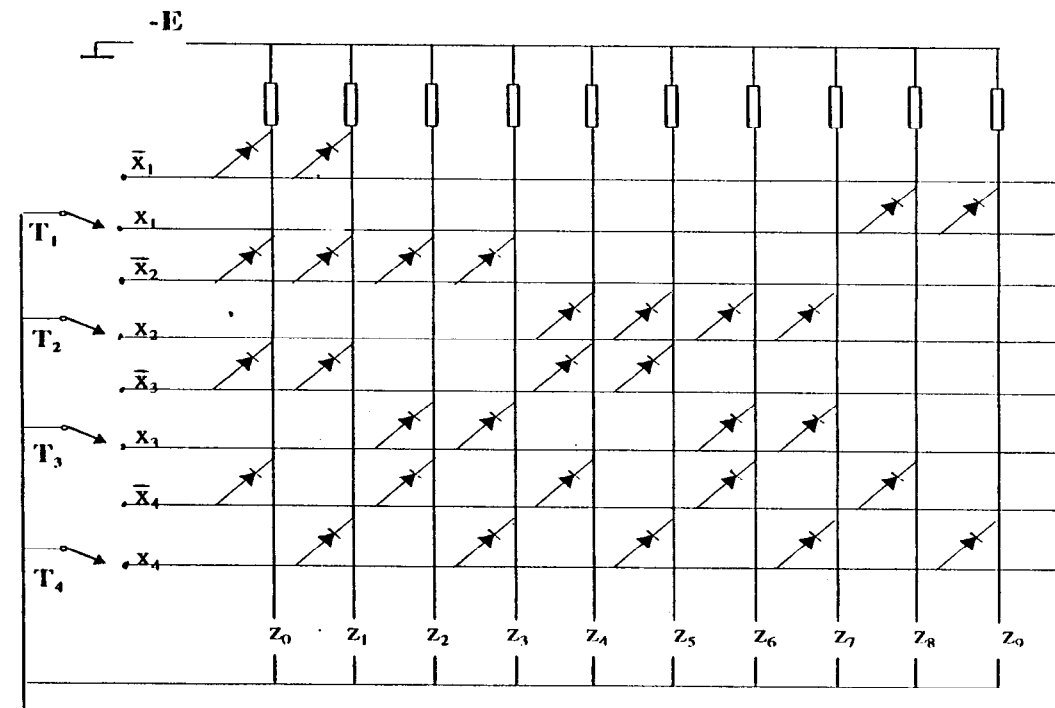
Với mạch điện hình 4-42, khi chuyển mạch T tiếp xúc là 1, tương ứng với điện thế cao; khi T không tiếp xúc với đường dây ngang là 0, tương ứng với điện thế thấp, các đi-ốt không phân cực thuận, nên điện thế đầu ra  $z_1$  của dây dọc không bị ngắn mạch xuống đất.

Khi chưa tối thiểu hoá, số đi-ốt dùng để giải mã trong bộ đếm  $n$  tri-gơ đếm là  $M=n.2^n$ . Trong đó  $M=30$ .

Bộ giải mã này tương đối đơn giản, song số đầu vào mạch "Và" tương đối nhiều, nên cũng làm giảm độ tin cậy của mạch.



Hình 4-41

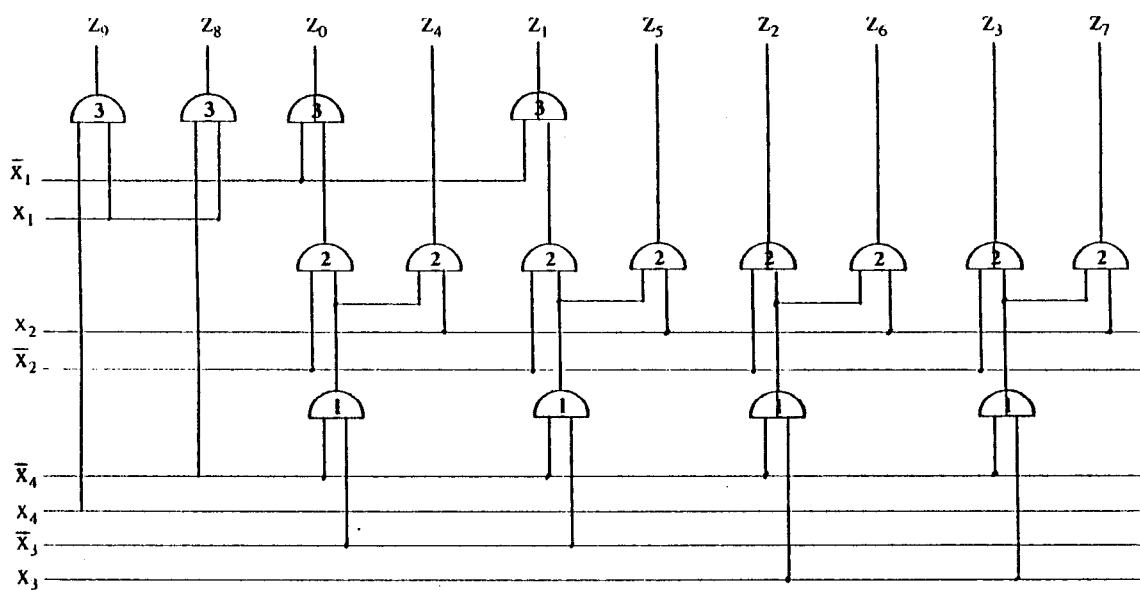


Hình 4-42

d. Bộ giải mã hình tháp

Trong thiết bị đo số còn hay dùng bộ giải mã hình tháp.

Sơ đồ logic cấu tạo để thực hiện chức năng mạch điện như hình 4-43.



Hình 4-43

Nguyên tắc cấu tạo của bộ giải mã này là: trước tiên thực hiện giải mã giữa hai biến nào đó, kết quả được một biến mới (giải mã bậc 1). Sau đó tiếp tục giải mã giữa biến mới này với biến logic thứ ba (giải mã bậc 2), cứ thế tiếp tục, ... . Nguyên tắc này được mô tả theo cách thực hiện phép toán logic như sau:

$$z=x_1 \ x_2 \ x_3 \ \bar{x}_4 = \{[(x_1 \ x_2) \ x_3] \ \bar{x}_4\}$$

Phép tính được thực hiện tuần tự từ ngoặc đơn trong cùng, tiếp tục đến móc và ngoặc kép.

Như vậy, khi chọn biến logic cho bậc giải mã bậc thấp rất quan trọng, nó quyết định số phần tử logic dùng cho mạch giải mã.

Ví dụ: với cách tổ hợp như các biểu thức (1) đến (10) ở trên, thì các biến  $x_2, x_3, x_4$  xuất hiện nhiều trong các biểu thức của dãy hàm trạng thái.

Do đó, có thể chọn:

Giải mã bậc 1: giữa  $x_3$  và  $x_4$

Giải mã bậc 2: tiếp tục với  $x_2$

Giải mã bậc 3: lại tiếp tục nữa với  $x_1$

Các mạch "Và" chỉ có hai đầu vào nên độ tin cậy cao hơn. Song nhược điểm là vì tín hiệu phải qua nhiều khâu, nên tốc độ kém hơn.

#### *e. Bộ giải mã nhiều bậc*

Sơ đồ cấu tạo mạch điện logic như hình 4-44.

Nguyên lý thực hiện của bộ giải mã nhiều bậc được tiến hành như sau:

Đầu tiên, thực hiện đồng thời sự giải mã giữa các đôi biến một. Sau đó, lấy đầu ra của hai bậc giải mã bậc thấp làm đầu vào của bộ giải mã bậc cao hơn.

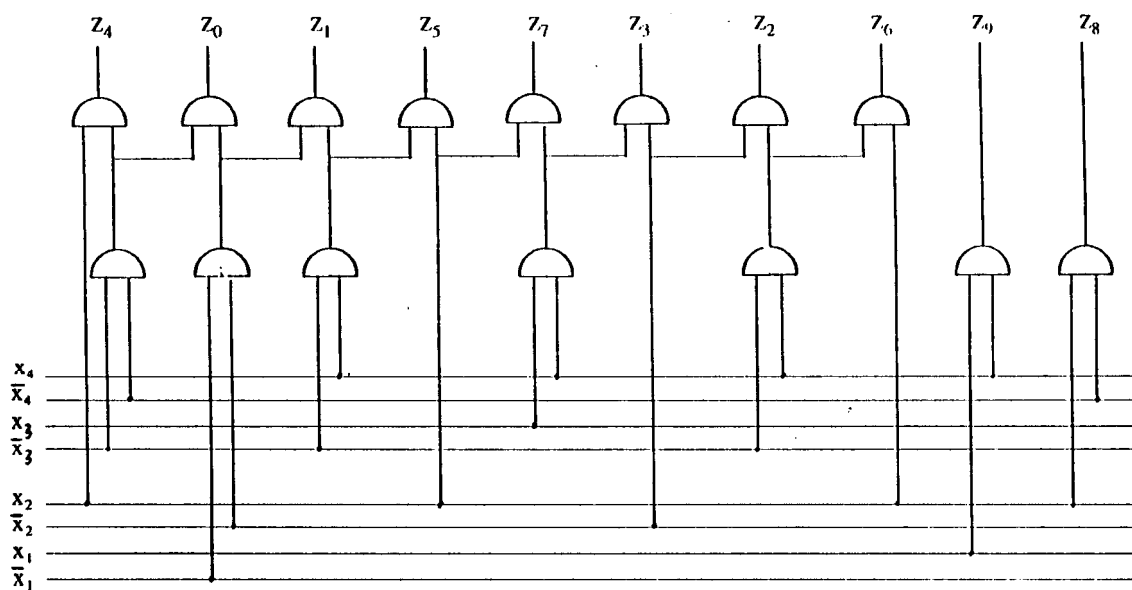
Sự chọn biến để tổ hợp giải mã trước sau, cũng có quyết định đến số lượng phần tử logic của mạch điện.

Với ví dụ dãy biểu thức hàm trạng thái (1) ÷ (10) ở trên, có thể thực hiện như sau:

Kết hợp giữa  $x_1$  và  $x_2$ ; cùng đồng thời với  $x_3$  và  $x_4$ .

Sau đó tiếp tục với các biến mới.

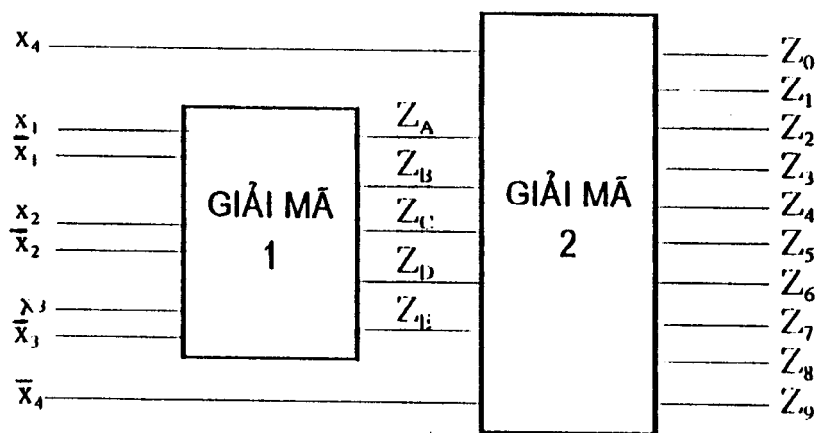
So với loại giải mã hình thấp, thì loại này có bậc thấp hơn nên có độ tin cậy cao hơn.



Hình 4-44

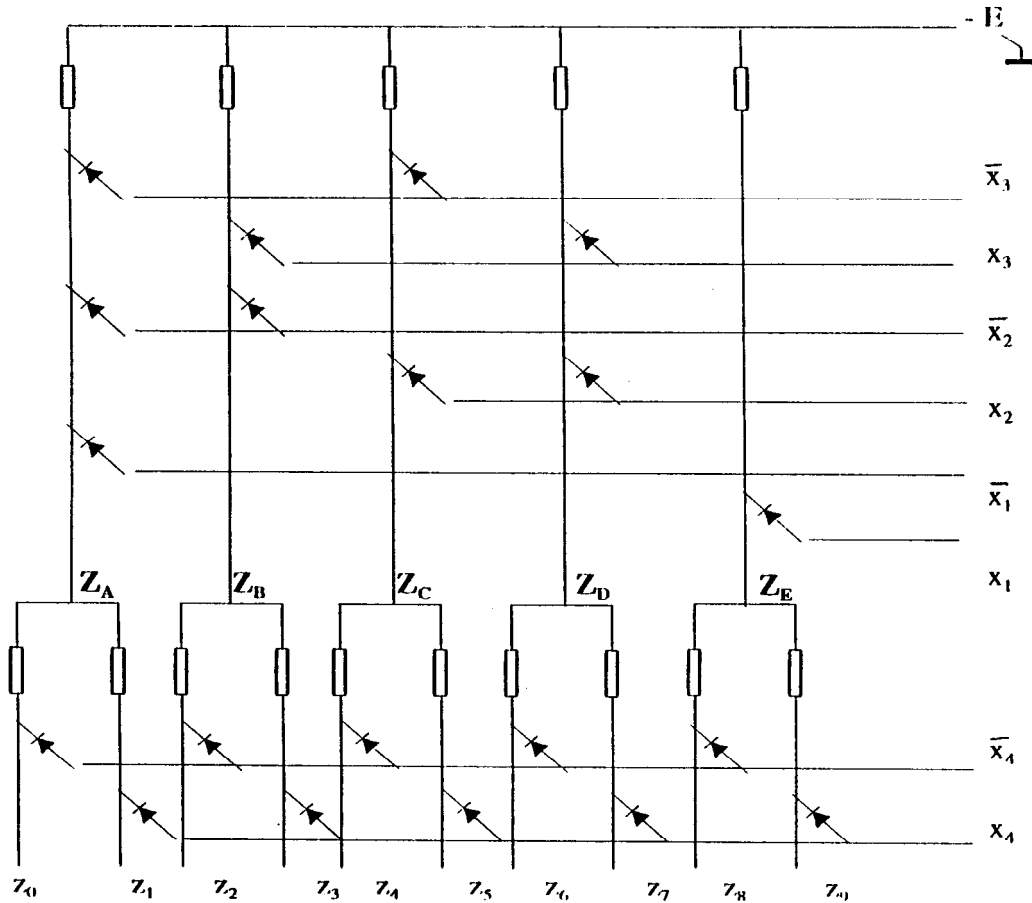
g. Bộ giải mã hỗn hợp

Sơ đồ cấu tạo của nó như hình 4-45.



Hình 4-45

Trên thực tế, thiết kế cấu tạo của thiết bị đo số, thường dùng mạch có tính chất hỗn hợp. Mạch giải mã hỗn hợp cho phép giảm đáng kể số phân tử cần thiết để thực hiện toán tử logic, do đó, mạch điện cũng đơn giản đi rất nhiều. Vì thực chất bộ giải mã 2-10 này là có thực hiện phép toán chọn các số thập phân theo tính chẵn lẻ ở đầu ra. Do vậy, chỉ cần thực hiện đếm liên tiếp đến 5, tức là tổ hợp 3 biến để đầu ra bộ giải mã có 5 đầu tương ứng; sau đó tiếp tục giải mã 5 hàm đầu ra này với biến còn lại.



Hình 4-46

Ví dụ như với các biểu thức tổ hợp logic (1)÷(10) ở trên, có thể thực hiện như sau:

$$\left. \begin{aligned} z_0 &= \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 = z_A \cdot \bar{x}_4 \\ z_1 &= \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 = z_A \cdot x_4 \end{aligned} \right\} \text{ trong đó } z_A = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3$$

$$\left. \begin{aligned} z_2 &= \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 = z_B \cdot \bar{x}_4 \\ z_3 &= \bar{x}_2 x_3 x_4 = z_B \cdot x_4 \end{aligned} \right\} \text{ trong đó } z_B = \bar{x}_2 x_3$$

$$\left. \begin{aligned} z_4 &= x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 = z_C \cdot \bar{x}_4 \\ z_5 &= x_2 \bar{x}_3 x_4 = z_C \cdot x_4 \end{aligned} \right\} \text{ trong đó } z_C = x_2 \bar{x}_3$$

$$\left. \begin{aligned} z_6 &= x_2 x_3 \bar{x}_4 = z_D \cdot \bar{x}_4 \\ z_7 &= x_2 x_3 x_4 = z_D \cdot x_4 \end{aligned} \right\} \text{ trong đó } z_D = x_2 x_3$$

$$\left. \begin{aligned} z_8 &= x_1 \bar{x}_4 = z_E \cdot \bar{x}_4 \\ z_9 &= x_1 x_4 = z_E \cdot x_4 \end{aligned} \right\} \text{ trong đó } z_E = x_1$$

Sơ đồ mạch điện cấu tạo như hình 4-46.

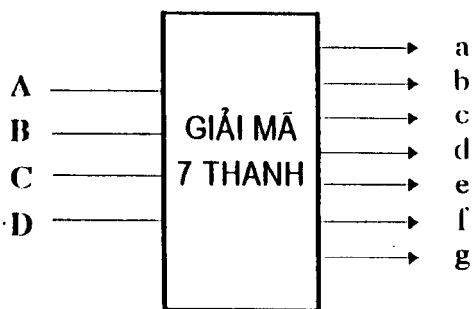
Bộ giải mã 5 đầu ra thường bằng ma trận đi-ốt.

Bộ giải mã thứ hai (7 đầu vào, 10 đầu ra) có thể thực hiện được bằng ma trận đi-ốt, bằng tranzitor, bằng relais, ...

Mạch điện hình 4-46 là bộ giải mã bằng 2 ma trận đi-ốt.

### 3. Cấu tạo bộ giải mã 7 thanh.

#### a. Sơ đồ logic



Hình 4-47

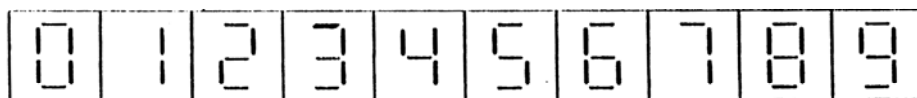
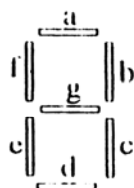
Sơ đồ của bộ giải mã 7 thanh như hình 4-47.

Cấu tạo của bộ giải mã gồm có 4 đầu vào A, B, C, D và 7 đầu ra a, b, c, d, e, f, g. Bảy đầu được nối với LED, số LED này được bố trí trên một mặt phẳng để có thể tạo nên hình dáng của tất cả các chữ số. Chữ số được bố trí và hiện sáng như hình 4-48.

Số thập phân được biểu thị là tổ hợp của 7 thanh. Bộ giải mã có 4 đầu vào, 7 đầu ra hoạt động theo bảng trạng thái ở bảng 4-5.

Bảng 4-5

| Số thập phân | Đầu vào |   |   |   | Đầu ra |   |   |   |   |   |   |
|--------------|---------|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|
|              | A       | B | C | D | A      | b | C | D | e | f | g |
| 0            | 0       | 0 | 0 | 0 | 1      | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1            | 0       | 0 | 0 | 1 | 0      | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2            | 0       | 0 | 1 | 0 | 1      | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 3            | 0       | 0 | 1 | 1 | 1      | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 4            | 0       | 1 | 0 | 0 | 0      | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 5            | 0       | 1 | 0 | 1 | 1      | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 6            | 0       | 1 | 1 | 0 | 1      | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7            | 0       | 1 | 1 | 1 | 1      | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8            | 1       | 0 | 0 | 0 | 1      | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9            | 1       | 0 | 0 | 1 | 1      | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |



Hình 4-48

### b. Xây dựng mạch logic cụ thể

Việc xây dựng mạch logic cụ thể được thực hiện từ bảng trạng thái chỉ thị số. Từ bảng trạng thái có thể xây dựng hệ hàm trạng thái (hàm kích), rồi từ hàm trạng thái, xây dựng mạch logic cụ thể.

Có thể xây dựng các phương trình hàm trạng thái bằng phương pháp bản Carnaugh và thực hiện rút gọn.

Ví dụ xây dựng phương trình hàm kích cho đầu ra a từ bảng Carnaugh trên Bảng 4-6 và rút gọn, ta có:

Từ hệ phương trình hàm trạng thái kích trên, có thể cấu tạo mạch logic bộ giải mã 7 thanh.

Bảng 4-6

|   |    |    |    |    |    |                                                             |
|---|----|----|----|----|----|-------------------------------------------------------------|
| a | CD |    |    |    |    |                                                             |
|   | AB | 00 | 01 | 11 | 10 |                                                             |
|   | 00 | 1  | X  | 1  | 1  | $a = A + B D + \bar{B} \bar{D} + C D$                       |
|   | 01 | X  | 1  | 1  | 1  | cũng làm tương tự, ta có:                                   |
|   | 11 | X  | X  | X  | X  | $b = \bar{B} + \bar{C} \bar{D} + C D$                       |
|   | 10 | 1  | 1  | X  | X  | $c = B + \bar{C} + D$                                       |
|   |    |    |    |    |    | $d = \bar{B} C + \bar{B} \bar{D} + C \bar{D} + B \bar{C} D$ |
|   |    |    |    |    |    | $e = C \bar{D} + \bar{B} \bar{D}$                           |
|   |    |    |    |    |    | $f = B \bar{C} + \bar{C} \bar{D} + A + B \bar{D}$           |
|   |    |    |    |    |    | $g = C \bar{D} + \bar{B} C + A + B \bar{C}$                 |

#### 4.4.4 Bộ chỉ thị số

##### 1. Phân loại

- Trong thiết bị đo số, tùy theo thời gian mà có các loại chỉ thị số sau, các loại này cũng đồng thời là sự phân loại của thiết bị chỉ thị đo số.

- Chỉ thị số dùng hệ thống cơ- điện, cơ- điện - quang.
- Chỉ thị số dùng hệ đèn sợi nung công suất bé.
- Chỉ thị số dùng đèn số loại có khí.
- Chỉ thị số dùng linh kiện hiệu ứng phát quang
- Chỉ thị số dùng đi-ốt phát quang (LED)
- Chỉ thị số dùng linh kiện là tinh thể lỏng.

Còn về phương pháp thể hiện ký tự chữ số của các dụng cụ chỉ thị số kể trên, thì cũng có nhiều cách: chữ số sẽ hiện sáng khi đèn được đốt sáng, chữ số được khắc sẵn ở vị trí cố định cùng với đèn trên panel, hay bản thân catốt của đèn đã được uốn sẵn theo hình chữ số; chữ số được thể hiện bằng cách tổ hợp các đèn là các điểm sáng hay tổ hợp các đèn là các thanh sáng mà được đốt sáng đồng thời.

##### a. Bộ hiện thị số dùng hệ thống cơ điện

Các đại lượng đo được đã được biến đổi rồi rạc, được tiếp tục biến đổi thông qua các thiết bị điện như: động cơ điện thừa hành, động cơ bước, rơ-le điện từ, ..., mà tạo ra các lực chuyển động cơ học làm quay các trống số.

Mỗi trống số được đánh số từ 0÷9, và đóng vai trò một hàng trong hệ đếm cơ số 10.

Loại chỉ thị số này được dùng đầu tiên, hay dùng để đếm số vòng quay. Có loại cơ điện cải tiến hơn, có lắp thêm hệ thống chiếu sáng chữ số, là loại cơ-điện-quang. Hiện nay rất ít dùng vì có các nhược điểm:

- Tốc độ thiết lập số thấp, do có quán tính lớn, khoảng  $2 \div 20$  xung/s.
- Kích thước công kênh
- Chữ số khó đọc.

*b. Bộ chỉ thị số dùng hệ đèn báo (đèn sợi nung công suất bé)*

Hệ thống đèn báo công suất bé được thực hiện chỉ thị số bằng cách chỉ thị theo kiểu vị trí hay chỉ thị theo kiểu tổ hợp thành chữ số.

Chỉ thị theo kiểu vị trí, là trên mặt panel có lắp các đèn báo tạo thành một bảng tín hiệu, mỗi đèn có gắn một chữ số, để khi đèn sáng thì chữ số được hiện sáng.

Cứ 10 đèn được xếp theo cột dọc hoặc vòng tròn, để biểu diễn các chữ số từ  $1 \div 9$  của một hàng hệ đếm cơ số 10.

Chỉ thị theo kiểu tổ hợp chữ số bằng các điểm sáng, mỗi đèn là một điểm, hay tổ hợp chữ số bằng các khe sáng, mỗi đèn làm một khe sáng.

Với chữ số là tổ hợp các điểm sáng, thì số phân tử để tổ hợp càng nhiều, tuy thiết bị điều khiển phức tạp hơn, song hình chữ số càng rõ ràng, dễ đọc.

Với chữ số là tổ hợp của các khe sáng, số đèn dùng giảm đi rất nhiều, mà vẫn đảm bảo kích tác chữ số, do trên mặt panel đục các khe thủng, trên mặt khe có tấm kính mờ hay lọc quang để có ánh sáng màu theo ý muốn; phía sau khe là một đèn báo và được ngăn cách để mỗi đèn chỉ chiếu sáng một khe thôi.

Số phân tử khe cho một chữ số thường là 7 hay 9 phân tử.

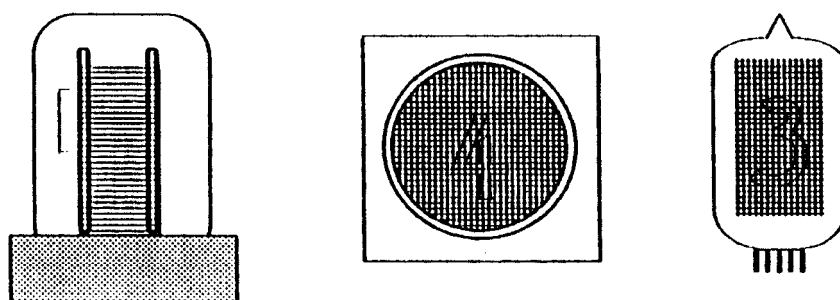
Các bộ giải mã chỉ thị dùng cho kiểu chỉ thị tổ hợp điểm sáng hay khe sáng là bộ giải mã chuyên dụng. Chúng có 4 đầu vào (như bộ giải mã 2-10), nhưng số đầu ra thì bằng số điểm sáng hay khe sáng được dùng để cấu tạo chữ số.

Với loại chỉ thị số dùng hệ đèn báo công suất bé thì có ưu điểm là cấu tạo đơn giản; có tốc độ thiết lập số khá nhanh. Khi dùng đèn nê-ôn để chỉ thị thì cũng có thể đạt tốc độ khá cao. Khuyết điểm là số đèn nhiều, công kênh, chữ số khó đọc.

*c. Bộ chỉ thị số dùng đèn số*

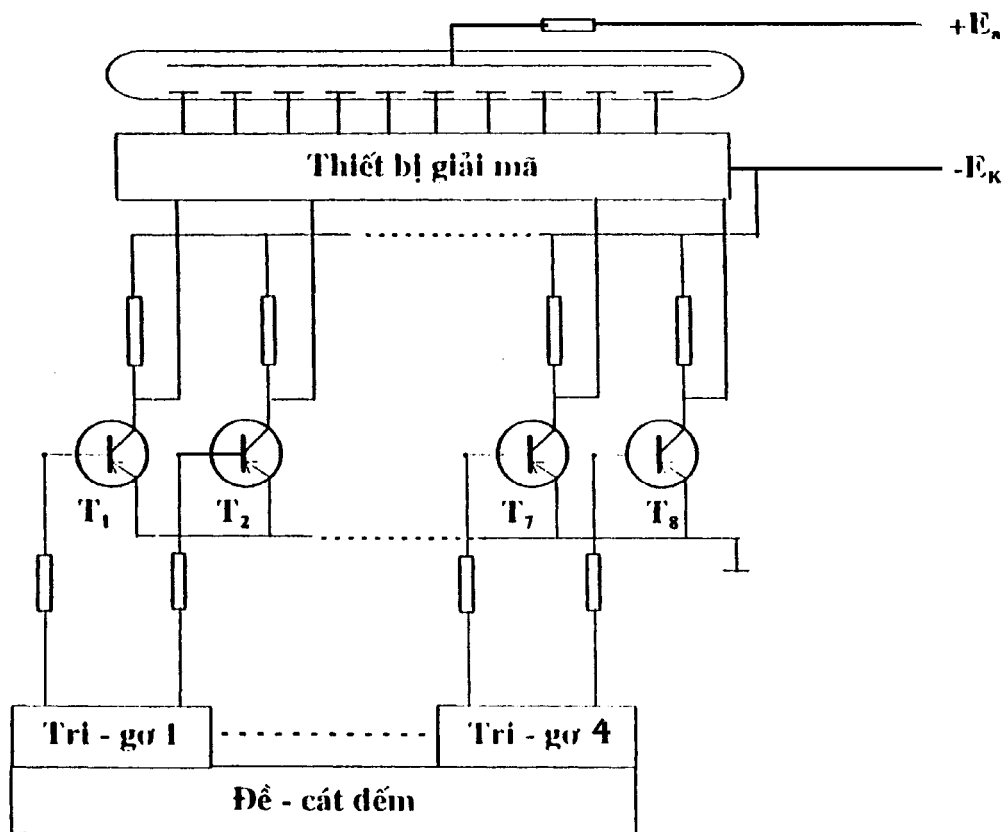
Cấu tạo: Đèn số là loại đèn chuyên dụng dùng để chỉ thị số. Trong bình thủy tinh có khí kém (thường là khí nê-ôn) có 10 catốt bằng hợp kim Ni-Cr uốn theo hình chữ số (số  $0 \div 9$ ) dạng chữ số Ả-rập, và còn có các catốt uốn ký hiệu : +, -, ~, V,  $\Omega$ , A, ... và có một hay 2 anốt dưới dạng lưới, để có thể nhìn qua được như hình 4-49.

Các catốt được nối với các đầu ra của bộ giải mã, qua thiết bị phối hợp (để chuyển mạch thời gian chỉ thị và khuếch đại tín hiệu đầu ra của bộ giải mã).



Hình 4-49

Khi các đầu ra của bộ giải mã không có tín hiệu, thì hiệu điện thế giữa A và K tương ứng với đầu ra đó có hiệu điện thế không đủ để duy trì sự phóng điện. Khi đầu ra



Hình 4-50

có tín hiệu, hiệu điện thế  $U_{AK}$  đủ lớn để tạo nên sự phóng điện trong khí kém, xung quanh catốt được sáng lên, làm cho có thể quan sát được dáng hình chữ số của catốt này.

Ví dụ mạch cung cấp cho đèn số như hình 4-50.

Các tranzitor  $T_1 \div T_9$  được các tri-gơ đếm điều khiển, chúng làm nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu, đồng thời làm nhiệm vụ khoá. Khi khoá thông, điện thế 0V đặt vào giải mã, khi khoá tắt, điện thế  $-E_k$  đặt vào bộ giải mã, khi đó  $U_{AK}=E_n-(-E_k)$ , có khả năng tạo nên sự phóng điện, K tương ứng được phát sáng.

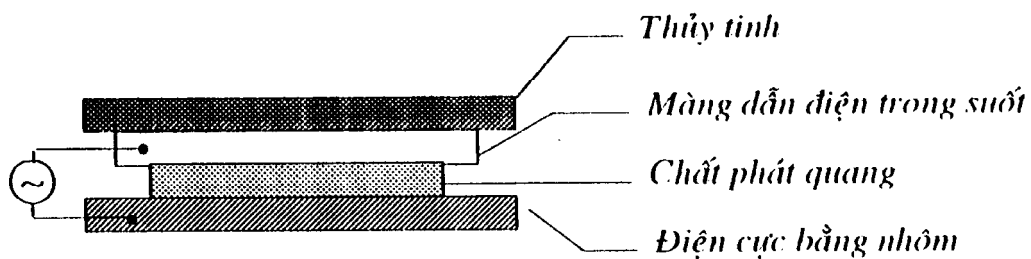
Loại mạch cung cấp trên có nhược điểm là tiêu thụ công suất lớn, phải dùng 2 nguồn cao áp. Do vậy còn thường được cung cấp cho mạch chỉ thị bằng nguồn xung, công tác ở chế độ xung.

#### *d. Bộ chỉ thị số dùng hiệu ứng quang điện*

Nguyên tắc và cấu tạo của tụ điện huỳnh quang là dựa vào hiện tượng điện-huỳnh quang: dưới tác dụng của dòng điện xoay chiều, chất lân quang phát sáng. Người ta chế tạo ra các tụ điện huỳnh quang dùng để chỉ thị theo kiểu tổ hợp dải sáng.

Cấu tạo của tụ điện huỳnh quang dùng để chỉ thị theo kiểu tổ hợp dải sáng.

Cấu tạo của tụ điện huỳnh quang như hình 4-51.

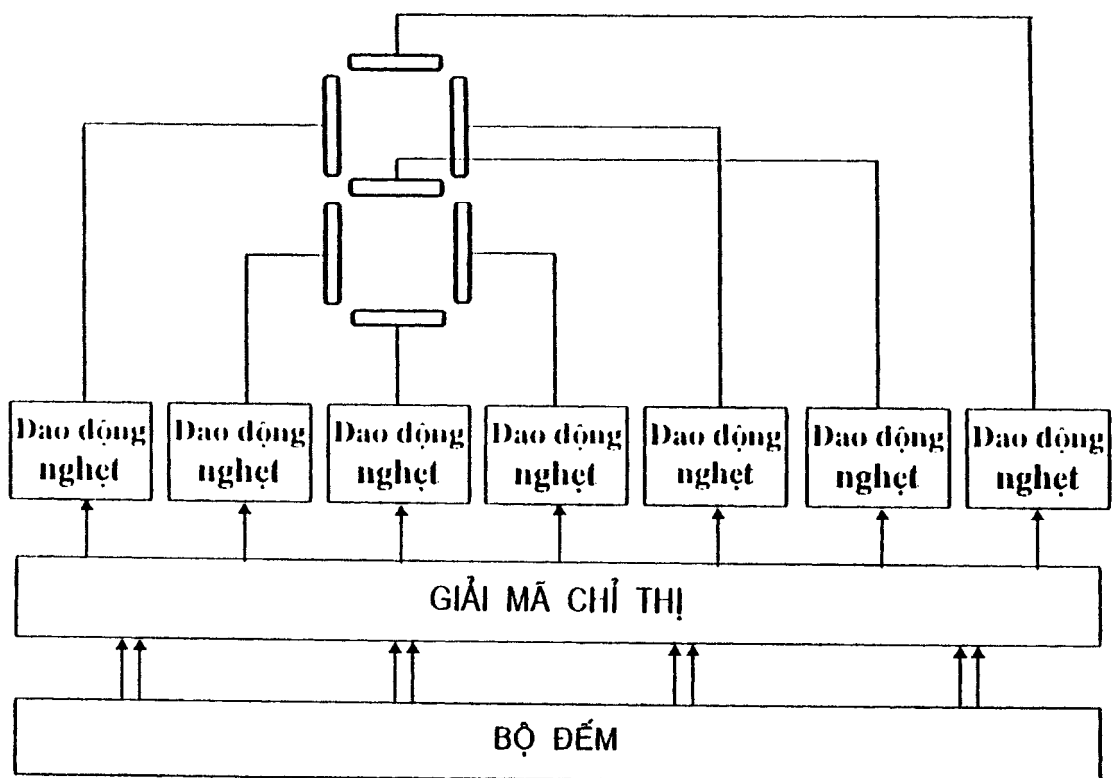


Hình 4-51

Trên tấm thủy tinh có phủ một lớp màng dẫn điện trong suốt bằng điôxít kẽm hay điôxít cadimi, màng này là một điện cực của tụ điện. Điện cực thứ hai là màng không trong suốt, thường bằng nhôm, nó có tác dụng dẫn điện và phản xạ các tia sáng phát xạ. Ở giữa hai điện cực là chất phản quang. Khi có điện áp xoay chiều đặt vào hai cực chất phát sáng.

Muốn tụ điện huỳnh quang phát sáng thì điện áp kích thích phải có biên độ và tần số thỏa mãn lớn hơn giá trị  $U_{ngưỡng}$  và  $f_{ngưỡng}$  của tụ.

Mạch điện cung cấp cho bộ chỉ thị bằng dao động nghẹt như hình 4-52.



Hình 4-52

Bình thường dao động nhệt ở trạng thái chờ, khi đầu ra của bộ giải mã có tín hiệu, sẽ kích thích bộ giao động nhệt dao động tạo điện áp xoay chiều làm tụ phát sáng.

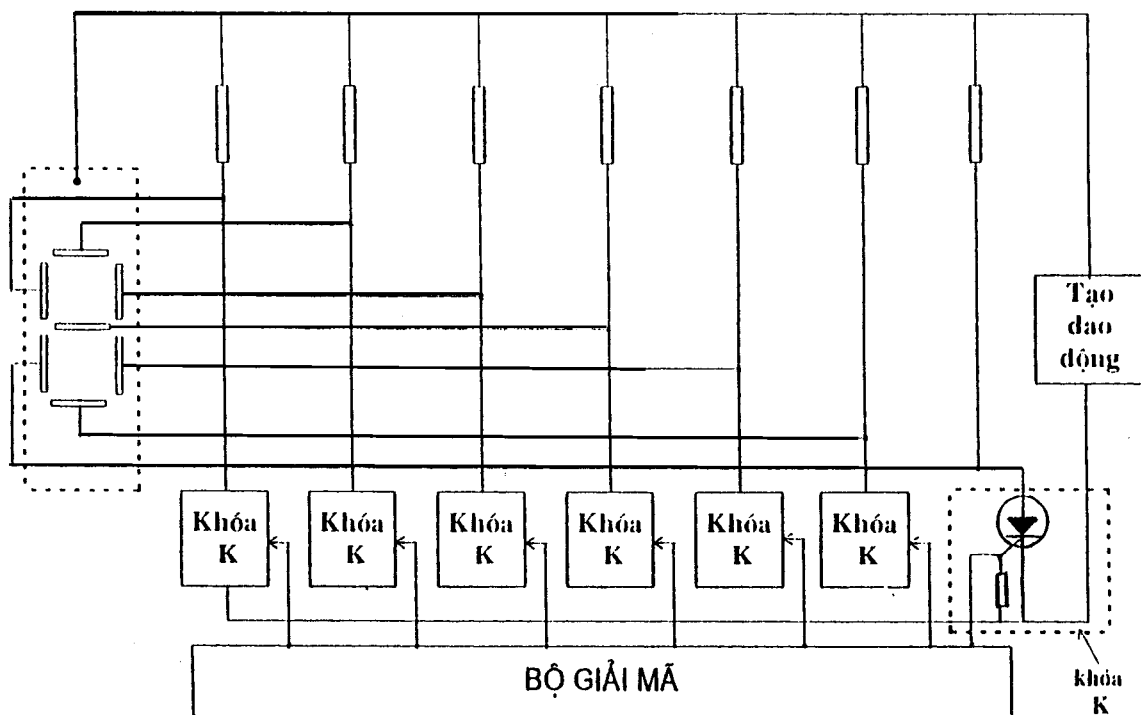
Cách cung cấp này cần nhiều bộ tạo dao động nhệt, do vậy công kênh, không kinh tế.

Mạch cung cấp điện áp cho các tụ bằng nguồn điện áp chung như hình 4-53.

Mạch dùng nguồn chung thì đỡ tốn nguồn hơn, song cần bộ giải mã điều khiển, đảm bảo cho sự chuyển mạch đúng; các đầu ra bộ giải mã điều khiển khoá K. Trên hình 40, khoá K được ví dụ như linh kiện có điều khiển thyristo. Khi thyristo thông, tức là có tín hiệu ra từ bộ giải mã, điện áp nguồn từ bộ tạo dao động được qua thyristo đến tụ, làm tụ phát sáng.

Với loại chỉ thị dùng hiệu ứng quang điện, thì có các ưu điểm: tác động nhanh, độ sáng và con số biểu diễn khá rõ, công suất tiêu thụ nhỏ (nhỏ hơn khoảng 5 lần so với loại đèn số có khí và 20 lần so với đèn sợi nung).

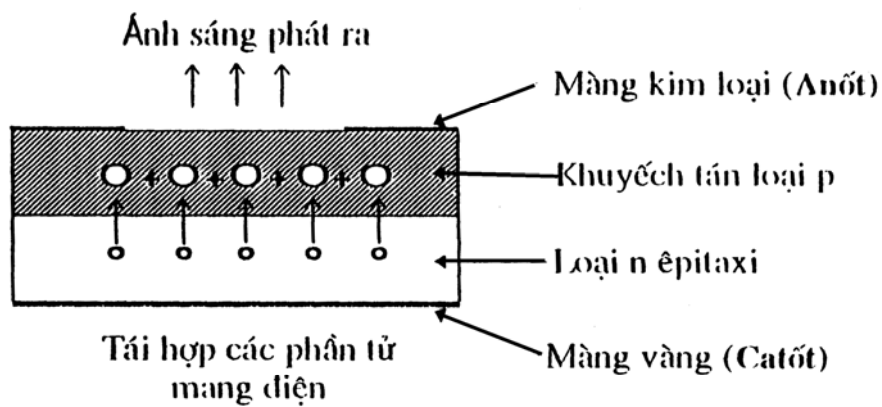
Khuyết điểm của nó là còn cần phải có bộ giải mã chuyên dụng, điện áp từ nguồn cung cấp còn cao (cỡ 25 đến 30V, tần số 400Hz).



Hình 4-53

*e. Bộ chỉ thị số dùng đi-ốt phát quang (LED)*

Do sự tái hợp của các phân tử mang điện (điện tử và lỗ) của lớp tiếp xúc pn khi định thiên thuận (các electron vượt từ phía n và tái hợp với các lỗ trống tại phía p), các phân tử tải điện sẽ phát ra năng lượng dưới dạng nhiệt và ánh sáng.



Hình 4-54

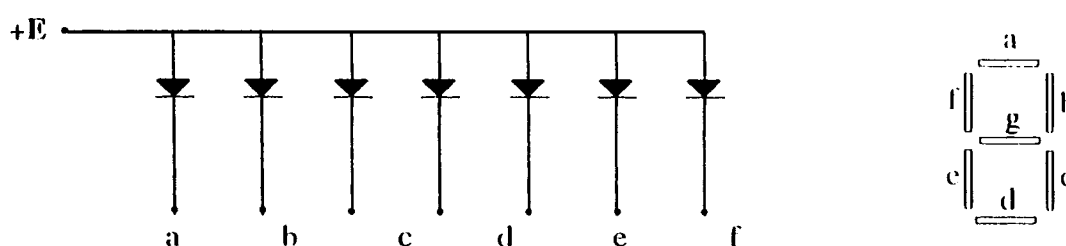
Nếu vật liệu bán dẫn trong suốt, thì ánh sáng được phát ra và lớp tiếp xúc pn là nguồn sáng. Nó là một đi-ốt phát quang (LED).

Khi định thiên thuận, phân tử ở trạng thái đóng và phát sáng. Khi định thiên ngược thì phân tử ở trạng thái ngắt.

Hình 4-54 là mặt cắt một LED thông thường. Sự tái hợp các phân tử tải điện xảy ra trong vật liệu loại p, nên miền p là bề mặt của phân tử đi-ốt. Để cso sự phát sáng tối đa, mang anốt kim loại được cho kết tủa quanh mép của vật liệu loại p. Đầu nối catốt của phân tử này là màng kim loại ở đáy của miền loại n.

Để có ánh sáng có màu khác nhau: đỏ, vàng hay xanh, thì người ta sử dụng các loại bán dẫn khác nhau, hoặc dùng nhựa bọc có màu khác nhau.

Cách bố trí LED bảy đoạn như hình 4-55.



Hình 4-55

Các LED có tất cả các anốt mắc chung (anốt chung), hay tất cả các catốt mắc chung (catốt chung).

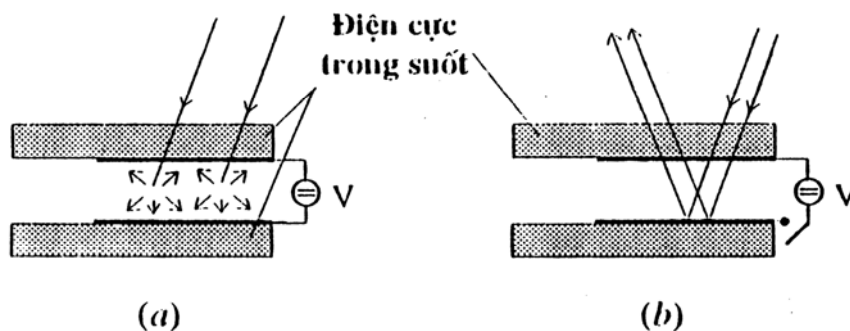
Độ sụt áp khi phân cực thuận là 1,2V và dòng điện thuận khi có độ chói hợp lý khoảng 20mA. Dòng điện có trị số lớn chính là khuyết điểm của loại đèn này. Các ưu điểm là: nguồn điện áp một chiều thấp, khả năng chuyển mạch nhanh, bền, kích thước bé.

#### *g. Bộ chỉ thị số dùng tinh thể lỏng*

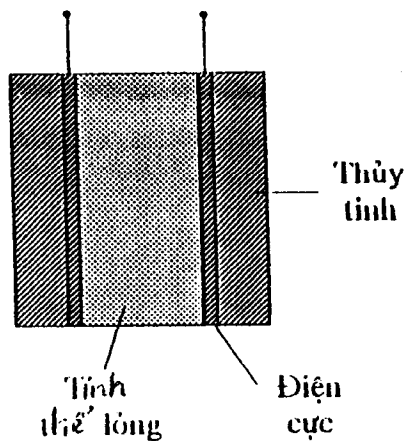
“Tinh thể lỏng” là tên trạng thái của một vài hợp chất hữu cơ đặc biệt như nématic, stématic, cholestéric, ..., các chất này nóng chảy ở hai trạng thái: lúc đầu ở trạng thái nóng chảy liên tục, sau đó nếu nhiệt độ tiếp tục tăng thì chuyển sang chất lỏng đẳng hướng bình thường. Pha tới hạn trạng thái nóng chảy trung gian giữa hai trạng thái này là trạng thái tinh thể lỏng: nó vừa có tính chất chất lỏng, vừa có tính chất tinh thể.

Dưới tác động của điện trường và ở dải nhiệt độ xác định (từ 10<sup>0</sup>C÷55<sup>0</sup>C), các chất tinh thể lỏng này xuất hiện hiệu ứng “tán xạ động”.

Với tinh thể lỏng loại kiểu hiệu ứng trường, vì trong chất này xuất hiện những vùng có các phân tử bị xáo trộn nên khi có ánh sáng đi qua, chúng bị tán xạ (hình 4-56a) do bị kích hoạt khi có đặt một điện áp vào, khi đó chất này trở nên không trong suốt. Khi bỏ điện áp ra các phân tử lại sắp xếp như cũ, chất này lại trở nên trong suốt (hình 4-56b). Như vậy, hệ số khúc xạ với ánh sáng đi qua hay ánh sáng phản xạ là bị biến thiên.



Hình 4-56



Hình 4-57

Khi dùng tinh thể lỏng vào việc chỉ thị số, thì bộ chỉ thị không bức xạ ánh sáng, nên phải có nguồn sáng định hướng và phong.

Bộ chỉ thị dùng tinh thể lỏng cũng được cấu tạo theo kiểu tổ hợp số. Cấu tạo của mỗi thanh như hình 4-57. Trên hai tấm thủy tinh được phủ một lớp kim loại dẫn điện làm hai điện cực trong suốt, giữa hai lớp kim loại là lớp chất lỏng tinh thể.

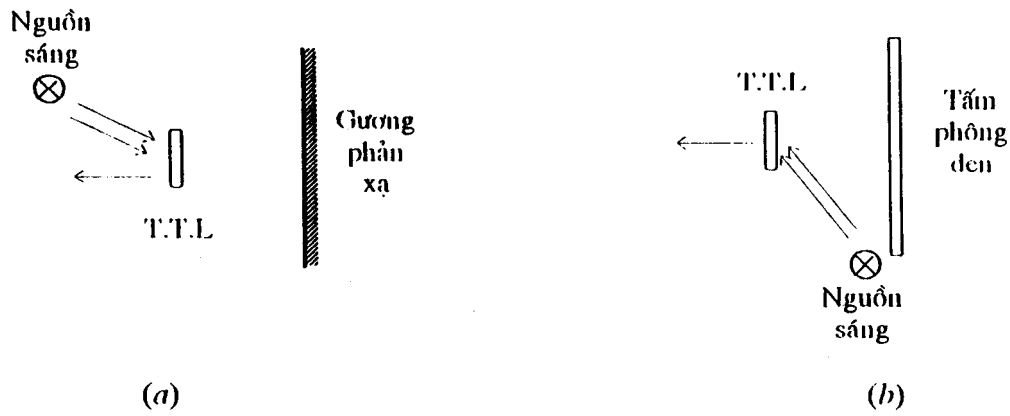
Khi chỉ thị chữ số, ngoài điện áp đặt vào hai điện cực của phần tử, còn cần nguồn sáng đặt phía trước hay phía sau

của bộ chỉ thị (hình 4-58).

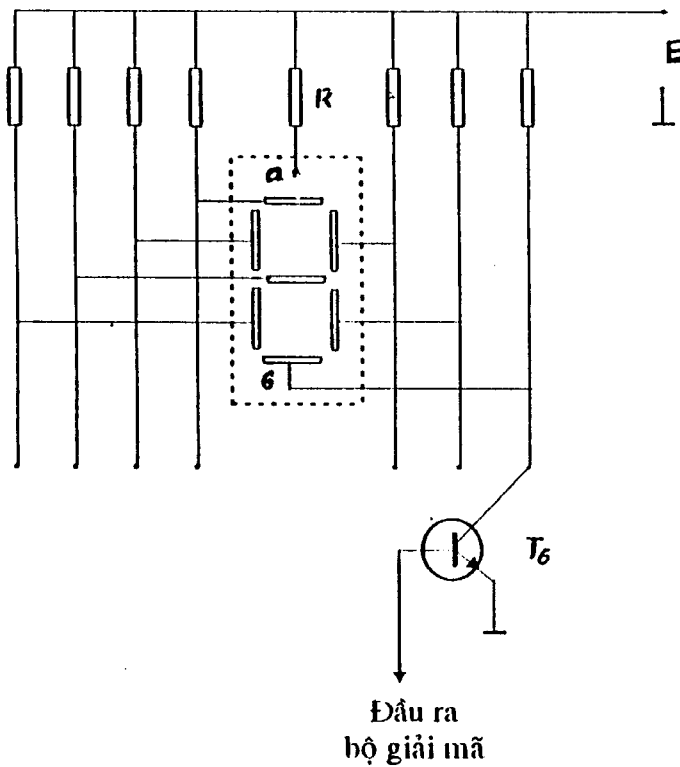
Nguồn sáng đặt trước: hình 4-58a, khi có tín hiệu hay không tinh thể lỏng có ánh sáng phản xạ từ gương.

Nguồn sáng đặt sau: hình 4-58b, khi có tín hiệu hay không tinh thể lỏng có ánh sáng đi qua tạo nên hình số trên màn hình là tấm phong đen.

Mạch điện nguồn cung cấp cho chỉ thị là nguồn điện áp một chiều hay là nguồn điện áp xung. Ví dụ như hình 4-59.



Hình 4-58



Hình 4-59

Đầu chung của các phân tử chỉ thị T.T.L nối với +E qua R. Các điện cực riêng nối với các đầu ra điều khiển. Khi tranzitor T6 tắt,  $U_{6a}=0$ , phân tử 6 không chỉ thị. Khi tranzitor T6 thông,  $U_{6a}=+E$ , điện áp đủ kích thích để phân tử 6 trở nên trong suốt, cho ánh sáng đi qua.

*Ưu điểm của chỉ thị tinh thể lỏng là:*

-Kích tắc bé, phù hợp với các thiết bị đo dùng mạch tổ hợp, kỹ thuật vi điện tử.

-Nguồn cung cấp đơn giản, tiêu thụ công suất nhỏ, cỡ mV.

-Hình chữ số khá rõ ràng, chế tạo đơn giản.

*Khuyết điểm của chỉ thị tinh thể lỏng là: dải nhiệt độ làm việc hẹp và tuổi thọ chưa thật cao.*

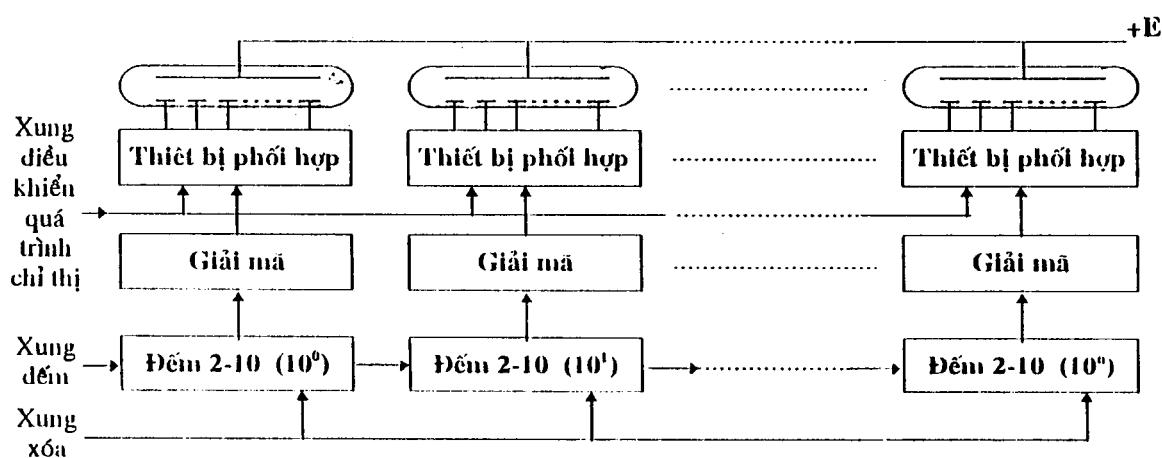
Tuy vậy, với các ưu điểm là cơ bản, loại chỉ thị này ngày càng được dùng nhiều, cả trong thiết bị đo y tế, vì màu sắc có thể thay đổi theo nhiệt độ của bệnh nhân.

## 2. Các phương pháp thực hiện chỉ thị số

Trong thiết bị đo số, thường có hai phương pháp thực hiện chỉ thị số: phương pháp chỉ thị tĩnh và phương pháp chỉ thị động (còn gọi là phương pháp dồn kênh).

### a. Phương pháp thực hiện chỉ thị số tĩnh

Ví dụ sơ đồ thực hiện phương pháp này như hình 4-60.



Hình 4-60

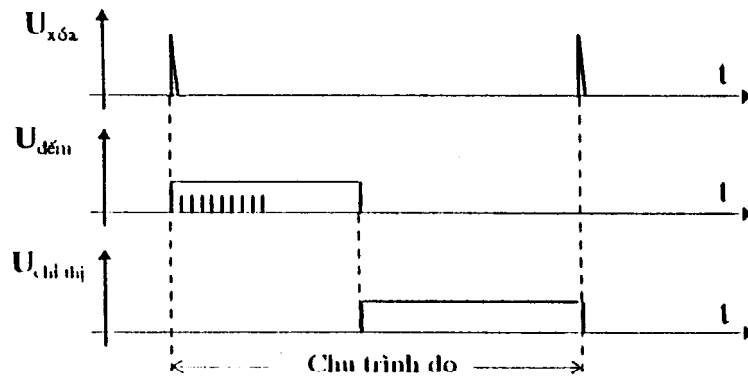
Với cách chỉ thị này, mỗi đèn số là một hàng chỉ thị của cơ số 10, chúng riêng rẽ nhau, có thiết bị giải mã và thiết bị phối hợp riêng. Các hàng số được ghép với nhau qua mạch đếm cơ số 10, xung đếm vào mạch đếm hàng đơn vị, rồi hàng chục, hàng trăm,...

Sự điều khiển quá trình đo đếm và chỉ thị trong một chu trình đo được thực hiện như giản đồ thời gian hình 4-61.

Trong thời gian chỉ thị, tất cả các đèn đều được làm việc trong thời gian như nhau.

Ưu điểm của phương pháp này là: mỗi đèn chỉ thị số có mạch điều khiển riêng, do vậy tốc độ chỉ thị nhanh và độ tin cậy cao.

Khuyết điểm của phương pháp này là: số linh kiện và dây nối mạch nhiều, thiết bị đo cồng kềnh.

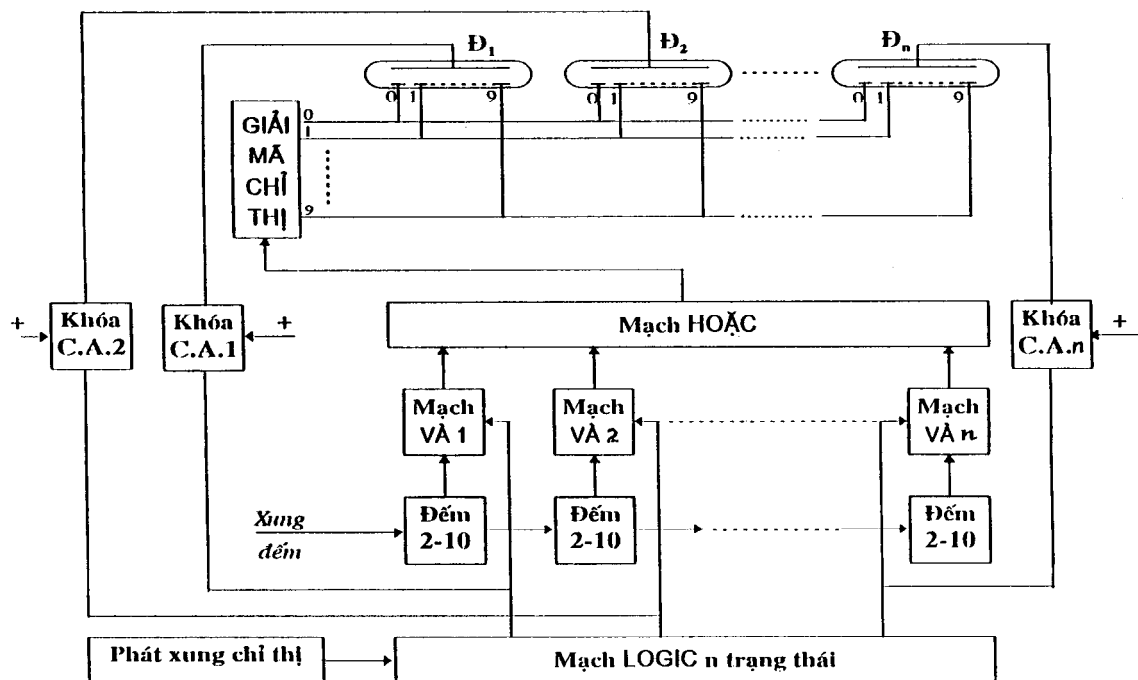


Hình 4-61

*b. Phương pháp thực hiện chỉ thị số động*

Phương pháp này còn gọi là phương pháp “dồn kênh“, với ý nghĩa đơn giản là tất cả các đèn của các hàng số bộ chỉ thị đều có thể dùng chung bộ giải mã và thiết bị phối hợp; như vậy tất nhiên là chúng phải chia thời gian với nhau trong khoảng thời gian chỉ thị của máy. Mỗi đèn số làm việc ít hơn, song lợi dụng tính chất “lưu ảnh” của mắt người quan sát đo, tạo nên cảm giác là tất cả các đèn số đều làm việc đồng thời, chứ không phải là phân chia kênh lần lượt theo thời gian.

Có nhiều cách thực hiện: thực hiện phân kênh lần lượt theo thời gian; thực hiện đếm bổ sung; thực hiện so sánh điện áp hay so sánh mã ...



Hình 4-62

### *b.1. Phương pháp chỉ thị số động bằng cách phân kênh lần lượt theo thời gian*

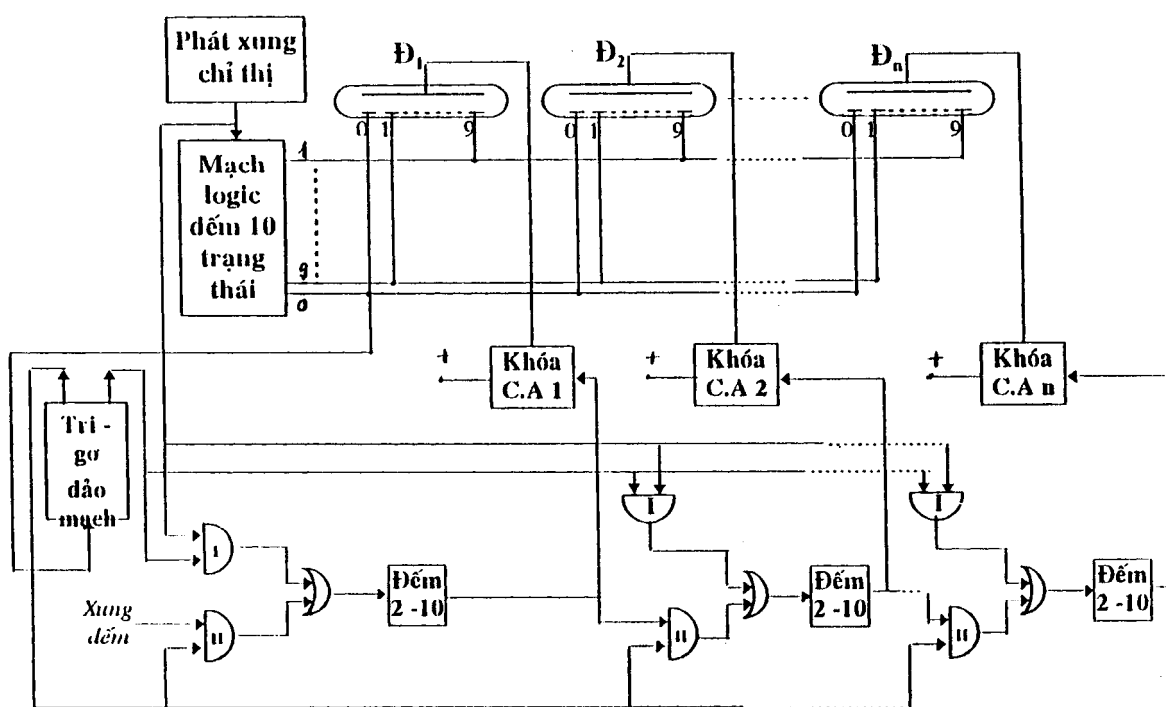
Sơ đồ mạch chỉ thị như hình 4-62.

Bộ phát xung chỉ thị phát liên tục xung chỉ thị đưa vào mạch logic n trạng thái (n là số đèn số chỉ thị); n đầu ra của mạch logic đưa vào n mạch VÀ (1...n) và đưa tới điều khiển các mạch khoá cao áp tương ứng. Các mạch VÀ còn có đầu thứ hai là đầu ra của mạch đếm.

Khi chỉ thị, các đầu ra của mạch logic n trạng thái liên tiếp có xung, nên các đèn số liên tiếp được chỉ thị.

### *b.2. Phương pháp chỉ thị số động bằng cách đếm bổ sung*

Sơ đồ mạch chỉ thị như hình 4-63.



Hình 4-63

Mạch logic 10 trạng thái để đếm của bộ phát xung chỉ thị 10 đầu ra được nối song song với 10 catốt của đèn số. Song cách nối như sau:

|        |   |                     |
|--------|---|---------------------|
| Đầu ra | 0 | nối với catốt.....0 |
|        | 1 | 9                   |
|        | 2 | 8                   |
|        | 3 | 7                   |
|        | 4 | 6                   |
|        | 5 | 5                   |
|        | 6 | 4                   |
|        | 7 | 3                   |
|        | 8 | 2                   |
|        | 9 | 1                   |

Trigơ đảo mạch làm việc do sự điều khiển từ ngoài, để chuyển chế độ đếm và chế độ chỉ thị của máy. Lấy xung điều khiển từ đầu 0 của mạch logic 10 trạng thái. Trigơ có hai đầu ra là đầu ra VÀ II là chế độ đếm xung ; đầu ra VÀ I là chế độ chỉ thị.

Như vậy, khi máy đã nhớ ở bộ đếm một số xung đếm nào đó; khi chuyển sang chế độ chỉ thị thì bộ đếm đếm tiếp tục số xung từ bộ phát xung chỉ thị. Khi bộ đếm 2-10 đếm được 10 xung thì đầu ra bộ đếm có xung đưa tới kích khoá cao áp, để đưa cao áp tới anốt đèn tương ứng.

Giả sử bộ đếm 2-10 đã đếm được bộ xung là N, bộ đếm cần đếm bổ sung thêm số xung N' sao cho:  $N+N'=10$ , để có được xung kích cao áp cho đèn số.

Cách nối đầu ra mạch logic 10 trạng thái với số thứ tự catốt đèn số, đã thực hiện là:

$$X + N' = 10$$

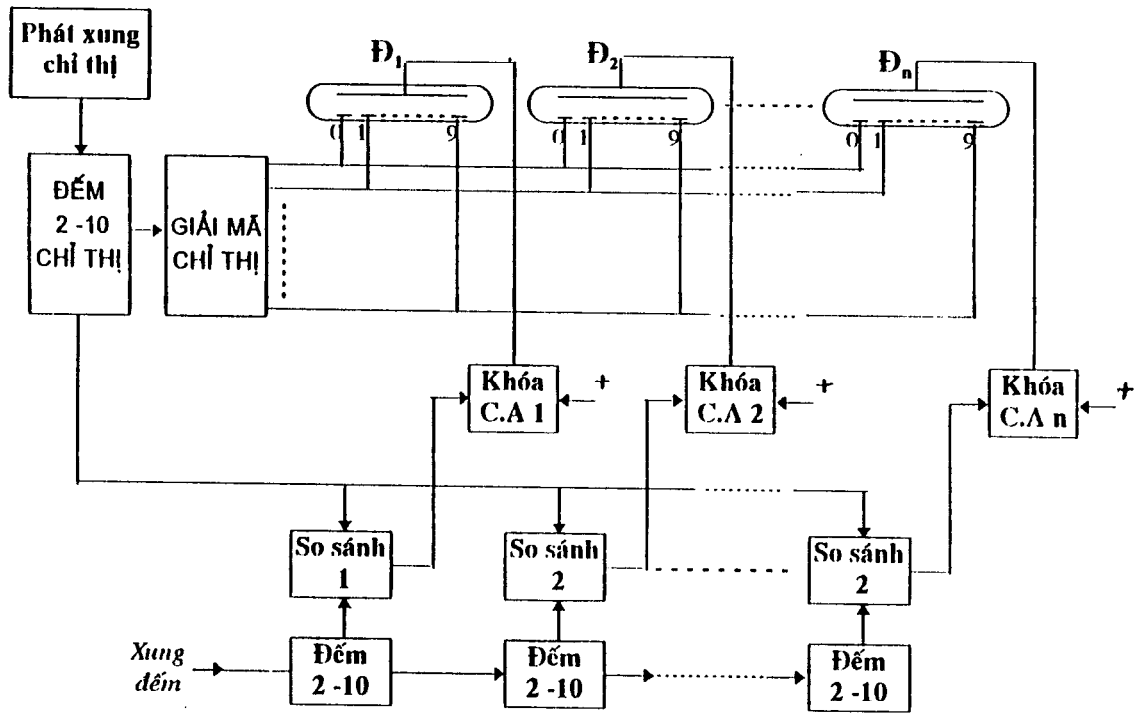
X: số thứ tự catốt đèn số; N' số xung ra tương ứng với đầu ra mạch logic 10 trạng thái.

Do vậy, khi có xung ở đầu ra bộ đếm, tức  $N + N' = 10$  thì đèn tương ứng với catốt X sáng, với  $X+N' = 10$ , do đó  $X = N$ , catốt đèn đã hiển thị chữ số đúng bằng số xung N mà bộ đếm đã đếm được.

### *b.3 Phương pháp chỉ thị số động bằng cách so sánh*

Phương pháp này dựa trên nguyên tắc so sánh mã (trạng thái các trigơ bộ đếm), và so sánh điện áp của bộ đếm và bộ phát xung chỉ thị.

Sơ đồ phương pháp chỉ thị số động bằng cách so sánh mã như hình 4-64.



Hình 4-64

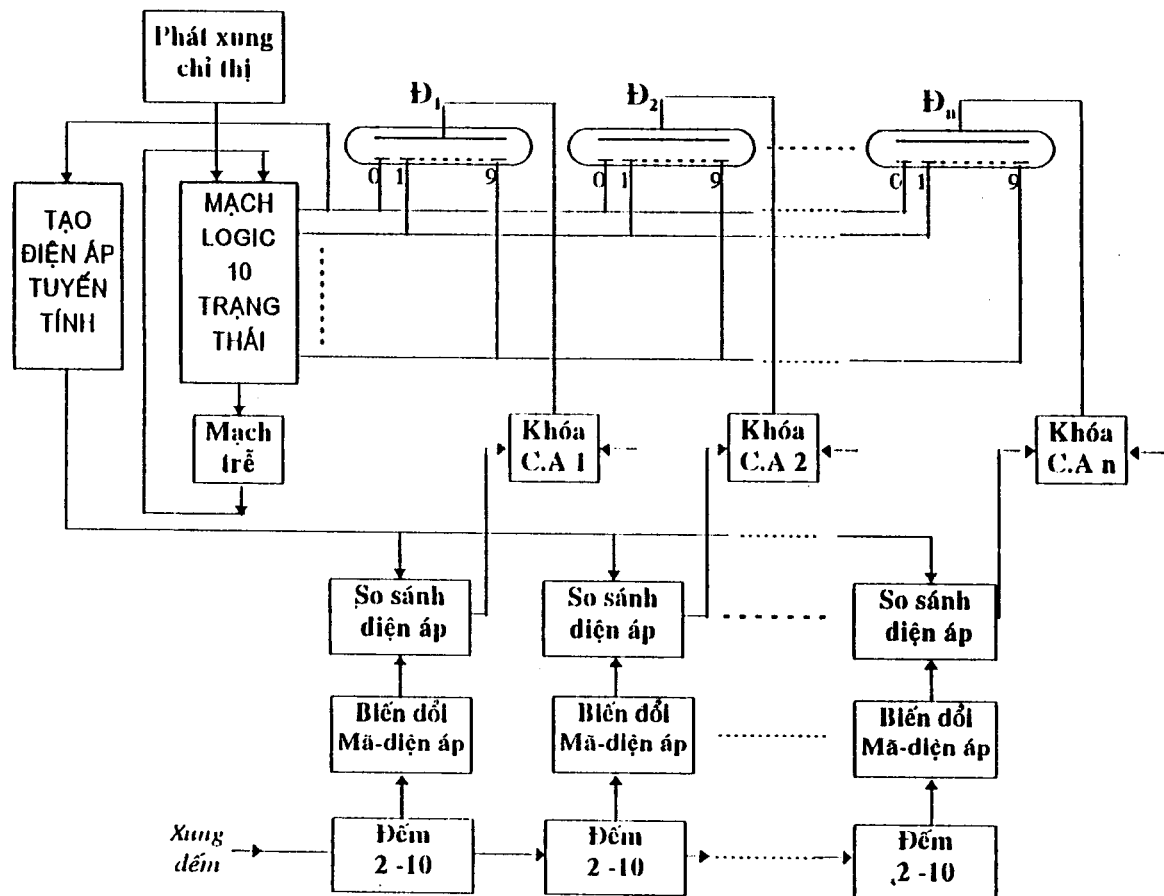
Bộ so sánh ở đây là so sánh trạng thái các trigơ của bộ đếm 2-10 chỉ thị và các bộ đếm 2-10 xung đo đếm. Khi số xung của bộ phát xung đếm chỉ thị trùng với số xung của bộ đếm thì đầu ra mạch so sánh có xung kích mở khoá cao áp để cung cấp cho anốt đèn số. Đồng thời, đầu ra bộ giải mã chỉ thị tương ứng với số xung đó cũng có tín hiệu đưa tới catốt tương ứng của đèn số. Có sự phóng điện trong khí kếm giữa catốt và anốt để hiện lên chữ số tương ứng với số xung đếm.

Để quan sát các chữ số được liên tục, không có hiện tượng nhấp nháy; tần số của bộ phát xung chỉ thị thường yêu cầu:

$$f_{\text{xung}} \geq 240\text{Hz}$$

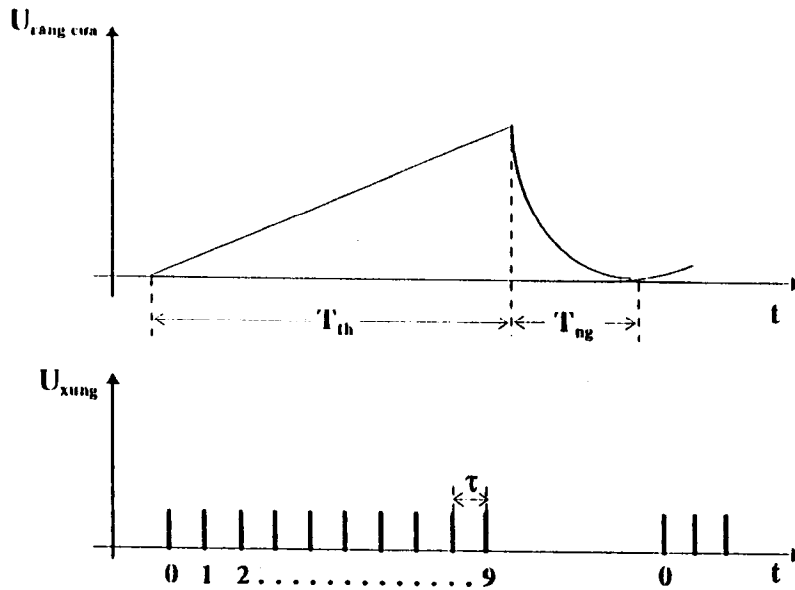
Khi đó tần số nhấp nháy của đèn là  $f_{\text{nhấp nháy}} \geq 240\text{Hz}$ .

Sơ đồ nguyên lý của phương pháp chỉ thị số động bằng cách so sánh điện áp như hình 4-65.



Hình 4-65

*Bộ tạo điện áp tuyến tính:* đầu ra 0 của mạch logic sẽ khởi động bộ tạo xung răng cưa. Độ dài thời gian quét thuận  $T_{th}$  được chọn bằng thời gian mà mạch logic 10 trạng thái làm việc hết một chu trình chỉ thị. Mạch trễ để tạo thời gian loại bỏ thời gian quét ngược  $T_{ng}$  (Hình 4-66).



Hình 4-66

Bộ biến đổi mã-điện áp: điện áp tỉ lệ với số xung  $N_i$  được ghi trong bộ đếm.

Tại thời điểm  $t_i$ , đầu ra thứ  $i$  của mạch logic có tín hiệu xung ra, với số xung  $N_i$ ;  $t_i = i \cdot \tau$  ( $\tau$ : chu kỳ xung chỉ thị;  $i$ : số thứ tự đầu ra).

Khi đó điện áp răng cưa:  $U_{ra} = k \cdot t_i = k \cdot i \cdot \tau$

Và điện áp ra từ bộ biến đổi mã-điện áp

$$U_{bd} = m \cdot N_i$$

trong đó:  $m$ : hệ số biến đổi,

$N_i$  số xung.

Do vậy:  $m \cdot N_i = k \cdot i \cdot \tau$

Nếu chọn  $\frac{k\tau}{m} = 1$  thì ta có:  $N_i = i$ .

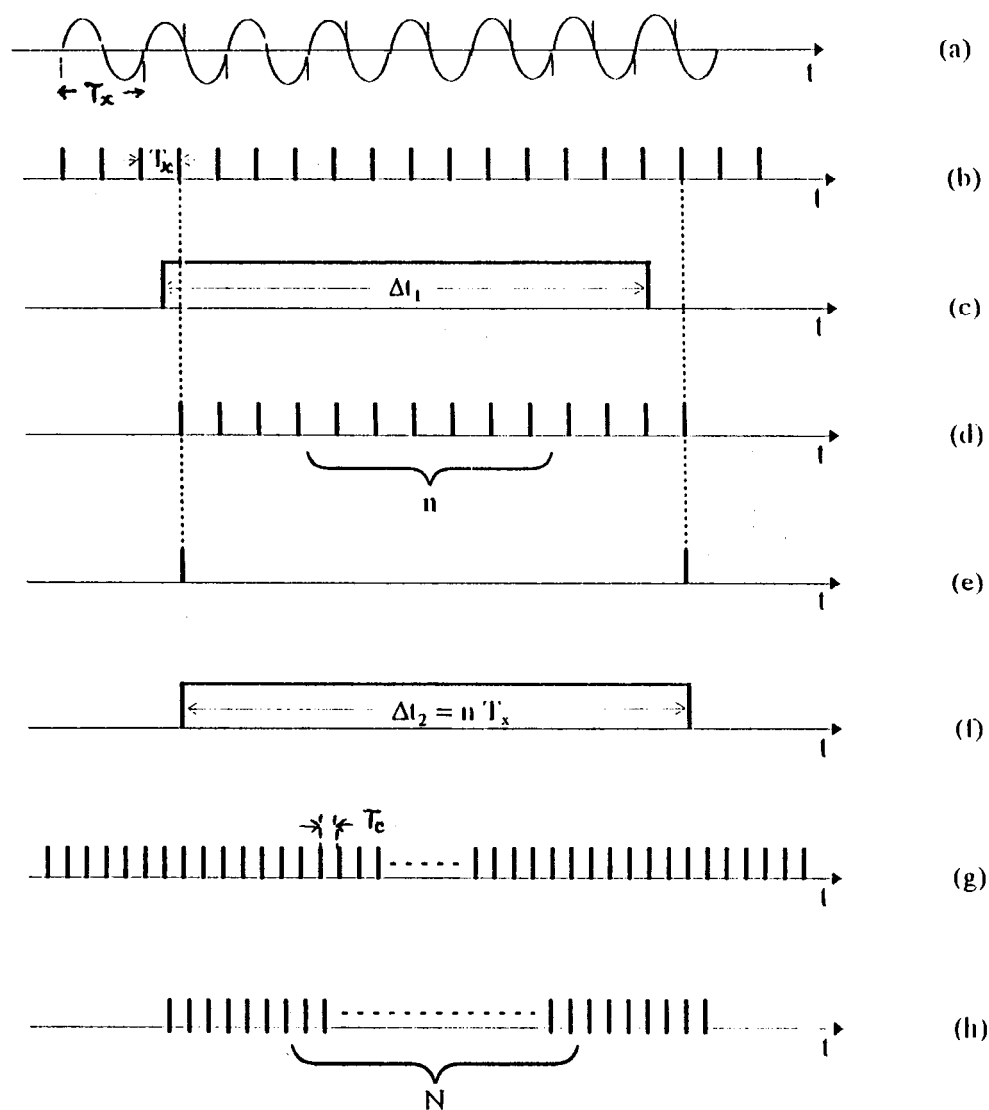
$N_i$  là số xung đếm được,

$i$  là số thứ tự xung đếm cũng chính là số thứ tự  $K$  đèn số chỉ thị.

Ưu điểm của phương pháp chỉ thị số động là tiết kiệm được linh kiện, tiết kiệm được số dây nối. Nhược điểm là tín hiệu ra từ bộ đếm phải qua nhiều phần tử trung gian mới tới đèn chỉ thị số, do vậy tác động kém nhanh và độ tin cậy cũng kém hơn so với phương pháp chỉ thị số tĩnh.

#### 4.4.5 Máy đếm điện tử có cài đặt vi xử lý ( $\mu P$ )

Một máy đếm điện tử mà có cấu tạo thêm  $\mu P$  thì có thể đạt được độ chính xác cao hơn và dải đo cũng rộng hơn. Nguyên lý thực hiện phương pháp đo được minh hoạ như giản đồ hình 4-67.



Hình 4-67

Tín hiệu có dạng hình sin, có tần số  $f_x$  cần đo như hình 4-67a. Tín hiệu này được thực hiện biến đổi dạng thành chuỗi xung nhọn, có cùng chu kỳ  $T_x$  bởi bộ tạo dạng xung như hình 4-67b.

Một "tín hiệu xung cửa thứ nhất" có độ rộng  $\Delta t_1$ , được tạo ra từ bộ tạo cửa logic (hình 4-67c). Tín hiệu này được sinh ra là độc lập với chuỗi xung trên.

Trong khoảng thời gian bằng độ rộng xung cửa  $\Delta t_1$ , được chứa đầy xung tín hiệu cần đo ở đầu vào. Số lượng xung này là  $n$  (hình 4-67d), được đếm và ghi giữ số liệu lại trong bộ nhớ

$$\text{Ta có : } f'_x = \frac{n}{\Delta t_1}$$

Trị số  $f'_x$  là khác với trị số  $f_x$  cần đo bởi có sai số  $\pm$  xung đếm.

Cũng đồng thời tiến hành, một xung "tín hiệu cửa thứ hai" được tạo nên cũng bởi bộ tạo dạng loại như trên, những sườn trước của xung này trùng đúng với xung tín hiệu đo được thứ nhất trong thời gian mở cửa của "xung tín hiệu cửa thứ nhất" và sườn sau của xung cửa này trùng đúng với xung tín hiệu đo đầu tiên xuất hiện ngay sau sườn sau của xung "tín hiệu cửa thứ nhất" (hình 4-67e và 4-67f).

Do đó độ rộng của "xung tín hiệu cửa thứ hai" thì cũng bằng (hình 4-67f):

$$\Delta t_2 = n.T_x$$

Như vậy, sườn mở và sườn đóng của "xung tín hiệu thứ hai" đều đồng bộ với xung tín hiệu đo, nên sai số do sự không đồng bộ gây ra bị loại bỏ.

Khi xung "tín hiệu cửa hai" được chứa đầy xung tín hiệu đếm  $T_c$  (hình 4-67g), và số lượng xung đếm được là  $N$ , thì cũng được ghi giữ lại (hình 4-67h).

Ta có:

$$N = \frac{n.T_x}{T_c} = \frac{n.f_c}{f_x}$$

do đó:

$$f_x = \frac{n}{N} f_c$$

Thực ra sai số của phép đo ở đây cũng còn bị giới hạn bởi sai số  $\pm 1$  xung đếm khi đo khoảng  $nT_x$ .

*Sai số do nguyên nhân sai số  $\pm 1$  khi đo tần số:*

Khi đếm trong khoảng thời gian  $\Delta t_2 = n.T_x$  sai số tuyệt đối  $\pm$  xung đếm là:

$$\Delta_2 = \pm T_c$$

Sai số tương đối cực đại là:

$$\delta_2 = \pm \frac{T_c}{\Delta t_2} = \pm \frac{T_c}{n.T_x}$$

Vì có  $n.T_x = \Delta t_2$ , nên  $f_x = \frac{n}{\Delta t_2}$

Theo qui tắc tính sai số trong trường hợp đo gián tiếp, (sai số của một đại lượng phải đo gián tiếp thì bằng trị số trung bình bình phương của các sai số mỗi đại lượng cục bộ đo trực tiếp), thì ở đây sai số đo  $f_x$  có quan hệ với sai số đo  $\Delta t_2$  là:  $\delta_1 = \delta_2$ .

Do đó:

$$\delta_f = \pm \frac{T_c}{nT_x} = \pm \left( \frac{f_x}{n} \right) T_c \quad (39)$$

Khi đếm trong khoảng thời gian  $\Delta t_1$ , ta có:

$$\frac{f'_x}{n} = \frac{1}{\Delta t_1}.$$

Thay thế  $\frac{f'_x}{n}$  cho  $\frac{f_x}{n}$  trong biểu thức (39), ta có:

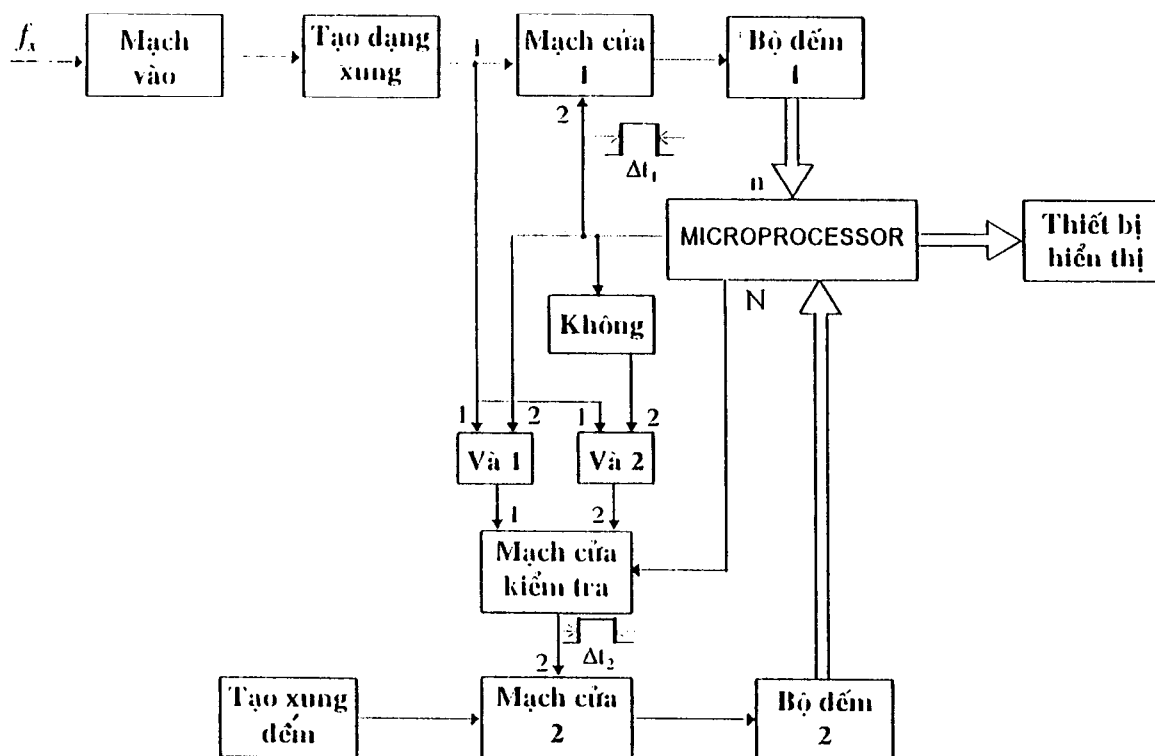
$$\delta_f = \pm \frac{T_c}{nT_x} = \pm \left( \frac{f'_x}{n} \right) T_c = \pm \frac{1}{F_c \Delta t_1} \quad (40)$$

Từ (39) và (40) ta có nhận xét là: khi đo tần số bằng phương pháp đếm xung, thì sai số tương đối cực đại  $\pm 1$  xung đếm gây ra là độc lập với tần số cần đo  $f_x$ , nó cũng là hằng số trên toàn bộ các thang đo tần số. Sai số này phụ thuộc vào  $F_c$ .

Để minh họa, ví dụ tín hiệu xung đếm có tần số  $F_c = 10 \text{ MHz}$ ; tín hiệu xung cửa thứ nhất  $\Delta t_1 = 1 \text{ s}$ , ta có sai số tương đối cực đại do sai số  $\pm 1$  xung đếm là:  $\delta_f = 10^{-7}$ .

Nếu cũng các tín hiệu như trên ( $F_c = 10 \text{ MHz}$ ;  $\Delta t_1 = 1 \text{ s}$ ) ta lại đo  $\Delta t_2 = n T_x$  bằng phương pháp nội suy, thì có thể đạt độ chính xác cao hơn:  $\delta_f = \pm 10^{-10}$ .

*Cấu tạo sơ đồ khối của mạch đo*



Hình 4-68

Một sơ đồ khối của máy đếm điện tử có dùng  $\mu P$  để đo tần số như hình 4-68. Tín hiệu cần đo  $f_x$  (hình 4-67a) được đưa qua mạch vào, bộ tạo dạng thành dãy xung nhọn (hình 4-67b). Dãy xung này được đưa về đầu vào 1 của mạch cửa 1. Đầu vào 2 của mạch cửa 1 được đưa vào là xung "tín hiệu cửa thứ nhất" có độ rộng xung  $\Delta t_1 = 1 \text{ s}$  (hình 4-67c). Các xung qua mạch cửa 1 được Bộ đếm 1 ghi nhận với số lượng xung đếm được là  $n$  (hình 4-67d). Xung "tín hiệu cửa thứ nhất" được  $\mu P$  cung cấp, cũng đồng thời đưa tới mạch không và đầu vào 2 của mạch và 1 và mạch và 2. Các xung này có thể tới đầu vào 1 của mạch cửa kiểm tra nếu như không có xung "tín hiệu cửa thứ nhất" ở đầu vào của mạch không.

Mạch tạo xung "tín hiệu cửa thứ hai" có độ rộng xung bằng  $nT_x$  là mạch cửa kiểm tra. Mạch cửa kiểm tra dùng 2 flip-flop để tạo nên sự đồng bộ của sườn trước và sườn sau của "tín hiệu cửa thứ hai" với xung đếm được thứ nhất và xung không được đếm đầu tiên của bộ đếm 1 (hình 4-67e và 4-67f). Do vậy đầu vào 2 của mạch cửa 2 sẽ có xung với độ rộng xung  $\Delta t_2 = n.T_x$ . Dãy xung từ bộ tạo xung đếm (hình 4-67g) qua mạch cửa 2 khi cửa mở, được bộ đếm 2 ghi nhận với số lượng xung đếm được là N (hình 4-67h). Hệ thống  $\mu P$  có bộ nhớ lưu trữ tần số xung đếm  $F_c$ , số lượng xung đếm được là n và N; và thực hiện tính toán  $f_x$  theo công thức:  $f_x = (n / N) \cdot f_c$ . Kết quả có thể được biểu thị bằng hệ thống đèn số dùng tinh thể lỏng hay bằng ống đèn tia âm cực.

Ngoài việc tính toán số liệu đo,  $\mu P$  còn cho phép tự động chọn thang đo, định vị trí dấu phẩy đơn vị đo (như Hz, kHz hay MHz).

$\mu P$  còn có khả năng mở rộng phạm vi, chức năng đo lường của thiết bị, làm cho thiết bị có thể tự động chọn chế độ đo (là đo tần số, chu kì, khoảng thời gian,...).  $\mu P$  còn có khả năng loại bỏ sai số hệ thống do sự chậm của thời điểm "mở" và "đóng" của các xung tín hiệu cửa khi đo khoảng thời gian.

Đó là các khả năng đo lường của máy đếm điện tử khi được cấu tạo  $\mu P$  như là một bộ phận của máy đo.

## 4.5 TỔ HỢP TẦN SỐ (FREQUENCY SYNTHESIZER)

Trong kỹ thuật đo lường cũng như kỹ thuật vô tuyến điện tử nói chung, cần có các thiết bị tạo nguồn tín hiệu đo. Nguồn tín hiệu có khả năng tạo ra nhiều tần số chuẩn là thiết bị tổ hợp tần số.

Tổ hợp tần số là một quá trình của một thiết bị để tạo ra một mạng tần số rời rạc, có độ ổn định đáng kể từ một số chuẩn tần số có độ ổn định cao.

Tổ hợp tần số được tiến hành bằng cách cộng, trừ, nhân chia tần số tạo thành hệ thống mạng tần số chuẩn. Những chuẩn tần số cho trước thường là các bộ tạo dao động thạch anh, có độ ổn định tần số cao.

Có nhiều cách phân loại tổ hợp mạng tần số. Thông dụng là phân loại theo phương pháp tạo mạng tần số, thì có tổ hợp mạng tần số tích cực và tổ hợp mạng tần số thụ động.

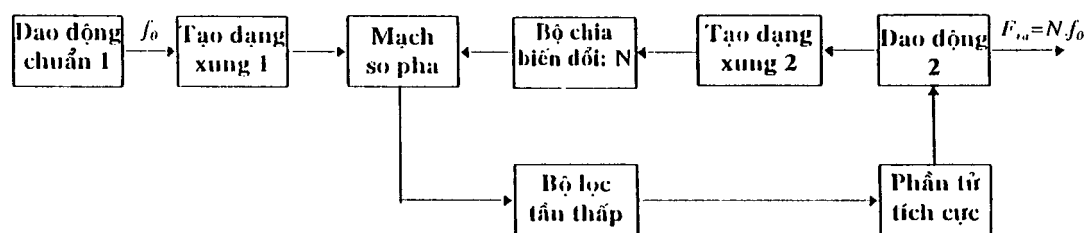
Tổ hợp mạng tần số tích cực là tổ hợp mạng tần số dùng các bộ lọc tích cực để lọc tần số dưới dạng các mạch vòng khoá so pha, các vòng bù trừ tần số.

Tổ hợp mạng tần số thụ động là tổ hợp mạng tần số chỉ dùng phương pháp lọc. Tổ hợp mạng tần số tích cực hay thụ động đều có thể xây dựng bằng linh kiện tương tự hay bằng linh kiện số. Ngày nay, tổ hợp tần số bằng linh kiện số được sử dụng phổ biến và phát triển vì nó phù hợp với yêu cầu của kỹ thuật hiện đại.

Ở đây, ta xét tới loại tổ hợp tần số tích cực dùng kỹ thuật số và có cấu tạo microprocessor để mở rộng mạng và nâng cao tính năng là nguồn tín hiệu tần số chuẩn dùng cho đo lường của mạng.

#### 4.5.1. Tổ hợp mạng tần số tích cực dùng kỹ thuật mạch số

Sơ đồ khối tổ hợp tần số loại này như hình 4-69.



Hình 4-69

Bộ dao động 2 là bộ dao động điều chỉnh được, cung cấp tín hiệu ta có:

$$f_{ra} = N \cdot f_0$$

Dao động với tần số  $N \cdot f_0$  còn được qua mạch tạo dạng xung 2 để tạo ra dãy xung cùng tần số, rồi qua bộ chia tần có hệ số chia biến đổi  $N$ . Bộ chia được thực hiện bằng nguyên lý bộ đếm xung; được tạo từ bộ dao động chuẩn 1, và được qua bộ tạo dạng xung 1. Bộ so pha so sánh 2 tần số của 2 chuỗi xung vào; điện áp ra từ bộ so pha được đưa qua bộ lọc tần thấp rồi tới phần tử tích cực của mạch dao động điều chỉnh 2. Như vậy, thông qua mạch vòng so pha tự động điều chỉnh, ta có tần số ra là:

$$\frac{f_{ra}}{N} = f_0$$

hay

$$f_{ra} = N \cdot f_0$$

Bộ tổ hợp tần số này như là bộ nhân tần với dải tần:

$$f_{ra} = N_1 \cdot f_0 \div N_2 \cdot f_0$$

và bước tần là:

$$\Delta f_b = f_0$$

Như vậy, có thể tạo ra nhiều tần số chuẩn có cùng độ ổn định như bộ dao động chuẩn, nếu dùng nhiều hệ số chia.

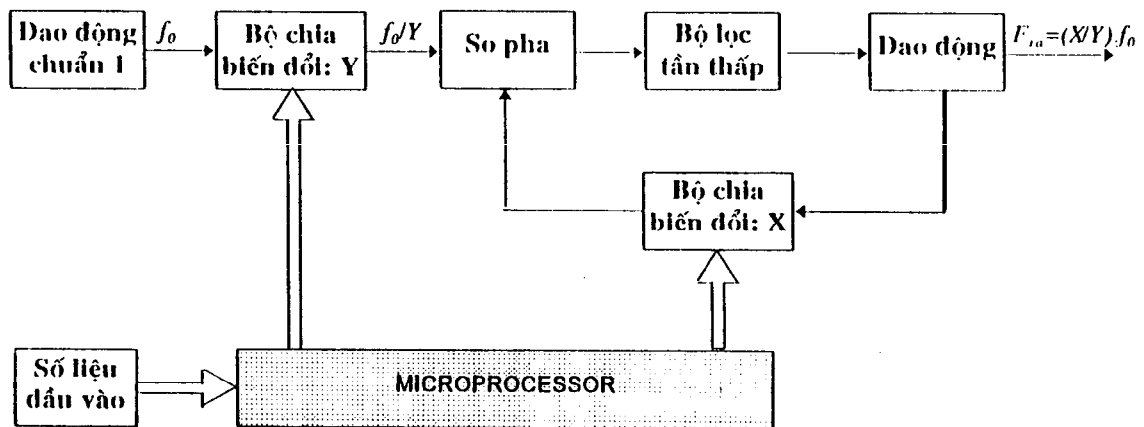
Nhược điểm của bộ tổ hợp tần số này là: bước tần của mạng tần số lớn, nó chính bằng  $f_0$ .

#### 4.5.2 Tổ hợp tần số có cấu tạo vi xử lý ( $\mu P$ )

Tổ hợp tần số bằng phương pháp tích cực và dùng linh kiện số có nhiều ưu điểm so với tổ hợp tần số dùng linh kiện tương tự. Song nhược điểm đáng lưu ý là nếu muốn giảm bước tần  $\Delta f_b$ , thì phải tăng hệ số chia tần số. Điều này dẫn đến sự làm mất ổn định tần số, và các tần số lân cận có thể gây nhiễu lẫn nhau. Muốn tăng độ ổn định tần số thì phải dùng nhiều mạch vòng so pha, ... nó sẽ dẫn tới việc làm cho thời gian thiết lập tần số tăng và tín hiệu tạo nên xấu. Hai vấn đề: giảm bước tần ( $\Delta f_b$ ) và rút ngắn thời gian thiết lập tần số ( $\tau$ ) là có mâu thuẫn. Đó cũng là hai yêu cầu mấu chốt cần giải quyết của tổ hợp tần số.

Tổ hợp tần số có cấu tạo  $\mu P$  có thể giải quyết mâu thuẫn trên. Đó là sự ưu việt của các thiết bị đo lường có sử dụng microprocessor.

Sơ đồ khối tổ hợp tần số có  $\mu P$  như hình 4-70.



Hình 4-70

Tổ hợp tần số bằng  $\mu P$  là tổ hợp tần số bằng phương pháp tích cực, dùng linh kiện kỹ thuật số. Ở đây, hệ số chia tần số chuẩn (Y) và hệ số chia tần số của bộ dao động biến đổi (X) được chọn và tính bằng  $\mu P$  trong quá trình đặt tần số.

Ví dụ: Từ một dao động chuẩn  $f_0$  bằng 5.000.000 Hz, có thể tạo ra tổ hợp tần số có dải tần:  $f = (10 \div 15) \text{MHz}$ ; bước tần:  $\Delta f_b = 10 \text{Hz}$ ; độ chính xác tần số  $\frac{\Delta f}{f} \leq 3.10^{-8}$ .

Một tần số cần thiết lập trong tổ hợp tần số là ứng với các giá trị nhất định của X và Y. Giả sử ở đây cần thiết lập một tần số trong tổ hợp tần số này là  $f_c = 12.631.770 \text{Hz}$ , nằm trong dải tần:  $10 \text{MHz} \div 15 \text{MHz}$ . Như vậy:

$$f_{ra} = f = \frac{X}{Y} f_0 = \frac{12.631.770}{5.000.000} f_0$$

$$\Delta f = |f_c - f| = 0$$

với  $X=12.631.770$  và  $Y=5.00.000$

Với các hệ số chia quá lớn như trên, mặc dù theo cách đặt trên là không có sai số; nhưng thực tế, nếu không dùng  $\mu P$  thì sai số có thể tới  $10^6$ . Hơn nữa, khó tạo ra một mạch so pha làm việc ở tần số  $\frac{f_0}{Y} = 10 \text{Hz}$ , vì tổ hợp tần số làm việc sẽ mất ổn định, không chính xác.

Cách giải quyết dùng  $\mu P$  là chọn lần lượt các giá trị X, Y để tính, cho tới khi thoả mãn yêu cầu  $\Delta f \leq 3.10^{-8}$ , để giảm nhỏ giá trị hệ số chia.

Nếu:  $X = 2; Y=1 \rightarrow f = 2/1 f_0 = 10.000.000 \text{ Hz}$

$$\Delta f_b = |f_c - f| = 2.631.770 \text{ Hz} ; \Delta f / f_c = 208 \cdot 10^{-3}$$

Nếu:  $X = 3; Y=1 \rightarrow f = 3/1 f_0 = 15.000.000 \text{ Hz}$

$$\Delta f_b = |f_c - f| = 2.368.230 \text{ Hz} ; \Delta f / f_c = 187 \cdot 10^{-3}$$

Nếu:  $X = 5; Y=2 \rightarrow f = 5/2 f_0 = 12.500.000 \text{ Hz}$

$$\Delta f_b = |f_c - f| = 131.770 \text{ Hz} ; \Delta f / f_c = 104 \cdot 10^{-5}$$

. . . . .

Nếu :  $X = 3499 ; Y=1385 \rightarrow f = \frac{3499}{1385} f_0 = 12.631.768,90 \text{ Hz}$

$$\Delta f_b = |f_c - f| = 1,1 \text{ Hz}; \frac{\Delta f}{f_c} = 2,1.10^8$$

$$\text{Nếu: } X = 6950; Y=2751 \rightarrow f = \frac{6950}{2751} f_0 = 12.631.770,2653 \text{ Hz}$$

$$\Delta f_b = |f_c - f| = 0,2653 \text{ Hz}; \frac{\Delta f}{f_c} = 2,1.10^8$$

Đến đây ta có thể nhận xét là với các hệ số chia  $X = 6950$ ;  $Y = 2751$  là nhỏ hơn rất nhiều lần so với phương án tổ hợp tần số ban đầu, không dùng  $\mu P$  (tức là  $X=1.263.177$  và  $Y=500.000$ ).

$$\text{Ngoài ra, tần số so sánh ở so pha khi có dùng } \mu P \text{ là: } \frac{f_0}{Y} = \frac{5.000.000}{2.751} = 1817 \text{ Hz} \text{ là cao}$$

hơn rất nhiều khi không dùng  $\mu P$  (tức là  $\frac{5.000.000}{500.000} = 10 \text{ Hz}$ ). Điều này cho phép dễ dàng xây dựng các bộ lọc tần thấp sau so pha.

Hơn nữa, trên thực tế các bộ tạo dao động chuẩn thạch anh dùng trong kỹ thuật vô tuyến điện nói chung, cũng chỉ đạt độ ổn định tần số không cao lắm. Ở đây, đã có độ ổn định  $\frac{\Delta f}{f} = 3.10^8$  là đã cao hơn độ ổn định tần số chuẩn. Vì vậy, khi đã chọn hệ số chia phù hợp  $X$ ,  $Y$  ở bộ tổ hợp tần số có cấu tạo  $\mu P$  thì độ sai lệch tần số, độ ổn định tần số là đạt yêu cầu đề ra cho trước.

Ví dụ, nhiệm vụ đặt ra ở tổ hợp tần số là dùng micropocessor chọn các hệ số chia hợp lý, khi yêu cầu cho trước độ ổn định tần số  $\frac{\Delta f}{f}$ .

Như vậy trong quá trình đặt tần số,  $\mu P$  tự động thay đổi các giá trị  $X$ ,  $Y$  lần lượt, đồng thời kiểm tra lại điều kiện  $\frac{\Delta f}{f} \leq \varepsilon$  cho trước. ( $\varepsilon$  sai số cho trước).

Thuật toán chọn  $X$ ,  $Y$  được mô tả theo biểu thức sau:

$$\frac{X}{Y} = b_0 + \frac{1}{b_1 + \frac{1}{b_2 + \frac{1}{\dots\dots\dots b_{K-2} + \frac{1}{b_{K-1} + \frac{1}{b_K}}}}}$$

Các giá trị  $b_i$  được tính toán theo phương pháp truy hồi gài đặt sẵn, trong đó:

$$\begin{aligned} X_0 &= b_0 & ; & & Y_0 &= 1 \\ X_1 &= X_0 b_1 + 1 & ; & & Y_1 &= b_1 \\ X_2 &= X_1 b_2 + X_0 & ; & & Y_2 &= Y_1 b_2 + Y_0 \\ &\dots\dots\dots & & & & \\ X_i &= X_{i-1} b_i + X_{i-2} & ; & & Y_i &= Y_{i-1} b_i + Y_{i-2} \end{aligned}$$

Khi kiểm tra, đồng thời với việc chọn  $X$ ,  $Y$ ,  $\mu P$  sẽ dừng quá trình chọn ở bậc tính bất kỳ khi thoả mãn điều kiện  $\frac{\Delta f}{f} \leq \varepsilon$ .

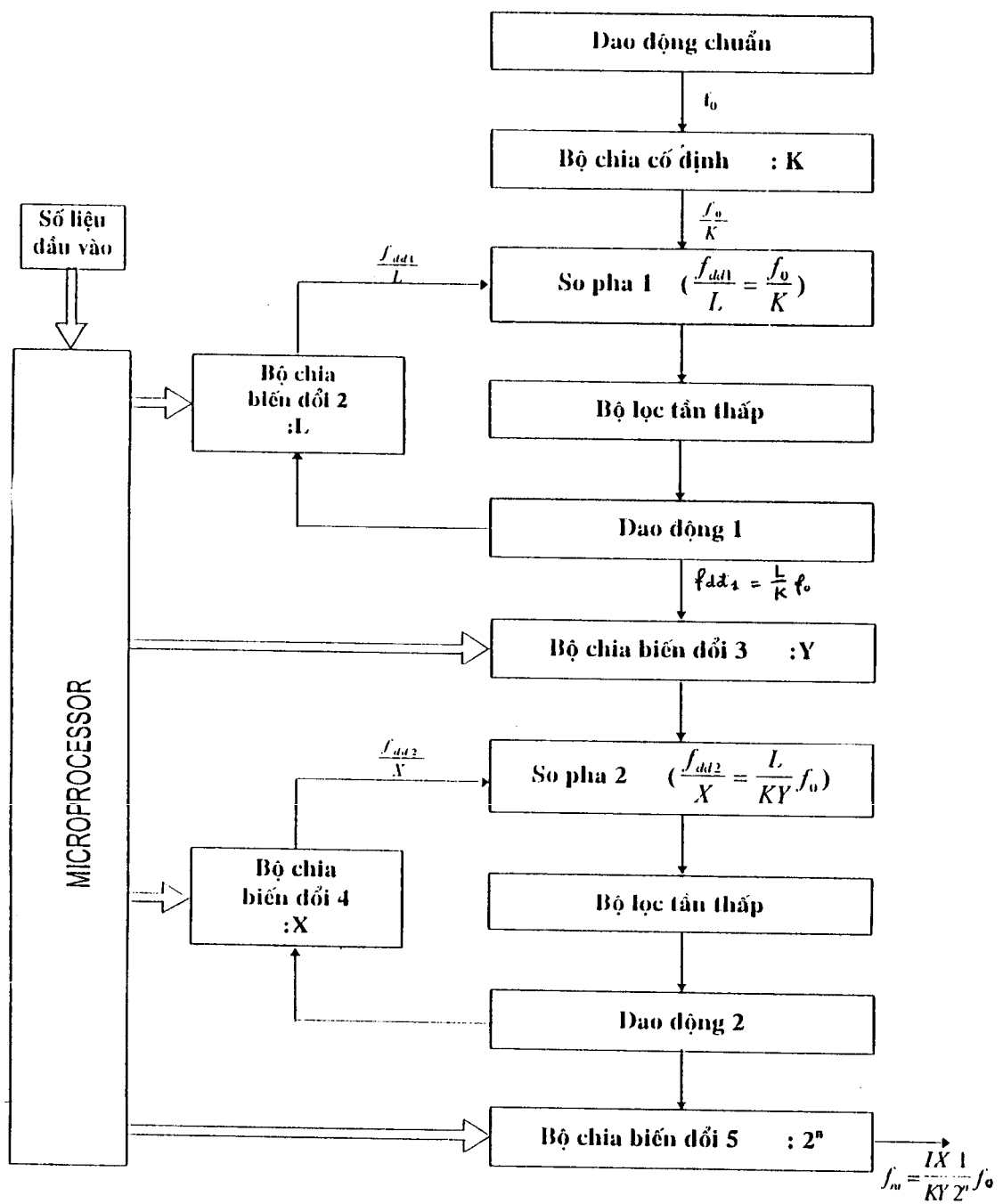
Sai số nhỏ, độ chính xác lớn sẽ quyết định độ ổn định tần số và độ chính xác tần số cần yêu cầu. Các tần số lân cận không thể gây nhiễu lẫn nhau, đặc biệt trong trường hợp bước tần nhỏ.

Khi cần yêu cầu tổ hợp tần số có dải tần số rộng, bước tần số nhỏ, có thể dùng nhiều mạch vòng so pha, như phương pháp tổ hợp tần số tích cực dùng kỹ thuật mạch số thông thường, nhưng có cấu tạo,  $\mu P$  để tính toán và chọn hệ số chia.

Ví dụ tổ hợp tần số có cấu tạo  $\mu P$ , dùng hai mạch vòng so pha như hình 4-71.

Ta đã biết, với tổ hợp tần số theo phương pháp tích cực dùng mạch số, nếu  $X_{\max} = Y_{\max} = 9999$  thì hay xảy ra đột biến về độ lệch tần, nên  $\frac{\Delta f}{f} \approx 10^{-4}$ .

Nếu dùng nhiều vòng so pha để loại trừ cho được thì thời gian thiết lập tần số tăng rất nhiều. Nếu dùng tổ hợp tần số có cấu tạo  $\mu P$  thì chỉ cần hai vòng so pha là khắc phục được tình trạng đột biến trên.



Hình 4-71

Ví dụ : Nếu  $f_0 = 5\text{MHz}$  ;  $K = 5000$  ;  $L = 4000 \div 4005$ .

$$X_{\max}=Y_{\max}=9999 ; \text{ dải tần : } f = 400 \div 800\text{kHz}$$

$$\Delta f_b=0,1\text{Hz thì độ chính xác } \frac{\Delta f}{f} \leq 1.10^{-8}$$

Thực tế thiết kế cho thấy, thời gian chọn X, Y của  $\mu\text{P}$  rất nhỏ không ảnh hưởng tới chất lượng của tổ hợp tần số. Thời gian thiết lập tần số của tổ hợp tần số có cấu tạo  $\mu\text{P}$  tới nano giây; trọng lượng, kích thước tổ hợp tần số nhỏ, gọn, sử dụng được các mạch tổ hợp đã quy chuẩn, nên dễ chế tạo và giá thành không cao.

Ngoài ra, dùng  $\mu\text{P}$  còn cho phép cài đặt nhiều chức năng điều khiển khác, khi tổ hợp tần số nằm trong một hệ thống đo lường kiểm tra.

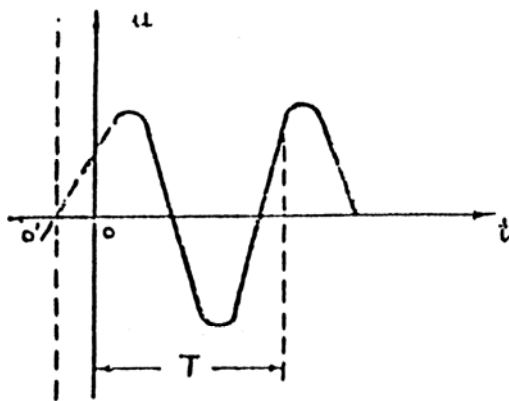
## 4.6 ĐO ĐỘ DI PHA

Khái niệm về pha được gắn liền với khái niệm về dao động điều hoà. Bất cứ một dao động điện từ nào có dạng:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

cũng được biểu thị bằng các đặc tính: biên độ, tần số và pha.

Pha của dao động ở đây là:  $\alpha = (\omega t + \varphi)$ , nó gồm có hai thành phần:  $\omega t$  là trị số pha tức thời, và là hàm số biến đổi bậc nhất theo thời gian; và  $\varphi$  là trị số pha ban đầu, là một hằng số.



Hình 4-72

Pha cũng được đo bằng đơn vị radian hay độ.

Trị số pha ban đầu của một dao động trên thực tế chẳng có ý nghĩa gì đặc biệt; bởi vì ta có thể tịnh tiến gốc thời gian để cho trị số đó bằng không cũng được (ở hình 4-72, nếu đổi gốc thời gian từ điểm O đến điểm O', thì pha ban đầu của dao động bằng không). Với hai dao động có cùng tần số và có trị số pha ban đầu khác nhau như:

$$u_1 = U_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$u_2 = U_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2)$$

thì vấn đề cần xét là trị số sai pha của hai dao động. Trị số sai pha này bằng:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (42)$$

Để đơn giản, ta xác định pha ban đầu của một dao động bằng không, ví dụ  $\varphi_2=0$ , khi đó công thức (42) sẽ bằng:

$$\varphi = \varphi_1 \quad (43)$$

Ta có khái niệm về độ *di pha* của hai dao động cùng tần số. Nó là hiệu số pha ban đầu của hai dao động, và là một hằng số, không phụ thuộc thời gian.

Như vậy, khái niệm về vấn đề đo pha của tín hiệu chủ yếu là đo độ di pha của tín hiệu chứ không phải là đo trị số pha ban đầu (ở đây cũng cần lưu ý về danh từ dùng: *di pha* và *dịch pha* là hai từ đồng nghĩa).

Khi có một dao động điện từ được truyền dẫn qua một mạch, thì do phản ứng của mạch (của các phần tử có quán tính, của đèn điện tử, đèn bán dẫn ...) mà làm cho tín hiệu đó bị di pha. Sự di pha của điện áp đầu ra so với điện áp đầu vào của một mạch bất kì được xác định theo công thức:

$$\varphi = \omega t_{ch} + n\pi \quad (44)$$

ở đây,  $t_{ch}$  là thời gian làm chậm của mạch;  $n$  là số tầng làm cho điện áp đảo pha  $180^\circ$  (ví dụ truyền đạt qua đèn điện tử).

Tất cả các bộ phận của mạch điện như biến áp, bộ lọc, bộ khuếch đại... đều gây di pha. Khi tính toán điều chỉnh thiết bị cần phải đo được độ di pha này. Ngày nay, trong kĩ thuật điện tử và thông tin người ta dùng khá nhiều phương thức điều chế pha, do vậy vấn đề đo pha ở trường hợp này đã trở thành phép đo cơ bản khi thực hiện điều chỉnh cũng như khi khai thác thiết bị.

Để biểu thị đặc tính của thiết bị điện tử, ví dụ như đặc tính méo pha, thì một số các thiết bị đã xét tới quan hệ biến thiên của pha theo tần số. Quan hệ phụ thuộc này gọi là đặc tính pha (hay đặc tính pha-tần số). Nó là quan hệ của độ di pha giữa điện áp đầu ra và đầu vào trong dải tần số công tác của thiết bị.

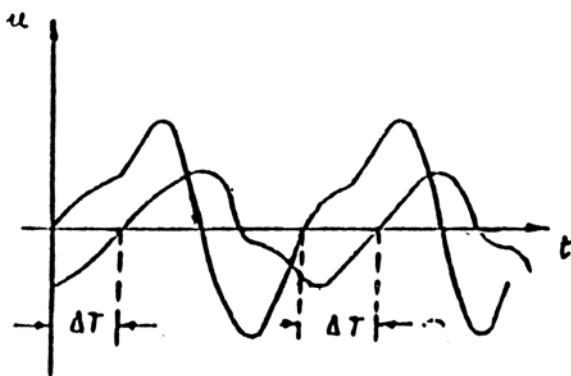
Cũng cần lưu ý khái niệm di pha ở đây chỉ được dùng với các dao động điều hoà có tần số bằng nhau như các dạng hàm số sin hay cosin như trong công thức (41).

Nếu hai dao động có tần số khác nhau, ví dụ  $\omega_1$  và  $\omega_2$  thì độ di pha của chúng bằng:

$$\varphi = \omega_1 t + \varphi_1 - \omega_2 t - \varphi_2 = (\omega_1 - \omega_2)t + \varphi_1 - \varphi_2 \quad (45)$$

Từ công thức (45) ta thấy độ di pha có phụ thuộc thời gian nên vấn đề đo thông số này hầu như vô nghĩa.

Với các dao động điện áp có dạng không sin (kể cả các điện áp xung), thì độ di pha của chúng được xác định với thành phần sóng hài bậc nhất. Song thông dụng hơn, thì phép đo độ di pha ở đây được biểu thị thay thế bằng độ lệch thời gian  $\Delta T$  giữa hai quá trình dao động. Nó được tính bằng khoảng cách giữa các điểm có trị số bằng không khi quá trình biến đổi tính từ các giá trị âm chuyển sang các giá trị dương (xem hình 4-73).



Hình 4-73

Muốn đo độ di pha thì dùng các thiết bị đo pha (hay pha-mét). Bản thân các thiết bị đo pha cũng được khắc độ bằng sự xác định độ di pha của nó. Các phương pháp đo pha và các thiết bị đo pha phụ thuộc chủ yếu vào tần đoạn và vào các yêu cầu về độ chính xác của phép đo. Các phương pháp đo pha cơ bản là: phương pháp vẽ dao động đồ; phương pháp biến đổi độ di pha thành khoảng thời gian; phương pháp biến đổi độ di pha thành điện áp; phương pháp biến đổi

tần số và phương pháp bù. Như vậy, với các phương pháp đo này thì phép đo độ di pha trở thành các phép đo khoảng thời gian, đo điện áp, đo tần số... như ta đã nghiên cứu. Ở chương này, ta chỉ xét với các phương pháp chủ yếu và thông dụng trong kỹ thuật điện tử.

#### 4.6.1 Các phương pháp đo di pha

##### 1. Đo di pha bằng phương pháp đo điện áp

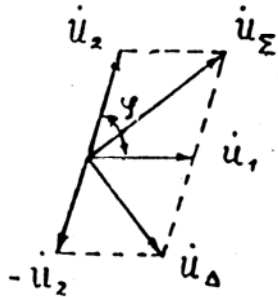
###### a. Phương pháp trực tiếp đo điện áp tổng

Phương pháp này được sử dụng nhiều ở tần số thấp. Ta biết rằng tổng của hai điện áp dạng điều hoà  $u_1 = U_{m1} \sin \omega t$  và  $u_2 = U_{m2} \sin(\omega t + \varphi)$  thì có phụ thuộc vào góc di pha của hai điện áp này (xem hình 4-74):

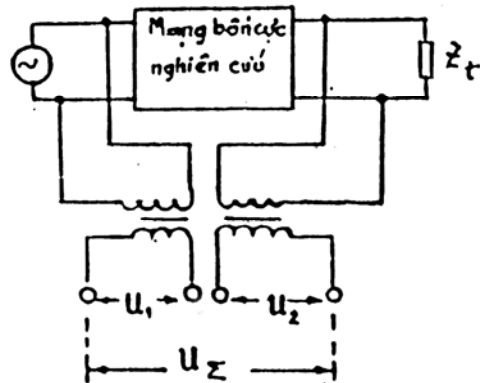
$$U_{\Sigma}^2 = U_1^2 + U_2^2 + 2U_1 U_2 \cos \varphi \quad (46)$$

do đó:

$$\varphi = \arccos \frac{U_{\Sigma}^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2} \quad (47)$$



Hình 4-74



Hình 4-75

Từ quan hệ trên, ta có thể xác định được góc pha bằng cách trực tiếp đo trị số điện áp tổng (hay còn bằng cách trực tiếp đo trị số điện áp hiệu) và riêng rẽ hai điện áp hiệu của chúng với cùng một vôn mét.

Mạch điện đo di pha theo phương pháp này ví dụ như hình 4-75. Các điện áp đo được ở đây là  $U_1$ ,  $U_2$  và  $U_{\Sigma}$ ; còn trị số độ di pha  $\varphi$  được tính theo công thức (47).

Để cho phép tính được đơn giản hơn, các điện áp  $U_1$  và  $U_2$  được chọn bằng nhau:

$$U_1 = U_2 = U$$

Lúc này, ta có:

$$U_{\Sigma}^2 = 2U^2(1 + \cos\varphi) = 4U^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2}$$

do đó:

$$\varphi = 2\arccos \frac{U_{\Sigma}}{2U} \quad (48)$$

Trường hợp không đo điện áp tổng, mà là đo trị số điện áp hiệu, ta có:

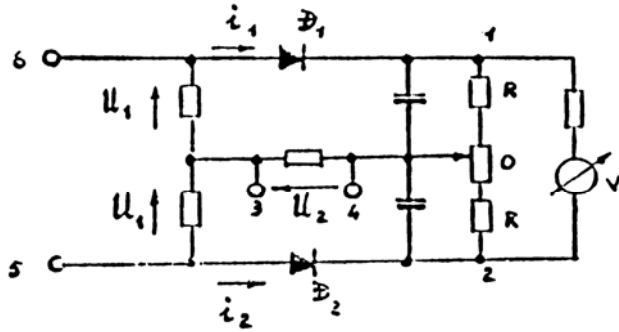
$$U_{\Delta}^2 = U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2\cos\varphi \quad (49)$$

Khi  $U_1 = U_2 = U$  thì trị số di pha bằng:

$$\varphi = 2\arcsin \frac{U_{\Delta}}{2U} \quad (50)$$

*b. Phương pháp dùng mạch tách sóng*

Phép đo độ lệch pha bằng điện áp tổng và hiệu các điện áp đo còn có thể được thực hiện kết hợp bằng mạch tách sóng cân bằng pha như hình 4-76.



Hình 4-76

Hai đầu vào 3-4 và 5-6 được đưa vào là hai điện áp cần đo độ lệch pha. Để đơn giản, ta thường lấy  $u_1 = u_2 = u$ . Trên đèn hai cực  $\text{Đ}_1$  có điện áp tổng:  $u_{\Sigma} = u_1 + u_2$  và trên đèn hai cực  $\text{Đ}_2$  có điện áp hiệu:  $u_{\Delta} = u_1 - u_2$ .

Nếu hai đèn  $\text{Đ}_1$  và  $\text{Đ}_2$  đồng nhất và là loại có đặc tuyến tách sóng đường thẳng, thì thành phần điện áp một chiều được chỉnh lưu ra trên tải giữa hai điểm 0-

1 là tỉ lệ với trị số điện áp tổng:

$$\frac{U_{\Sigma}}{2U} = \cos \frac{\varphi}{2} \quad (51)$$

Cũng thế, thành phần điện áp một chiều được chỉnh lưu ra trên tải giữa hai điểm 0-1 và 0-2 thì tỉ lệ với trị số điện áp hiệu:

$$\frac{U_{\Delta}}{2U} = \sin \frac{\varphi}{2} \quad (52)$$

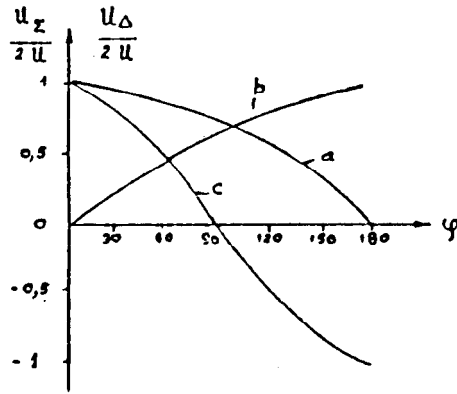
Như vậy, điện áp giữa hai điểm 1-2 được đo bằng vôn-mét, nó bằng hiệu số giữa các điện áp ở điểm 0-1 và 0-2.

Hình 4-77 vẽ các đường biểu diễn của các điện áp này. Đường *a* là đường biểu diễn của (51), đường *b* là của (52) và đường *c* là đường biểu diễn điện đo trên vôn-mét V.

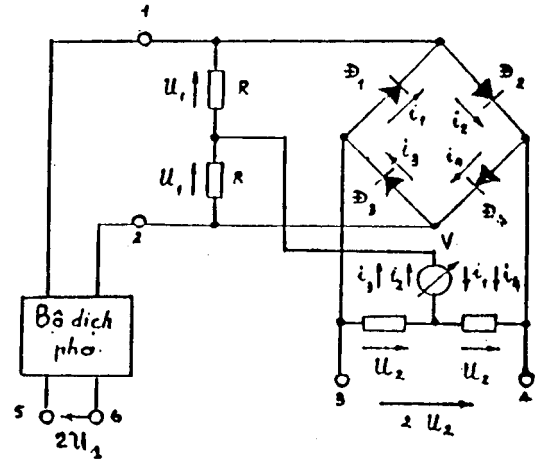
Từ các đường cong biểu diễn này ta thấy là: Khi  $\varphi = 90^\circ$  thì kim chỉ thị của vôn-mét bằng không. Khi độ lệch pha  $\varphi$  có trị số khác  $90^\circ$ , thì vôn-mét có trị số chỉ thị khác không, cực tính của điện áp này xác định hướng lệch pha từ trị số  $\varphi = 90^\circ$ .

Nếu chọn đồng hồ chỉ thị của vôn-mét là loại có điểm chỉ thị không ở giữa thang chia độ, thì đồng hồ của vôn-mét có thể trực tiếp khắc độ theo độ di pha, ta có một pha-mét đọc trực tiếp.

Theo nguyên lí của phương pháp đo trên, còn có thể được thực hiện bằng sơ đồ điều chế mạch vòng như hình 4-78.



Hình 4-77



Hình 4-78

Hai điện áp cần đo di pha được đưa vào hai đầu vào 1-2 và 3-4. Tại hai đầu vào này chúng đều được phân thành hai thành phần bằng nhau trên các điện trở R.

Giả thiết là các đèn tách sóng Đ<sub>1</sub>, Đ<sub>2</sub>, Đ<sub>3</sub> và Đ<sub>4</sub> có đặc tuyến giống nhau và được biểu diễn bằng:

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2$$

Trị số dòng điện tức thời qua đồng hồ chỉ thị V thì bằng :

$$\begin{aligned} i_1 &= a_0 + a_1(-u_2 - u_1) + a_2(-u_2 - u_1)^2 \\ i_2 &= a_0 + a_1(-u_2 + u_1) + a_2(-u_2 + u_1)^2 \\ i_3 &= a_0 + a_1(u_2 - u_1) + a_2(u_2 - u_1)^2 \\ i_4 &= a_0 + a_1(u_2 + u_1) + a_2(u_2 + u_1)^2 \end{aligned} \quad (53)$$

Vì  $u_1 = U_{m1} \sin \omega t$  và  $u_2 = U_{m2} \sin(\omega t + \varphi)$  nên trị số tức thời của dòng điện tổng hợp  $i$  chảy qua đồng hồ V là:

$$i = i_1 - i_2 - i_3 + i_4 = 8a_2 u_1 u_2 \quad (54)$$

Thay thế và ước lượng các biểu thức, ta có trị số trung bình của dòng điện qua đồng hồ V là:

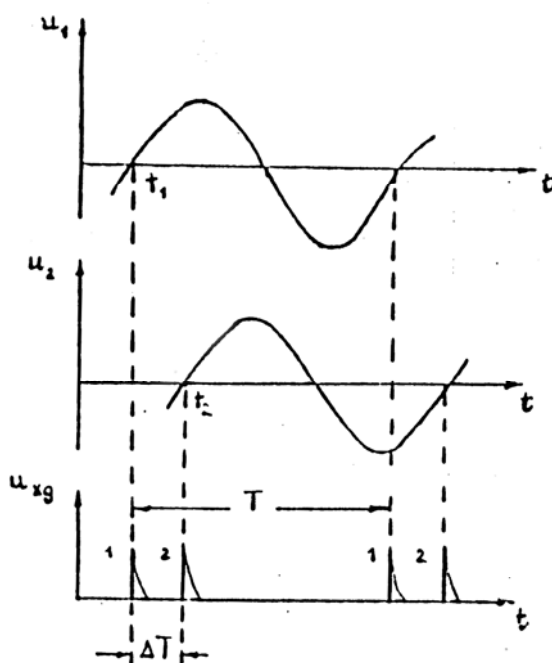
$$I = 4a_2 U_{m1} U_{m2} \cos\varphi \quad (55)$$

Từ (55) thấy, nếu giữ cho biên độ các điện áp đo không đổi, thì đồng hồ V có thể khác độ theo đơn vị di pha  $\varphi$ .

Nếu điện áp  $u_1$  được đưa qua bộ dịch pha có khác độ, thì thiết bị đo pha này được thuận tiện hơn. Nhờ bộ dịch pha, ta biến đổi để cho  $2u_1$  dịch pha với  $2u_2$  một góc  $90^\circ$ , thì theo biểu thức (55), đồng hồ chỉ thị chỉ trị số không (chỉ thị cân bằng).

Các loại pha-mét kiểu tách sóng thì có dải tần số công tác rộng hơn, tới vài trăm MHz, và có độ chính xác khoảng chừng  $\pm (2\div 3)^\circ$ .

## 2. Đo di pha bằng phương pháp đo khoảng thời gian



Hình 4-79

Nguyên lý chung của các phương pháp đo này là biến đổi các điện áp có dạng hình sin thành các xung nhọn tương ứng với các thời điểm mà điện áp biến đổi qua trị số bằng không với giá trị đạo hàm cùng dấu. Khoảng thời gian giữa hai xung gần nhau của hai điện áp đo, tỉ lệ với góc di pha của chúng (xem hình 4-79).

Dùng các biểu thức đã biết:  $\omega = 2\pi/T$  và  $\varphi = \omega\Delta T$ , ta có thể tính được góc di pha  $\varphi$  khi đã đo được tỉ số khoảng thời gian  $\Delta T / T$ .

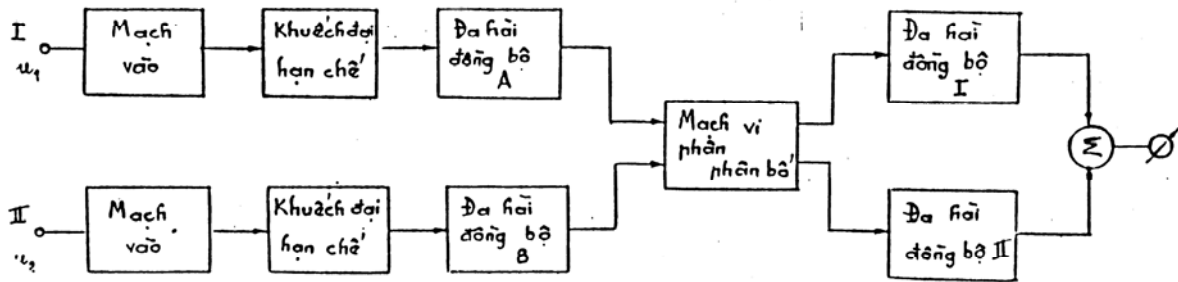
$$\varphi^\circ = 360^\circ(\Delta T / T) \quad (56)$$

Phương pháp đo này được dùng tương đối nhiều để đo pha. Hầu hết các loại pha-mét thông dụng thì đều được cấu tạo theo nguyên lý này, sự khác nhau giữa chúng chỉ là ở cách thức đo khoảng thời

gian. Ta xét kỹ hơn về phương pháp đo này.

a. Pha mét dùng mạch trigơ

Cấu tạo của loại này như hình 4-80. Pha mét có hai đầu vào riêng; mỗi đầu vào là một mạch tạo dạng xung, để biến điện áp hình sin thành các xung nhọn tương ứng.



Hình 4-80

Mỗi mạch tạo dạng xung thường bao gồm: bộ khuếch đại, bộ hạn chế, mạch vi phân và bộ hạn chế một phía. Như vậy, điện áp đo pha có dạng điều hoà được biến thành các xung nhọn có cực tính dương và sườn khá dốc. Khoảng thời gian tương ứng giữa hai điện áp này được đo bằng có mạch trigơ; ở trên anốt một đèn của mạch trigơ có mắc đồng hồ từ điện V để chỉ thị.

Nguyên lý đo khoảng thời gian bằng mạch trigơ là: ở trạng thái trước khi đo, không có dòng điện chạy qua đồng hồ chỉ thị. Khi hai đầu vào của pha-mét có hai điện áp hình sin đưa vào (mà ta cần đo độ di pha của hai điện áp này), thì ở đầu ra của một đường có xuất hiện một xung dương. Xung này kích bộ trigơ, làm cho bộ trigơ chuyển đổi trạng thái. Lúc này bắt đầu có dòng điện qua đồng hồ chỉ thị V. Sau một khoảng thời gian bằng  $\Delta T$ , tương ứng với độ di pha cần đo, thì ở đầu ra của đường thứ hai có xuất hiện một xung dương khác. Xung này lại kích bộ trigơ, làm cho trigơ lại chuyển trạng thái trở về trạng thái ban đầu. Dòng điện qua đồng hồ lại bị cắt mất đi. Sau một thời gian bằng chu kỳ T thì quá trình lại được lặp lại ...

Như vậy, trị số trung bình của dòng điện đo bằng đồng hồ từ điện V là:

$$I_0 = I_m \left( \frac{\Delta T}{T} \right) \quad (57)$$

So sánh hai biểu thức (51) và (52), ta có:

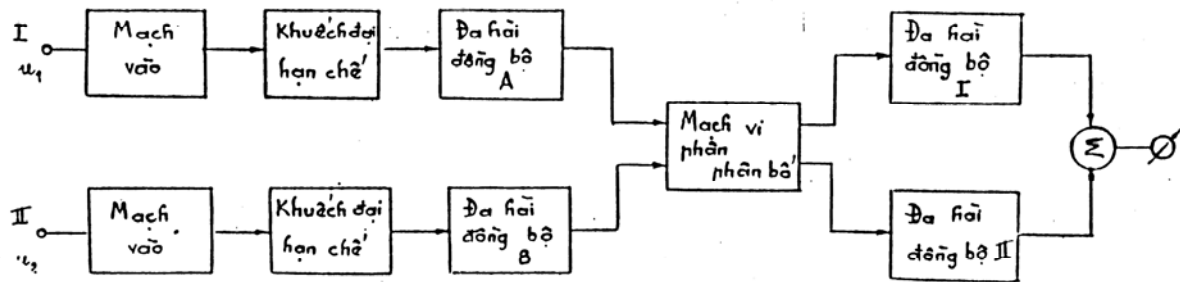
$$\varphi = 360 \left( \frac{I_0}{I_m} \right) \quad (58)$$

Từ biểu thức (58) ta thấy quan hệ giữa trị số di pha  $\varphi$  và  $I_0$  là đường thẳng. Như vậy thang độ của đồng hồ có thể trực tiếp khắc độ theo đơn vị độ. Khả năng phân biệt của đồng hồ bằng:

$$\Delta\varphi = (360 / I_m) \Delta I_0 \quad (59)$$

Sai số đo của loại pha-mét này khoảng chừng  $1 \div 3\%$ .

*b. Pha-mét dùng mạch đa hài đồng bộ*

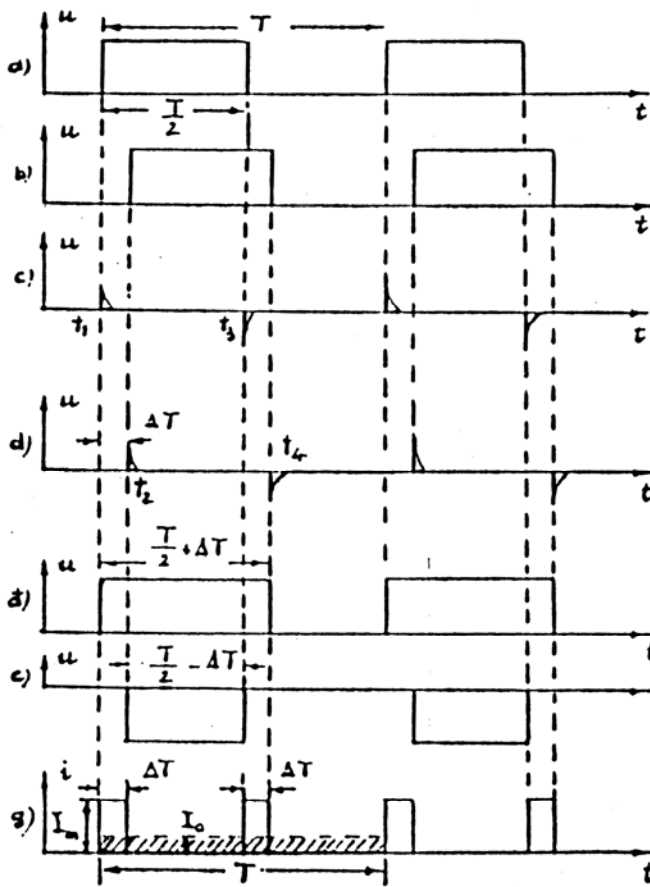


Hình 4-81

Cấu tạo của loại này như hình 4-81. Pha mét loại này có tính năng tăng độ nhạy gấp đôi so với các loại pha-mét dùng mạch trigơ. Loại này cũng có hai đầu vào riêng biệt nhau. Ở cả hai đầu vào, điện áp có dạng hình sin được biến đổi thành các xung vuông nhờ các bộ khuếch đại hạn chế và đa hài đồng bộ A và B. Các chu kỳ dao động bản thân của bộ đa hài được chọn sao cho nó lớn hơn chu kỳ của điện áp đo có tần số thấp nhất. Các xung vuông (hình 4-82a và b) của hai đường cùng được đưa chung tới mạch vi phân phân bố. Các xung ở đầu ra của mạch này được đưa tới khối chế hai bộ đa hài đồng bộ I và II. Đầu ra của hai bộ đa hài này được đưa tới một mạch tổng hợp, mạch này có đồng hồ để đo khoảng thời gian lệch giữa các xung, cũng tức là góc di pha  $\varphi$  của hai điện áp.

Mạch vi phân phân bố ở đây được cấu tạo sao cho để cho đầu ra của nó đưa tới đầu vào của bộ đa hài đồng bộ I chỉ là các xung nhọn dương (hình 4-82c) tương ứng với sườn trước của xung vuông đường thứ nhất và các xung nhọn âm (hình 4-82d), tương ứng với sườn sau của xung vuông đường thứ hai. Còn đưa tới bộ đa hài đồng bộ II, thì chỉ là các xung dương của đường thứ hai và xung âm của đường thứ nhất (hình 4-82d và c). Các xung này khống chế công tác của các mạch đa hài đồng bộ I và II, và xác định độ rộng của các xung vuông đưa ra, (hình 6-15đ và e).

Từ hình 4-82g ta thấy: trị số trung bình của dòng điện qua đồng hồ từ điện, tỉ lệ với trị số  $\frac{2\Delta T}{T}$ :



Hình 4-82

$$I = I_m \left( \frac{2\Delta T}{T} \right)$$

So sánh (56) và (60), ta có:

$$\varphi = 180 \left( \frac{I_0}{I_m} \right)$$

Nó gồm có hai phần: bộ phận biến đổi (gồm hai kênh tạo dạng xung và trigơ tạo xung có độ rộng là  $\Delta T$ ) và bộ phận đo đếm số xung.

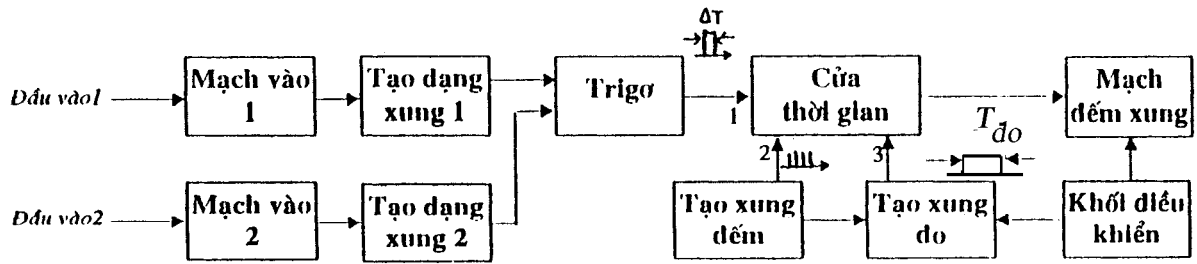
#### 4.6.2 Pha mét chỉ thị số

Sơ đồ cấu tạo của pha-mét chỉ thị số, đo pha bằng phương pháp đếm xung được thể hiện trong hình 4-83. Giảns đồ thời gian của phương pháp mạch đo như hình 4-84.

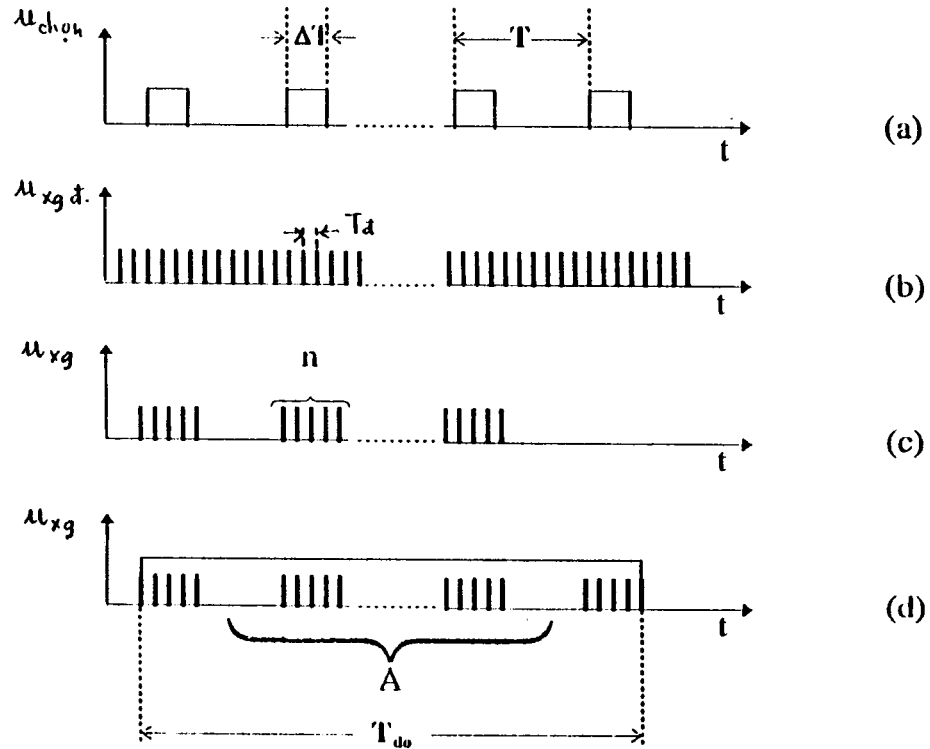
Qua hai kênh, hai tín hiệu điện áp cần đo độ dỉ pha được tạo dạng xung nhọn, kích trigơ tạo nên xung vuông có

độ rộng  $\Delta T$  và có chu kỳ lặp lại là  $T$  (hình 4-84a).

Dãy xung vuông này được đưa tới đầu vào 1 của bộ chọn cửa chọn thời gian, đầu vào hai của bộ này là đưa vào xung đếm ( hình 4-84a và 4-84b). Kết quả là dãy xung vuông được lấp đầy bằng xung đếm (hình 4-84c). Vì đầu vào của ba bộ cửa thời gian được đưa vào là xung đo  $T_{do}$ , nó cũng được tạo ra từ xung chuẩn là xung đếm được chia tần, do vậy đầu ra bộ cửa thời gian đưa tới mạch đếm xung là chuỗi xung vuông được lấp đầy xung đến có độ dài là  $T_{do}$ , (hình 4-84d). Ở đây  $T_{do}$  được chọn thoả mãn:  $T_{do} \gg T_{min}$ , mà  $T_{min}$  là chu kỳ của tần số tín hiệu đo dỉ pha thấp nhất.



Hình 4-83



Hình 4-84

Giả sử trong khoảng thời gian  $T_{do}$  có  $h$  chu kỳ của tín hiệu cần đo độ lệch pha ( $h \gg 1$ ); tức là:  $T_{do} = hT$ , và nói chung  $h$  là không phải số nguyên. Số xung đếm qua được cửa thời gian tới mạch đếm xung trong khoảng thời gian  $T_{do}$  là  $A$  (hình 4-84d). Ta cần xây dựng quan hệ giữa số xung đếm được  $A$  và góc lệch pha cần đo  $\Delta\phi$ .

Giả sử số xung đếm trong mỗi xung vuông có độ rộng  $\Delta T$  là  $n$  và tần số xung đếm là  $f_d$  thì:

$$n = f_d \Delta T \text{ và } A = h.n = \frac{T_{do}}{T} n = T_{do} \cdot f_d \cdot \frac{\Delta T}{T} \quad (61)$$

Thay  $\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta \varphi}{360}$  (công thức (61) ở trên), ta có :

$$A = T_{do} \cdot f_{do} \cdot \frac{\Delta \varphi}{360} = k \cdot \Delta \varphi$$

Hệ số k được chọn là  $10^i$  (với  $i = 0, 1, 2, \dots$ ), nó biểu thị đặc tính khắc độ của pha-mét số.

Với phương pháp đo độ di pha trên đã làm giảm được sai số  $\pm 1$  so với phương pháp đo di pha chỉ đo một khoảng thời gian, vì đã đo h và  $\Delta T$ , mà khi đo như vậy thì sai số +1 và sai số -1 có khả năng cân bằng nhau do phép đo nhiều lần.

*Cách giảm sai số độ sai pha do pha-mét sinh ra*

Khi đo độ di pha của hai tín hiệu bằng pha-mét có hai kênh, sẽ có sai số di pha của bản thân pha-mét do hai kênh không đồng nhất  $\Delta \varphi'$ .

Do đó trị số sai pha đo được là  $\Delta \varphi_{do} = \Delta \varphi' + \Delta \varphi$

Cách loại bỏ  $\Delta \varphi'$  có thể thực hiện bằng cách dùng một trong hai tín hiệu cần đo di pha ( $u_1$  hay  $u_2$ ) đưa vào cả hai kênh của pha-mét. Khi đó độ di pha của hai kênh không đồng nhất sẽ đo được là:

$$\Delta \varphi'_{do} = \Delta \varphi'$$

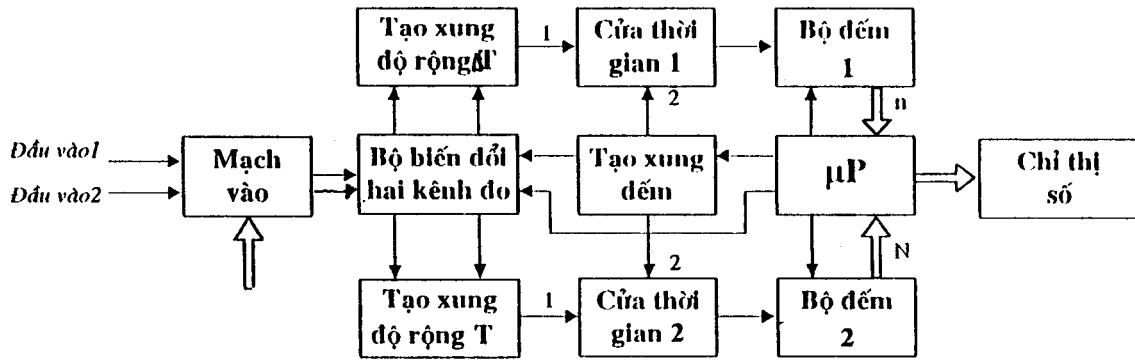
Do đó, kết quả đo độ di pha của hai tín hiệu là:

$$\Delta \varphi = \Delta \varphi_{do} - \Delta \varphi'_{do}$$

Để thực hiện phép đo hai lần và lấy hiệu kết quả đo, trong pha-mét số thường dùng bộ điều khiển chuyển mạch đo, để đo  $\Delta \varphi_{do}$  và  $\Delta \varphi'_{do}$ , và kết quả được ghi nhận ở bộ đếm thuận nghịch (đếm cộng khi đo  $\Delta \varphi_{do}$  và đếm trừ khi đo  $\Delta \varphi'_{do}$ ).

#### 4.6.3 Pha-mét số có cài đặt micropocesor

Sơ đồ khối của pha-mét số có cài đặt  $\mu P$  như hình 4-85.



Hình 4-85

So với pha-mét số, loại này có một số đặc điểm hơn; một trong các đặc điểm là nó có thể đo độ di pha trong một chu kỳ của điện áp đo. Nguyên lý đo được diễn giải như đồ thị thời gian như hình 4-86.

Hai điện áp cần đo độ di pha  $\mu_1$  và  $\mu_2$  (hình 4-86a và 4-86b) được biến đổi thành các xung đơn 1 và 2 (hình 4-86c); mỗi cặp xung 1 và 2 tạo thành xung có độ rộng  $\Delta T$  (hình 4-86d). Bộ cửa thời gian 1 cho xung đếm có tần số  $f_d$  qua trong khoảng thời gian  $\Delta T$ , bộ đếm 1 đếm được  $n$  xung (hình 4-86e):

$$n = f_d \cdot \Delta T$$

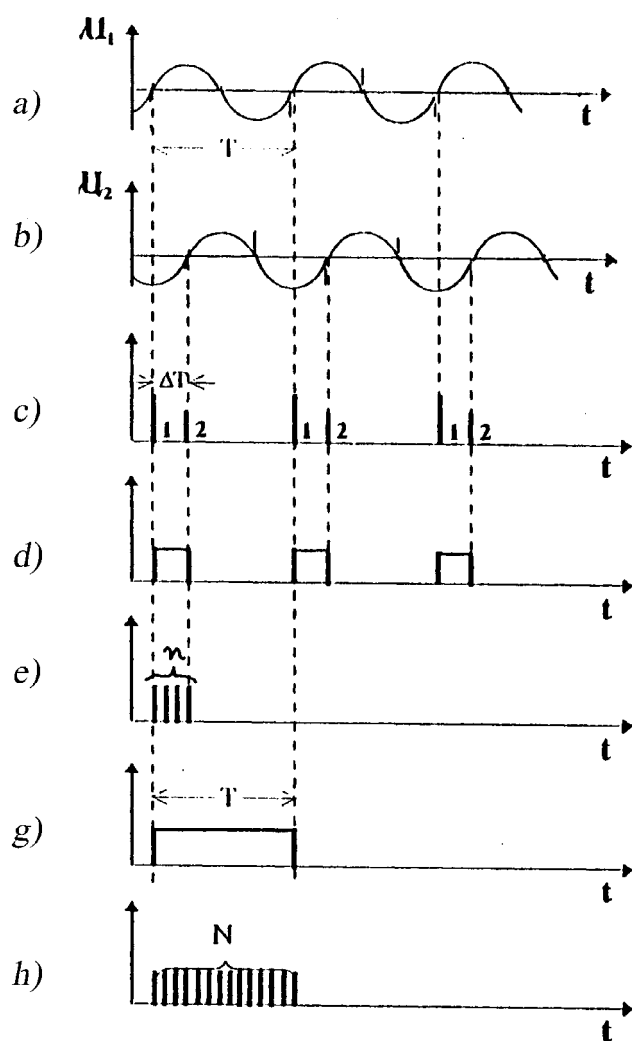
Cũng đồng thời, bộ biến đổi cũng tạo ra xung có độ dài bằng chu kỳ  $T$  của điện áp cần đo di pha (hình 4-86g). Bộ cửa thời gian 2 cho xung đếm qua trong thời gian  $T$ , và bộ đếm 2 đếm được số lượng xung là  $N$  (hình 4-86h):

$$N = f_d \cdot T$$

Số liệu  $n$  và  $N$  được đưa tới  $\mu P$ , và được tính ra tỉ số  $\frac{n}{N}$ , và được nhân với 360. Do đó, ta có từ (61):

$$\Delta\varphi = 360 \cdot \frac{n}{N}, \text{ kết quả này được đưa tới bộ hiển thị.}$$

Vì xử lý cho phép chọn chu kỳ tín hiệu bất kỳ nào đó để đo độ di pha của chúng. Độ phân giải khác độ độ di pha của pha-mét thì tùy thuộc vào trị số các tần số đo và sai số của phương pháp đo số, nó quyết định độ chính xác của pha-mét.



Hình 4-86

Quan hệ giữa chúng (tần số tín hiệu cần đo độ di pha  $f = \frac{1}{T}$ ; tần số xung đếm  $f_d$ ; sai số  $\pm 1$  của phương pháp đo số) được thể hiện như sau đối với độ chính xác của thiết bị pha-mét.

Từ (1) và (3) ta có:

$$\Delta\varphi = \left( 360 \frac{f}{f_d} \right).n = C.n \quad (62)$$

$$\text{ở đây: } C = 360 \frac{f}{f_d}$$

Từ (62), kết quả đo di pha sẽ có sai số là  $\Delta\varphi' = C.\Delta n$ , vì do sai số  $\pm 1$ . Sai số cực đại của phương pháp sai số là +1 và -1, nên có nghĩa là:

$$\Delta n = \pm 1, \text{ do đó } \Delta\varphi' = \pm C$$

Muốn nâng cao độ chính xác của phép đo độ di pha có trị giá bé thì cần phải tăng tần số  $f_d$  và giảm tần số  $f$ .

Muốn giảm tần số tín hiệu cần đo độ di pha  $f$  xuống dải tần số thấp ta có thể dùng phương pháp biến đổi ngoại sai, khi đó tần số thay đổi nhưng độ di pha không bị đổi. Ngoài ra, để tăng tần số đếm  $f_d$ , ta có thể dùng phương pháp "đếm nội suy" (đã trình bày ở phần thiết bị đếm điện tử). Phép đo sẽ thực hiện với  $qT$  và  $q\Delta T$  thay vì cho tăng  $f_d$ , bộ vi xử lý đã lập trình với giá trị  $q$  thích hợp.

Bộ vi xử lý cài đặt trong pha-mét còn cho phép thực hiện phương pháp đo thống kê, nó cho phép xác định được các giá trị trung bình bình phương, kỳ vọng toán học, phương sai, do vậy đã tăng được độ chính xác của phép đo độ di pha của tín hiệu, đặc biệt với các độ di pha có trị giá nhỏ.

Đó là tính ưu việt của pha-mét có cài đặt microprocessor.

## **Chương V**

### **ĐO ĐIỆN ÁP**

#### **5.1 ĐẶC ĐIỂM VÀ YÊU CẦU CỦA PHÉP ĐO TÍN HIỆU ĐIỆN ÁP**

Đo điện áp là một trong những phép đo cơ bản nhất để đo thông số của tín hiệu điện tử. Khi cần kiểm tra, xác định chế độ công tác... của thiết bị điện tử, thì biện pháp xác định bằng cách đo điện áp được thực hiện nhiều hơn cách đo dòng điện. Sở dĩ vậy vì phép đo dễ tiến hành, thực hiện nhanh chóng và có độ chính xác cao. Hơn nữa, đo dòng điện lại phải ngắt mạch điện ra, như vậy nếu phải đo nhiều điểm thì rất không tiện, tốn công và mất nhiều thời gian. Ngoài ra, đo điện áp còn được dùng để xác định các thông số khác của tín hiệu và mạch điện, bằng cách thông qua các phép tính toán gián tiếp như đo cường độ điện trường, đo hệ số phẩm chất, đo trở kháng của mạch điện.

Đặc điểm của phép đo điện áp trong kỹ thuật điện tử là khoảng giá trị điện áp cần đo rộng, lại ở trong một dải tần số rất rộng và dưới nhiều dạng của tín hiệu điện áp khác nhau. Đại lượng điện áp cần đo có trị số khoảng từ vài microvôn đến vài trăm kilô-vôn. Dải tần số của điện áp cần đo là từ điện áp một chiều (0Hz), điện áp có tần số biến đổi rất chậm (khoảng vài phần trăm Hz), đến điện áp có tần số khá cao, tới hàng nghìn MHz. Với điện áp có tần số cao hơn nữa thì khái niệm đo điện áp không còn mang ý nghĩa nữa, và việc đo điện áp lúc đó không còn thực hiện được.

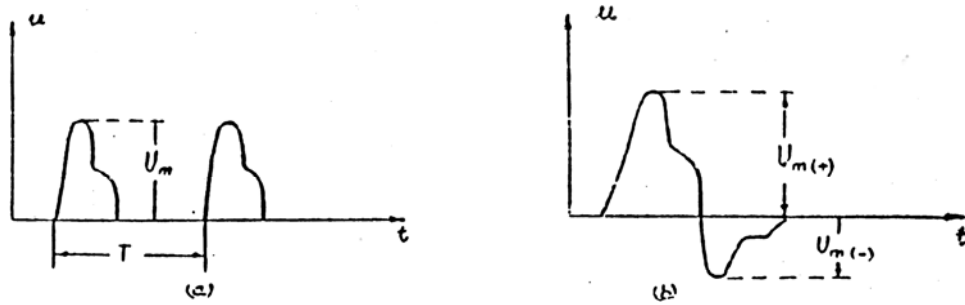
Với yêu cầu đo như vậy, cũng như phép đo dòng điện, đo điện áp (mà càng đặc biệt đối với điện áp của tín hiệu có tần số cao) cần phải giảm bớt được sự phụ thuộc của thiết bị đo với tần số của điện áp cần đo; cũng như để chế độ công tác của mạch được đo ít bị ảnh hưởng do thiết bị đo gây nên. Muốn vậy, thiết bị đo điện áp phải có trở kháng vào lớn. Đó là một trong những yêu cầu cơ bản của các thiết bị đo lường điện tử nói chung, và đặc biệt với các điện áp cao tần nói riêng.

##### **5.1.1 Các trị số điện áp đo**

Điện áp biến đổi cần đo có các trị số biểu thị đặc tính là: trị số đỉnh (biên độ), trị số hiệu dụng, trị số trung bình.

Trị số đỉnh  $U_m$  là trị giá tức thời cực đại của điện áp trong khoảng thời gian quan sát (hay trong một chu kỳ), như hình 5-1a. Đối với điện áp có cực tính không đối xứng

thì có hai trị giá đỉnh: đỉnh dương và đỉnh âm (hình 5-1b). Với điện áp điều hoà thì trị số đỉnh chính là trị số biên độ.



Hình 5-1

Trị số hiệu dụng  $U$  là giá trị trung bình bình phương của điện áp tức thời trong khoảng thời gian đo (hay trong một chu kỳ).

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_t^2 dt} \quad (1)$$

Đối với điện áp có chu kỳ dạng không sin, thì bình phương trị số hiệu dụng của điện áp này bằng tổng của bình phương thành phần điện áp một chiều và bình phương của các thành phần điều hoà:

$$U^2 = U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots \quad (2)$$

Hay là:

$$U = \sqrt{\sum_{k=0}^n U_k^2} \quad (3)$$

Trị số trung bình (thành phần một chiều) là trị số trung bình cộng các giá trị tức thời trong khoảng thời gian đo (hay trong một chu kỳ).

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (4)$$

Trong trường hợp chỉnh lưu hai nửa chu kỳ, thì nó bằng trị số trung bình cộng của trị số tuyệt đối các giá trị tức thời:

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (5)$$

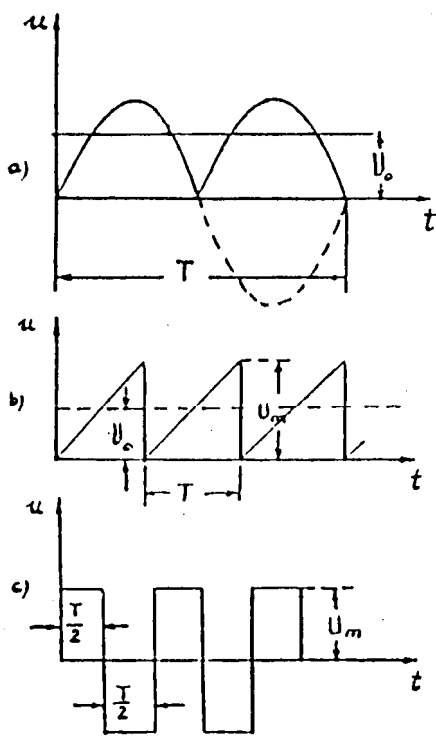
Quan hệ giữa các trị số đỉnh, trị số hiệu dụng và trị số trung bình được biểu thị bằng các tỷ số:

$$k_b = \frac{U_{ra}}{U} \quad (6)$$

$k_b$ : hệ số biên độ của tín hiệu điện áp.

$$k_d = \frac{U}{U_0} \quad (7)$$

$k_d$ : hệ số dạng của tín hiệu điện áp.



Hình 5-2

Hình 5-2 nêu một ví dụ xác định  $k_b$  và  $k_d$  của các điện áp có các dạng khác nhau.

Hình 5-2a là điện áp hình sin:

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U; U_0 = 0,9U$$

vậy:

$$k_b = 1,41; k_d = 1,11$$

Hình 5-2b là điện áp răng cưa, có biên độ  $U_m$ , chu kỳ  $T$ . Trị số điện áp tức thời:

$$u(t) = \frac{U_m}{T} t \quad (8)$$

Trị số điện áp hiệu dụng:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{U_m^2}{T} t^2 dt} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

$$U_0 = \frac{U_m}{2} \quad (10)$$

Hình 5-2c là điện áp dạng xung vuông góc đối xứng hai nửa chu kỳ.

Giá trị tức thời của điện áp:

$$u(t) = \begin{cases} U_m : 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ -U_m : \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases} \quad (11)$$

Trị số điện áp  $U=U_m$  và  $U_0=U_m$ ; do đó:

$$k_b=1 \text{ và } k_d=1;$$

### 5.1.2 Cấu tạo và phân loại các vôn-mét điện tử

Thiết bị để đo điện áp là vôn-mét. Các vôn-mét dùng trong đo lường điện tử được phân loại căn cứ vào các tính năng sau đây:

-Dạng chỉ thị: vôn-mét chỉ thị bằng kim hay vôn-mét chỉ thị bằng số.

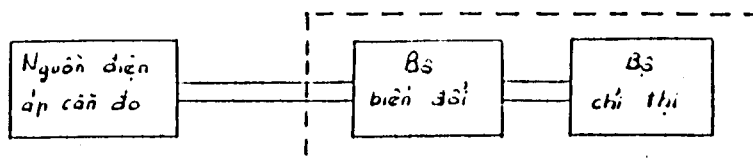
-Thông số của điện áp đo: vôn-mét đo điện áp đỉnh, điện áp trung bình hay điện áp hiệu dụng.

-Dải trị số điện áp đo: micro vôn-mét, mili vôn-mét hay kilô vôn-mét.

-Mục đích sử dụng: vôn-mét mẫu (để làm chuẩn), vôn-mét xoay chiều, vôn-mét một chiều, vôn-mét xung hay vôn-mét có tính năng đặc biệt khác (vôn-mét nhạy pha, vôn-mét chọn lọc ... ).

Về cấu tạo chung của các vôn-mét, thì cũng giống như các loại máy đo các thông số tín hiệu khác, chúng bao gồm hai khối cơ bản: bộ biến đổi và bộ chỉ thị.

Sơ đồ khối cơ bản của vôn-mét như hình 5-3.



Hình 5-3

Bộ biến đổi của các vôn-mét mà ta sẽ xét tới sau đây (trừ loại vôn-mét điện từ), là bộ tách sóng. Bộ tách sóng để biến đổi điện áp cần đo có chu kỳ thành điện áp một chiều. Tùy theo loại mạch tách sóng mà điện áp đo được xác định bởi các thông số điện áp khác nhau.

Với loại micro vôn-mét, tín hiệu trước khi đưa vào bộ tách sóng thì được đưa qua bộ khuếch đại. Các yêu cầu của bộ khuếch đại này khá chặt chẽ: hệ số khuếch đại phải ổn định, nghĩa là điện áp không bị thay đổi theo thời gian khi các điều kiện bên ngoài và điện áp nguồn cung cấp thay đổi; hệ số khuếch đại không phụ thuộc tần số; trở kháng vào của bộ khuếch đại phải lớn, điện dung vào phải nhỏ.

Để tăng trở kháng vào, giảm điện dung vào cho vôn-mét, thì cấu tạo của tầng đầu của bộ khuếch đại thường hay dùng là tầng phụ tải catốt. Để tăng độ ổn định, bộ khuếch đại thường được thực hiện hồi tiếp âm khá sâu. Để loại trừ các ảnh hưởng của sự phụ thuộc tần số thì bộ khuếch đại thường dùng các phần tử để hiệu chuẩn tần số cao và tần số thấp.

Dải tần số công tác của các vôn-mét có bộ khuếch đại ở đầu vào thì hẹp hơn dải tần số của các vôn-mét thực hiện tách sóng ngay điện áp cần đo.

Bộ chỉ thị của vôn-mét là các bộ đo điện áp một chiều, có thiết bị chỉ thị bằng kim hay chỉ thị bằng số. Yêu cầu chung của các bộ này là phải có điện trở vào khá lớn (khoảng hàng chục đến hàng trăm  $M\Omega$ ). Để thoả mãn yêu cầu này, với các bộ chỉ thị của vôn-mét chỉ thị kim thì trên thực tế, thường hay dùng các mạch khuếch đại điện áp một chiều kiểu sơ đồ cầu và đồng hồ chỉ thị thường dùng loại micro ampe-mét điện từ.

## 5.2 VÔN-MÉT ĐIỆN TỬ LOẠI TƯƠNG TỰ-DÙNG ĐIỆN KẾ CHỈ THỊ KIM

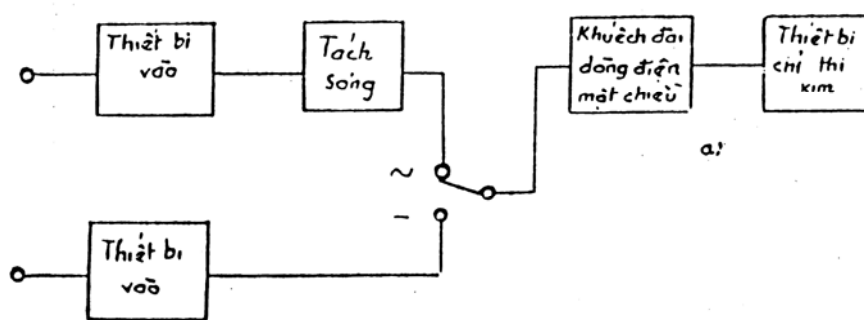
Khi đo điện áp xoay chiều cao tần, thì thiết bị đo được sử dụng nhiều hơn cả là vôn-mét điện tử. Sở dĩ như vậy, vì vôn-mét điện tử có một số ưu điểm cơ bản như: trở kháng vào lớn, độ nhạy cao, tiêu thụ ít năng lượng của mạch điện được đo, và chịu đựng được quá tải.

Tuy nhiên vôn-mét điện tử cũng có những nhược điểm là cần yêu cầu có nguồn cung cấp, nguồn cung cấp cần phải ổn định, và độ chính xác của thang độ chỉ thị phụ thuộc nhiều vào đặc tính thông số của đèn điện tử hay đèn bán dẫn, nên khi thay thế đèn thì thiết bị đo có thể bị ảnh hưởng.

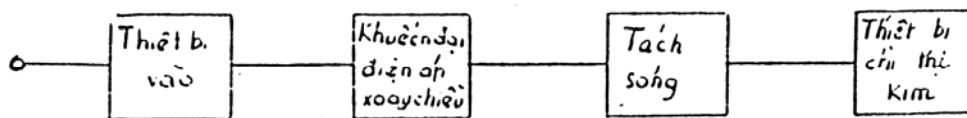
Vôn-mét điện tử có nhiều loại, tùy theo cấu tạo mà nó có thể dùng để đo điện áp một chiều, điện áp xoay chiều hay đo cả hai loại điện áp này. Cũng tùy theo cấu tạo mà kết quả đo được chỉ thị bằng kim hay chỉ thị bằng số.

Để nghiên cứu tính năng và cấu tạo của vôn-mét điện tử, trong chương này ta sẽ lần lượt xét theo hai loại chỉ thị: vôn-mét chỉ thị bằng kim và vôn-mét chỉ thị bằng số.

Sơ đồ khối chức năng chung của các loại vôn-mét chỉ thị bằng kim như hình 5-4a,b.



Hình 5-4a



Hình 5-4b

Hình 5-4a là vôn-mét để đo điện áp một chiều và điện áp xoay chiều có trị số lớn.

Hình 5-4b là vôn-mét để đo điện áp một chiều và điện áp xoay chiều có trị số nhỏ.

Cũng như các máy đo thông số tín hiệu khác, thiết bị vào ở đây thường gồm các phần tử để biến đổi điện áp đo ở đầu vào, như bộ phân áp, suy giảm và phụ tải catốt (ở loại vôn-mét có khuếch đại điện áp đầu vào) để tăng trở kháng vào của vôn-mét. Nhiệm vụ của thiết bị vào là ghép điện áp cần đo một cách thích hợp với mạch đo và vôn-mét.

Bộ biến đổi của vôn-mét ở đây là khối khuếch đại dòng điện một chiều (với các vôn-mét dùng để đo điện áp một chiều), hay khối tách sóng (với các loại vôn-mét đo điện áp xoay chiều).

Bộ chỉ thị của vôn-mét ở đây là các bộ chỉ thị kim hay cả khối gồm cả bộ khuếch đại dòng điện một chiều và bộ chỉ thị kim.

### 5.2.1 Các đặc tính tách sóng

Tách sóng là biến đổi điện áp xoay chiều thành dòng điện hay điện áp một chiều. Đó là khối chủ yếu nhất của vôn-mét, vì nó xác định các đặc tính cơ bản của vôn-mét nhất là đặc tính về thang độ.

Về bộ tách sóng của vôn-mét, có các cách phân loại như sau:

-Theo trị số điện áp hay theo dòng điện ra của bộ tách sóng: tách sóng đỉnh (biên độ), tách sóng hiệu dụng hay tách sóng trung bình.

-Theo chế độ tách sóng: chế độ A, chế độ B hay chế độ C.

-Theo mạch điện tách sóng: Tách sóng mạch đi-ốt, tách sóng anốt hay tách mạch dùng tranzito.

-Theo cấu tạo mạch vào tách sóng: Tách sóng mạch vào đóng hay tách sóng mạch vào mở.

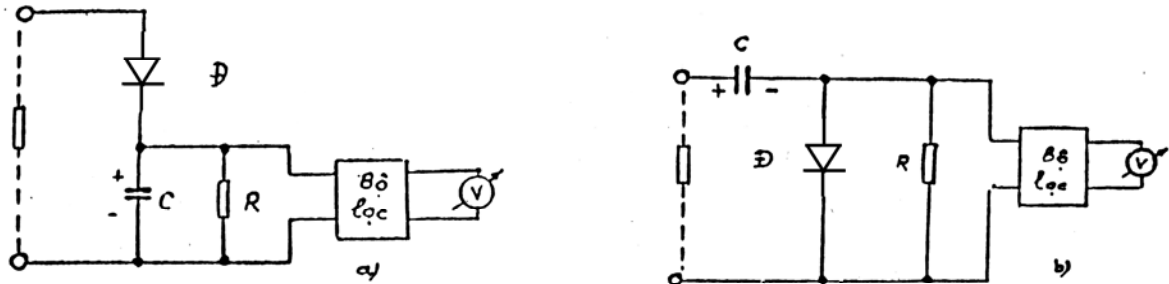
-Theo đặc tuyến tách sóng: Tách sóng đường thẳng hay tách sóng bậc hai.

Trong chương này, ta sẽ xét bộ tách sóng của vôn-mét theo cách phân loại đầu tiên, vì nó tương đối tổng quát và phù hợp với cách phân loại các loại vôn-mét hơn.

## 1. Tách sóng đỉnh

Tách sóng đỉnh (hay còn gọi là tách sóng biên độ) là tách sóng mà điện áp ở đầu ra trực tiếp tương ứng với trị số biên độ của điện áp đầu ra. Phần tử để ghim giữ lại trị số biên độ của điện áp đo là tụ điện. Tụ điện được nạp điện tới trị số đỉnh của điện áp đo thông qua phân tử tách sóng.

Ví dụ các mạch tách sóng đỉnh thường gặp như hình 5-5a, nguyên lý làm việc như

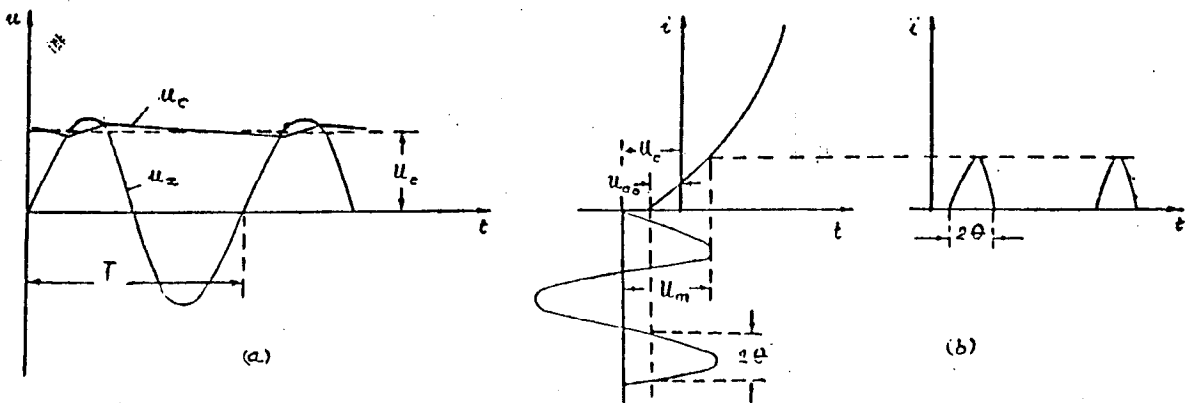


Hình 5-5

sau:

Khi đưa vào bộ tách sóng điện áp hình sin  $u_x = U_m \sin \omega t$  thì lúc ban đầu điện áp đó hầu như hoàn toàn đặt lên đi-ốt, vì điện dung của tụ  $C$  lớn hơn nhiều so với điện dung  $C_{AK}$  của đi-ốt, điện dung tụ  $C$  thường khoảng hàng chục nghìn pF.

Trong nửa chu kỳ dương đầu tiên, có xung dòng điện lớn qua đi-ốt làm cho tụ  $C$  nạp, tụ  $C$  được nạp điện nhưng chưa hoàn toàn. Sang nửa chu kỳ âm, tụ  $C$  phóng điện qua  $R$ , nhưng lượng phóng không được bao nhiêu vì  $R$  chọn rất lớn (thường khoảng 50-100MΩ); hằng số thời gian phóng  $\tau = RC$  lớn hơn so với chu kỳ  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  của điện áp đo  $u_x$ . Tiếp đến nửa chu kỳ dương khác, tụ  $C$  lại tiếp tục được nạp. Vì hằng số thời gian nạp



Hình 5-6

$\tau=R_iC$  ( $R_i$  là điện trở trong của đi-ốt) rất bé so với  $\tau=RC$ . Như vậy có nghĩa là tụ điện nạp thì rất nhanh mà phóng thì rất chậm, nên sau một vài chu kỳ, điện áp của tụ  $U_c$  có giá trị không đổi và gần bằng trị số biên độ  $U_m$  của điện áp đầu vào  $u_x$ . Giảm dần thời gian điện áp nạp cho tụ như hình 5-6a.

Khi  $u_c$  tăng thì điện áp hạ trên điốt giảm:  $u_a=u_x-u_c$ : đèn tách sóng có thiên áp tự cấp  $U_c$ , nhưng vì  $U_c$  nhỏ hơn  $U_m$  (do sự phóng điện qua  $R$ ), nên trong phần nửa chu kỳ dương, trị số tức thời của  $u_x$  lớn hơn  $U_c$  thì có dòng nạp cho tụ  $C$ . Dòng điện chỉ qua điốt trong một phần nhỏ của chu kỳ, với góc cắt là  $\theta$  (xem hình 5-6b).

Điện áp  $U_c$  trên tụ điện được đo bằng một vôn-mét chỉ thị kim. Trị số này càng gần bằng  $U_m$  của điện áp  $u_x$  khi góc cắt  $\theta$  càng nhỏ. Từ hình 5-6b:

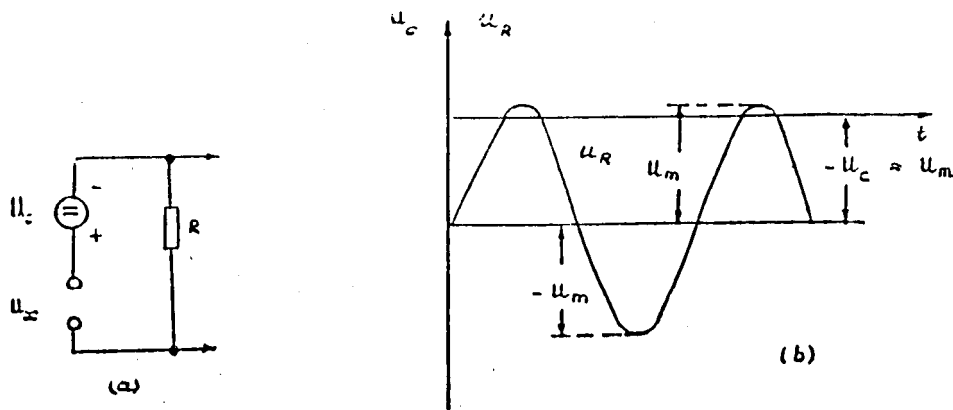
$$U_c \approx U_m \sin(90^\circ - \theta) = U_m \cos \theta.$$

Theo lý thuyết tách sóng đi-ốt, ta có quan hệ giữa góc cắt  $\theta$  và các thông số của mạch:

$$\theta = \sqrt{3\pi \frac{R_i}{R}} \quad (12)$$

Trong đó,  $R_i$  là điện trở của đi-ốt,  $R$  là điện trở tải. Từ (12) ta thấy là: muốn  $U_c=U_m$  thì  $\theta=0$ , điều này thực tế là không đạt được, vì  $R_i \neq 0$  và  $R \neq \infty$ . Song nếu có  $\frac{R_i}{R}$  càng bé thì càng tốt, nên trong mạch tách sóng đỉnh thường chọn điốt có  $R_i$  bé.

Cũng cần chú ý là khi mắc nối tiếp với điốt một điện trở phụ nào đó thì tác dụng cũng như tăng  $R_i$ . Do vậy, khi tính toán sai số đo thì dùng công thức (12) trên phải cộng



Hình 5-7

thêm  $R_i$  với điện trở ra của nguồn điện áp cần đo. Muốn giảm  $\frac{R_i}{R}$  bằng cách tăng  $R$  lớn

lên quá cũng không được, vì như vậy là làm tăng hằng số thời gian phóng  $\tau_p$ , bộ tách sóng trở thành có quán tính, khi giảm điện áp ở đầu ra thì điện áp ở trên tụ vẫn không biến đổi kịp. Khuyết điểm này cũng tương tự như khi mạch tách sóng dùng tụ  $C$  có trị số quá lớn, vì như vậy đã làm tăng hằng số  $\tau_p$  và  $\tau_n$ .

Nếu điện áp đo là điện áp có dạng không điều hoà,  $u_x = U_0 + U_m \sin \omega t$ , có cả thành phần một chiều và thành phần xoay chiều, thì điện áp mà đồng hồ đo được không phải chỉ là  $U_m$  mà còn có cả  $U_0$  của  $u_x$ , vì mạch vào của bộ tách sóng này là mạch vào mở.

Ta lại xét mạch tách sóng đỉnh có mạch vào như hình 5-5b. Giả sử điện áp đo có dạng điều hoà  $u_x = U_m \sin \omega t$ . Khi ứng với nửa chu kỳ dương thì tụ  $C$  được nạp qua đi-ốt, sau một vài chu kỳ, trị số của điện áp nạp gần bằng trị số  $U_m$ . Điện trở  $R$  lớn, nên hằng số thời gian phóng lớn, do vậy  $U_c$  biến đổi ít và coi như là không đổi. Ta có thể coi tụ  $C$  được nạp điện như một nguồn điện áp một chiều  $U_c \approx U_m$ . Mạch tương đương của bộ tách sóng mạch vào đóng như hình 5-7a.

Điện áp trên tải  $R$  của bộ tách sóng:

$$u_R = u_x - U_c = U_m \sin \omega t - U_c$$

Khi điện áp  $u_x$  đạt giá trị cực đại dương, thì  $u_R \approx 0$ . Khi  $u_x$  đạt giá trị cực đại âm, thì  $u_R \approx -2U_m$ , vì  $U_c \approx U_m$  (hình 5-7b). Như vậy, điện áp xung hạ trên  $R$  có thể đo trực tiếp bằng đồng hồ từ điện. Giữa tải  $R$  và vôn-mét chỉ thị kim có đặt bộ lọc, để chỉ cho qua thành phần một chiều  $U_c$  của điện áp xung, đồng hồ chỉ thị được giá trị  $U_c \approx U_m$ .

Khi đo điện áp không có thành phần một chiều thì bộ tách sóng có mạch vào mở và mạch vào đóng cùng cho kết quả như nhau. Điện áp trên tụ  $C$  đều rất gần bằng  $U_m$  và trị số chỉ của vôn-mét tỷ lệ với biên độ của điện áp đo.

Trường hợp bộ tách sóng mạch vào đóng khi đưa vào là điện áp xung, thì nó chỉ tác động với biên độ của thành phần xoay chiều, và trị số chỉ của vôn-mét tỷ lệ với biên độ này. Nếu điện áp  $u_x$  bao gồm cả thành phần một chiều  $U_0$ ,  $u_x = U_0 + U_m \sin \omega t$ , thì tụ  $C$  được nạp điện áp lớn hơn  $U_0$ , tức là  $U_c = U_0 + U_m$ . Tất nhiên, cực tính của điện áp trên tụ  $C$  nạp với điện áp một chiều ( $-U_0$ ) thì ngược với thành phần điện áp một chiều  $U_0$ . Nếu trên tải  $R$ , tổng đại số của hai điện áp này bằng không, nên hầu như vôn-mét không có tác động đối với thành phần  $U_0$  của điện áp đầu vào.

Điện trở vào của hai bộ tách sóng mạch vào đóng và mạch vào mở thì không giống nhau. Như chúng ta đã biết, ở các giáo trình nguyên lý kỹ thuật điện tử, điện trở vào của bộ tách sóng nối tiếp (mạch vào mở), được tính bằng:

$$R_{vm} \approx \frac{R}{2k} \quad (13)$$

và điện trở vào của bộ tách sóng song song (mạch vào đóng):

$$R_{vm} \approx \frac{R}{2k+1} \quad (14)$$

Trong đó, k-hệ số truyền đạt của bộ tách sóng;

R điện trở tải của bộ tách sóng.

Với chế độ công tác của bộ tách sóng dùng trong các vôn-mét điện tử thì  $k \approx 1$ , nên ta có:

$$R_{vm} \approx \frac{R}{2} \quad (15)$$

và

$$R_{vd} \approx \frac{R}{3} \quad (16)$$

Với các loại vôn-mét điện tử có khối tách sóng là khối đầu tiên, thì trở kháng vào của bộ tách sóng cũng chính là trở kháng vào của vôn-mét. Các bộ tách sóng của các vôn-mét này thường là loại mạch vào đóng. Khi trị số điện áp đo đưa vào đủ lớn (khoảng một vôn), thì bộ tách sóng đó được coi là tách sóng đỉnh, vì hiệu ứng tách sóng được thực hiện ở phần đường thẳng của đặc tuyến đi-ốt. Nếu điện áp đo có trị số bé hơn thì không còn là tách sóng đỉnh, vì đoạn đặc tuyến tách sóng khi trường hợp bé có dạng bậc hai.

Hai mạch tách sóng ta đã xét ở trên (hình 5-5) là chỉ đo được trị số đỉnh của điện áp có cực tính dương. Muốn điện áp có cực tính âm, thì nếu dùng hai mạch trên, ta phải đảo ngược cách mắc các đi-ốt, (đổi vị trí mắc giữa cực n và cực p).

## 2. Tách sóng hiệu dụng

Tách sóng hiệu dụng là biến đổi điện áp xoay chiều thành dòng điện một chiều tỷ lệ với bình phương trị số hiệu dụng của điện áp đo.

Ta có biểu thức xác định trị số điện áp hiệu dụng như công thức (1). Như vậy, bộ tách sóng này phải bao gồm ba phần tử để thực hiện được ba thao tác: bình phương, lấy trị trung bình, và khai căn.

Phần tử tách sóng có dạng đặc tuyến bậc hai để thực hiện quan hệ giữa điện áp ra và điện áp vào là quan hệ bình phương. Phần tử làm nhiệm vụ lọc ở đầu ra của mạch

tách sóng, để lấy trị trung bình, tức thành phần một chiều của điện áp từ phân tử tách sóng đưa ra. Phân tử chỉ thị là đồng hồ đo điện áp một chiều; khi khắc độ vôn-mét này thực hiện cả phép khai căn bậc hai.

Như vậy, đặc điểm của bộ tách sóng này là cần có một phân tử tách sóng có dạng đặc tuyến bậc hai (còn gọi là tách sóng bình phương). Ta sẽ xét kỹ hơn nữa phân tử này.

Nói chung, phương trình biểu thị dạng đặc tuyến tách sóng là:

$$i = \alpha u + \beta u^2 \quad (17)$$

Nếu như đưa vào bộ tách sóng điện áp đo là điện áp biến đổi có chu kỳ nhưng có dạng phức tạp:

$$u_x = \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \sin k\omega t$$

thì dòng điện tách sóng được xác định qua đặc tuyến vôn-ampe như (17) là:

$$i = \alpha(U_{m1}\sin\omega t + U_{m2}\sin 2\omega t + \dots) + \beta(U_{m1}\sin\omega t + U_{m2}\sin\omega t + \dots)^2 \quad (18)$$

Thực hiện các biến đổi lượng giác cần thiết, ta có thể tính riêng thành phần một chiều của dòng tách sóng.

Muốn đo thành phần dòng điện một chiều thì dùng một micro ampe-mét mắc song song với một tụ điện. Dòng điện này bằng:

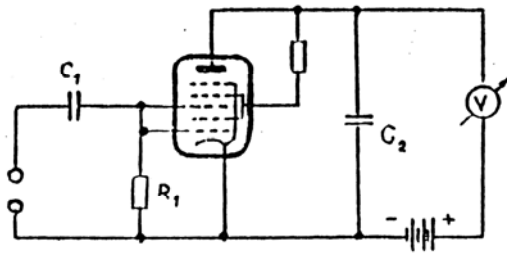
$$i_0 = \frac{1}{2} \beta \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk}^2 \quad (19)$$

Trong đó, có thể thay  $U_{mk} = U_k \sqrt{2}$  và  $\sum U_k^2 = U^2$ , nên có:

$$i_0 = \beta U^2$$

Từ kết quả trên ta thấy là: dòng điện tách sóng tỷ lệ với bình phương của trị số điện áp hiệu dụng, nó không phụ thuộc vào dạng của điện áp đo. Do đó, với các vôn-mét có tách sóng loại này, được khắc độ theo trị số hiệu dụng của điện áp hình sin thì đều có thể dùng để đo các trị số hiệu dụng của các điện áp có dạng phức tạp khác.

Về cấu tạo, để thực hiện tách sóng bình phương, có thể dùng các biện pháp như đặc tuyến tách sóng chọn dùng là phần đầu của đặc tuyến vôn-ampe của đi-ốt. Các đặc tuyến này thường có dạng rất gần bậc hai. Song hiện nay, các biện pháp này hầu như rất ít dùng, do chúng có các nhược điểm là đoạn này thường ngắn; khi thay đèn thì chúng khác nhau làm cho sự khắc độ vôn-mét bị sai đi; cũng như còn phải chú ý nhiều đến vấn đề chọn điểm công tác. Biện pháp khác được thực hiện nhiều hơn là đèn nhiều cực, với phương thức tách sóng anốt. Khi đưa vào hai lưới của đèn nhiều cực cùng một điện áp

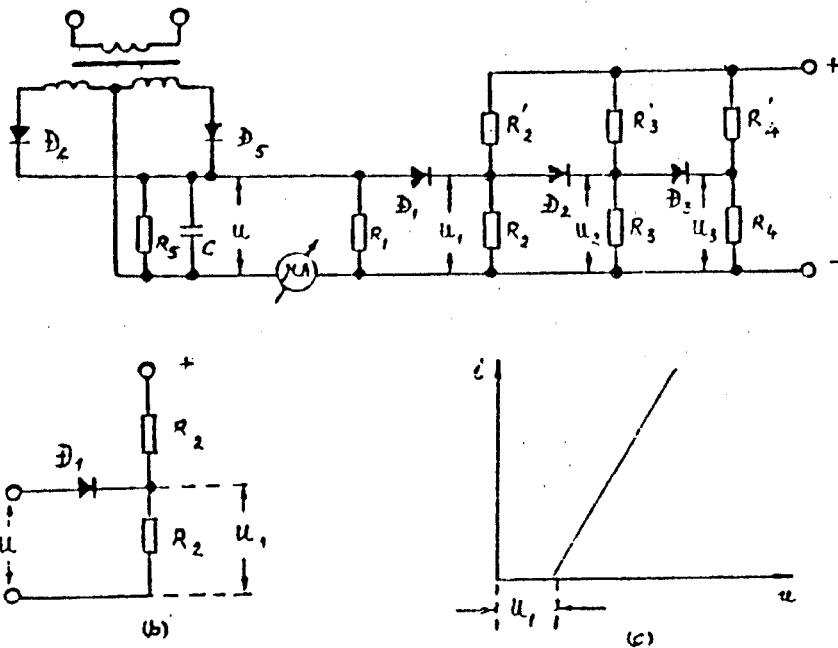


Hình 5-8

thì quan hệ giữa dòng anốt và điện áp này sẽ gần là quan hệ bình phương. Ví dụ mạch tách sóng bằng đèn nhiều cực như hình 5-8.

Một biện pháp khác cũng được dùng nhiều là tách sóng thực hiện bởi đặc tuyến gần đúng bậc hai hình thành bởi các đường gãy thẳng. Cách tạo

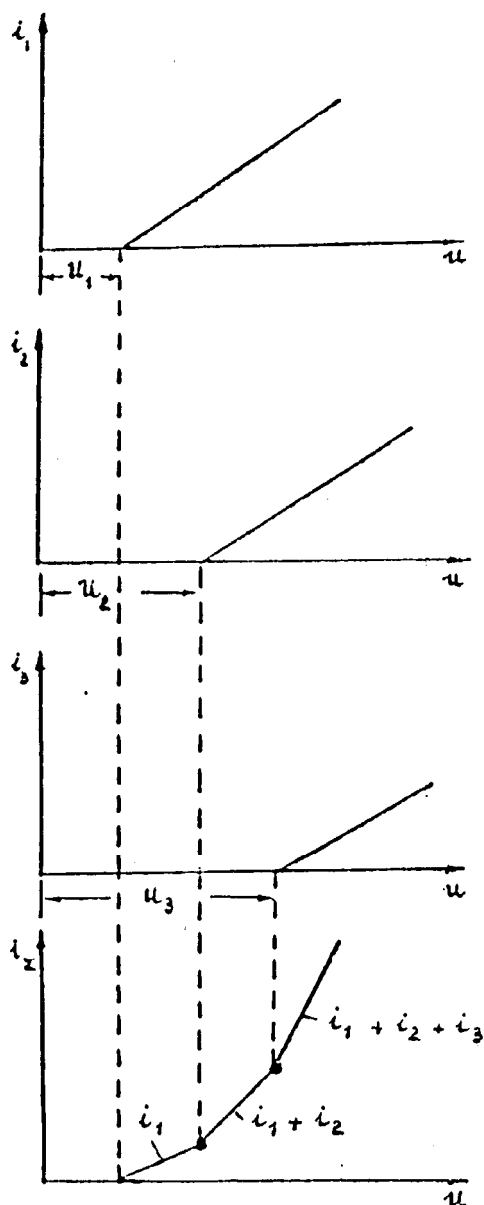
đường này thực hiện bằng cách mắc nối tiếp các mắt diốt với nhau. Một trong các kiểu mắc mạch tách sóng này như hình 5-9a. Các mắt diốt là bộ phận bên phải của hình 5-9; mỗi mắt gồm một diốt và bộ phân áp, bằng hai điện trở (hình 5-9b).



Hình 5-9

Để đơn giản vấn đề xét, giả sử diốt có điện trở thuận  $R_m=0$ , và điện trở ngược  $R_{ng}=\infty$ . Như vậy, sẽ không có dòng điện qua diốt khi điện áp đặt vào diốt bé hơn điện áp khoá của diốt (hình 5-9c). Các mắt được mắc nối tiếp với nhau bằng các phân áp, thì điện trở của chúng được cấu tạo sao cho có trị số điện áp khoá của một diốt sẽ lớn hơn cũng trị số điện áp này của diốt trước nó. Với mạch trên thì có:  $U_1 < U_2 < U_3$ . Như vậy, đặc tuyến vôn-ampe của tất cả các mắt sẽ có dạng gần như nửa đường parabol (hình 5-10).

Khi  $u(t) < U_1$ , thì  $D_1$ ,  $D_2$  và  $D_3$  tắt, dòng điện tách sóng bởi bộ tách sóng kiểu chỉnh lưu hai pha, qua điện trở  $R_1$ . Khi  $U_1 < u(t) < U_2$ , thì chỉ có dòng  $i_1$  chạy trong mạch gồm:



Hình 5-10

nguồn - điốt  $\mathcal{D}_1$  - điện trở  $R_2$  - đồng hồ chỉ thị - nguồn. Khi  $U_2 < u(t) < U_3$  thì có dòng  $i_1$  và  $i_2$  qua  $\mathcal{D}_1$  và  $\mathcal{D}_2$  và dòng tổng  $i_1$  và  $i_2$  qua đồng hồ chỉ thị. Khi  $U_3 < u(t)$  thì dòng điện qua đồng hồ chỉ thị là  $i_\Sigma = i_1 + i_2 + i_3$ .

Nếu như số mắt điốt càng tăng, thì đặc tuyến càng gần đúng dạng bậc hai.

Nếu cần đo trị số hiệu dụng của điện áp có dạng phức tạp, trong đó có cả thành phần một chiều, thì phải dùng bộ tách sóng có đặc tuyến bậc hai và không có thành phần bậc nhất, nghĩa là có dạng  $i = \beta U^2$  và có mạch vào mở. Thêm nữa là từ nguồn tín hiệu đo tới đầu vào của bộ tách sóng phải không có các phần tử ngăn cách thành phần một chiều như tụ điện, biến áp....

Như vậy, vôn-mét điện tử có tách sóng bình phương là một loại vôn-mét điện tử hiệu dụng, nó có thể đo được trị số hiệu dụng của điện áp có dạng phức tạp. Đó là một đặc điểm, cũng giống như các loại vôn-mét hiệu dụng khác: vôn-mét điện tử, vôn-mét nhiệt điện, vôn-mét tĩnh điện... . Tất nhiên, loại vôn-mét điện tử này thì có dải tần số công tác rộng hơn nhiều.

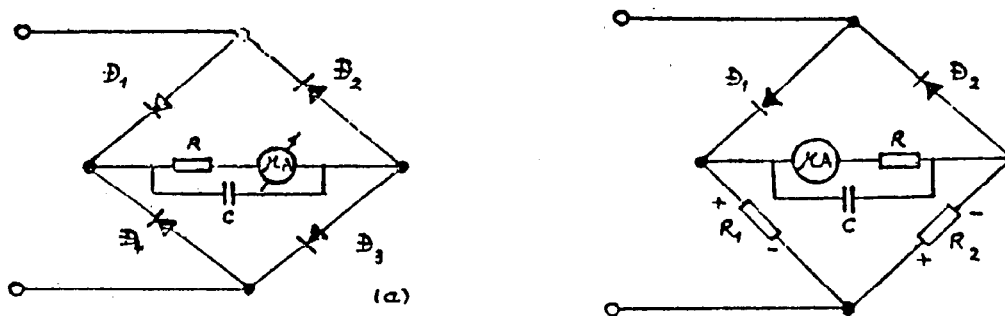
### 3. Tách sóng trung bình

Tách sóng trung bình là biến đổi điện áp xoay chiều thành dòng điện một chiều tỷ lệ với trị số trung bình của điện áp đo. Bộ tách sóng thường dùng là bộ chỉnh lưu điện áp một nửa

chu kỳ hay hai nửa chu kỳ mắc theo kiểu cầu. Đồng hồ chỉ thị thường là đồng hồ từ điện. Gọi là bộ chỉnh lưu điện áp vì phần đặc tuyến của phần tử tách sóng làm việc là phần đường thẳng. Khi đó trị số điện áp chỉnh lưu được thì tỷ lệ với trị số trung bình của điện áp đo.

Như vậy, điện áp đưa vào bộ tách sóng phải đủ lớn, để nó làm việc ở phần đường thẳng của đặc tuyến. Nếu điện áp nhỏ thì phần đặc tuyến làm việc là phần đầu, thường có dạng bậc hai.

Các phần tử tách sóng trung bình thường được dùng nhiều hơn cả là các điốt Ge và điốt Si, vì chúng có nhiều ưu điểm hơn điốt ô-xít đồng hay đèn điện tử.



Hình 5-11

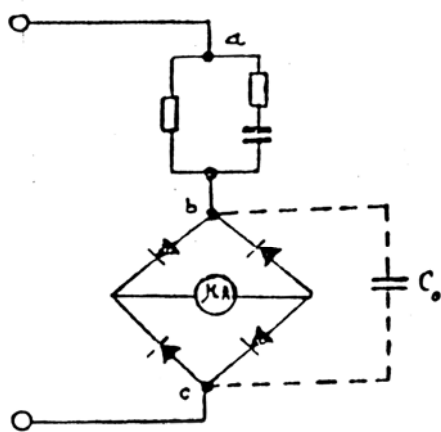
Các mạch tách sóng trung bình thông dụng nhất thường là mạch kiểu cầu.

Nguyên lý làm việc của mạch này như sau:

Mạch hình 5-11a: dòng điện đi qua đồng hồ chỉ thị trong cả hai nửa chu kỳ đều theo cùng một chiều. Trong nửa chu kỳ dương, có dòng qua  $\text{Đ}_1$ , đồng hồ và  $\text{Đ}_3$ ; ở trong nửa chu kỳ âm dòng qua  $\text{Đ}_4$ , đồng hồ và  $\text{Đ}_2$ . Độ lệch kim của đồng hồ micro ampe khi dùng phân đường thẳng của đặc tuyến tách sóng tỷ lệ với trị số trung bình của điện áp đầu vào của bộ tách sóng.

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (20)$$

(Trị số này khi điện áp có dạng khác nhau thì khác nhau).



Hình 5-12

Mạch hình 5-11b: Nửa chu kỳ dương, dòng điện qua  $\text{Đ}_1$  và điện trở  $R_1$ , sinh ra hạ áp trên  $R_1$  và điện áp này được đo bằng vôn-mét gồm bởi micro ampe-mét và điện trở phụ  $R$ , (ở nửa chu kỳ này, điện áp trên  $R_2$  là gần bằng không). Sang nửa chu kỳ âm, dòng điện qua  $R_2$  và  $\text{Đ}_2$ , vôn-mét lại đo điện áp trên  $R_2$ .

Dải tần số công tác của các vôn-mét có tách sóng trung bình phụ thuộc chủ yếu vào loại phần tử chỉnh lưu chọn dùng, mà cụ thể là điện dung bản thân của các phần tử đó. Để mở rộng dải tần số công tác thì người ta thường mắc thêm vào mạch tách sóng bộ phận bù tần số, ví dụ hình

5-12. Trong mạch này, điện trở phụ  $R$  được nối song song với mạch bù tần số  $R_1C_1$ . Khi

tần số của điện áp đo tăng, thì trở kháng giữa hai điểm a, b giảm; cũng như trở kháng của bộ chỉnh lưu giữa hai điểm b, c bị giảm do điện dung bản thân  $C_0$  gây nên. Do vậy sự phân bố điện áp trên các phần ab và bc là không đổi khi tần số điện áp đo thay đổi.

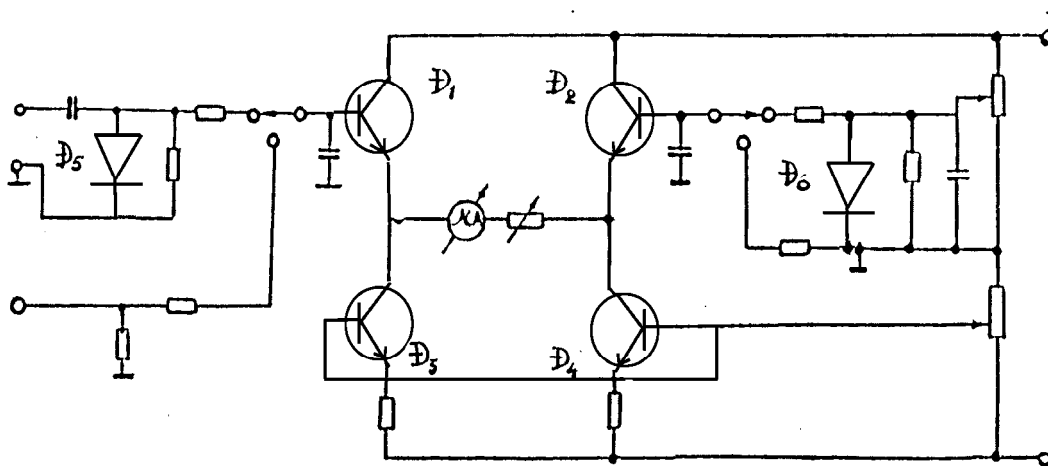
Điện trở vào của các vôn-mét loại tách sóng trung bình này tùy thuộc vào cấu tạo của đồng hồ đo điện trở phụ của mạch tách sóng và thay đổi theo điện áp đo. Ví dụ, nếu dòng điện làm kim đồng hồ lệch hết thang đo là 1mA khi điện áp đo là 1V, thì điện trở vào là  $1000\Omega$ . Khi cần đo điện áp lớn hơn, cần phải mắc thêm điện trở phụ, để sụt bớt phần điện áp lớn hơn 1V, như vậy, điện trở vào cũng tăng lên. Để cho thuận tiện, người ta dùng thứ nguyên  $\Omega/V$  để biểu thị điện trở vào của vôn-mét.

Các bộ tách sóng trung bình thì thường được dùng ở các vôn-mét đo điện áp ở tần số thấp (khoảng vài chục kHz), để đo các điện áp có trị số lớn. Ví dụ như các vôn-mét chỉ thị để đo điện áp đầu ra của các thiết bị đo lường như các máy tạo sóng âm tần, máy đo tần số, các cầu để đo thông số mạch điện...

### 5.2.2 Khối khuếch đại trong vôn-mét điện tử

Các bộ khuếch đại trong vôn-mét điện tử có thể là khuếch đại xoay chiều. Vị trí của các bộ khuếch đại trong vôn-mét điện tử được sắp đặt như sơ đồ khối ở các hình 5-4a,b.

Bộ khuếch đại dòng điện một chiều của vôn-mét là khuếch đại công suất. Nhiệm vụ của bộ khuếch đại này là tạo ra một công suất cần thiết tác động lên hệ thống cơ điện điều khiển kim dịch chuyển của bộ phận chỉ thị. Ngoài ra, nó làm nhiệm vụ phối hợp trở kháng giữa các bộ chỉ thị có trở kháng vào nhỏ với trở kháng ra tương đối lớn của bộ tách sóng hay của bộ phân áp.

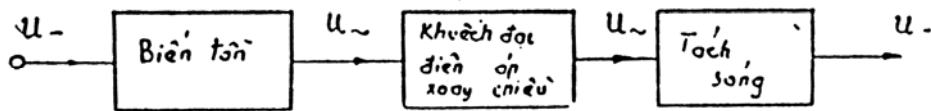


Hình 5-13

Yêu cầu cơ bản đối với bộ khuếch đại một chiều của vôn-mét điện tử là hệ số khuếch đại có độ ổn định cao, ít có hiện tượng trôi điểm làm việc. Mạch khuếch đại một chiều thường gặp nhất trong các vôn-mét điện tử là mạch kiểu cầu có hồi tiếp âm như hình 5-13.

So với mạch khuếch đại dòng điện một chiều kiểu đơn, không đối xứng, thì mạch khuếch đại kiểu cầu có nhiều ưu điểm hơn. Nó có thể điều chuẩn điểm không của thiết bị chỉ thị một cách dễ dàng mà không cần nguồn phụ. Nó làm giảm được hiện tượng trôi vì các biến đổi của điện áp đốt và điện áp emitter của đèn ở hai nhánh mỗi nửa cầu là như nhau. Nó tự động cân bằng được các can nhiễu của tạp âm vào cực B các đèn. Vì có hồi tiếp âm nên nâng cao được độ ổn định công tác và phòng ngừa bớt được các trường hợp gây quá tải. Hơn nữa, đặc tuyến khuếch đại của nó lại thẳng trong một dải tương đối rộng.

Trong các mili vôn-mét một chiều, vì yêu cầu phải khuếch đại trường hợp một chiều rất nhỏ, và để tránh hiện tượng trôi, nên bộ khuếch đại ở đây thường được thực hiện như sơ đồ khối 5-14. Bộ khuếch đại một chiều này thực hiện biến đổi điện áp một chiều thành điện áp xoay chiều, rồi khuếch đại điện áp xoay chiều, sau đó lại tách sóng lấy ra điện áp một chiều. Bộ biến tần ở đây thực hiện biến điện áp một chiều thành điện áp xoay chiều, có biên độ tỷ lệ với độ lớn và pha tùy thuộc vào dấu của điện áp một chiều. Sau khi khuếch đại xoay chiều với hệ số khuếch đại cần thiết, thì tín hiệu được tách sóng. Bộ tách sóng ở đây là bộ tách sóng nhạy pha, sẽ tách ra điện áp một chiều có dấu sao cho tương ứng với điện áp một chiều ở đầu vào bộ khuếch đại. Như vậy bộ khuếch đại này tránh được hiện tượng trôi điểm làm việc mà đó là một nhược điểm chủ yếu của khuếch đại một chiều.



Hình 5-14

Bộ khuếch đại điện áp xoay chiều trong các vôn-mét điện tử cần có các chỉ tiêu kỹ thuật như: hệ số khuếch đại ổn định, độ nhạy cao, độ méo không đường thẳng nhỏ, dải thông tần rộng. Để đảm bảo các tính năng trên, các bộ khuếch đại điện áp xoay chiều thường thực hiện phản hồi âm. Tất nhiên, như vậy sẽ làm cho hệ số khuếch đại giảm, nên khi phải thực hiện khuếch đại nhiều tầng, thường dùng là ba tầng hay sáu tầng khuếch đại. Mỗi tầng có phản hồi, và trong mỗi nhóm ba tầng cũng lại có phản hồi nữa.

Ở một vài loại vôn-mét điện tử, muốn cho độ lệch của kim chỉ thị tỷ lệ với lôgarit điện áp đo, tức là muốn cấu tạo thang khác độ là đường thẳng theo đơn vị đề-xi-ben, thì

người ta thường giải quyết quan hệ khắc độ đó ở bộ khuếch đại. Bộ khuếch đại này là bộ khuếch đại lôgarit.

### 5.2.3 Khối chỉ thị bằng kim

Bộ chỉ thị bằng kim dùng trong các vôn-mét điện tử là micro ampe-mét từ điện, có giới hạn đo khoảng 10-1000 $\mu$ A. Sở dĩ hay dùng loại đồng hồ từ điện mà không dùng các loại khác vì đồng hồ từ điện có ưu điểm là có độ nhạy và độ chính xác cao. Dùng loại micro ampe-mét mà không dùng loại mili ampe-mét vì không chỉ để nâng cao độ nhạy mà còn để thoả mãn có dòng điện nhỏ trong mạch khuếch đại một chiều, đặc biệt là loại mạch cầu.

Bộ chỉ thị dùng trong các kilôvôn-mét xung thường là vôn-mét tĩnh điện. Nó được mắc song song với tụ C của bộ tách sóng có mạch vào mở.

Các bộ chỉ thị của vôn-mét được khắc độ theo đơn vị vôn (hay các ước số, bội số của vôn: micro, mili, kilô). Các giới hạn của thang khắc độ thường lấy theo quan hệ:

$$U=a.10^n$$

Trong đó: a là một trong các số: 1; 1,5; 2; 3; 5;

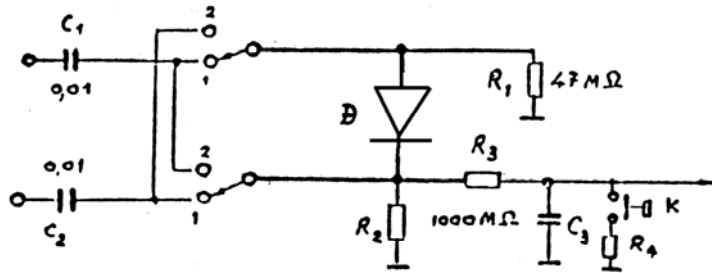
n là số nguyên, có thể bằng không.

Trị số khắc độ của hầu hết các vôn-mét là trị số hiệu dụng của điện áp có dạng hình sin. Với các vôn-mét đo điện áp đỉnh, thì trị số khắc độ theo trị số đỉnh hay bằng 0,707 của trị số đỉnh. Trường hợp điện áp đo là điện áp hình sin thì 0,707 của trị số đỉnh là trị số hiệu dụng. Song nếu điện áp đo có dạng khác thì nó sẽ không bằng trị số hiệu dụng.

### 5.2.4 Vôn-mét đo điện áp xung

Vôn-mét dùng để đo biên độ của điện áp xung có chu kỳ là vôn-mét có tách sóng đỉnh và khắc độ của thang đo theo trị số đỉnh. Cấu tạo sơ đồ khối của các vôn-mét này cũng bao gồm các khối cơ bản như vôn-mét điện tử chỉ thị bằng kim (hình 5-4a) là: Tách sóng-khuếch đại dòng điện một chiều-thiết bị chỉ thị kim. Nguyên lý công tác của vôn-mét này cũng không khác nguyên lý công tác của vôn-mét tách sóng đỉnh đo điện áp điều hoà. Song để đo được trị số đỉnh của điện áp xung thì bộ tách sóng của vôn-mét xung cấu tạo có khác và cũng chỉ khác vôn-mét đo điện áp điều hoà ở khối tách sóng. Hình 5-15 là một ví dụ khối tách sóng của một vôn-mét đo xung thị tần. Nguyên lý làm việc của mạch này sẽ xét sau đây.

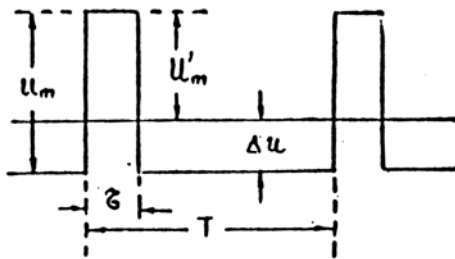
Khi chuyển mạch ở vị trí 1 như hình vẽ 5-16, thì vôn-mét đo biên độ xung dương. Khi đưa xung dương vào, Đ thông, hai tụ  $C_1$  và  $C_2$  được nạp điện. Khi hết xung, tức là



Hình 5-15

sang thời gian nghỉ giữa hai xung, tụ  $C_1$  phóng nhanh qua  $R_1$ , còn tụ  $C_2$  thì phóng rất ít qua  $R_2$  vì hằng số thời gian của nó lớn ( $C_2 R_2 \gg C_1 R_1$ ). Với xung tiếp theo, tụ  $C_2$  lại được nạp thêm nữa, cứ thế cho tới khi điện áp trên  $C_2$  gần bằng trị số biên độ của xung. Điện áp một chiều hạ trên  $R_2$  được lọc qua bộ lọc  $R_3 C_3$  và đưa tới bộ chỉ thị của vôn-mét.

Muốn đo biên độ xung âm, thì chuyển mạch đặt ở vị trí 2; vì khi đó tụ  $C_2$  phóng điện nhanh qua  $R_1$ , còn tụ  $C_1$  lại được nạp tới trị số biên độ của xung. Để có thể chuyển nhanh từ phép đo này sang phép đo khác, thì dùng khoá K để tụ phóng nhanh qua  $R_4$ .



Hình 5-16

Với phương pháp đo điện áp xung như mạch trên, thì chỉ đo được  $U'_m$ , tức là giá trị biên độ vượt hơn giá trị trung bình (hình 5-16). Như vậy, phép đo đã phạm phải một sai số là:  $\Delta U = U_m - U'_m$ . Sai số này là sai số phương pháp, nghĩa là do phương pháp mà có sai số. Để sai số đo không lớn hơn giá trị cho phép, thì các thông số của điện áp xung đo bằng vôn-mét này phải được xác định. Độ rộng cực tiểu của xung đo thì tùy thuộc vào thời gian nạp của tụ

$C_1$  và  $C_2$ . Hệ số khoảng trống cực tiểu của xung thì tùy thuộc vào mức độ sai số phương pháp cho phép. Từ hình 5-16 ta có:

$$\frac{\Delta U}{U_m} = \frac{\tau}{T} = \frac{1}{q} \quad (21)$$

Ở đây,  $q = \frac{T}{\tau}$  là hệ số khoảng trống.

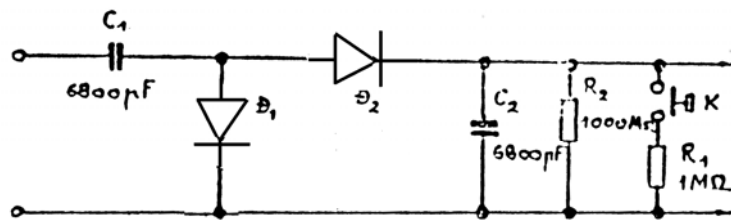
Ví dụ: sai số cho phép bằng  $\frac{\Delta U}{U_m} = 20\%$ , thì  $q$  cực tiểu cho phép phải bằng 50.

Hệ số khoảng trống cực đại của xung lại tùy thuộc vào thời gian phóng điện của tụ. Tuy rằng hệ số khoảng trống càng lớn thì sai số phương pháp càng giảm, song sai số do nguyên nhân khác lại xuất hiện, vì điện áp trên tụ giảm là do tụ điện phóng trong thời gian nghỉ giữa hai xung.

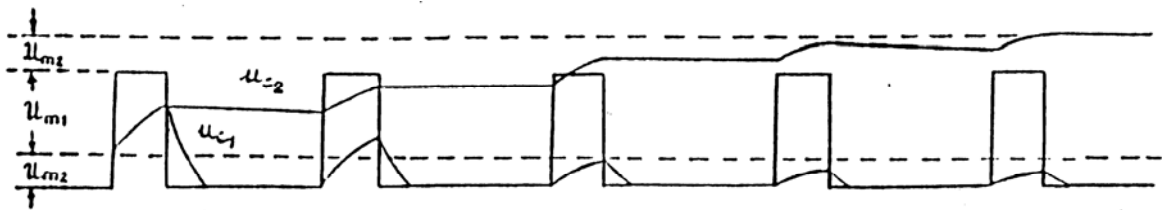
Như vậy, các thông số của điện áp xung:  $\tau_{\min}$ ,  $q_{\min}$  và  $q_{\max}$  là các điều kiện chỉ tiêu đo lường của loại vôn-mét có mạch tách sóng như trên.

Để giảm được sai số trên, nghĩa là loại bỏ đi quan hệ phụ thuộc giữa trị số chỉ thị của vôn-mét với hệ số khoảng trống của điện áp xung đo, thì người ta còn dùng cách mắc thêm ở đầu vào bộ tách sóng đỉnh một bộ ghim điện áp để hồi phục lại thành phần một chiều của điện áp.

Một ví dụ mạch tách sóng của vôn-mét xung khác dùng biện pháp trên, có thể đo được toàn thể biên độ xung từ đỉnh dưới đến đỉnh trên như hình 5-17.



Hình 5-17



Hình 5-18

Nếu như đưa vào đầu vào mạch tách sóng này điện áp xung có chu kỳ với biên độ dương  $U_{m1}$  và âm  $U_{m2}$  như hình 5-18, thì điện áp ở đầu ra bộ tách sóng là  $U_{m1} + U_{m2}$ . Nguyên lý công tác của mạch này là: Khi có xung dương thứ nhất có biên độ  $U_{m2}$  thì  $C_1$  và  $C_2$  được nạp tới trị số  $\frac{U_{m1}}{2}$ , vì  $C_1 = C_2$ ,  $D_2$  thông và  $D_1$  tắt. Như vậy sau phần xung dương thì điện áp trên các tụ là:

$$u_{c1} = u_{c2} = \frac{U_{m1}}{2}$$

Khi chuyển sang phần xung âm có biên độ  $U_{m_2}$ , thì  $\mathcal{D}_1$  thông, vì được đặt lên điện áp bằng:

$$u_{c_1} + U_{m_2} = U_{m_2} + \frac{U_{m_1}}{2}$$

Tụ  $C_1$  phóng điện, và được nạp với cực điện áp ngược lại tới trị số bằng  $U_{m_2} \cdot \mathcal{D}_2$  tắt, vì ở thời điểm ban đầu nó được đặt lên điện áp âm bằng:

$$u_{c_1} + u_{c_2} + U_{m_2} = U_{m_1} + U_{m_2}$$

Trong thời gian này,  $C_2$  phóng điện qua  $R_2$ , song lượng điện tích phóng rất ít, vì hằng số thời gian  $C_2 R_2$  lớn, (với trị số như mạch trên hình 5-17) thì hằng số thời gian bằng 6,8s). Vì vậy có thể coi  $u_{c_2} = \frac{U_{m_1}}{2}$  không thay đổi.

Sang đến phần chu kỳ xung dương tiếp theo,  $\mathcal{D}_1$  được đặt lên điện áp đo bằng:

$$U_{m_1} + u_{c_1} = U_{m_1} + U_{m_2}$$

và  $\mathcal{D}_2$  được đặt lên điện áp dương bằng:

$$U_{m_1} + u_{c_1} - u_{c_2} = \frac{U_{m_1}}{2} + U_{m_2}$$

Tụ  $C_1$  phóng điện, tụ  $C_2$  lại được nạp một lượng điện áp tăng thêm là:

$$\frac{1}{2} \left( \frac{U_{m_1}}{2} + U_{m_2} \right)$$

còn tụ  $C_1$ :

$$u_{c_1} = U_{m_2} - \frac{1}{2} \left( \frac{U_{m_1}}{2} + U_{m_2} \right) = \frac{U_{m_2}}{2} - \frac{U_{m_1}}{2}$$

(Nếu như  $\frac{U_{m_1}}{2} > U_{m_2}$  thì tụ  $C_1$  được nạp điện với cực tính điện áp ngược lại, như hình 5-18. Nếu như  $\frac{U_{m_1}}{2} < U_{m_2}$  thì tụ  $C_1$  được nạp với cực tính điện áp như cũ).

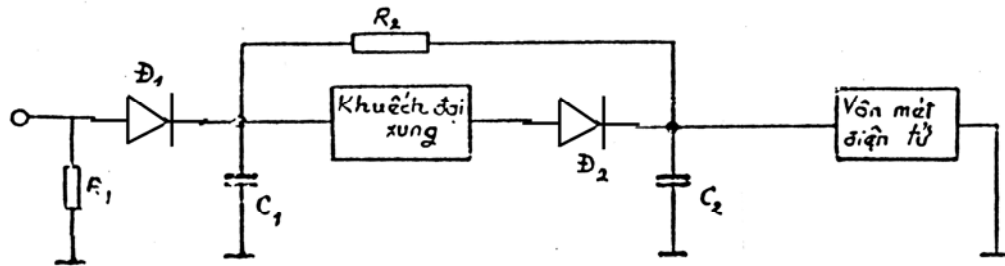
Lại tiếp sang phần xung âm thứ hai, điện áp  $u_{c_2}$  hầu như không đổi còn  $u_{c_1}$  lại trở nên bằng  $U_{m_2}$ .

Quá trình điện áp nạp trên tụ  $C_2$  cứ tiếp tục tăng mãi, sau một số chu kỳ, điện áp trên  $C_2$  sẽ bằng:

$$U_{C_2} = U_{m_2} + U_{m_1}$$

Điện áp này được đưa tới thiết bị chỉ thị là bộ khuếch đại một chiều và sau đó là đồng hồ chỉ thị bằng kim.

Một số vấn đề cần chú ý của vôn-mét xung là khi hệ số khoảng trống  $q$  tăng lên thì gây sai số đo biên độ xung càng nhiều. Nguyên nhân là trong khoảng thời gian có xung, tụ điện của bộ tách sóng chưa được nạp hoàn toàn; trong khoảng thời gian nghỉ giữa hai xung, thì tụ lại có phóng điện. Như vậy, trị số trung bình của điện áp đặt trên tụ trong chu kỳ  $T$  sẽ nhỏ hơn biên độ xung  $U_m$ . Phép đo biên độ xung như vậy có sai số.

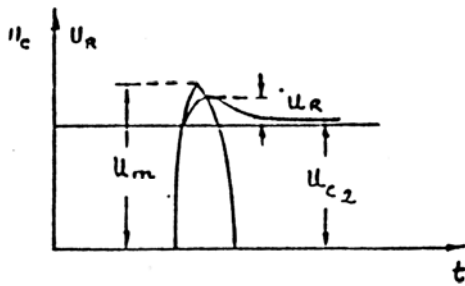


Hình 5-19

Để giảm bớt sai số này, thông thường người ta dùng loại vôn-mét xung kiểu có bù tự động. Hình 5-19 là mạch đơn giản của một kiểu vôn-mét xung bù tự động.

Nguyên lý công tác của loại vôn-mét này là:

Khi có xung có biên độ  $U_m$  đặt ở đầu vào, thì tụ  $C_1$  phóng điện qua  $R_2$  để nạp cho  $C_2$ . Hằng số thời gian phóng điện thì lớn hơn hằng số thời gian nạp điện, vì  $R_2 \gg R_1$  của  $D_1$ . Trên  $R_2$  có điện áp xung biến thiên theo hàm mũ  $u_R$  được khuếch đại qua bộ khuếch đại xung rồi nạp cho tụ  $C_2$  qua đèn  $D_2$ . Điện dung của tụ  $C_2$  có trị số khá lớn (khoảng vài chục micro fara), hệ số thời gian phóng điện của nó lớn, nên điện áp trên  $C_2$  hầu như không bị giảm.



Hình 5-20

Nếu điện áp đặt trên  $C_2$  là  $U_{C_2}$ , thì ở đầu vào bộ khuếch đại xung có điện áp xung biến thiên theo hàm mũ có biên độ được xác định bằng hiệu số điện áp  $U_m - U_{C_2}$  như hình 5-20. Cứ với mỗi xung tiếp theo thì  $U_{C_2}$  lại

tăng,  $u_R$  lại giảm. Sau một chu kỳ xung của điện áp đo thì  $U_{C_2}$  hầu như bằng biên độ xung của điện áp đo  $U_m$ , khi đó chấm dứt quá trình nạp điện của tụ  $C_2$ . Điện áp nạp trên  $C_2$  được đo bằng một vôn-mét điện tử có trở kháng vào rất lớn, (ví dụ vôn-mét dùng đèn tĩnh điện có thể tạo ra được trở kháng vào khoảng  $10^{12} - 10^{14} \Omega$ ). Như vậy, hệ số thời gian mạch phóng của  $C_2$  rất lớn do điện dung  $C_2$  lớn và trở kháng vào của vôn-mét lớn. Do đó, vôn-mét kiểu bù tự động này cho phép đo được biên độ của các xung có chu kỳ mà có hệ số khoảng trống lớn (Ví dụ như người ta đã sản xuất vôn-mét kiểu bù tự động đo được biên độ xung có độ rộng 1 ns, với sai số nhỏ hơn 5%-7%).

## 5.3 CẤU TẠO VÒNG-MÉT ĐIỆN TỬ SỐ

### 5.3.1 Bộ biến đổi tương tự - số (the analog to digital converter)

Trong tất cả các hệ thống đo lường có hai loại tín hiệu cần xử lý: tín hiệu tương tự và tín hiệu số.

Tín hiệu tương tự là loại tín hiệu có một số vô hạn các giá trị không gián đoạn.

Tín hiệu số bao gồm hữu hạn các giá trị.

Trong kỹ thuật đo lường điện tử số, thường phải biến đổi tín hiệu tương tự thành tín hiệu số và ngược lại.

#### ***1. Khái niệm và phân loại***

Bộ biến đổi A-D (tương tự-số) là tất cả mọi thao tác để biến đổi một tín hiệu biến đổi liên tục theo thời gian thành một số hữu hạn trong một hệ thống đã cho.

Thường là khâu nối giữa bộ phận nguồn tin và xử lý tin trong hệ thống đo lường số.

Thông thường, quá trình biến đổi A-D là quá trình:

-*Tạo điện áp chuẩn*: Điện áp chuẩn ví dụ như là tập hợp các giá trị khác nhau của một điện áp ổn định, hay điện áp biến đổi tuyến tính theo thời gian.

-*Thực hiện so sánh*: Điện áp tương tự cần biến đổi với điện áp chuẩn.

-*Tạo mã số*: Thực hiện do bộ đếm xung hay trực tiếp do các khối thuật toán thực hiện.

*Các thông số của bộ biến đổi*

-*Tốc độ biến đổi*.

-*Độ chính xác biến đổi*. Có sai số do nguyên lý biến đổi và sai số do dụng cụ biến đổi.

-*Dải biến đổi*: Biên độ tín hiệu vào từ cực tiểu đến cực đại.

Ngoài ra còn có: độ nhạy, độ tin cậy, khả năng biến đổi nhiều kênh, điện trở vào, kích thước...

#### *Phân loại các bộ biến đổi A-D*

Có nhiều cách phân loại, ở đây chúng ta sẽ chủ yếu hai cách:

-*Theo đại lượng tương tự*: Thời gian -số, điện áp - số ...,

-*Theo thuật toán biến đổi*: Đếm nối tiếp, mã theo từng bit, đếm song song.

Nói chung, khi phân tích mạch cụ thể thì thường phân loại theo đại lượng biến đổi và kết cấu mạch. Khi tổng hợp mạch một cách tổng quát thì theo thuật toán hay phương pháp biến đổi.

***Phương pháp đếm nối tiếp*** (hay còn gọi là phương pháp số) là phương pháp đơn giản nhất, thường được sử dụng trong các thiết bị đo lường số. Ở đây, số lượng tổng số các điện áp chuẩn bằng các bit trễ, dùng để diễn đạt điện áp vào. Nếu số lượng cực đại dùng để mô tả bằng  $n$  thì cũng cần tối đa  $n$  bước để nhận kết quả.

Ví dụ cụ thể: Bộ biến đổi tích phân (Integration) một sườn dốc hay tích phân hai sườn dốc, để biến đổi điện áp-thời gian-xung.

***Phương pháp mã theo từng bit*** (còn gọi là phương pháp trọng số) là phương pháp so sánh gần đúng liên tiếp (Approximation Successive), có bao nhiêu bit trong một từ mã nhị phân thì có bấy nhiêu bước so sánh và bấy nhiêu điện áp chuẩn.

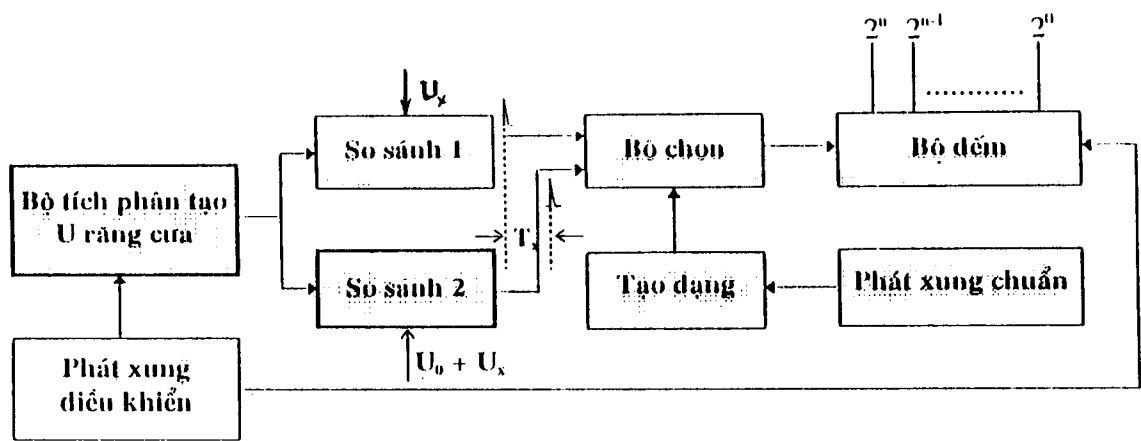
Ví dụ cụ thể: Bộ biến đổi theo phương pháp cân, bộ biến đổi theo mã nhân hai liên tiếp..,

***Phương pháp đếm song song*** hay còn gọi là phương pháp song song hay phương pháp so sánh trực tiếp (Direct Comparison). Điện áp vào được đồng thời so sánh với  $n$  điện áp chuẩn và được xác định xem đang nằm giữa hai mức nào. Loại này cần nhiều bộ sai số, mỗi mức cần một bộ sai số.

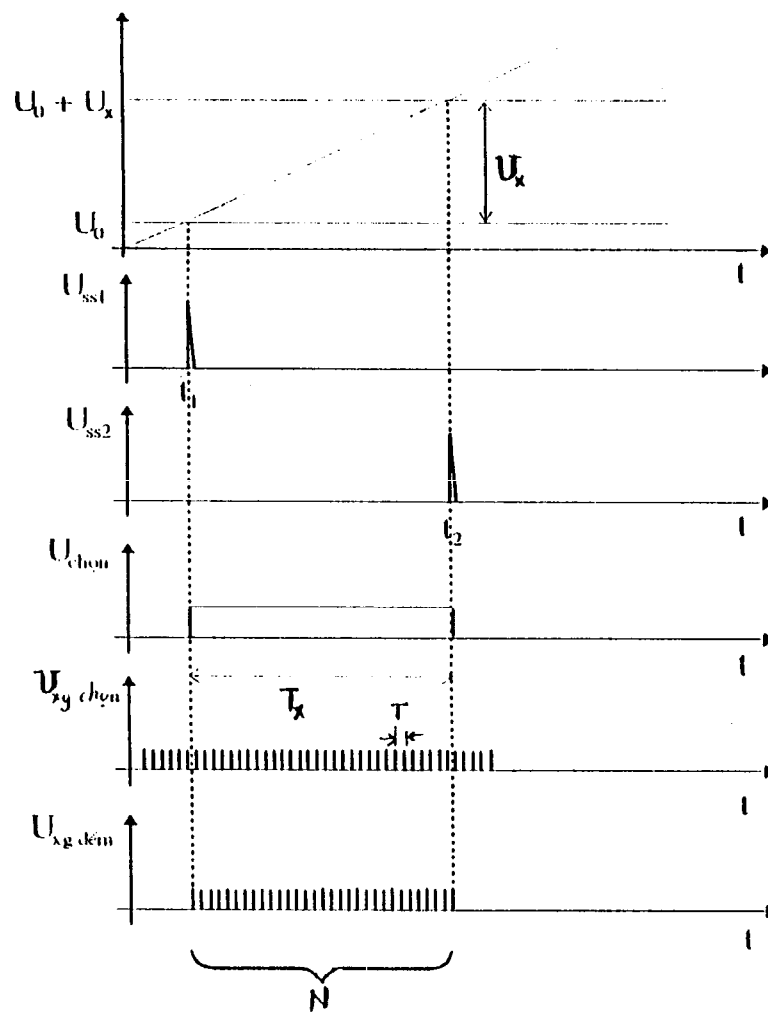
## ***2. Bộ biến đổi dùng phương pháp điện áp răng cưa (bộ biến đổi tích phân một sườn dốc- the integrating, the ramp-type A-D converter)***

Sơ đồ khối như hình 5-21.

Giản đồ thời gian như hình 5-22.



Hình 5-21



Hình 5-22

Nguyên lý làm việc của bộ biến đổi dựa trên việc biểu diễn điện áp vào bằng thời

gian tích phân tỷ lệ với nó.

Bắt đầu chu trình biến đổi, xung điều khiển được phát để khởi động bộ tích phân (tạo điện áp răng cưa), đồng thời xoá bộ đếm về không.

Điện áp tuyến tính đưa vào hai bộ so sánh 1 và 2, có các ngưỡng so sánh khác nhau. Khi biên độ bằng  $U_0$  (thường rất nhỏ), so sánh 1 cho ra một xung mở cửa bộ chọn, khi đó các xung đếm từ bộ phát xung chuẩn qua bộ chọn tới bộ đếm. Khi biên độ điện áp tuyến tính bằng  $U_0 + U_x$ , bộ so sánh 2 cho ra một xung, đóng cửa bộ chọn, bộ đếm ngừng đếm.

Việc so sánh ở mức  $U_0$  đã loại được đoạn phi tuyến ban đầu của điện áp tuyến tính, và bù được sai số của thiết bị sai số gây ra như thời gian trễ.

$$U_x = k \cdot T_x = k \cdot N \cdot T$$

$$k = \frac{dU}{dt} = \text{const}$$

T: chu kỳ xung đếm. Số lượng xung N tỷ lệ với  $U_x$ .

Độ chính xác của bộ biến đổi phụ thuộc nhiều yếu tố, nhưng trong đó đáng kể đến là: Độ tuyến tính của điện áp răng cưa, độ ổn định của tần số xung chuẩn và sự không đồng bộ giữa xung bắt đầu và kết thúc của bộ chọn không trùng hợp với nhịp xung.

### **3. Bộ biến đổi tích phân hai sườn dốc (the dual-slope integrating type A-D converter)**

Phương pháp tích phân hai lần là không chỉ tích phân với điện áp chuẩn mà cả tích phân với điện áp vào cần biến đổi.

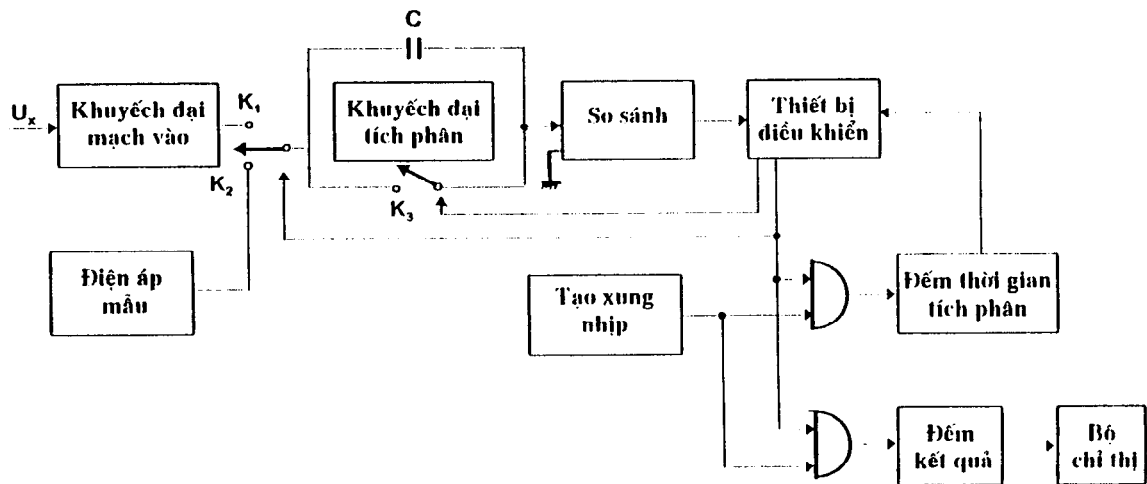
Sơ đồ khối cấu tạo như hình 5-23 và hình vẽ giản đồ thời gian như hình 5-24.

Trong trạng thái nghỉ  $K_3$  đóng,  $K_1$  và  $K_2$  mở, điện áp ra bộ tích phân bằng không. Khi bắt đầu đo,  $K_3$  mở và  $K_1$  đóng, điện áp đo  $U_x$  được tích phân. Thời gian lấy tích phân điện áp vào là quy định, bộ đếm thời gian tích phân đóng vai trò bộ định thời (timer). Cho đến khi phép lấy tích phân kết thúc (khoảng  $T_1$ ), điện áp ra bằng:

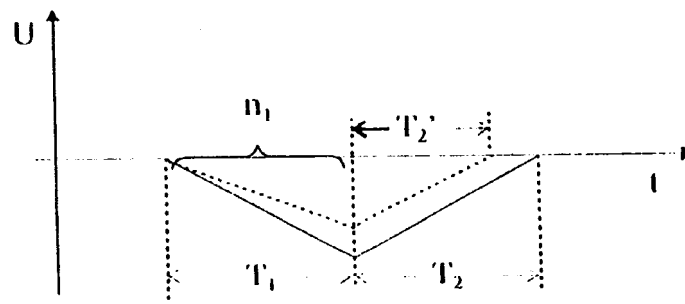
$$U_1(T_1) = -\frac{1}{T} \int_0^{T_1} U_x dt = -\frac{U_x n_1 T}{\tau} \quad (22)$$

$\tau$  là hệ số tích phân RC. Và  $n_1$  là số xung nhịp xác định bởi bộ đếm thời gian tích phân; T là chu kỳ.

Sau khi kết thúc phép đo, để xác định được các giá trị thì  $K_1$  mở,  $K_2$  đóng, điện áp chuẩn được đặt tới bộ tích phân và đặt ngược dấu với điện áp vào. Điện áp ra lại giảm đi như hình 5-24.



Hình 5-23



Hình 5-24

Khoảng thời gian  $T_2$  mà khi đó điện áp ra trở nên bằng không được xác định nhờ bộ so sánh và bộ đếm kết quả.

$$T_2 = n_2 T = \frac{\tau}{U_{ch}} |U_1(T_1)| \quad (23)$$

So sánh (22) và (23) ta có kết quả:

$$n_2 = \frac{U_x}{U_{ch}} n_1 \quad (24)$$

Từ (24) ta thấy là: đặc điểm nổi bật của phương pháp này là tần số nhịp ( $\frac{1}{T}$ ) và hằng số thời gian tích phân  $\tau=RC$  không hề ảnh hưởng tới kết quả đo. Chỉ yêu cầu trong

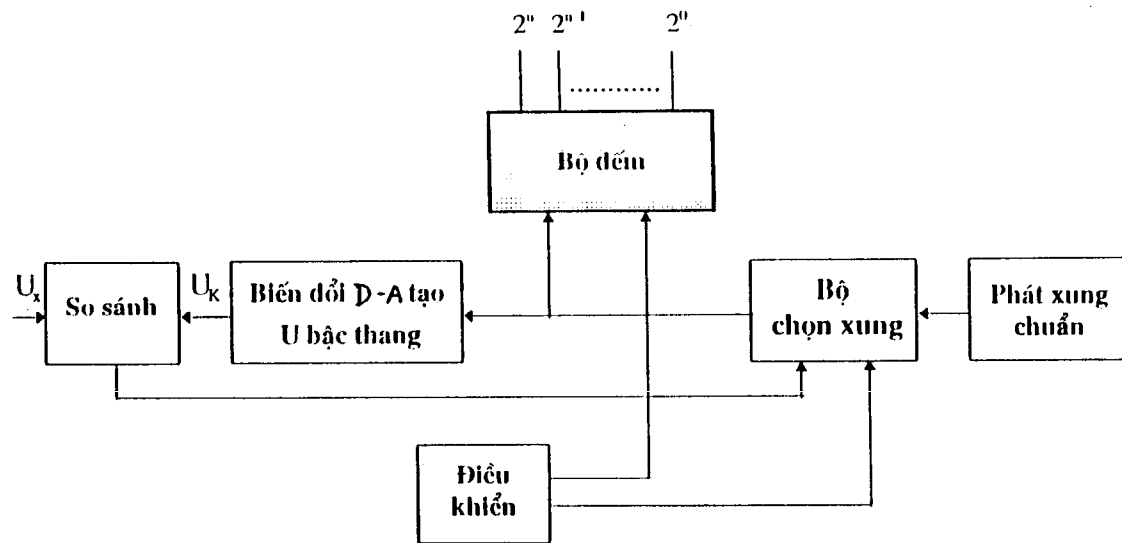
khoảng thời gian biến đổi  $T_1+T_3$  tần số nhịp không thay đổi. Kết quả cuối cùng không hề có giá trị tức thời của  $U_{d0}$  mà chỉ có trị trung bình trong thời gian đo  $T_1$ . Điện áp biến thiên có tần số bằng  $F_1 = \frac{1}{T}$  bị suy giảm hoàn toàn. Vì vậy, nếu chọn tần số nhịp sao cho  $T_1$  bằng hay bằng bội số của tần số điện áp lưới nguồn, thì tất cả các nhiễu do điện áp lưới sẽ bị loại bỏ. Điều này bảo đảm ngay cả khi dùng các bộ tạo nhịp đơn giản.

#### 4. Bộ biến đổi A-D dùng điện áp bậc thang (the staircase-ramp type A-D converter)

##### a. Sơ đồ khối

Sơ đồ khối bộ biến đổi dùng mạch đếm cộng như hình 5-25.

Giản đồ thời gian như hình 5-26.

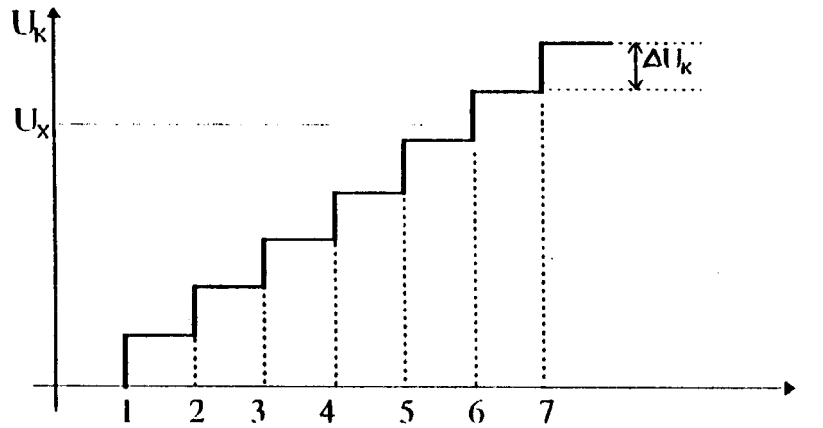


Hình 5-25

Nguyên lý biến đổi là: Bắt đầu chu kỳ biến đổi, thiết bị điều khiển mở cửa bộ chọn xung và xoá bộ đếm về không. Xung từ bộ phát xung chuẩn qua bộ chọn xung đến bộ biến đổi số-tương tự để tạo điện áp tăng từng bậc, và đồng thời đến bộ đếm xung. Bộ tạo điện áp từng bậc làm việc theo nguyên tắc là khi có một xung đưa tới thì điện áp tăng thêm một lượng  $\Delta U_x$ . Cả hai điện áp  $U_d$  và  $U_x$  được đưa vào bộ so sánh.

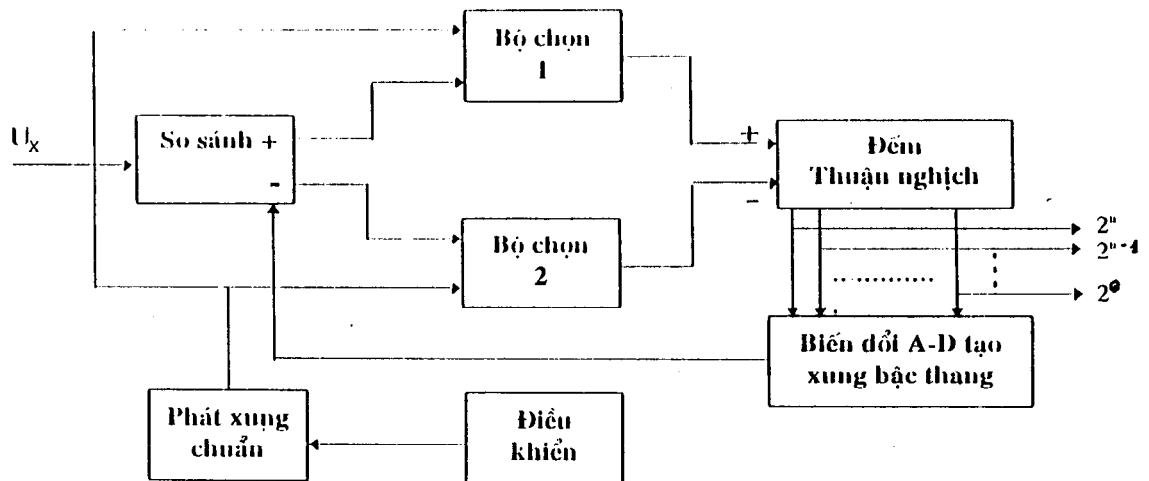
Khi  $U_k \geq U_x$ , thì bộ so sánh đưa ra một xung đóng cả bộ chọn xung, không còn xung đếm đưa tới bộ đếm nữa. Mã số đầu ra của bộ đếm tương ứng với giá trị  $U_x$ .

Độ chính xác của bộ biến đổi này phụ thuộc vào độ ổn định của  $\Delta U_x$  mà không phụ thuộc vào độ ổn định của xung đếm.



Hình 5-26

b. Bộ biến đổi A-D dùng mạch đếm thuận nghịch.



Hình 5-27

Sơ đồ khối như hình 5-27.

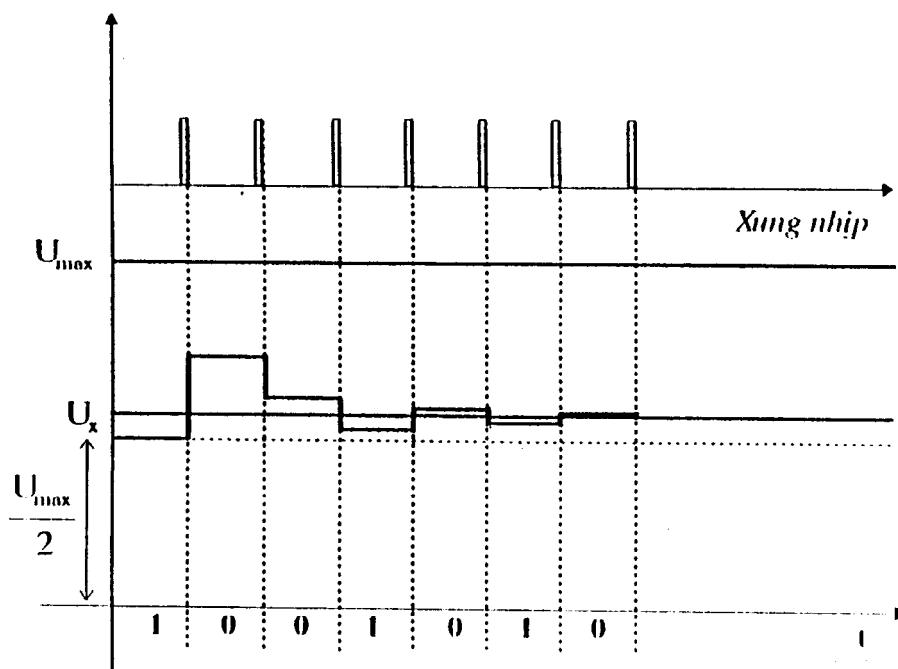
Bộ biến đổi dùng mạch đếm thuận nghịch khác bộ biến đổi dùng mạch đếm cộng ở chỗ bộ đếm không bị xóa về không trước khi mỗi chu trình biến đổi.

Nếu  $U_k > U_x$  thì đầu ra (-) của bộ so sánh cho ra một xung. Xung này mở cửa bộ chọn 2, cho xung chuẩn vào đếm (-) của bộ đếm.

Nếu  $U_k < U_x$  thì đầu ra (+) của bộ so sánh cho ra một xung. Xung này mở cửa bộ chọn 1, cho xung chuẩn vào đếm cộng của bộ đếm.



Để rút ngắn quá trình biến đổi việc “cân” (so sánh) được bắt đầu từ mức cao nhất



Hình 5-29

tới mức thấp hơn, và mỗi mẫu được thực hiện trong một nhịp cân, thao tác này là do mạch phân nhịp (giải mã điều khiển) đảm nhận. Kết quả sẽ được ghi “1” hay “0” trên mạch ghi.

Nếu  $U_k > U_x$  thì bộ so sánh đưa ra một xung chuyển mẫu này về không: tổng điện áp mẫu không được bù thêm.

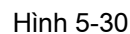
Nếu  $U_k < U_x$  thì bộ so sánh không đưa xung, và mẫu này được giữ nguyên: tổng điện áp mẫu được bù thêm mẫu này.

Quá trình “cân” được tiếp tục cho tới khi tất cả các mẫu đều được thử, tức là một chu trình biến đổi. Mã có thể lấy ra đồng thời hay liên tiếp.

Sai số của phép biến đổi này phụ thuộc độ chính xác, độ ổn định của điện áp mẫu  $U_k$  và sai số của thiết bị so sánh. Bộ biến đổi có sai số lượng tử, vào khoảng  $\pm \frac{1}{2}$  số gia của điện áp mẫu cần thiết để làm thay đổi mã ở bit trẻ nhất.

Ví dụ vôn-mét số có cấu tạo theo phương pháp này như hình 5-30.

Ví dụ dùng nguồn dòng ổn định:  $I=1\text{mA}$ ; cấu tạo điện trở mẫu  $R=10\Omega$ ; Do điện áp  $804\text{mV}$ , có kết quả mã 1010001, biểu thị  $810\text{mV}$ .



**6. Bộ biến đổi A-D theo phương pháp mã song song bằng cách nhân hai liên tiếp (the serial-parallet 2n-digit A-D converter)**

Hình 5-31

Nguyên lý phương pháp này là sự so sánh điện áp đo với điện áp mẫu không đổi rồi nhân đôi hiệu của chúng rồi lại sai số liên tiếp trong mỗi giai đoạn mã hoá.

Sơ đồ cấu trúc gồm các mắt mã hoá liên tiếp; mỗi mắt gồm một bộ trừ và một bộ nhân 2. Số mắt bằng độ dài của từ mã đầu ra song song.

Giá trị  $U_k$  được chọn bằng  $\frac{1}{2}$  giá trị cực đại của điện áp cần biến đổi (hay điện áp đo), tức cũng bằng nửa giới hạn thang đo.

Nếu gọi  $U_n$  là điện áp đầu vào,  $U_{m1}$  là điện áp đầu ra của mắt mã hoá n, thì thuật toán biến đổi được thực hiện là:

$$U_{n+1} = 2 \left( U_n - a_n \frac{U_{\max}}{2} \right)$$

với  $a_n$  mã đầu ra, sẽ bằng

$$\begin{cases} 1 & \text{khi } U_n \geq \frac{U_{\max}}{2} \\ 0 & \text{khi } U_n < \frac{U_{\max}}{2} \end{cases}$$

Ví dụ: giới hạn thang biến đổi:  $U_{\max} = 32\text{V}$

Điện áp cần biến đổi  $U_x = 25.6\text{V}$  dùng 5 mắt liên tiếp.

| Mắt n | Điện áp đầu vào $U_n$ | Mã đầu ra $a_n$ | Điện áp đầu ra $U_{n+1}$ |
|-------|-----------------------|-----------------|--------------------------|
| 1     | 25,6 (>16)            | 1               | 19,2 [= (25,6-16)x2]     |
| 2     | 19,2 (>16)            | 1               | 6,4 [= (19,2-16)x2]      |
| 3     | 6,4 (<16)             | 0               | 12,8 (=6,4x2)            |
| 4     | 12,8 (<16)            | 0               | 25,6 (=12,8x2)           |
| 5     | 25,6 (>16)            | 1               |                          |

Mã hoá ra  $11001_{(2)}$  biểu diễn  $25_{(10)}$  tương ứng với 25V, sai số 0,6V (5bit)

## 7. Bộ biến đổi so sánh trực tiếp (Direct Comparison)

Sơ đồ khối hình 5-32 trình bày thực hiện phương pháp biến đổi so sánh trực tiếp (phương pháp song song) cho một số 3 bit (the parallel A-D converter or sampling converter).

Với 3 bit có thể biểu diễn 8 số khác nhau, kể cả số 0, do đó, cần có 7 bộ so sánh 7 điện áp chuẩn từng nấc được tạo ra bởi các phân áp.

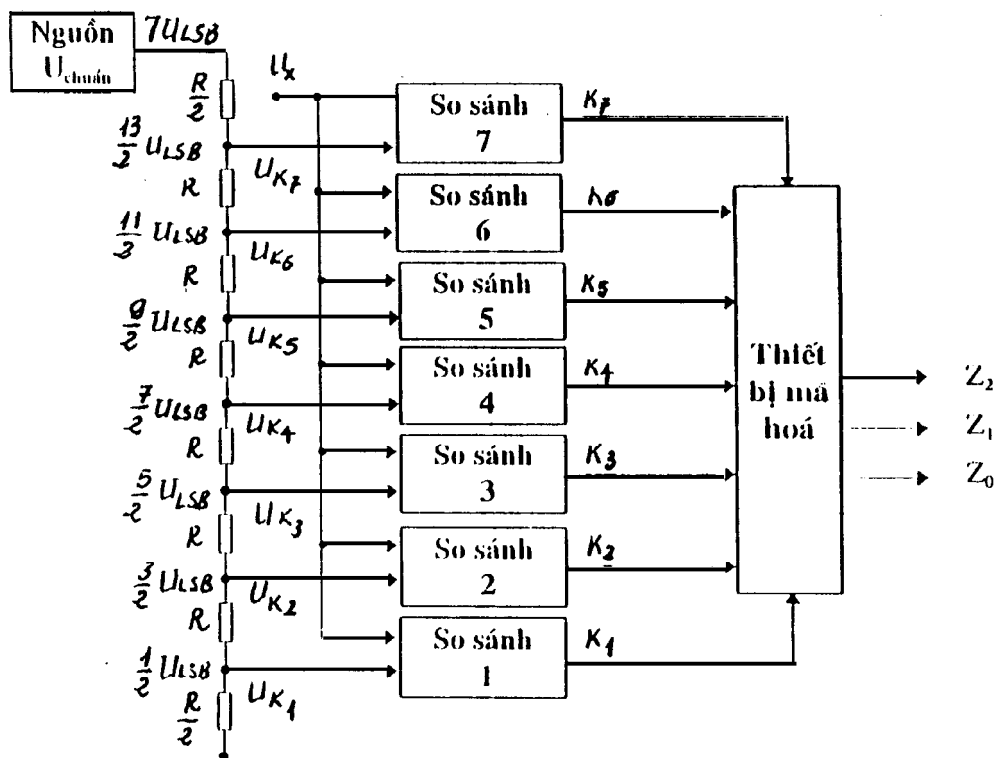
Nếu  $U_x$  vào nằm trong khoảng  $5/2U_{LSB} \div 7/2U_{LSB}$  thì các bộ so sánh từ thứ 1 đến thứ 3 xác lập ở trạng thái “1” còn các bộ so sánh từ thứ 4 đến thứ 7 ở trạng thái “0”. Các mạch logic mã hoá cần thiết diễn đạt trạng thái này từ mã đếm thành mã nhị phân.

Trạng thái của các bộ so sánh:  $K_1, K_2, \dots, K_7$ : 0000111

Các đầu ra có mã nhị phân:  $Z_2, Z_1, Z_0$ ; từ 000÷111.

Có 8 mức điện áp chuẩn, và 7 bộ so sánh, để xác định điện áp  $U_x$  lớn hơn, bé hơn hay bằng so với mỗi một trong 8 giá trị chuẩn đó. Các bộ so sánh chỉ so sánh ở một điện áp chuẩn cố định trong cả chu kỳ biến đổi.

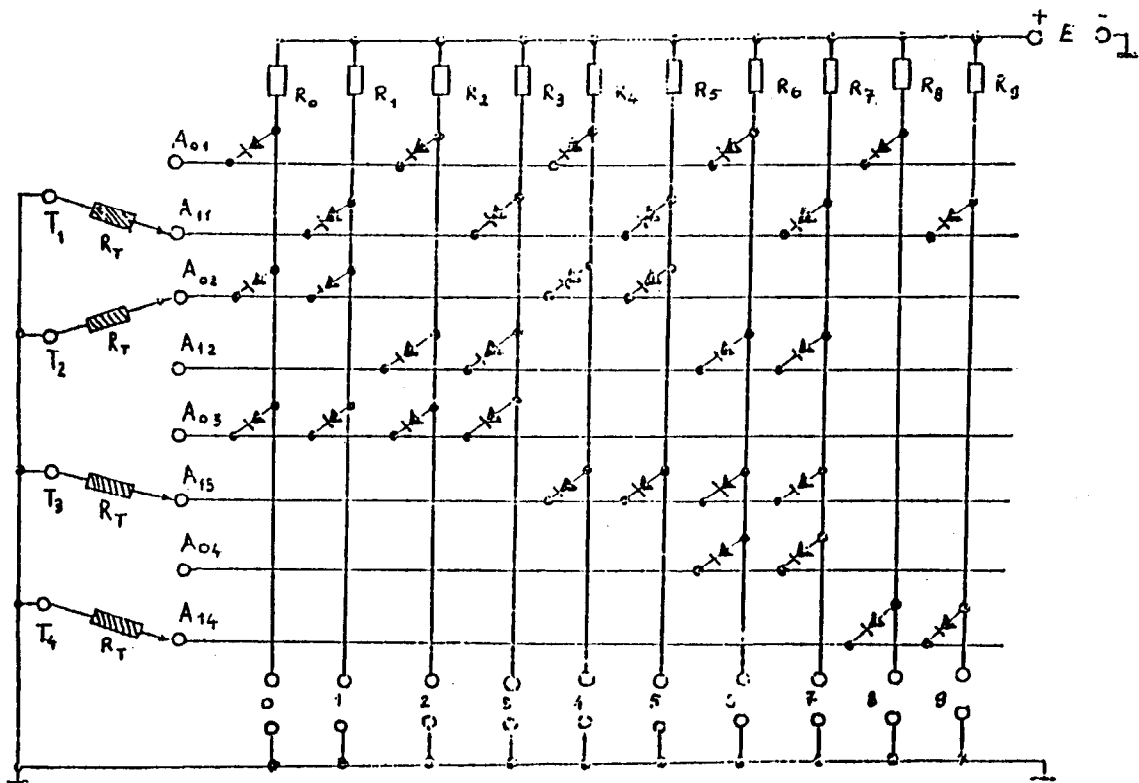
Loại mạch biến đổi này có tác động nhanh, vì là so sánh trực tiếp, đồng thời trong một xung nhịp. Dễ thực hiện nhưng không kinh tế vì cần nhiều bộ sai số và điện áp chuẩn. Độ chính xác thấp, muốn có độ chính xác cao thì phải yêu cầu các mức điện áp chuẩn rất sát nhau, số các điện áp chuẩn bằng  $2^{n-1}$ ,  $n$  là số bit của từ mã nhị phân của tín hiệu số.



Hình 5-32

### 5.3.2 Ví dụ về bộ giải mã để thực hiện ký tự số Ả-rập

Bộ giải mã là mạch điện gồm có một số đầu vào mà một số đầu ra để biến đổi mã. Mã hiệu cần biến đổi được cho dưới dạng tổng hợp của các điện áp ở đầu vào; và sẽ được biến thành một điện áp ở đầu ra tương ứng. Bộ giải mã thập phân thì có mười đầu đưa ra, để cho ra điện áp tạo thành một trong các số của hệ thập phân (các số từ số 0 đến số 9). Điện áp này được biến đổi từ tổng hợp các điện áp vào, cấu tạo theo mã hiệu cơ số hai, lấy từ các mắt tri-gơ của bộ đếm. Ví dụ như một bộ giải mã thập phân có bốn đầu vào (tương ứng với một trạng thái nào đó của bốn mắt tri-gơ), và mười đầu ra; thì khi phía đầu vào có mã hiệu 0101 thành 0111 thì sẽ không có tín hiệu điện áp ra ở đầu ra số 5 mà ở đầu ra số 7.



Hình 5-34

Một loại giải mã được dùng phổ biến trong các bộ đếm của vôn-mét chỉ thị số mà là ma trận đi-ốt (hình 5-34).

Nguyên lý cấu tạo của bộ giải mã bằng ma trận đi-ốt như sau: Các đường dây ngang (ở đây là 3 dây), được nối với các đầu anốt của các tri-gơ. Các đường dây dọc (ở đây là 10 dây) thì được nối với cực dương của nguồn điện ra của bộ giải mã từ 0 đến 9. Các đường dây ngang và các đường dây dọc không có điểm nào nối trực tiếp với nhau.

Tuỳ theo trạng thái của các bộ tri-gơ là “0” hay “1”, tức tương ứng với vị trí  $A_{0i}$  hay  $A_{1i}$  ( $i$  là số thứ tự của các tri-gơ: xem hình 5-34) mà đường dây ngang được nối với điểm đất của mạng ma trận thông qua điện trở trong của tri-gơ  $R_T$  (tức điện trở trong của đèn thông của tri-gơ). Và trong hình vẽ trên, các tri-gơ được biểu thị như một chuyển mạch, các điện trở  $R_T$  tiếp xúc với  $A_{0i}$  hay  $A_{1i}$  là biểu thị đèn bên trái hay đèn bên phải của tri-gơ thông.

Nguồn  $E$  chỉ hạ áp qua điện trở  $R_k$  ( $k=0, 1, \dots, 9$ ) đưa ra đầu ra khi các dây dọc thứ  $k$  không được nối đất qua  $R_T$  và  $R_D$  là điện trở trong của đi-ốt.

Nếu khi có nối thì điện áp đưa ra ở đầu ra thứ  $k$  là:

$$U_k = E \frac{R_D + R_T}{R_k + R_D + R_T}$$

Khi  $R_k \gg R_D + R_T$ , thì  $U_k \ll E$ . Muốn có điện áp ra ở đầu thứ  $k$  tương ứng với các điện áp đầu vào ở hệ đếm cơ số hai, thì cần phải mắc giữa dây dọc và dây ngang một số các đi-ốt được xác định. Và cần phải chọn điện áp  $E$  có trị số sao cho bé hơn điện áp anốt tri-gơ khi nó tắt và lớn hơn điện áp anốt tri-gơ khi nó thông. Có như vậy, thì khi anốt của tri-gơ thông thì đi-ốt mới dẫn điện, và khi anốt của tri-gơ tắt, tức đường dây ngang có điện thế cao, thì đi-ốt không dẫn điện, khi đó, dây dọc cách ly với dây ngang.

Như vậy, muốn cho các đầu ra từ 0 đến 9 có điện áp ra thì các anốt tri-gơ phải có các điện thế (cũng tức là điện thế ở các đường dây ngang), như ở bảng trạng thái của các tri-gơ. Ta thống kê lại các trạng thái của các tri-gơ tương ứng với các đầu ra như sau:

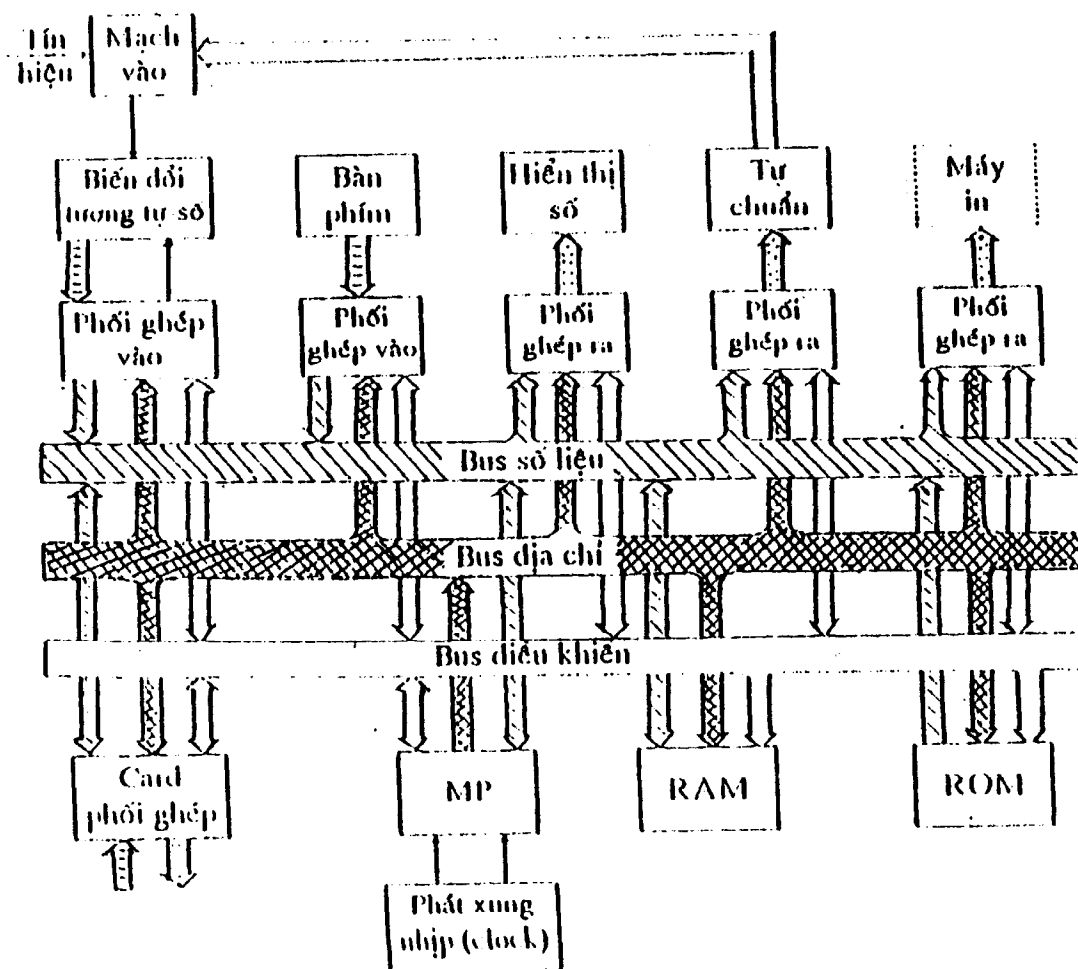
|   |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|
| 0 | $A_{01}$ | $A_{02}$ | $A_{03}$ | $A_{04}$ |
| 1 | $A_{11}$ | $A_{02}$ | $A_{03}$ | $A_{04}$ |
| 2 | $A_{01}$ | $A_{12}$ | $A_{03}$ | $A_{04}$ |
| 3 | $A_{11}$ | $A_{12}$ | $A_{03}$ | $A_{04}$ |
| 4 | $A_{01}$ | $A_{02}$ | $A_{13}$ | $A_{04}$ |
| 5 | $A_{11}$ | $A_{02}$ | $A_{13}$ | $A_{04}$ |
| 6 | $A_{01}$ | $A_{12}$ | $A_{13}$ | $A_{04}$ |
| 7 | $A_{11}$ | $A_{12}$ | $A_{13}$ | $A_{04}$ |
| 8 | $A_{01}$ | $A_{02}$ | $A_{13}$ | $A_{14}$ |
| 9 | $A_{11}$ | $A_{02}$ | $A_{13}$ | $A_{14}$ |

Như vậy, một bộ giải mã cơ số hai thành cơ số 10 bằng ma trận đi-ốt như trên, nếu cấu tạo hợp lý thì chỉ cần 30 đi-ốt như trên hình 5-34.

Tuy vậy, ở một số bộ chỉ thị của các máy đếm khác được dùng trong kỹ thuật đo lường, thì còn được cấu tạo đơn giản hơn, trong đó không cần phải dùng các bộ giải mã đặc biệt, mà các mạch ở đây được mắc theo cách nội suy.

### 5.3.3 Vôn-mét điện tử số có cài đặt $\mu P$

Vôn-mét điện tử số có cài đặt  $\mu P$  được thiết kế để đo điện áp một chiều và xoay chiều, đôi khi còn để đo cả điện trở nữa. Nó là loại thiết bị đo số có nhiều chức năng, nhiều thang đo; được điều khiển bằng tay hay tự động để chọn cực tính điện áp đo, chọn thang đo, tự động chuẩn máy, phân tích thống kê các số liệu điện áp đo hay thực hiện các ví dụ chương trình riêng biệt. Nó là loại thiết bị đo cao cấp.



Hình 5-35

Ví dụ: vôn-mét điện tử số với thang đo 10mV, có độ nhảy 100nV, có sai số 0,001% khi đo điện áp một chiều.

Khi đo điện áp dạng hình sin, xoay chiều, với thang đo 100mV, có độ nhảy 1mV; có sai số 0,03% trong dải tần từ 50Hz đến 10kHz, và sai số 0,1% trong dải tần từ 40Hz đến 100kHz.

Sai số do trị số điện áp hiệu dụng còn phụ thuộc vào cách thực hiện lấy trị số hiệu dụng: do cách biến đổi điện áp xoay chiều thành một chiều bằng tách sóng, hay bằng cách dùng  $\mu P$  tính toán từ các số liệu đo các giá trị tức thời của điện áp đo.

Một sơ đồ khối của vôn-mét số có cấu tạo  $\mu P$  như hình 5-35.

Microprocessor ( $\mu P$ ) thiết lập thủ tục đo, điều khiển sự làm việc của tất cả các khối; thực hiện các phép tính số học và logic với các số liệu được đưa từ bộ biến đổi A-D, qua bộ phối ghép vào và kênh số liệu.

Chương trình để  $\mu P$  chạy, được lập bởi người sử dụng vôn-mét, được lưu trữ tại bộ nhớ ROM. Nó được lưu trữ ngay cả khi mất điện cung cấp. ROM còn lưu trữ các số liệu dùng cho các vi chương trình khác nhau và cho cả yêu cầu tự chuẩn hoá của vôn-mét.

RAM là bộ nhớ trung gian, dùng làm nơi lưu trữ dữ liệu tạm thời.

$\mu P$  và tất cả các khối được nối với nhau thông qua các kênh: kênh số liệu, kênh địa chỉ và kênh điều khiển.

Bộ biến đổi A-D và bàn phím được nối với các kênh qua bộ phối hợp đầu vào.

Bộ hiển thị kết quả đo, máy in, bộ tự chuẩn và tự động chọn thang đo (không vẽ trên sơ đồ hình 5-35, mà nằm chung ở khối mạch vào) được nối với các kênh thông qua bộ phối ghép ra.

Card phối ghép (Interface Card- ICAR) để giúp vôn-mét số thực hiện khả năng nối với các hệ thống phối hợp, hệ thống chuyển mạch, hệ thống điều khiển, hệ thống kiểm tra ngoài cũng như kết hợp với hệ thống đo lường tự động. Cần xét thêm một số khối sau đây:

#### ***-Khối biến đổi tương tự số***

Thông thường một vôn-mét số có cài đặt  $\mu P$  có thể sử dụng bất cứ loại biến đổi A-D nào đã nói trong phần trước. Song thông dụng hơn cả thì vôn-mét số dùng để đo trực tiếp điện áp một chiều thì hay dùng loại biến đổi A-D với phương pháp tích phân hai sườn dốc (the dual-slope integrating); sau là đến loại biến đổi A-D dùng điện áp tích phân đường thẳng (the ramp type A-D converter), để biến đổi mức điện áp thành khoảng thời gian bằng máy đếm điện tử.

Khi đo điện áp xoay chiều bằng vôn-mét số cài đặt  $\mu P$ , bộ biến đổi A-D hay dùng là loại biến đổi dùng phương pháp sai số gần đúng liên tiếp (successive approximation

type). Ở tần số cao thì hay dùng bộ biến đổi A-D loại song song (parallel type). Trên thực tế, có loại biến đổi A-D đơn tinh thể 8 bit dùng cho tín hiệu tương tự có tần số tới 75MHz.

Đầu ra bộ biến đổi A-D đưa ra mã nhị phân song song. Với loại biến đổi một sườn dốc và hai sườn dốc, thì có xung nhịp xuất hiện ở đầu ra. Số lượng của xung thì tỷ lệ với điện áp vào cần đo, sẽ được đưa liên tiếp tới bộ đếm, và đầu ra bộ đếm sẽ là số đếm tổng số xung và được diễn đạt dưới dạng mã nhị phân song song, rồi chúng được đưa tới bộ phối ghép vào. Cổng vào của bộ phối ghép đồng thời có tín hiệu từ đầu ra của  $\mu P$ , khi có tín hiệu của kênh địa chỉ nối với cổng đó.

Với von-mét số dùng bộ biến đổi A-D hai sườn dốc, thì  $\mu P$  điều khiển thời gian tích phân, thời gian này được chọn khi người dùng von-mét ấn phím để chọn số con số được dùng để hiển thị kết quả đo.

### ***-Bàn phím***

Bàn phím cũng là thiết bị vào. Với von-mét số có sử dụng  $\mu P$  thì dùng loại bàn phím ít phím hơn. Về tổng thể, nó cũng giống như máy đánh chữ điện, với một hệ thống phím bấm ở panel phía trước máy đo. Các phím điều khiển các chuyển mạch, để đóng mở các mạch tương ứng. Vì  $\mu P$  nhận thông tin vào dưới dạng song song (tất cả 8 bit đồng thời), nên bàn phím cũng đưa thông tin vào dưới dạng song song, khi ấn phím là tạo ra mã 8 bit. Mỗi phím khi ấn chỉ tạo sự đóng chuyển mạch một thời gian ngắn, rồi lại mở mạch, trên bàn phím có được cấu tạo một đi-ốt phát quang (LED) để chỉ thị cho biết tình trạng đang làm việc hay không làm việc.

Các phím được bố trí thành các nhóm chức năng như: chế độ công tác, chức năng vận hành, thang độ,...ở một số thiết bị, để đơn giản điều khiển, được đánh dấu bằng ba màu ở các phím. Một số von-mét số còn được thiết kế để thực hiện một số chương trình, và được chọn bởi phím có khắc nhãn “chương trình”. Khi bấm phím này, người sử dụng chọn được chương trình thích hợp để đo riêng.

### ***-Bộ hiển thị số***

Bộ hiển thị số làm nhiệm vụ hiển thị số liệu đo được dưới dạng số, nên nó là một dãy các con số. Thường có sự phân loại von-mét điện tử số theo các số con số được hiển thị hoàn toàn, như: loại von-mét số 3 số, loại von-mét số 4 số....

Bộ hiển thị không chỉ hiển thị chữ số, mà còn có thể hiển thị được cả đơn vị, dấu (dấu “+” hay dấu “-“), từ hay ký tự để thông báo những thông tin cần thiết cho người sử dụng.

Linh kiện hiển thị số thông dụng ở von-mét hiện nay là loại hiển thị bằng LED 7 thanh sáng. Các thanh sáng được điều khiển bởi các tín hiệu ra của bộ ghi đếm, mà các

đầu vào của nó được nối với kênh số liệu của  $\mu P$ . Tất cả các thao tác biến đổi số liệu thành mã bảy thanh và dấu đơn vị, được thực hiện nhờ phần mềm của máy.

Ngoài LED, linh kiện hiển thị còn được dùng là đèn sợi nung, và như vậy, chữ số hiển thị lại bao gồm nhiều phần tử sáng hơn. Mắt người không thể thấy được sự chớp sáng (sáng, tối) của linh kiện hiển thị, điều này được thực hiện do chu trình hiển thị, và chu trình này được đồng bộ và điều khiển bởi  $\mu P$ .

### ***-Mạch tự chuẩn***

Mạch tự chuẩn của vôn-mét số để đảm bảo độ chính xác, sự đồng nhất của số đọc của thiết bị với trị số của điện áp chuẩn cung cấp cho vôn-mét.

Mạch tự động chuẩn là để loại bỏ sai số hệ thống, mà sai số này sinh ra do sự thay đổi các thông số của mạch điện bản thân của thiết bị đo. Những thao tác để tự động chuẩn được tiến hành do  $\mu P$  với một số tính toán cần thiết và chương trình được lưu trữ trong bộ nhớ.

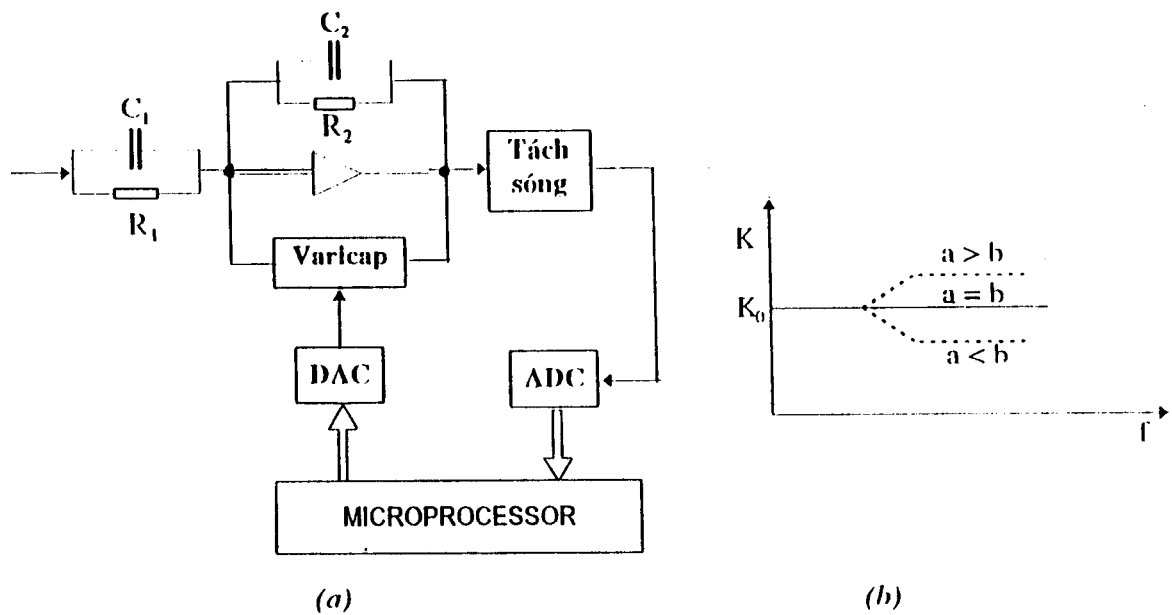
Mạch tự động chuẩn được xây dựng trên cơ sở mạch biến đổi số-tương tự (digital-to-Analog Converter), được nối với  $\mu P$  qua mạch phối ghép ra và điều khiển mạch vào.

Một trong những mục tiêu của mạch tự động chuẩn là điều chuẩn trôi điểm không, được tiến hành bởi lệnh của  $\mu P$ , không nối vào với điện áp đó, và được lưu trữ trong bộ nhớ, phần dữ liệu này được cung cấp cho máy đo khi nó tiến hành đo, phần dữ liệu đó được sử dụng như những dữ liệu chuẩn của vôn-mét.

Một mục tiêu khác của việc tự động điều chuẩn là kiểm tra giá trị thang đo, mà nó bị biến đổi do mạch vào của vôn-mét. Những mạch này như: bộ suy giảm, bộ khuếch đại, bộ tách sóng ..., ở phần đầu vào của thiết bị. Hệ số khuếch đại chính xác của mạch vào, tính từ đầu vào tới bộ biến đổi A-D, được lưu trữ trong bộ RAM. Các sai khác khi chuyển thang đo và chế độ đo, là các hệ số cũng được lưu trữ, để xử lý như số liệu chuẩn.

Một mạch tự động hiệu chuẩn của vôn-mét xoay chiều số, để tự động hiệu chuẩn độ khuếch đại và tần số cao như hình 5-36. Mạch điện (hình 5-36a) gồm khuếch đại thuật toán và tách sóng (biến đổi điện áp xoay chiều thành điện áp một chiều), đã thực hiện một hệ số truyền đạt  $K_0$ , hệ số này bị thay đổi theo tần số. Về lý thuyết,  $K_0$  sẽ không thay đổi khi:  $R_1 C_1 = R_2 C_2$  hay là:  $a = b$ , với  $a = \frac{C_1}{C_2}$  và  $b = \frac{R_2}{R_1}$  (hình 5-36b).

Mạch tự động chuẩn được thực hiện bởi bộ biến đổi D-A và Varicap như hình 5-36a.



Hình 5-36

### **-Lưu đồ thực hiện đo điện áp**

Vôn-mét điện áp số có cấu tạo microprocessor có thể thực hiện những chương trình rất rộng. Để khái quát chung, một lưu đồ đo trị số hiệu dụng của điện áp, có thể thực hiện như hình 5-37.

Với lưu đồ hình 5-37, một điện áp tức thời ở đầu vào đo  $u(t)$  được đo lấy mẫu ở những thời điểm rời rạc và được tính theo phương trình:

$$U = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [U(iT_0)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

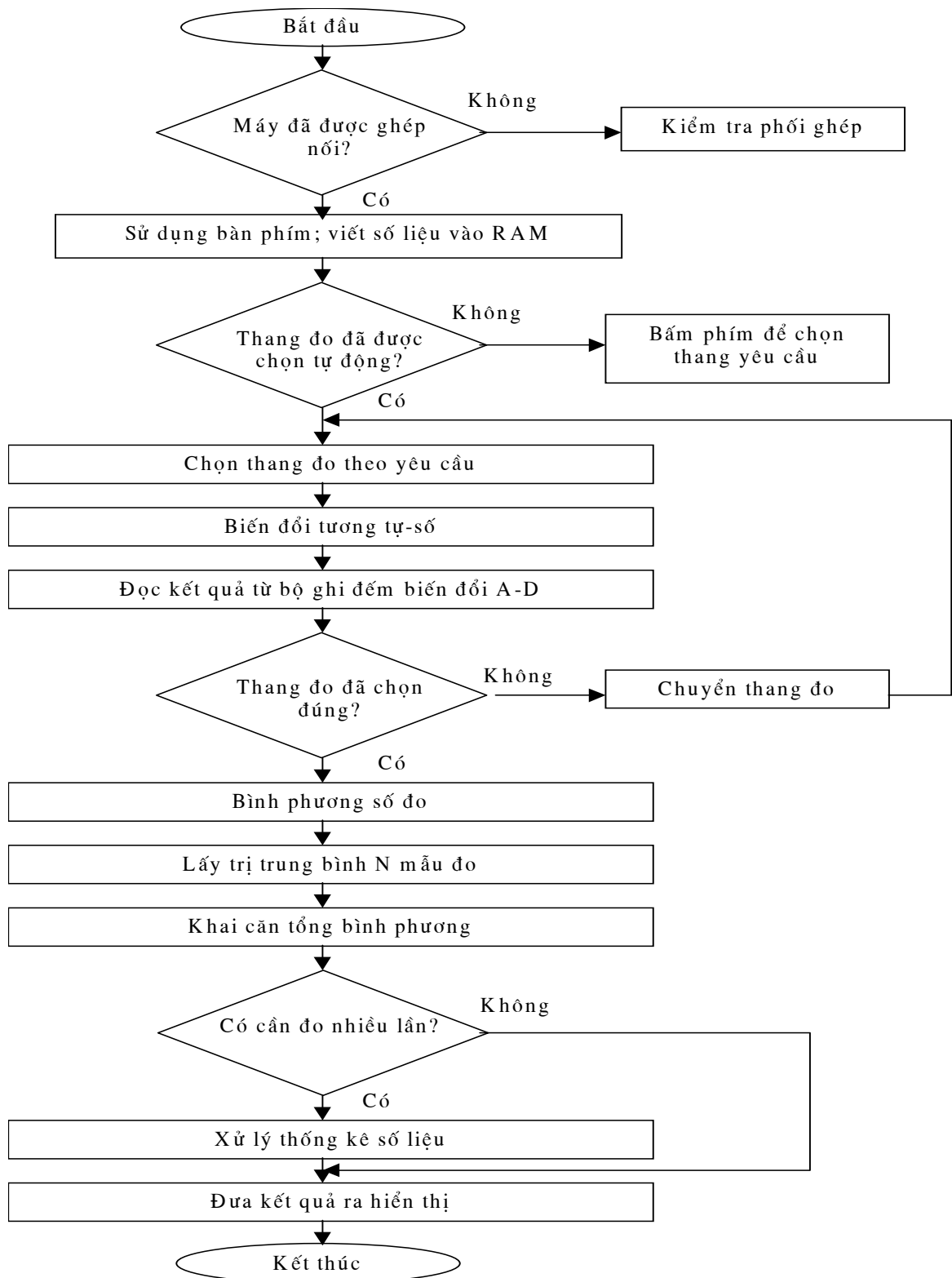
Trong đó:  $U$  là giá trị hiệu dụng của  $u(t)$ .

$U(iT_0)$  là giá trị tức thời của  $u(t)$  tại thời điểm lấy mẫu thứ  $i$  (trong bước thứ  $i$  của bộ biến đổi tương tự-số)

$N$  là tổng số các mẫu đo để đo trị số trung bình bình phương.

$T_0$  là thời gian giữa hai mẫu đo kề sát nhau.

Algorit trên không có gì bị giới hạn khi dùng để đo điện áp ở tần số thấp. Tuy nhiên, ở tần số cao, nó bị giới hạn bởi tốc độ biến đổi của bộ biến đổi tương tự-số và sự tính toán của  $\mu P$ . Đó cũng chính là lý do tại sao một vôn-mét điện tử số băng rộng dùng để đo điện áp xoay chiều lại cần phải có thêm bộ tách sóng (như hình 5-36a).



Trị số hiệu dụng của điện áp cần đo, có thể tính từ N mẫu đo bằng hai cách: Cách thứ nhất, các kết quả đo riêng biệt của các mẫu đã được nạp trong RAM, được thực hiện xử lý. Cách thứ hai, đem bình phương của số trong mẫu đo thứ  $i$  cộng với tổng của các bình phương của các mẫu thứ  $(i-1)$  trở về trước. Tuy là cách thứ hai có sự hấp dẫn hơn vì bộ nhớ RAM cần ít hơn, song cũng ít được thực hiện. Bởi vì có sự liên quan đến tốc độ tính toán của  $\mu P$ , nếu điều này chiếm nhiều thời gian hơn khoảng giữa hai thời điểm lấy mẫu gần sát kề nhau (hai thời điểm biến đổi của bộ biến đổi A-D), thì sẽ không thực hiện được.

## *Chương VI*

# ĐO CÔNG SUẤT

### 6.1 CÁC KHÁI NIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐO CÔNG SUẤT

#### 6.1.1 Khái niệm

Đo công suất là một trong những phép đo cơ bản để đo lường các thông số của tín hiệu điện tử.

Công suất cao tần của một nguồn dao động nào đó, dù là tín hiệu dạng liên tục hay tín hiệu dạng xung, đều là một đại lượng của năng lượng điện tử tiêu thụ trên tải trong một đơn vị thời gian.

Trong mạch điện một chiều, công suất tiêu thụ trên tải bằng tích số của dòng điện và điện áp đặt trên tải. Trong mạch điện xoay chiều, công suất tức thời cũng được xác định bằng tích số  $p = u \cdot i$ ; ở đây,  $u$  và  $i$  là trị số tức thời của điện áp và dòng điện. Trong mạch điện có dạng điều hoà, thì biểu thức công suất tiêu thụ trên tải là:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = UI \cos \varphi \quad (1)$$

Biểu thức (1) là trị trung bình của công suất trong một chu kỳ, nó còn được gọi là công suất thực hiện. Còn công suất phản kháng thì bằng:

$$Q = UI \sin \varphi$$

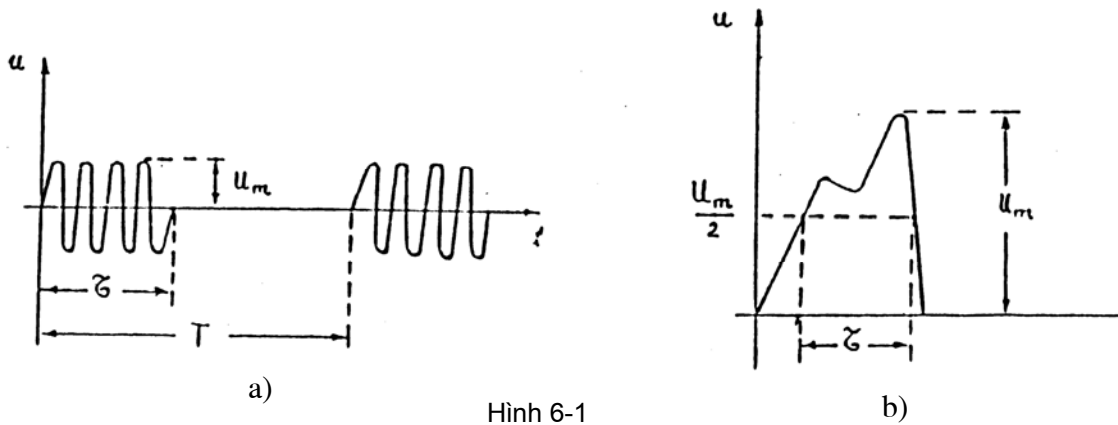
Ở đây,  $U$  và  $I$  là trị số hiệu dụng, còn  $\varphi$  là góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện. Trị số  $\cos \varphi$  biểu thị đặc tính của tải:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$R$  là thành phần thuần trở,

$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$  là trở kháng;  $X$  là thành phần điện kháng của tải.

Trên thực tế thì thông thường chỉ cần xác định được trị số công suất thực hiện.



Hình 6-1

Khi mạch điện công tác ở chế độ xung, thì cần xác định trị số công suất xung. Trị số công suất xung là trị số công suất trung bình trong khoảng thời gian tồn tại  $\tau$  của xung (như hình 6-1a).

$$P_{xg} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} u idt$$

Trị số công suất trung bình thì bằng trị trung bình trong khoảng chu kỳ lặp lại của xung:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u idt$$

Quan hệ giữa  $P_{xg}$  và  $P$  là:

$$P = P_{xg} \frac{\tau}{T}$$

Trường hợp tín hiệu xung có dạng như hình 6-1b, thì công suất xung  $P_{xg}$  tìm được xác định như xung tương đương có hình chữ nhật mà biên độ cũng bằng  $U_m$ , và thời gian bằng khoảng thời gian tính từ các điểm tương ứng với mức nửa biên độ  $\frac{U_m}{2}$ .

Trong kỹ thuật điện tử, thông tin, giới hạn lượng trình đo công suất khá rộng. Từ các thiết bị có công suất lớn như máy phát, đến các thiết bị có công suất nhỏ như máy thu, máy đo... Các thiết bị này có công suất từ  $10^{-6}W$  đến  $10^7W$ , ở các chế độ công tác khác nhau, như chế độ công tác liên tục hay chế độ xung.

Về đơn vị đo công suất, đơn vị tuyệt đối là Oát (W); kể cả các đơn vị ước số và bội số của oát, từ micro oát ( $\mu W$ ) tới mega oát (MW). Ngoài ra trong đo lường còn được dùng các đơn vị công suất tương đối như đêxiben oát, dexiben mili oát... (dbW, dbmW ...) với các đơn vị này, cho ta khái niệm về so sánh các mức công suất ở các vị trí khác nhau một cách thuận tiện, nhất là trong kỹ thuật thông tin.

Đơn vị công suất tương đối được xác định theo biểu thức:

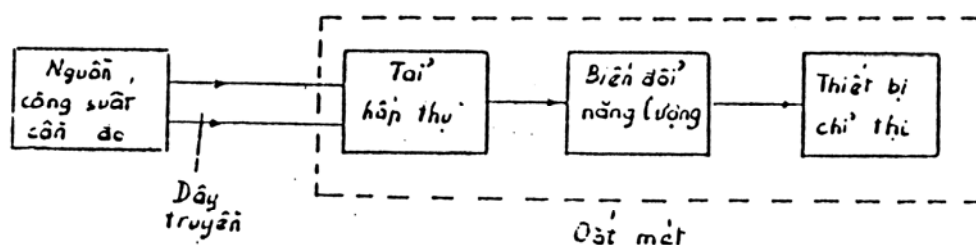
$$\pm \alpha = 10 \lg \frac{P}{P_1} \quad (2)$$

Ở đây,  $P$  là trị số công suất tính bằng  $W$  (hay  $mW$ ) tại một vị trí đo nào đó;  $P_1$  là trị số công suất ban đầu, bằng  $1W$  (hay  $1mW$ );  $\alpha$  đo bằng  $dbW$  (hay  $dbmW$ ) có dấu dương khi  $P > P_1$  và dấu âm khi  $P < P_1$ .

### 6.1.2 Phương pháp đo công suất

Trong đo công suất, ở siêu cao tần, thường có hai nhiệm vụ phải giải quyết:

1. Đo công suất trên tải có phối hợp trở kháng, hay đo công suất cực đại được hấp thụ, của năng lượng từ một nguồn có công suất cần đo. Trong phép đo này, tải được xác định, có trị số bằng trở kháng đặc tính của đường dây và tải là thuần điện trở. Sơ đồ khối của phép đo này như hình 6-2.



Hình 6-2

Khi đo, Oát-mét được mắc với nguồn công suất cao tần cần đo thông qua dây truyền tải. Như vậy công suất hấp thụ trên điện trở tải của oát-mét phụ thuộc vào sự phối hợp của nguồn công suất cần đo không những chỉ phụ thuộc vào cấp chính xác của oát-mét mà còn phụ thuộc cả vào mức độ phối hợp của đường dây với nguồn và với tải.

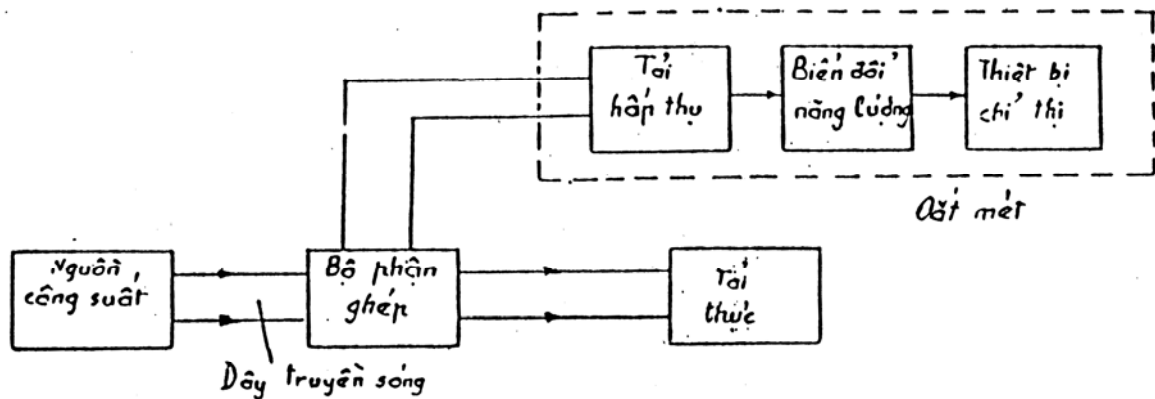
2. Đo công suất được hấp thụ trên tải bất kỳ hay đo công suất truyền thông. Trong phép đo này, công suất đo được là một phần của nguồn công suất cần đo. Ví dụ cần đo công suất bức xạ trên anten từ nguồn công suất phát ra của một máy phát; hay công suất đưa tới tầng công suất cuối của tầng trước cuối của một máy phát... Sơ đồ khối của phép đo này như hình 6-3.

Về cấu tạo, thì oát-mét thường gồm ba khối (các khối có vẽ trong khung nét rời trên các hình 6-3 và 6-2): tải hấp thụ; bộ biến đổi năng lượng và thiết bị chỉ thị.

Tuỳ theo phương pháp đo mà người ta có các biện pháp biến đổi năng lượng thích hợp và trực tiếp hay gián tiếp chỉ thị. Đó cũng chính là cơ sở cấu tạo của các loại oát-mét.

Việc đo công suất trong kỹ thuật điện tử, ngoài điều phải thực hiện với một dải lượng trình đo lớn, ta còn phải thực hiện với một dải tần số đo rất rộng. Do đó có nhiều phương pháp đo khác nhau thích ứng với các trường hợp cụ thể để đạt được sai số đo cho phép. Thường thì các phương pháp đo cơ bản tùy thuộc vào khả năng chế tạo thiết bị nên chỉ thích hợp cho sử dụng trong từng tần đoạn. Tuy nhiên, cũng có các phương pháp có thể áp dụng với mọi tần đoạn tùy theo yêu cầu cụ thể của phép đo với một mức độ nào đó.

Ở các mạch điện một chiều, mạch xoay chiều tần số công nghiệp (50Hz, 60Hz), âm tần, và cả tần số cao tần, thì phép đo công suất được thực hiện bằng phương pháp đo trực tiếp hay đo gián tiếp. Đo trực tiếp công suất có thể thực hiện bằng oát-mét. Oát-mét có độ biến đổi các đại lượng điện là một thiết bị "nhân" điện áp, và dòng điện trên tải, để sao cho nó đầu ra được trực tiếp chỉ thị đại lượng đo là:  $P=UI\cos\varphi$ . Thiết bị nhân này ví dụ như dụng cụ điện động, loại oát-mét dùng bộ biến đổi "Hôn" và loại dùng các bộ nhân điện tử.



Hình 6-3

Đo gián tiếp công suất thì được thực hiện bằng phép đo dòng điện, điện áp và trở kháng. Phép đo công suất bằng vôn-mét và ampe-mét thì đơn giản, song trong nhiều trường hợp, không thể được thuận lợi như phương pháp đo trực tiếp.

Ở siêu cao tần, đo công suất là một trong những phép đo cơ bản, chủ yếu để xác định thông số đặc tính của tín hiệu. Phép đo được thực hiện bằng các phương pháp biến đổi năng lượng điện từ thành các dạng năng lượng khác để đo. Các dạng năng lượng khác ví dụ như quang năng (phương pháp dùng tế bào quang điện), nhiệt năng (phương

pháp dùng nhiệt lượng-mét, điện trở), hay cơ năng (phương pháp dùng tác dụng cơ học của sóng điện từ). Các phần tiếp theo sau đây sẽ xét tới các phương pháp cơ bản để đo công suất siêu cao tần.

Hiện nay, có một phương pháp đo công suất được dùng nhiều ở tất cả các tần đoạn trong dải tần số trong điện tử là phương pháp dùng hiệu ứng "Hôn" trong chất bán dẫn. Ta cũng sẽ xét tới phương pháp này.

Độ chính xác của các phép đo công suất ở kỹ thuật điện tử, được coi là cao nếu như sai số không quá 5%, và là trung bình nếu sai số không quá 25%.

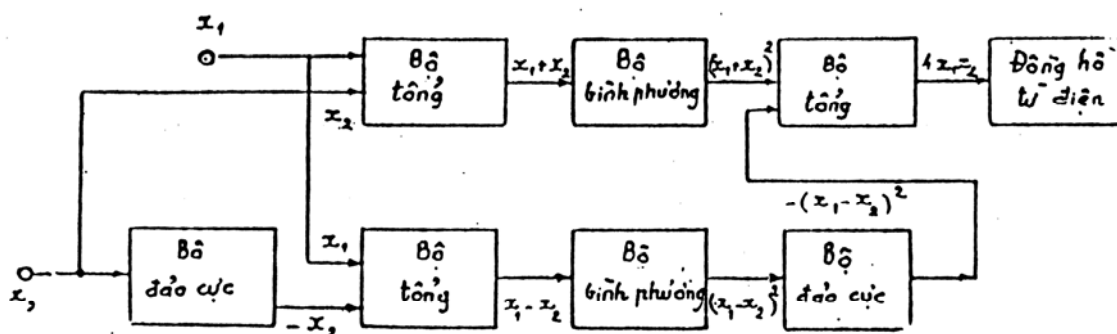
Về mức độ, thì công suất của thiết bị được coi là lớn khi có trị số lớn hơn 10W; là trung bình khi có trị số từ 10W đến 0,1W; và được coi là bé khi trị số từ 0,1W đến  $10^{-6}$ W.

### 6.1.3 Đo công suất ở tần số thấp và tần số cao

Vấn đề đo công suất ở âm tần và cao tần ít được quan tâm. Vì khi cần khảo sát mạch điện hay thiết bị ở âm tần và cao tần, ta có thể thực hiện các phép đo lường đơn giản hơn qua các thông số đặc tính của trường hợp khác như dòng điện hay điện áp. Song cũng có những trường hợp đo trực tiếp công suất thì tiện lợi hơn. Ta sẽ xét tới những phương pháp đo công suất ở âm tần và cao tần hay dùng, đồng thời nó cũng là cơ sở cấu tạo của oát-mét ở tần đoạn này.

#### 1. Phương pháp nhân

Như đã trình bày ở phần trên, vì công suất tác dụng cần đo trên tải trong trường hợp dòng điện là điều hoà, bằng tích số của dòng điện và điện áp trên tải:  $P=UI\cos\varphi$ . Việc đo công suất trên tải có thể thực hiện trực tiếp phép nhân điện áp và dòng điện trên tải bằng một thiết bị nhân. Oát-mét điện động được cấu tạo theo phương pháp này, trị số chỉ thị của kim oát-mét là một đại lượng tỷ lệ trực tiếp với tích số của điện áp và dòng



Hình 6-4

điện trên tải cần đo. Song loại oát-mét điện động chỉ có thể dùng để đo công suất ở tần số thấp và mức công suất tương đối lớn thôi, và đặc tính tần số của nó bị hạn chế nhiều do cảm kháng của các cuộn dây và các điện dung tạp tán.

Một thiết bị mạch nhân có nhiều ưu điểm và được phổ biến dùng là thiết bị nhân sử dụng đặc tuyến bậc hai của đèn bán dẫn. Nguyên lý của mạch điện của loại này như hình 6-4. Ở đây đã dùng thuật toán biến đổi phép nhân theo đẳng thức:

$$x_1 x_2 = \frac{1}{4} [(x_1 + x_2)^2 - (x_1 - x_2)^2] \quad (3)$$

Nếu ở đầu vào mạch điện mà có:  $x_1 = U \sin \omega t$ ; và  $x_2 = I \sin(\omega t - \varphi)$ , tức là các thành phần điện áp và dòng điện trên tải, thì ở đầu ra sẽ có điện áp:

$$4x_1 x_2 = 4U I \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi)$$

Biến đổi lượng giác tích số trên, ta có:

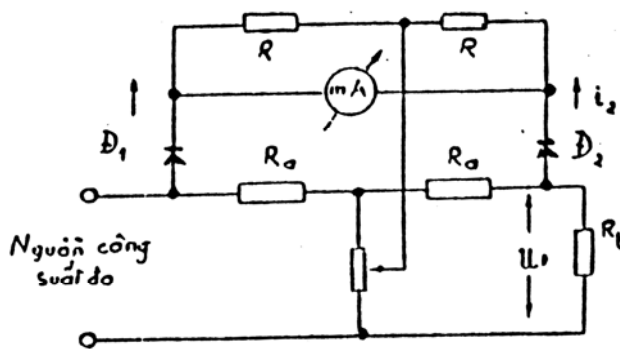
$$4x_1 x_2 = 2U I \cos \varphi - 2U I \cos(2\omega t - \varphi)$$

Ở đây, điện áp được đo bằng đồng hồ từ điện, song song với đồng hồ có được mắc tụ điện, nên trị số chỉ thị của kim đồng hồ là chỉ tương ứng với thành phần một chiều:  $2U I \cos \varphi$ , tức là công suất cần đo trên tải.

Để có được phân tử có đặc tuyến bậc hai thì có thể dùng nhiều cách như các phân tử tách sóng hiệu dụng (giới thiệu trong chương đo điện áp). Ví dụ như phân tử của đặc tuyến dòng điện-điện áp của đi-ốt hoặc của tranzito. Nhược điểm của các oát-mét dùng phương pháp nhân bằng đặc tuyến bậc hai là yêu cầu đèn phải có đặc tuyến đồng nhất. Vì vậy nó thường có sai số khi đèn có biến đổi đặc tuyến, như khi đèn bị già đi, khi đèn

bị thay thế hay khi có sự thay đổi điện áp cung cấp. Để nâng cao độ chính xác thì điện áp cung cấp cho mạch phải ổn định; nên thường hay thực hiện hồi tiếp dòng điện.

Sai số của các loại oát-mét này thường vào khoảng  $\pm 5 \div 10\%$ . Hình 6-5 là một ví dụ mạch điện của một oát-mét đơn giản dùng đi-ốt. Phân tử có đặc tuyến bậc hai ở đây chính là đi-ốt.



Hình 6-5

## **2. Phương pháp đo dòng điện trên mạch điện có trở kháng đã biết**

Phương pháp này thường dùng để đo công suất ra của một máy phát. Khi đo, người ta mắc thay tải của một máy phát (ví dụ như anten) bằng một điện trở tương đương đặc biệt; nghĩa là một điện trở có tính tiêu chuẩn cao, ít thành phần điện kháng, có khả năng hấp thụ nhiều năng lượng.

Tiến hành đo dòng điện trên điện trở tải, thì từ đó có thể xác định được công suất ra của máy phát theo công thức:

$$P = I^2 R$$

## **3. Phương pháp so sánh**

Đo công suất của một nguồn điện ở cao tần, có thể bằng cách so sánh nó với nguồn công suất dòng điện một chiều hay nguồn dòng điện có tần số thấp.

Ta đã biết phương pháp đo công suất dòng điện một chiều hay dòng điện tần số công nghiệp (50Hz-60Hz); các phương pháp đo này thường dễ thực hiện và có độ chính xác cao. Ví dụ như đo công suất bằng oát-mét điện động thì sai số có thể đạt tới (0,1%-0,2%).

Phép đo so sánh nguồn công suất có thể được thực hiện bằng nhiều cách. Một trong các cách này được dùng thông dụng là so sánh cường độ sáng của hai đèn. Trong hai đèn này, một đèn được nối với nguồn công suất cần đo, đèn thứ hai được nối với một nguồn công suất một chiều hay tần số thấp. Khi độ sáng của hai đèn bằng nhau, điều này có thể xác định được nhờ một thiết bị đo ánh sáng (quang độ-mét), hay bằng tế bào quang điện. Khi đã xác định được nguồn có công suất dòng điện một chiều, có thể biết được công suất của nguồn công suất cao tần cần đo.

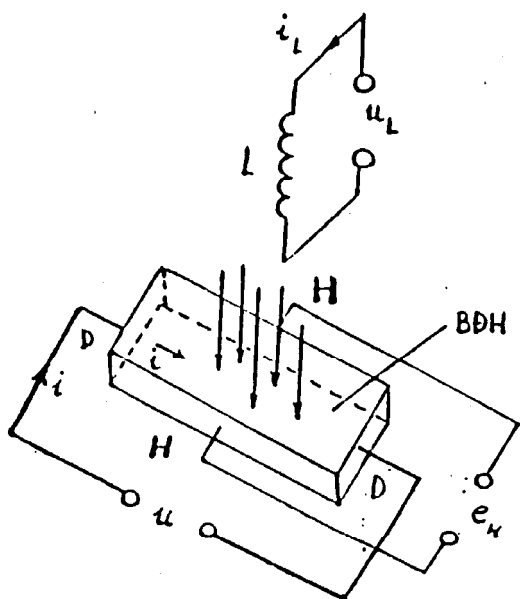
## **4. Phương pháp đo công suất bằng hiệu ứng "Hall"**

Đo công suất bằng phương pháp hiệu ứng "Hall" là dùng oát-mét cấu tạo bằng bộ biến đổi Hall.

Bộ biến đổi Hall là bộ biến đổi dùng hiệu ứng Hall, đó là thiết bị có thể thực hiện được phép nhân hai đại lượng. Kết quả biến đổi được cho dưới dạng điện áp, và là một trị số tỷ lệ với tích số của hai đại lượng đưa vào bộ biến đổi.

Hiệu ứng Hall thực hiện bằng vật liệu bán dẫn thì cho dòng linh động lớn. Vì vậy các bộ biến đổi Hall thường được cấu tạo bằng các chất bán dẫn (Ge, Si, Se ...).

Nguyên lý cấu tạo của bộ biến đổi Hall như hình 6-6. Nó gồm một bản mỏng bằng chất bán dẫn đơn tinh thể, có hai cặp điện cực: cặp dòng điện D và cặp điện áp Hall H. Cặp D được cung cấp là dòng điện một chiều hay xoay chiều. Khi trên bản có tác dụng



Hình 6-6

của từ trường, thì giữa hai cực H sẽ sinh ra một sức điện động Hall  $e_H$ . Trị số của  $e_H$  tỷ lệ với tích số của dòng  $i$  và từ trường  $H$ :

$$e_H = kBi = k\mu\mu_0 Hi \quad (4)$$

Ở đây,  $k$  là hệ số tỷ lệ, nó phụ thuộc vào vật liệu, kích thước và dạng của bản thân bản bán dẫn; nó còn phụ thuộc cả vào nhiệt độ và cường độ từ trường của môi trường xung quanh.  $B$  là trị số điện trường, nó được sinh bởi dòng điện  $i_L$  trong cuộn dây  $L$  và được cấu tạo sao cho quan hệ giữa dòng  $i_L$  và  $B$  là quan hệ bậc nhất:

$$B = k_i \cdot i_L = k_u \cdot u_L \quad (5)$$

Thay (5) vào (4), ta có:

$$e_H = k k_i i_L i = k k_u u_L i \quad (6)$$

Cuộn dây điện từ được cung cấp bởi dòng điện một chiều hay xoay chiều tùy theo các trường hợp công suất cần đo.

Bộ biến đổi Hall trên thực tế có thể coi là không có quán tính, nó có cấu tạo tương đối đơn giản, kích thước bé, thời gian làm việc được lâu và bền vững. Có thể dùng bộ biến đổi Hall để đo công suất thực hiện (công suất tác dụng) và công suất hiện dạng (công suất biểu kiến) trong một dải tần số rất rộng, tới cả tần số siêu cao tần. Đó là các ưu điểm của bộ biến đổi Hall. Khuyết điểm của bộ này là các thông số của nó bị phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ.

Oát-mét cấu tạo bằng bộ biến đổi Hall dùng để đo công suất dòng một chiều thì cũng dựa theo kết quả của biểu thức (6) ở trên. Nếu dòng điện cung cấp cho cặp  $D$  của bộ biến đổi là dòng điện qua tải, còn điện áp đặt trên cuộn  $L$  là điện áp hạ trên tải, thì điện áp  $e_H$  là đại lượng tỷ lệ với công suất tiêu thụ trên tải:

$$P_t = U_t I_t$$

Khi đo lường công suất của dòng điện xoay chiều hình sin, nếu điện áp và dòng điện tức thời qua tải là:

$$u = U_m \sin \omega t$$

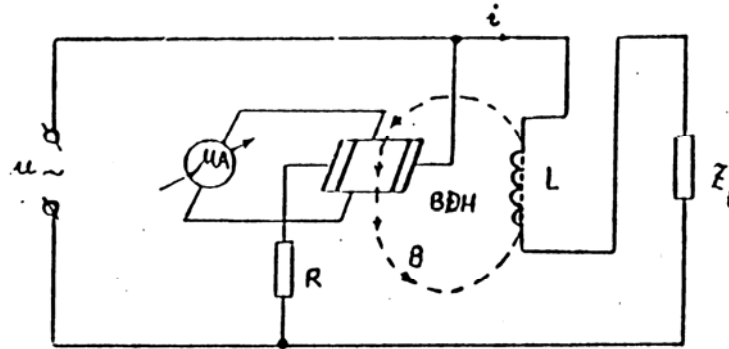
$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

Thì khi  $u_L$  và  $i$  là dòng điện qua bộ biến đổi, ta cũng có:

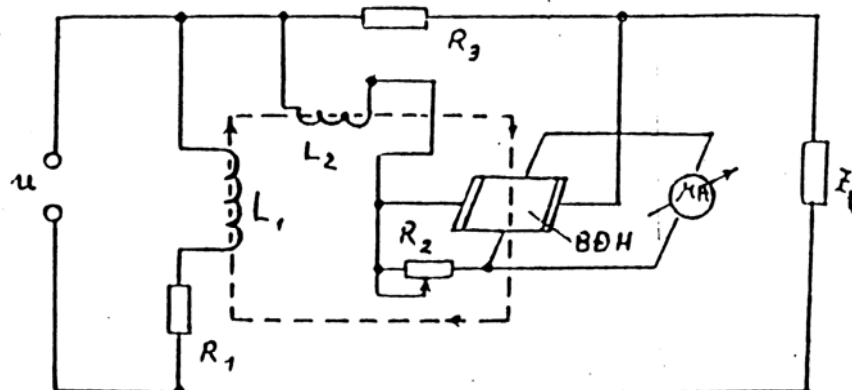
$$\begin{aligned} e_H &= k.k_u U_m I_m \sin(\omega t - \varphi) \sin \omega t \\ &= k k_u U I \cos \varphi - k k_u U I \cos(2\omega t - \varphi) \end{aligned}$$

Sức điện động  $e_H$  được đo bằng một đồng hồ điện tử, như vậy trị số chỉ thị của đồng hồ là tỷ lệ với công suất trung bình trong mạch dòng điện xoay chiều.

Các sơ đồ oát-mét cấu tạo bằng bộ biến đổi Hall như các hình 6-7, 6-8 và 6-9.



Hình 6-7



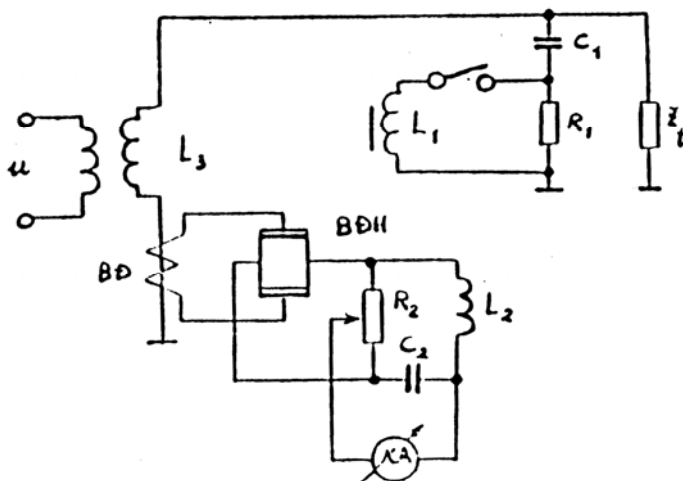
Hình 6-8

Hình 6-7 là một mạch điện đơn giản. Trong đó, cuộn dây điện từ  $L$  được cung cấp bởi dòng điện tỷ lệ với dòng điện qua tải  $Z_t$ ; còn dòng điện qua bộ biến đổi Hall thì tỷ lệ với điện áp sụt trên tải  $Z_t$ . Điện trở  $R$  để hạn chế dòng điện. Đường sức từ cảm  $B$  như đường gạch trên hình vẽ. Đồng hồ để đo sức điện động Hall là loại đồng hồ từ điện.

Vì độ nhạy của bộ biến đổi không phụ thuộc tần số trong một dải tần số rộng, nên đặc tính thông số của oát-mét hầu như chỉ phụ thuộc vào các phần tử của mạch, mà

trước hết là của cuộn dây điện từ. Nhưng óát-mét dùng để đo công suất có tần số cao hơn thường có thêm các phần tử bù tần số, bù pha.

Hình 6-8 là sơ đồ mạch của óát-mét đo công suất ở âm tần (đến 20kHz). Trong đó,  $R_1$  dùng để bù tần số,  $L_2$  để bù méo pha,  $R_2$  để cân bằng điện thế giữa các điện cực khi chưa có tác dụng của trường điện từ.



Hình 6-9

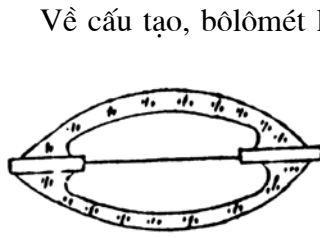
Hình 6-9 là sơ đồ mạch điện óát-mét đo công suất ở cao tần. Dòng điện cung cấp cho bộ biến đổi qua bộ biến đổi dòng BD. Cuộn  $L_1$  có lõi bằng an-xiphe để làm cuộn dây từ hoá có phẩm chất cao.  $C_1$  và  $R_1$  tạo thành bộ phân áp của điện áp cung cấp cho tải  $Z_t$ , nó có tác dụng bù tần số, nên từ trường tác dụng thực tế là ít biến đổi theo tần số.

Các nguyên nhân gây sai số của óát-mét cấu tạo theo hiệu ứng Hall là: do cấu tạo mạch đo, do sự biến thiên của nhiệt độ môi trường chung quanh, và do cả tần số của nguồn đo... . Với các óát-mét đo công suất ở tần số công nghiệp khi sử dụng ở nhiệt độ  $(10-50)^{\circ}\text{C}$  thì sai số có thể đạt được mức nhỏ hơn  $\pm 0,5\%$ . Về dải tần, thì ngày nay các óát-mét loại này có thể được cấu tạo để đo công suất của dao động điện từ tới tần số 4000MHz.

#### 6.1.4 Đo công suất ở siêu cao tần dùng nhiệt điện trở

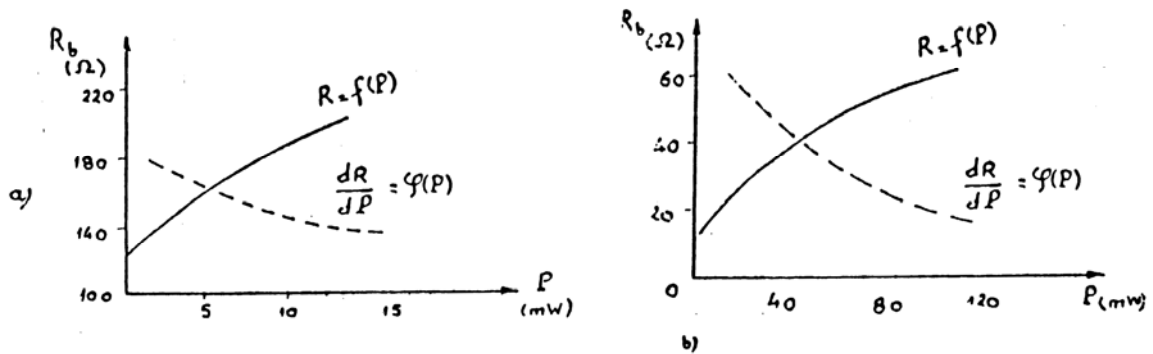
Để đo công suất, người ta thường dùng hai loại điện trở nhiệt là “bôlômét” và “tecmisto”. Vì vậy các phương pháp đo này thường được là phương pháp bôlômét và tecmisto. Bộ biến đổi ở đây chính là các điện trở nhiệt. Phương pháp này dùng để đo các nguồn công suất cao tần, có trị số bé. Bôlômét hay tecmisto đóng vai trò tải hấp thụ của

nguồn công suất đo. Thông qua phép đo sự biến đổi trở kháng của tải hấp thụ mà suy đoán ra công suất cần đo.



Hình 6-10

Về cấu tạo, bôlômét là sợi dây bằng bạch kim hay vônphram rất mảnh đặt trong một ống thủy tinh, như hình 6-10. Trong ống thủy tinh có chứa khí trơ để tăng công suất cho sợi dây khi được đốt bằng dòng điện yêu cầu:  $I < \frac{\lambda_{\min}}{8}$ , để cho sự phân bố dòng điện trên sợi dây được đồng đều;  $\lambda_{\min}$  là độ dài bước sóng cực tiểu của nguồn công suất đo.

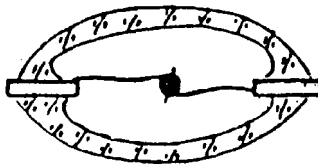


Hình 6-11

Bôlômét là một loại điện trở nhiệt, khi nhiệt độ tăng thì trị số điện trở cũng tăng. Đồ thị biểu diễn quan hệ phụ thuộc giữa trị số điện trở  $R_b$  và công suất tiêu thụ như hình 6-11. (hình 6-11a là trường hợp sợi dây làm bằng bạch kim; hình 6-11b là trường hợp sợi dây làm bằng vôn-phram).

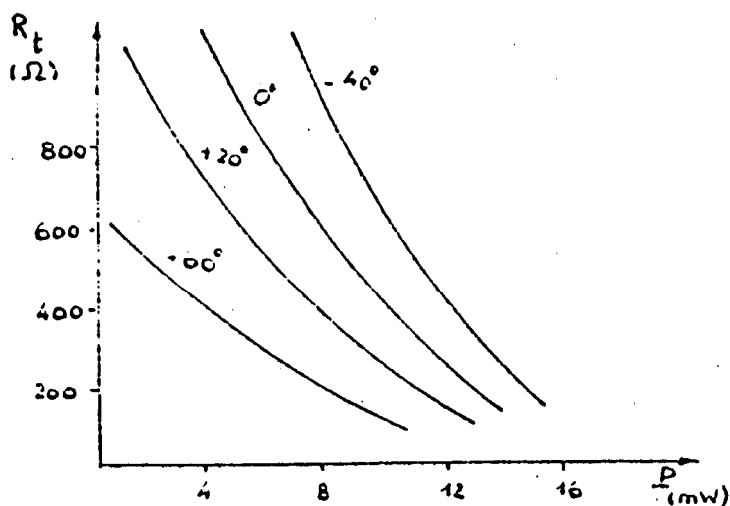
Điện trở trung bình của bôlômét không lớn lắm, loại vônphram khoảng  $50\Omega$  và loại bạch kim khoảng  $200\Omega$ .

Tecmisto là loại điện trở nhiệt bằng chất bán dẫn có hình dạng cấu tạo như hình 6-12. Hai dây bằng bạch kim hay iridiom có đường kính bằng  $20-30\mu$ , nối với hai đầu ống thủy tinh, nối với nhau bằng một hạt cầu bé làm bằng chất bột bán dẫn.



Hình 6-12

Điện trở của tecmisto khoảng chừng  $100\Omega$  đến  $3000\Omega$ . Nó là loại điện trở nhiệt, khi nhiệt độ tăng thì trị số điện trở giảm. Đồ thị biểu diễn quan hệ trị số điện trở  $R_t$  của tecmisto phụ thuộc vào công suất như trên hình 6-13.



Hình 6-13

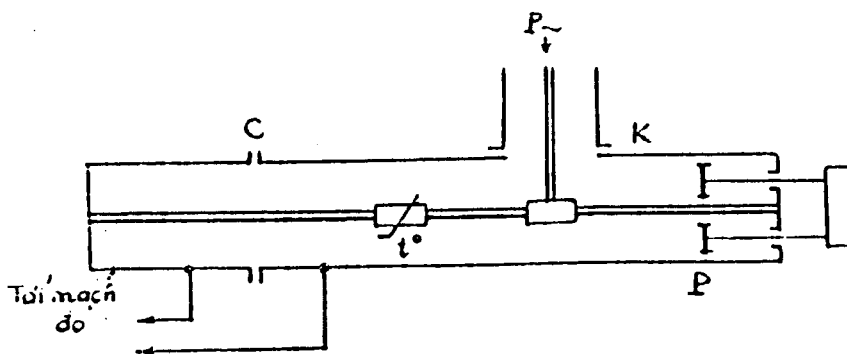
So sánh giữa bolômét và tecomisto, có một số ưu và nhược điểm sau.

Ưu điểm của bolômét là: dễ chế tạo, ít bị phụ thuộc vào nhiệt độ của môi trường chung quanh. Nhược điểm của bolômét là dễ bị quá tải; kích thước chế tạo lớn nên bị hạn chế khả năng sử dụng ở đoạn sóng cm (khi  $\lambda < 10\text{cm}$ ); điện kháng vào bé; khó thực hiện phối hợp với dây truyền tải; trị số điện trở phụ thuộc

vào tần số (do hiệu ứng bề mặt); có trị số điện cảm và điện dung bản thân lớn; sự phân bố dòng điện dọc theo sợi dây đốt không đều.

Ưu điểm của tecomisto là độ nhạy cao, lượng trình biến thiên của trị số điện trở rộng; ít bị quá tải; kích thước nhỏ; trị số điện cảm và điện dung của bản thân bé; thời gian làm việc lâu. Nhược điểm của tecomisto là chế tạo khó hơn và dễ bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ của môi trường chung quanh (xem hình 6-13).

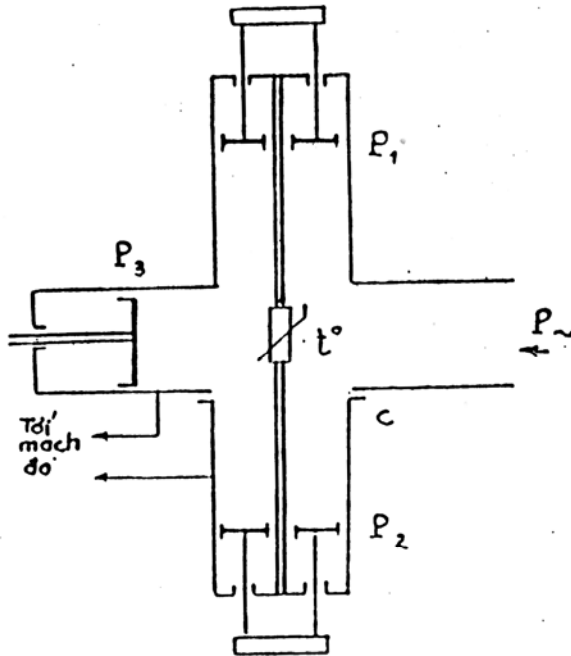
Do các ưu nhược điểm trên đây, nên tecomisto được sử dụng nhiều hơn để đo công suất. Ở đoạn sóng cm thì hầu như không còn dùng được bolômét nữa.



Hình 6-14

Vì bolômét và tecomisto đóng vai trò tải hấp thụ trong phép đo công suất, nên nó được mắc ở bộ phận mạch điện cao tần. Hình 6-14 là sơ đồ mạch điện oát-mét dùng bolômét trong mạch đo dùng dây đồng trục. Nhờ bộ phận nối tắt P và bộ di chuyển K mà có thể thực hiện điều chỉnh sự phối hợp của điện trở bolômét và trở kháng ra của

nguồn công suất cao tần cần đo. Bôlômét mắc vào trực giữa của đoạn dây đồng trục, và gần vị trí bụng của dòng điện phân bố trên đường dây truyền, (chiều dài tương đương của đoạn dây đồng trục bằng  $\lambda/2$ ). Khe hở của dây đồng trục (xem hình 6-14) hình thành điện dung C, nó đoản mạch đối với cao tần, nhưng có tác dụng ngăn cách dòng điện một chiều không đi qua bôlômét và mạch đo.

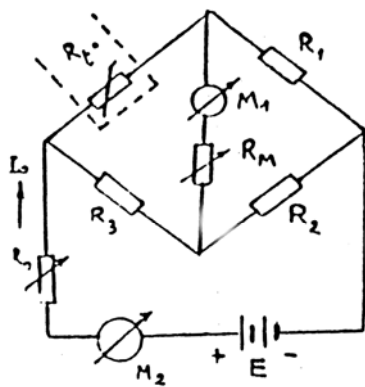


Hình 6-15

Hình 6-15 là một mạch sơ đồ oát-mét dùng tecmisto trong mạch đo dùng ống dẫn sóng. Nhờ các pittông nối tắt  $P_1$  và  $P_2$  mà có thể điều chỉnh bụng của dòng điện ở vị trí mắc tecmisto, (chiều dài tương đương của  $P_1$  và  $P_2$  bằng  $\lambda$ ). Pittông nối tắt  $P_3$  dùng để phối hợp trở kháng của tecmisto với ống dẫn sóng. Khe hở giữa dây đồng trục và ống dẫn sóng hình thành điện dung C, để phân chia mạch dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều cao tần.

Thực chất của việc đo công suất bằng bôlômét hay tecmisto là đo sự biến thiên trở kháng của bôlômét hay tecmisto. Nên loại mạch đo trở kháng được dùng nhiều hơn cả là loại mạch cầu, vì loại mạch này có độ nhạy cao và dễ

thực hiện điều chỉnh. Có thể sử dụng cả hai loại mạch cầu là loại mạch cầu cân bằng và không cân bằng. Sự khác nhau của hai loại mạch cầu này chỉ ở cách đo sự biến thiên của cầu khi có công suất của nguồn đo tác dụng.



Hình 6-16

Hình 6-16 là một mạch cầu cân bằng đơn giản. Tecmisto mắc ở bộ phận mạch cao tần, (ở đây được vẽ trong một nhánh cầu có ký hiệu nét rời trên hình 6-16). Điện trở  $R_0$  đối với dòng điện một chiều là một trong bốn nhánh cầu khi cầu cân bằng. Các nhánh khác đều là các điện trở thuần. Một đường chéo của cầu được cung cấp bởi nguồn điện áp một chiều E, còn đường chéo nữa mắc đồng hồ từ điện (ví dụ như một micro-ampe mét từ điện) để chỉ thị sự cân bằng của cầu.

Khi chưa có công suất nguồn cao tần tác dụng,

dòng điện một chiều của nguồn điện  $E$  đi qua điện trở nhiệt tectisto; điện trở  $R_{t0}$  có thể thay đổi được trị số điện trở  $R_{t0}$  để thoả mãn sự cân bằng của cầu. Nghĩa là khi cầu cân bằng thì

$$R_{t0} \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$$

Sự cân bằng của cầu được chỉ thị bằng đồng hồ  $M$ ; mức độ xác định đúng sự cân bằng tùy thuộc vào độ nhạy của đồng hồ chỉ thị và của mạch đo.

Khi có công suất cao tần tác dụng, điện trở  $R_{t0}$  giảm, cầu đo bị mất cân bằng. Sự mất cân bằng này được chỉ thị bằng đồng hồ  $M$ . Muốn hồi phục lại sự cân bằng thì cần phải giảm dòng điện một chiều  $I_0$  xuống trị số  $I_0'$ . Các trị số  $I_0$  và  $I_0'$  được chỉ thị bằng đồng hồ  $M_2$ . Trong cả hai lần đo cầu cân bằng thì trị số điện trở  $R_{t0}$  là bằng nhau, vì công suất tiêu thụ trong hai trường hợp trên là như nhau. Ta có:

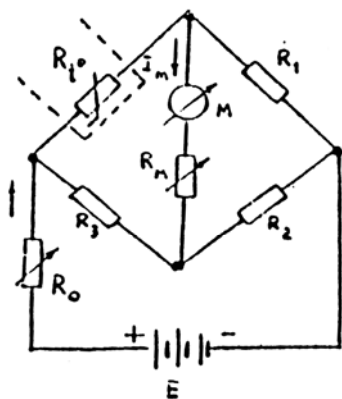
$$P_t = \frac{I_0^2 R_{t0}}{4} = \frac{(I_0')^2 R_{t0}}{4} + P$$

do đó công suất cao tần cần đo  $P_{\sim}$  là:

$$P_{\sim} = \frac{R_{t0}}{4} [I_0^2 - (I_0')^2] = \frac{R_{t0}}{4} (I_0^2 - I_0') (I_0^2 + I_0') \quad (7)$$

Như vậy, biết điện trở  $R_{t0}$  và các trị số dòng điện  $I_0$ ,  $I_0'$  thì có thể tính được công suất  $P_{\sim}$  cần đo theo công thức (7).

Loại mạch đo kiểu cầu không cân bằng của oát-mét như hình 6-17. Mạch điện loại này không khác gì mạch điện hình 6-16 của loại cầu cân bằng. Sự khác biệt chỉ là công suất đo được biểu thị bằng mức độ mất cân bằng của cầu, và được chỉ thị bởi dòng điện

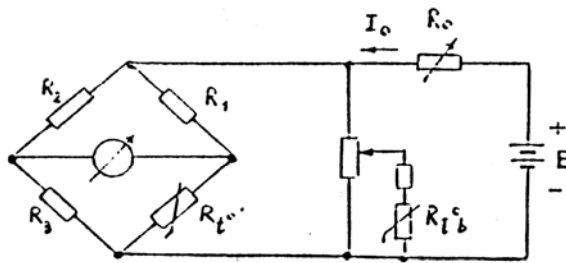


Hình 6-17

$I_M$  qua đồng hồ  $M$ . Như vậy thang độ của đồng hồ  $M$  phải được chuẩn theo đơn vị công suất. Sự chuẩn hoá này được tiến hành bằng cách thay thế điện trở nhiệt bằng điện trở mẫu. Biết trị số điện trở mẫu và trị số dòng điện qua nó thì biết được công suất tiêu thụ, và căn cứ vào đó mà tiến hành khắc độ hay chuẩn thang độ của đồng hồ. Khi các thông số của tectisto biến đổi và nhất là trường hợp khi thay thế tectisto, thì cần phải chuẩn lại đồng hồ. Đó là một nhược điểm của máy, đồng thời cũng là một nguyên nhân chủ yếu gây nên sai số, bởi vì khi nhiệt độ chung quanh thay đổi,

các thông số của tecomisto cũng bị thay đổi, máy đo sẽ bị mất chuẩn. Một nhược điểm nữa của mạch cầu loại này là khi trị số công suất đo thay đổi thì điện trở của tecomisto và dây truyền tải thay đổi (trong mạch cầu cân bằng thì điện trở tecomisto là không đổi).

Ưu điểm của loại oát-mét có mạch cầu không cân bằng là có khả năng đo được trực tiếp sự thay đổi của công suất đo.



Hình 6-18

Trong mạch đo của oát-mét còn có bộ phận để bù sự biến đổi điện trở của tecomisto do ảnh hưởng của nhiệt độ của môi trường xung quanh. Sự bù này thường được thực hiện bằng cách thêm một tecomisto nữa có đặc tính thông số tương tự vào một nhánh cầu lân cận. Khi nhiệt độ bên ngoài thay đổi, thì chúng cũng bị biến đổi điện trở

bản thân với một số trị như nhau. Mạch 6-18 là một ví dụ kiểu mạch bù khác, ở đây tecomisto dùng để bù nhiệt độ mắc ở mạch ngoài để phân dòng với bộ phận cầu. Giả sử cầu đang cân bằng, do nhiệt độ môi trường chung quanh biến đổi giảm xuống, thì  $R_{t0}$  của tecomisto tăng, cầu bị lệch cân bằng. Nhưng đồng thời vì  $R_{tb}$  (điện trở của tecomisto để bù nhiệt độ) cũng tăng, dòng điện trong mạch bù giảm, làm tăng điện áp đặt trên cầu, dòng điện cung cấp cho mạch cầu tăng do vậy bù được sự tăng của  $R_{t0}$ .

Các nguyên nhân gây sai số của phương pháp đo công suất bằng điện trở nhiệt là:

1. Sai số do không phối hợp trở kháng giữa điện trở của bôlômét hay tecomisto với dây nối. Vì như vậy công suất đo được sẽ khác với công suất khi có hệ số sóng đứng  $K_d = 1$ . Khi  $K_d$  biến đổi trong khoảng từ 1,2-1,3 thì sai số này bằng 2%.

2. Sai số do sự biến đổi của trị số điện trở bôlômét hay tecomisto phụ thuộc vào sự thay đổi của nhiệt độ môi trường bên ngoài. Sai số này của loại oát-mét dùng bôlômét thì nhỏ hơn oát-mét dùng tecomisto. Đó cũng là lý do giải thích tại sao khi dùng oát-mét loại tecomisto thì phải thực hiện bù nhiệt độ.

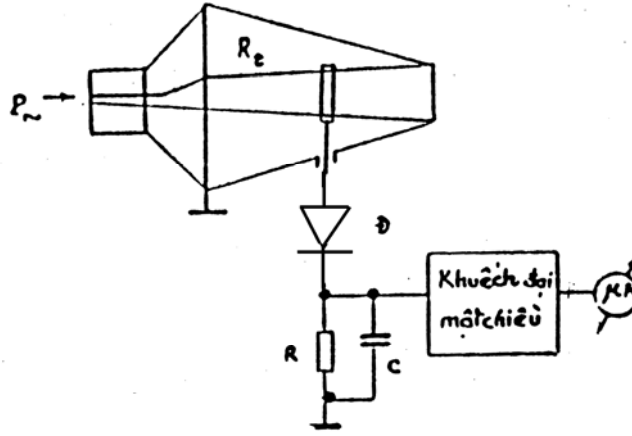
2. Sai số do nguồn cung cấp điện áp cho cầu không ổn định. Sai số này lớn hơn đối với loại oát-mét dùng mạch cầu không cân bằng. Nếu có ổn áp bằng điện tử, thì sai số này có thể giảm.

Đó là những sai số cơ bản, ngoài ra còn phải kể tới các sai số của thiết bị chỉ thị như: sai số của đồng hồ; sai số do khắc độ; sai số điều chuẩn chỉ thị không...

## 6.2 ĐO CÔNG SUẤT HẤP THỤ

### 6.2.1 Phương pháp vôn-mét ( và ampe-mét)

Phương pháp vôn-mét (và ampe-mét) còn gọi là cơ sở cấu tạo của các Oát-mét kiểu tách sóng dùng để trực tiếp đo công suất ở tần số cao, tới 1.000MHz.



Sơ đồ khối loại oát-mét này như hình 6-19. Phép đo ở đây được thực hiện bằng cách đo điện áp trên một tải đã biết. Khi có phối hợp trở kháng thì:

$$P = \frac{U_m^2}{2R_t} \quad (8)$$

Với  $R_t$  là trở kháng tải, nó bằng trở kháng đặc tính (trở kháng sóng)  $W$  của đường dây,  $U_m$  là trị số đỉnh của điện áp trên tải.

Điện trở  $R_t$  là tải hấp thụ, được cấu tạo dưới dạng điện trở bề mặt, nó là một hình trụ bằng gốm, trên phủ một lớp than chì đặc biệt có đường kính biến thiên theo hàm số mũ. Mục đích như vậy để đảm bảo không gây méo trường điện từ đường truyền trên đường truyền, làm cho tải có tính chất điện trở và phối hợp được với trở kháng sóng của đường dây truyền tải. (Cấu tạo của tải phối hợp sẽ được đề cập kỹ hơn ở chương đo các thông số của mạch có phần tử phân bố).

Để giảm bớt sự ghép điện kháng vào mạch đo và mở rộng được lượng trình đo công suất, vôn-mét được mắc để đo điện áp chỉ ở trên một phần của tải. Ngoài ra dây nối từ tải đến vôn-mét cũng cần phải ngắn. Vôn-mét đo là loại tách sóng đỉnh, mạch vào hở; có sơ đồ khối kiểu: tách sóng - khuếch đại - đồng hồ chỉ thị.

Nếu biểu thị phần đoạn tải mà vôn-mét đo điện áp trên đó là  $R_d$ , thì điện áp đo là

$$U_d = U_m \frac{R_d}{R_t} \quad (9)$$

Thay biểu thức (9) vào biểu thức (8) ta có:

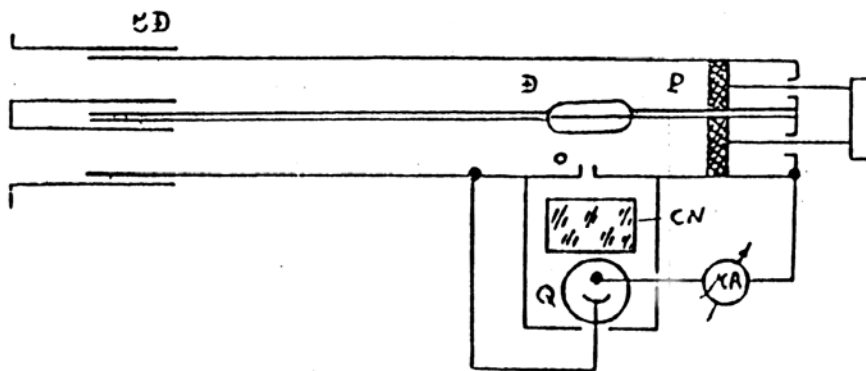
$$P = U_d^2 \frac{R_t}{2R_d^2} \quad (10)$$

Vì  $R_d$  là trị số điện trở đã biết, và cố định đối với oát-mét, nên thang độ của đồng hồ chỉ thị là có thể khắc độ trực tiếp theo đơn vị công suất (W).

Sai số của phép đo này là do các điện trở  $R_t$  và  $R_d$  có sai số (vì chưa được hoàn toàn tiêu chuẩn, và trị số bị biến đổi trong quá trình sử dụng); sai số của vôn-mét (do nguồn cung cấp thay đổi, sự thay đổi của nhiệt độ xung quanh trong quá trình đo lường ... ) và nhất là sai số do sự phối hợp trở kháng chưa tốt.

### 6.2.2 Phương pháp đo cường độ ánh sáng

Hình 6-20 là cấu tạo của oát-mét dùng cách biến đổi điện năng thành quang năng để đo công suất. Tải hấp thụ công suất cao tần của oát-mét là đèn điốt Đ mắc giữa trực của đoạn dây đồng trục ( hình 6-20). Dây đồng trục có một đầu nối tắt bằng pit-tông P, một đầu nối tiếp với một ống BD để có thể thay đổi được chiều dài ống, tác dụng của nó là để tạo ra sự phối hợp trở kháng của đèn đi-ốt Đ trong một dải tần số rộng.



Hình 6-20

Đèn điốt Đ là một đèn có cấu tạo đặc biệt; điện trở trong của đèn gần bằng trở kháng sóng của dây đồng trục, để có thể đảm bảo sự phối hợp của dây. Sợi đốt của đèn là một đoạn dây thẳng, mảnh để tránh được hiệu ứng bề mặt khi đo ở các tần số khác nhau. Để cho sự phân bố dòng điện dọc trên sợi dây đốt được đồng đều, chiều dài sợi đốt được chọn ngắn hơn 8 - 10 lần  $\lambda_{\min}$  của đoạn sóng công tác quy định của oát-mét. Trong ống thủy tinh của đèn có chứa khí hydro để nâng được công suất cực đại cần đo.

Ánh sáng phát ra từ đèn Đ đi qua lỗ O và tấm kính chắn nhiệt CN rồi tác dụng vào tế bào quang điện Q. Mạch điện của tế bào quang điện có mắc đồng hồ từ điện, thang khắc độ của đồng hồ được chuẩn theo đơn vị công suất.

Loại oát-mét này dùng để đo công suất chủ yếu ở đoạn sóng dm, lượng trình đo công suất tới 20W. Sai số đo khoảng 12%. Cấu tạo của oát-mét này tương đối đơn giản, song có nhược điểm là độ nhạy của nó bị phụ thuộc nhiều vào tế bào quang điện nên dễ bị thay đổi theo thời gian sử dụng.

### 6.2.3 Phương pháp nhiệt lượng mét

Phương pháp đo công suất bằng cách biến đổi năng lượng điện từ thành năng lượng nhiệt là một trong những phương pháp đo công suất lớn chính xác nhất. Phương pháp này có thể dùng cho bất cứ tần đoạn nào, nhưng vì điều kiện gọn nhẹ của thiết bị, nên nó chỉ thông dụng ở phạm vi sóng cực ngắn (cm, dm và một phần sóng m) , với lượng trình đo công suất từ 5-1000W.

Có hai loại oát-mét cấu tạo theo phương pháp đo nhiệt lượng: một loại dùng để đo trực tiếp, và một loại dùng để so sánh.

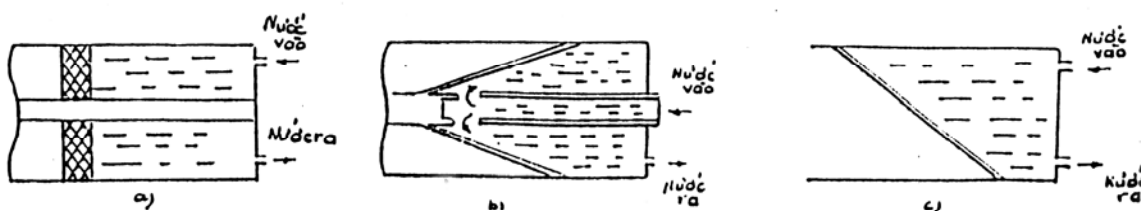
Cả hai loại oát-mét trên đều thường dùng tải hấp thụ là "tải nước", tức tải có chất hấp thụ năng lượng điện từ là nước, nước được chảy qua một bộ phận phát nhiệt được nung nóng bởi công suất của nguồn điện cần đo.

Công suất được hấp thụ trên tải như vậy được xác định bằng công thức:

$$P=69v\Delta t^0$$

Ở đây, v là tốc độ chảy của nước ( có thứ nguyên là  $\text{cm}^3/\text{s}$ ).  $\Delta t^0$  là độ chênh lệch nhiệt độ của nước ở đầu ra và đầu vào của bình chứa tải, nó được tính bằng độ bách phân.

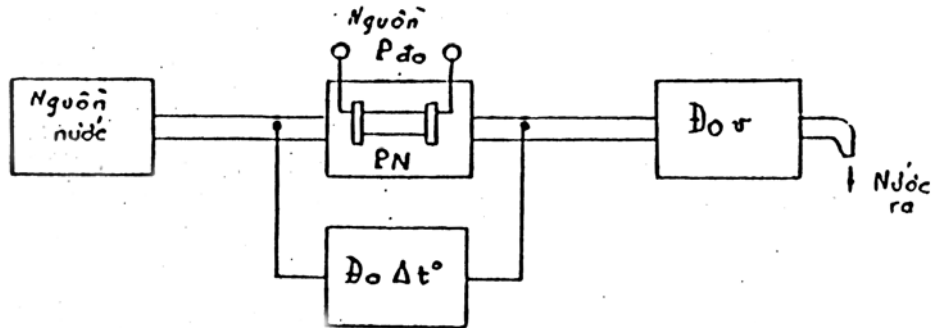
Để đo nhiệt độ của nước thì có thể dùng các loại nhiệt biểu như nhiệt biểu thủy ngân, nhiệt ngẫu hay nhiệt điện trở....



Hình 6-21

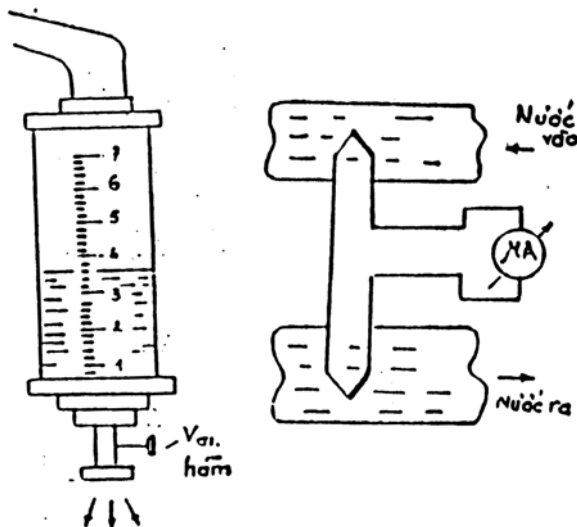
Hình dạng của các tải nước thì khác nhau tùy theo lượng trình công suất đo và vào chiều dài bước sóng của nguồn công suất đo. Hình 6-21 là các kiểu tải nước thông dụng ( hình 6-21a và 6-21b là tải kiểu dây đồng trực; hình 6-21c là kiểu dùng ống dẫn sóng).

Sơ đồ khối của oát-mét đo trực tiếp công suất như hình 6-22. Ở đây, năng lượng điện từ được đưa vào đốt nóng bộ phận phát nhiệt PN và được hấp thụ gây nóng nước.



Hình 6-22

Nước từ nguồn nước chảy qua bộ phận phát nhiệt PN và được đun nóng bởi bộ phận này. Sự chênh lệch nhiệt độ của nước được đo bằng hai nhiệt biểu của bộ phận đo  $\Delta t^0$ . Hình 6-23 là một ví dụ bộ phận đo  $\Delta t^0$  bằng nhiệt ngẫu, và đồng hồ từ điện  $\mu A$  ở đây có thể trực tiếp khắc độ theo đơn vị công suất.

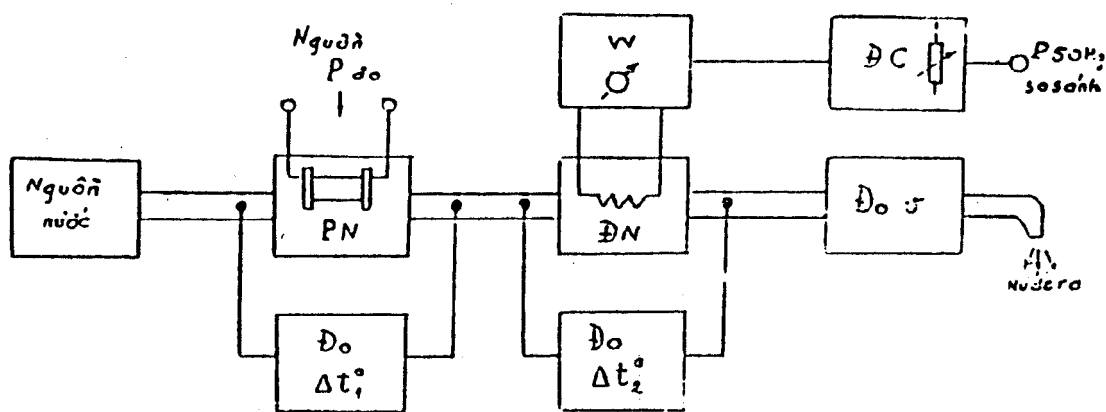


Hình 6-23

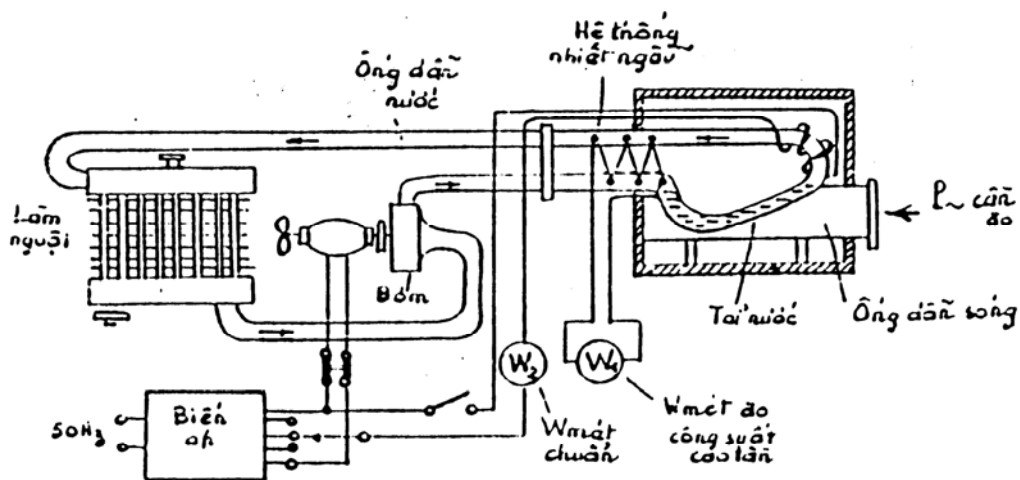
Tốc độ của nước chảy thường được chọn vừa phải để dễ phát hiện sự chênh lệch nhiệt độ và để oát-mét ít quán tính khi cần chuyển từ phép đo đại lượng công suất này sang phép đo khác. Thường người ta hay lấy tốc độ trung bình là:  $v=1,5$  lít/phút.

Để đo tốc độ của nước thì dùng một bình đựng nước có dung lượng đã được khắc độ và vòi có van hãm điều chỉnh được như hình 6-24. Khi đo, điều chỉnh để nước chảy, rồi đo mức nước sụt trong bình đã khắc độ dung lượng trong một khoảng thời gian nào đó, thì từ đó biết được tốc độ của nước chảy.

Sai số của phép đo công suất bằng loại oát-mét trên gồm sai số của phép đo tốc độ nước, sai số đo độ chênh lệch nhiệt độ, sai số do không phối hợp trở kháng của tải và sai số do sự truyền nhiệt ra môi trường xung quanh.



Hình 6-24



Hình 6-25

Trường hợp đo so sánh thì oát-mét có cấu tạo sơ đồ khối ví dụ như hình 6-25. Cũng như sơ đồ hình 6-22, ở đây năng lượng điện từ được đưa vào đốt nóng bộ phận phát nhiệt PN có nước chảy qua. Đầu ống nước vào của bộ phận này có độ chênh lệch nhiệt độ bằng bộ đo  $\Delta t_1^0$ . Sau đó, nước lại chảy qua bộ phận đốt nóng ĐN, là điện trở được nung nóng bằng nguồn điện áp có tần số 50Hz. Độ chênh lệch nhiệt độ ở đầu vào và đầu ra của bộ ĐN được đo bằng bộ đo  $\Delta t_2^0$ . Bộ ĐC dùng để điều chỉnh mức điện áp xoay chiều 50Hz. Công suất tiêu thụ trên điện trở bộ ĐN được đo trực tiếp bằng oát-mét ở tần số 50Hz. Khi điều chỉnh công suất nguồn 50Hz để có  $\Delta t_1^0 = \Delta t_2^0$  thì đã đạt được công suất cao tần cần đo có trị số bằng công suất được chỉ thị trên oát-mét W. Bộ đo tốc

độ v của nước ở đây chỉ có tác dụng giữ cho tốc độ chảy của nước không thay đổi trong quá trình đo mà thôi.

Sai số của oát-mét này do các nguyên nhân: sai số đo  $\Delta t_1^0$ , và  $\Delta t_2^0$ ; sai số đọc và điều chỉnh để cho  $\Delta t_1^0$  bằng  $\Delta t_2^0$ , sai số do tốc độ nước chảy thay đổi; sai số do không phối hợp trở kháng; sai số do bản thân oát-mét đo công suất tần số 50Hz và sai số do cấu tạo tải nước không hoàn hảo đã gây nên sự khuếch tán nhiệt ra môi trường xung quanh.

Như vậy, biểu thức tính trị số sai số tuyệt đối cực đại của phép đo công suất bằng phương pháp này là:

$$M_p^2 = M_{\Delta t_1}^2 + M_{\Delta t_2}^2 + M_0^2 + M_v^2 + M_k^2 + M_w^2 + M_{Q_1}^2 + M_{Q_2}^2$$

Với  $M_{\Delta t_1}$  và  $M_{\Delta t_2}$  là sai số khi đo  $\Delta t_1^0$  và  $\Delta t_2^0$ ;  $M_0$  là sai số đọc sự chỉ kim bằng nhau giữa  $\Delta t_1^0$  và  $\Delta t_2^0$ ;  $M_v$  là sai số đo tốc độ nước chảy;  $M_k$  là sai số do không phối hợp trở kháng giữa oát-mét và nguồn cao tần cần đo;  $M_w$  là sai số của bản thân oát-mét đo công suất ở tần số 50Hz;  $M_{Q_1}$  và  $M_{Q_2}$  là sai số trong trường hợp đo gián tiếp, ta có biểu thức tính như trên.

Hình 6-25 là sơ đồ cấu tạo đơn giản của oát-mét loại này, nhưng có hệ thống dẫn nước là đóng kín chứ không phải là để mở như các hệ thống đã giới thiệu ở trên. Như vậy không cần phải dùng nguồn nước ở ngoài, mà nước ở đây được lưu chuyển một cách tự động nhờ một hệ thống bơm và hệ thống làm nguội. Phép đo ở đây được thực hiện bằng cách so sánh nguồn công suất cao tần cần đo với nguồn công suất tần số công nghiệp; và thực hiện bằng phương pháp đo thay thế. Công suất cao tần sẽ được chỉ thị trực tiếp bằng oát-mét công suất tần số thấp.

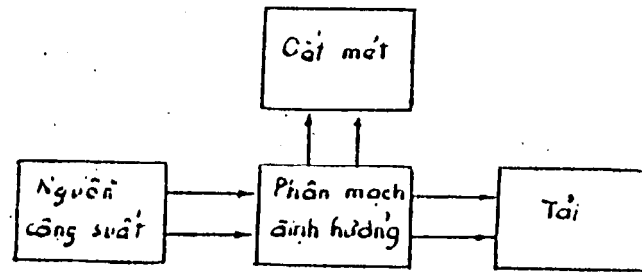
### 6.3 ĐO CÔNG SUẤT TRUYỀN THÔNG

Trên thực tế đo công suất, có trường hợp phải đo công suất của thiết bị được hấp thụ trên tải bất kỳ: nghĩa là nguồn công suất đang công tác ở chế độ có tải thực khi đó tình trạng giữa tải với dây truyền sóng, cũng như giữa dây truyền sóng với trở kháng ra của nguồn công suất có thể không hoàn toàn phối hợp. Đo công suất như trường hợp này được thực hiện với sơ đồ khối của phép đo như hình 6-3. Trong đó, oát-mét đo công suất chỉ hấp thụ một phần nhỏ năng lượng ghép từ đường truyền giữa nguồn công suất đến tải, chứ không phải là hấp thụ hoàn toàn công suất của nguồn công suất như trong trường hợp đo lường đã xét ở trên. Ta gọi trường hợp đo công suất như vậy là đo công suất truyền thông. Những phương pháp đo công suất truyền thông hay được thực hiện trong kỹ thuật đo lường điện tử như: phương pháp dùng phân mạch định hướng (phương

pháp phản xạ-mét), phương pháp dùng hiệu ứng Hall, phương pháp dùng hiệu ứng áp suất của sóng điện từ.

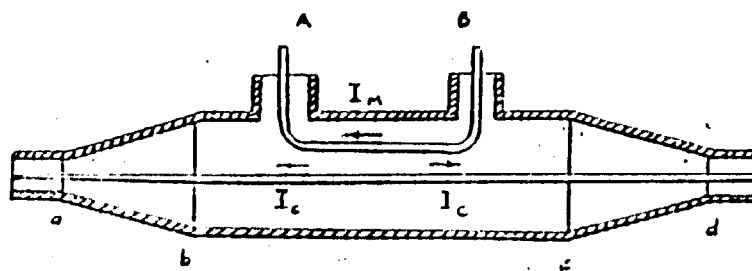
### 6.3.1 Phương pháp phân mạch định hướng

Như chúng ta đã biết, trong trường hợp cần đo công suất truyền thông giữa nguồn công suất và tải, và không có phối hợp trở kháng, nên có một phần năng lượng bị phản xạ trở lại. Công suất được hấp thụ trên tải trong trường hợp này sẽ là hiệu của công suất phát ra của nguồn và công suất phản xạ về. Ví dụ về mạch cần đo thực tế như: ở các đoạn sóng ngắn và cực ngắn, thì trở kháng của an-ten phụ thuộc nhiều vào các điều kiện của tần số và môi trường sóng lan truyền. Khi các yếu tố trên thay đổi thì trở kháng vào của an-ten bị biến đổi, do vậy trở kháng vào của dây phide cũng thay đổi theo, chúng làm thay đổi công suất của máy phát bức xạ qua an-ten. Muốn khảo sát chế độ công tác của máy phát cao tần và an-ten, cũng như cần biết mức công suất thực tế được bức xạ đi qua an-ten so với mức công suất được phát đi từ máy phát, thì cần đo công suất truyền thông trên dây phide.



Hình 6-26

Phương pháp đo công suất bằng cách phân mạch định hướng như hình 6-26. Với mạch đo này, nó cũng có chức năng và sơ đồ khối giống như mạch đo ở hình 6-3; chỉ khác là bộ phận ghép năng lượng ra mạch đo ở đây chính là bộ phân mạch định hướng. Phương pháp đo bằng mạch này còn gọi là phương pháp phản xạ mét, (về cấu tạo và



Hình 6-27

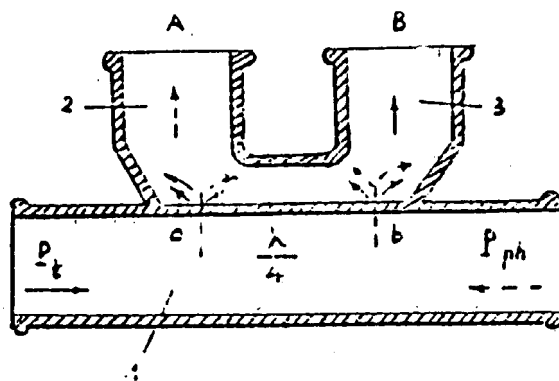
nguyên lý tính năng của phản xạ mét, ta sẽ xét kỹ hơn trong chương đo các thông số của mạch điện có các phần tử phân bố). Với cách ghép bằng bộ phân mạch định hướng, thì

có khả năng phân biệt được năng lượng truyền từ nguồn đến tải, cũng như năng lượng từ tải phản xạ trở về. Nếu bộ phân mạch định hướng có thêm tải và thiết bị chỉ thị nữa thì có thể đo riêng rẽ công suất của sóng tới và công suất của sóng phản xạ, đó chính là phản xạ mét.

Hình 6-27 là sơ đồ cấu tạo của một kiểu phân mạch định hướng dùng dây đồng trục. Trong hình này, đoạn dây b, c và vòng ghép V cấu thành bộ phân mạch định hướng. Đoạn a, b và c, d chỉ là đoạn dây biến đổi trở kháng của đường dây truyền, để cho trở kháng của đường dây truyền phối hợp được với bộ phân mạch định hướng. Vòng ghép V có kích thước nhỏ so với chiều dài của bước sóng. Nó có ghép cả bằng điện dung lẫn điện cảm với đường dây truyền. Vì có ghép điện dung với đường dây, nên trên vòng ghép có xuất hiện dòng điện  $I_c$  do điện trường của sóng lan truyền sinh ra; dòng này chạy cả về hai phía khác nhau. Vì có ghép điện cảm với đường dây, nên trên vòng ghép có xuất hiện dòng điện  $I_M$  do từ trường của sóng truyền lan sinh ra; dòng này chỉ chạy về một phía. Nếu kích thước của chiều dài vòng ghép V và khoảng cách từ vòng ghép trực đường dây đồng trục được chọn sao cho để có  $I_c = I_M$ , thì tại đầu ra A của bộ phân mạch có năng lượng điện từ được ghép ra, còn đầu B thì không có, vì tại nửa vòng ghép này, các dòng điện khử lẫn nhau đi. Tại đầu A có mắc Oát-mét để đo công suất, và nếu biết được hệ số ghép ra của bộ phân mạch thì có thể tính được công suất truyền thông trên dây đồng trục.

Nếu đổi chiều truyền dẫn của sóng điện từ trên đường dây, thì chiều dòng  $I_M$  đổi, và chỉ có năng lượng được ghép ở đầu ra B.

Nếu năng lượng của sóng điện từ truyền trên đường dây, có cả sóng tới và sóng phản xạ, chiều của chúng ngược nhau, thì tại mỗi đầu ra A và B của bộ phân mạch có năng lượng ghép ra thì chỉ có một loại sóng, sóng tới hay sóng phản xạ.



Hình 6-28

Hình 6-28 là sơ đồ cấu tạo của bộ phận mạch định hướng dùng ống dẫn sóng. Trong đó, các ống ghép ra 2 và 3 có cùng trở kháng sóng như ống 1, nó được ghép với 1

bằng hai lỗ a và b. Hai lỗ ghép a và b cách nhau một khoảng cách bằng  $\lambda/4$  (xem hình 6-28).

Năng lượng sóng điện từ tại ống dẫn sóng chính 1 được ghép sang bộ phân mạch từ hai lỗ ghép a và b được truyền theo hai chiều khác nhau trong bộ phân mạch. Ví dụ nếu năng lượng sóng tới  $P_i$  được truyền từ trái sang phải như hình vẽ, thì bộ phận trường được ghép tại a và bộ phận trường được ghép tại b (chiều truyền từ trái sang phải) sẽ cộng pha nhau, vì khoảng đường truyền dẫn của chúng bằng nhau. Bộ phận trường ghép tại a và tại b với chiều truyền theo hướng ngược lại (từ phải sang trái) trong bộ phân mạch định hướng thì suy giảm lẫn nhau, vì đoạn đường truyền dẫn của chúng chênh lệch khác nhau một khoảng chính bằng  $\lambda/2$ . Như vậy, năng lượng của sóng tới chỉ được ghép ra ở đầu B.

Ngược lại, năng lượng sóng phản xạ  $P_{px}$  truyền dẫn theo hướng từ phải sang trái (xem hình 6-28), thì chỉ được ghép ra ở đầu A của bộ phân mạch.

Nếu mắc vào đầu A hay B của oát-mét để đo công suất thì có thể đo riêng rẽ được công suất của sóng tới và công suất của sóng phản xạ.

Nguyên lý công tác của các bộ phân mạch định hướng trên là trường hợp lý tưởng. Thực tế thì vì do cấu tạo cơ khí không thật hoàn hảo, nên tại mỗi đầu A và B có ghép ra cả hai phân lượng sóng. Một phân lượng sóng đúng chiều thì có biên độ lớn hơn, còn phân lượng sóng ngược chiều thì có biên độ nhỏ. Tỷ số biên độ của hai phân lượng sóng này gọi là hệ số định hướng.

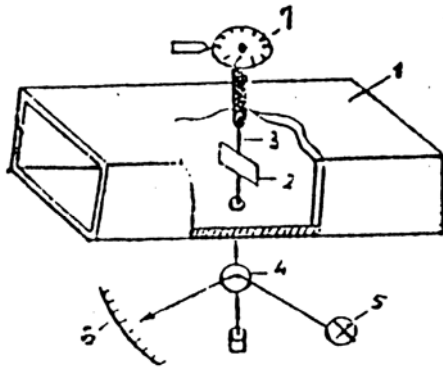
Hệ số định hướng của loại dùng dây đồng trục như hình 6-27 thì hầu như không phụ thuộc tần số, vì kích thước của nó nhỏ hơn nhiều so với chiều dài bước sóng. Còn đối với loại dùng ống dẫn sóng như hình 6-28 thì hệ số định hướng của nó phụ thuộc nhiều vào tần số, vì khoảng cách của các lỗ a và b là phải bằng  $\lambda/4$ .

Để mở rộng lượng trình thang tần số đo thì còn có loại phân mạch định hướng được cấu tạo thêm nhiều lỗ ghép nữa.

Oát-mét dùng để đo công suất từ bộ phân mạch định hướng thì dùng loại micro oát-mét, vì sự ghép năng lượng ra của bộ phân mạch như vậy phải là ghép rất lỏng, để không gây nên tổn hao nhiều, có thể làm ảnh hưởng tới công suất của mạch đo.

### **6.3.2 Phương pháp đo áp suất sóng điện từ**

Sóng điện từ truyền trên đường dây truyền sóng, thì cũng như ánh sáng, nó có gây ra một áp suất cơ học. Áp suất này tác động lên bề mặt thành ống sóng khi sóng điện từ truyền lan trong ống. Khi đặt một vật vào trong ống dẫn sóng có sóng điện từ truyền lan trong ống thì vật đó cũng bị một sức đẩy của sóng. Cường độ của áp suất này tỷ lệ với modun của vectơ Umốp-Pôintinh, tức là cũng tỷ lệ với công suất của sóng điện từ truyền



Hình 6-29

$10^{-12}\text{N/cm}^2$ . Do vậy, không thể trực tiếp đo được áp suất này. Ta phải đo thông qua các bộ biến đổi khác nữa mới có thể đo được.

Những cách thực hiện biến đổi để đo áp suất cơ học thường được sử dụng như: dùng phân tử áp điện, dùng tụ vi chỉnh, dùng đồng hồ đo áp suất cơ học...

Như đã biết từ phân lý thuyết trường điện từ, khi sóng điện từ lan truyền trong ống sóng hình chữ nhật, thì áp suất của sóng có trị số không đổi dọc theo thành hẹp của ống sóng, và có trị số biến đổi theo quy luật hình sin dọc theo thành rộng của ống. Khi tiết diện của ống sóng càng bé thì áp suất càng lớn. Vì vậy, các bộ biến đổi là thạch anh hay bản kim loại mỏng linh động được đều được đặt ở thành hẹp của ống.

Hình 6-29 là sơ đồ cấu tạo của một loại thiết bị để đo công suất dùng phương pháp này. Nguyên lý của thiết bị đo ở đây là bộ phận chỉ thị của nó được tác động của trường điện từ lên một bản kim loại được tích điện đặt trong trường này. Bản kim loại mảnh được tích điện, nó coi như tương đương một ngẫu cực điện với mômen  $m=el$ , ( với  $e$  là điện tích điểm, và  $l$  là chiều dài của ngẫu cực). Ngẫu cực này trong trường điện tạo nên một cặp lực tác dụng với mômen quay:  $M=mE\sin\theta$  (với  $\theta$  là góc tạo bởi trục của ngẫu cực với chiều của vectơ điện trường  $E$ ). Mômen quay  $M$  tăng theo góc  $\theta$ , và nó tỷ lệ với công suất truyền đi trong ống sóng.

Ở hình 6-29 mô tả nguyên lý cấu tạo cơ cấu đo, nó gồm có: ống sóng 1 để truyền dẫn năng lượng cần đo; sợi dây thạch anh 3 có đường kính rất mỏng, khoảng  $10\mu\text{m}$ , được nối với bản kim loại 2 đặt bên trong ống sóng. Sợi dây thạch anh này được xuyên qua ống sóng và nối ở bên ngoài với bộ phận khắc độ 7, nối với gương phản xạ 4 và quay được trên đế 6. Bản kim loại được đặt nghiêng góc  $45^\circ$  với chiều truyền lan của sóng điện từ, và ở vị trí này, nó tương ứng với điểm khắc độ đầu tiên của thang độ. Dưới tác động của điện trường, bản kim loại quay và gây xoắn dây treo, góc quay của bản được xác định bằng vị trí chỉ thị của điểm sáng phát ra từ nguồn sáng 5 được phản chiếu qua gương 4 và chiếu lên thang độ đo.

lan. Do vậy, đo công suất của sóng điện từ có thể thông qua phép đo áp suất của sóng điện từ tác động lên thành ống sóng hay áp suất của sóng điện từ tác động lên một vật trong ống sóng. Thang khắc độ của áp suất như vậy có thể trực tiếp chuyển đổi thành thang khắc độ theo đơn vị công suất.

Trị số của áp suất này rất nhỏ, ví dụ như với công suất của sóng truyền lan trên đường dây là  $1\text{mW}$ , có áp suất vào khoảng

Những ưu điểm của thiết bị đo công suất bằng phương pháp đo áp suất sóng điện từ là: giới hạn lượng trình đo công suất rộng, từ vài phần trăm W tới vài trăm KW; nó không gây tổn hao công suất nhiều, dễ phối hợp với nguồn đo; rất ít bị quá tải, ít quán tính. Sai số đo khoảng 1,5%.

Nhược điểm của phương pháp này là sai số của phép đo phụ thuộc vào độ mất phối hợp trở kháng; rất nhạy cảm với chấn động cơ giới và có yêu cầu cao về độ chính xác chế tạo.

Phương pháp này còn gọi là phương pháp áp suất quang, được dùng nhiều trong các thiết bị đo công suất ở siêu cao tần.

## 6.4 OÁT-MÉT DÙNG KỸ THUẬT SỐ

### 6.4.1. Oát-mét số (Digital Wattmeter)

Trên hình 6-30 là sơ đồ khối của oát-mét điện trở nhiệt với bộ điều chỉnh tự động và tính toán bằng kỹ thuật số. Trong sơ đồ gồm có hai cầu như nhau. Cầu thứ nhất là cầu chính được gọi là cầu làm việc, có chứa một điện trở để hấp thụ công suất cao tần. Cầu thứ hai, gọi là cầu bù, dùng để giảm ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường xung quanh đến kết quả đo. Sự thay đổi của nhiệt độ không phá vỡ quá trình làm việc bình thường của thiết bị, bởi vì nó gây ra sự thay đổi như nhau cho điện trở làm việc  $R_{lv}$  và điện trở bù  $R_b$ . Cả hai cầu được cung cấp bởi những nguồn đặc biệt – các bộ khuếch đại dòng điện một chiều để theo dõi, tự động giữ cân bằng các cầu. Giữa hai điểm A-B của cầu làm việc có một hiệu điện thế làm việc  $U_{lv}$  từ đầu ra của bộ khuếch đại dòng một chiều cho cầu làm việc. Còn giữa hai điểm A-B của cầu bù có hiệu điện thế  $U_b$  từ đầu ra của bộ khuếch đại dòng một chiều cho cầu bù.

Trước khi truyền công suất của sóng cao tần vào điện trở làm việc thì hiệu điện thế làm việc và hiệu điện thế bù sẽ bằng nhau. Khi điện trở làm việc chịu công suất của sóng cao tần thì điện trở của nó giảm đi và hai hiệu điện thế  $U_b$  sẽ không đổi, còn hiệu điện thế  $U_{lv}$  thì giảm đi. Khi quá trình tự động cân bằng kết thúc, cầu có hiệu điện thế là  $U'_{lv}$ .

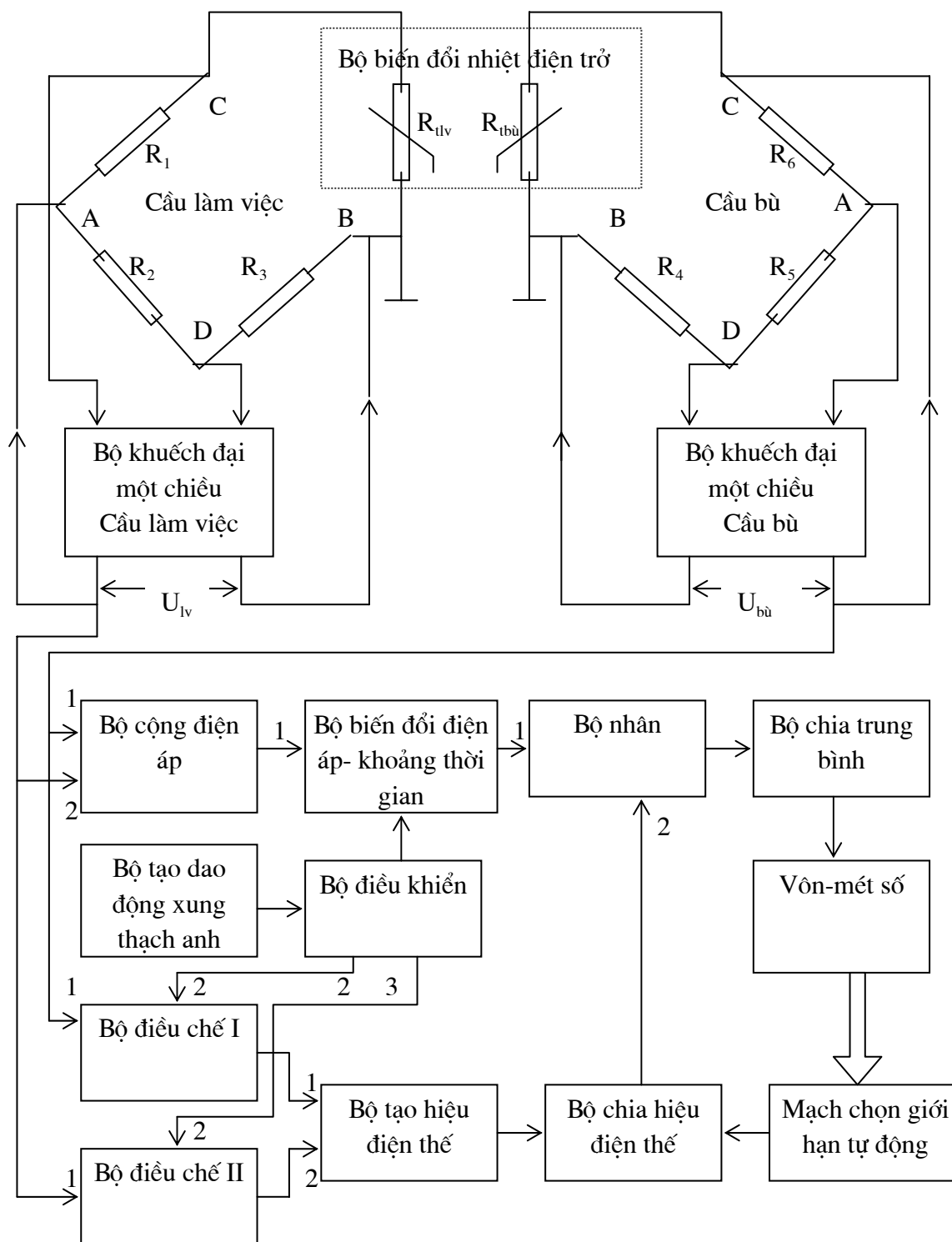
$$\text{Ta có: } P_{\text{sóng cao tần}} = \frac{U_{lv}^2 - U'_{lv}{}^2}{4R_{t^0}} \quad (11)$$

Thay giá trị  $U_{lv} = U_{bù}$  vào công thức trên

$$P_{\text{sóng cao tần}} = \frac{(U_{bù} + U'_{lv})(U_{bù} - U'_{lv})}{4R_{t^0}} \quad (12)$$

Công thức này xác định thuật toán làm việc của thiết bị. Bởi vì giá trị  $R_{\text{co}}$  xác định được nếu muốn tính bằng công suất  $P$  ta phải biết được tổng  $U_{\text{bù}}$  và  $U'_{\text{lv}}$  một chiều được đưa vào đầu vào 1 và 2 của bộ cộng điện áp, hiệu điện thế cộng ở đầu ra sẽ được đưa vào đầu vào 1 của bộ biến đổi điện áp – khoảng thời gian, nhưng trong oát-mét này chức năng biến đổi được giới hạn bằng cách tạo khoảng thời gian  $\Delta t$  có độ dài tỷ lệ với giá trị  $U_{\text{bù}} + U'_{\text{lv}}$  (không lấp khoảng thời gian này bằng các xung đếm). Ở đầu vào thứ hai của bộ biến đổi từ đầu ra của bộ điều khiển được đưa vào các chuỗi xung theo chu kỳ  $T_{\text{ch}}$  (ví dụ 1,28ms), chu kỳ này tạo ra độ dài của chu kỳ biến đổi, còn độ dài  $\tau_i = T$  (ví dụ  $T_1 = 40\text{ms}$ ). Khoảng thời gian độ dài phần “ở trên”. Chuỗi xung được tạo ra trong bộ điều khiển từ các tín hiệu xung của bộ tạo dao động thạch anh với chu kỳ  $f_{\text{ta}}$  (ví dụ  $f_{\text{ta}} = 100\text{KHz}$ ). Một xung chữ nhật “ở dưới” có độ dài  $\Delta t = K(U_{\text{bù}} + U'_{\text{lv}})$  được tạo ra ở đầu ra của bộ biến đổi khi kết thúc biến đổi được đưa vào đầu vào 1 của bộ nhân analog. Các xung như thế được lặp lại với tần số  $T_{\text{ch}}$ .

Để nhận được tín hiệu tương ứng với tín hiệu của  $U_{\text{bù}} - U'_{\text{lv}}$  người ta dùng hai bộ điều chế I và II. Hai hiệu điện thế  $U_{\text{bù}}$  và  $U'_{\text{lv}}$  được đưa vào đầu vào 1 của chúng. Đến đầu vào 2 của bộ điều chế I có một hiệu điện thế đối xứng chữ nhật có chu kỳ  $T_{\text{ch}}$  từ đầu ra 2 của bộ điều khiển, trong đó trong nửa chu kỳ đầu của hiệu điện thế có dấu dương, còn đến đầu vào 2 của bộ điều chế II có tín hiệu tương tự về hình dạng và độ dài nhưng có dấu ngược lại, tín hiệu này đi từ đầu ra 3 của bộ điều khiển. Xung đầu ra của bộ điều chế I với biên độ  $U_{\text{bù}}$  được đưa vào đầu vào 1 của bộ tạo điện hiệu của hiệu điện thế và tích vào tụ đến điện thế  $U_{\text{bù}}$ . Từ bộ điều chế II tới đầu vào 2 của bộ tạo hiệu điện thế là xung có biên độ  $U'_{\text{lv}}$ , nó tạo ra sự phóng điện một phần của tụ điện, và hiệu điện thế giữa hai cực của tụ là  $U_{\text{bù}} - U'_{\text{lv}}$ . Sau khi khuếch đại hiệu điện thế trên qua một bộ chia hiệu điện thế, (hệ số truyền của bộ này xác định giá trị giới hạn của phép đo, nó được đưa vào đầu vào 2 của bộ nhân. Ở đầu ra của bộ nhân tạo ra một chuỗi xung chữ nhật có chu kỳ, có độ dài  $\Delta t$  tỷ lệ với tổng  $U_{\text{bù}} + U'_{\text{lv}}$ , còn biên độ thì tỷ lệ với hiệu  $U_{\text{bù}} - U'_{\text{lv}}$ . Cho chuỗi xung này qua một bộ chia trung bình, ta thu được một hiệu điện thế thành phần không đổi có giá trị tương ứng với  $(U_{\text{bù}} + U'_{\text{lv}})(U_{\text{bù}} - U'_{\text{lv}})$ , có nghĩa là công suất của sóng cao tần đã được đo bằng vôn-mét số là giá trị công suất cần đo của sóng cao tần. Với giá trị được xác định do vôn-mét, mạch sẽ tự động thay đổi hệ số của bộ chia.

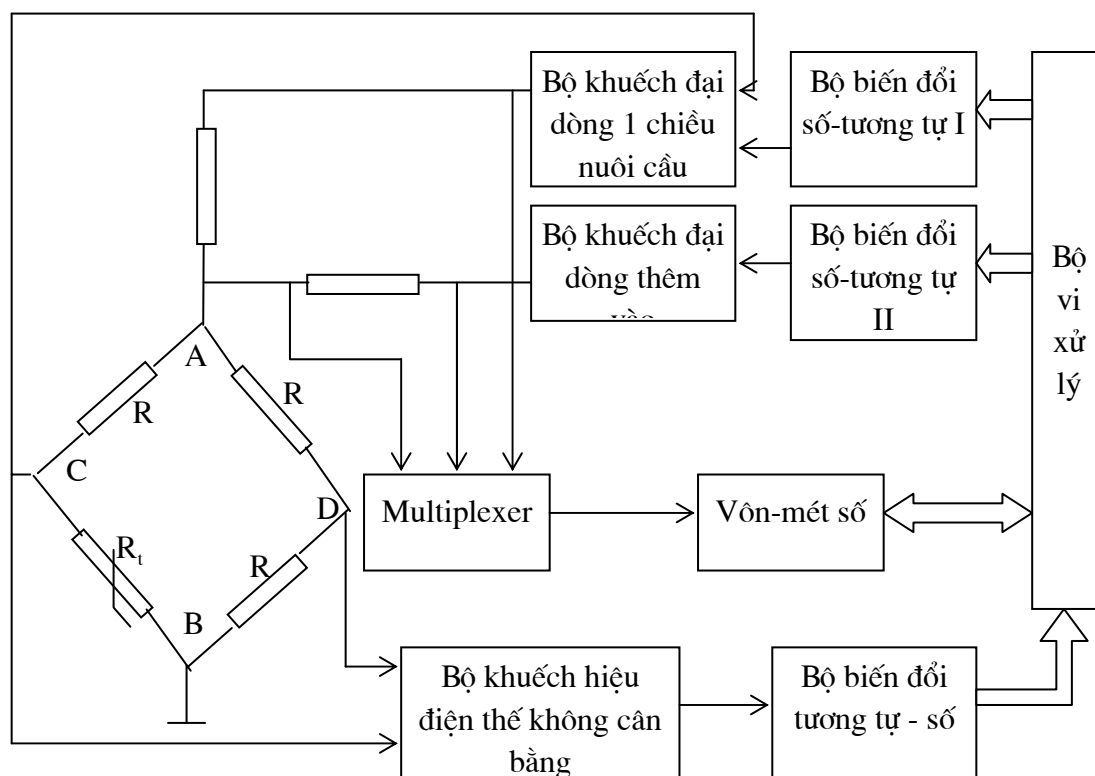


Hình 6-30

### 6.4.2. Oát-mét cài đặt vi xử lý

Trên hình 6-31 thể hiện một sơ đồ khối của một oát-mét dùng bộ vi xử lý. Trong sơ đồ này, người ta chỉ dùng một cầu được tự động cân bằng. oát-mét làm việc theo nguyên tắc được trình bày sau đây.

Khi bật thiết bị đo, trên đầu vào của cả hai bộ biến đổi số-tương tự bằng 0 và việc cân bằng cần đo một bộ khuếch đại dòng một chiều bảo đảm. Đây là chế độ tự cân bằng của cầu. Trong đó dòng điện nuôi cầu có giá trị  $I$  (dòng đi qua điện trở  $R_{p2}$  không có). Sự sụt hiệu điện thế tại điện trở  $R_{p1}$  được đo bằng vôn-mét số và kết quả đo được đưa vào bộ vi xử lý.



Hình 6-31

Bộ vi xử lý đưa một số vào bộ biến đổi số-tương tự II để cho ra một dòng điện  $I_0$  tương ứng tại đầu ra của bộ khuếch đại dòng thêm vào. Như vậy dòng điện đưa vào cầu được tăng lên, nó là tổng của 2 dòng. Nó sẽ làm cho bộ khuếch đại dòng một chiều nuôi cầu giảm dòng xuống còn  $\Delta I_1 = I - I_0$ , trong đó  $\Delta I_1 \ll I_0$ . Hiệu điện thế không cân bằng của cầu qua bộ khuếch đại được đưa vào bộ biến đổi tương tự-số, từ hiệu điện thế sang một số. Số này được đưa vào bộ vi xử lý và tại đây, giá trị  $I_0$  và  $\Delta I_1$  sẽ được xác định để tương ứng với trạng thái cân bằng của cầu. Cả hai giá trị này được đưa vào bộ nhớ của bộ vi xử

lý:  $I_0$  cho qua điện trở  $R_{p2}$  và đo sự sụt áp tại đây,  $\Delta I_1$ -sau khi đo sụt thế tại điện trở  $R_{p1}$ . Các đầu vào của vôn-mét số được nối qua bộ multiplexer.

Sau khi cho công suất của sóng cao tần qua điện trở nhiệt thì cầu mất cân bằng. Để lập cân bằng, người ta giảm dòng  $\Delta I$  đến giá trị  $\Delta I_2$  ( $I_0$  vẫn giữ nguyên).  $\Delta I_2$  được đo bằng vôn-mét số và giá trị đo được đưa vào bộ nhớ của bộ vi xử lý.

Ta tìm công thức để tính công suất của sóng cao tần theo các giá trị dòng điện đo được khi cầu có sự cân bằng ban đầu, dòng điện đưa vào đầu AB là  $I_1 = I_0 + \Delta I_1$ , khi có sự cân bằng lần sau (sau khi cho công suất của sóng cao tần qua) thì dòng điện là:

$$I_2 = I_0 + \Delta I_2$$

$$\text{Vậy: } P_s = \frac{[(I_0 + \Delta I_1)^2 - (I_0 + \Delta I_2)^2] R_{t^2}}{4}$$

$$\text{hay: } P_s = \frac{[(2I_0 + \Delta I_1 + \Delta I_2)^2 - (\Delta I_1 + \Delta I_2)^2] R_{t^2}}{4} \quad (13)$$

Bộ vi xử lý sẽ tính toán giá trị này và thể hiện ra ngoài màn hình.

Thiết bị cho phép tiến hành nhiều lần đo và tự động xử lý các kết quả đo.

Từ (13) ta thấy phép đo công suất là gián tiếp bởi vì quan hệ giữa công suất  $P_s$ ,  $I_0$  và  $\Delta I$  không tuyến tính, do vậy để đánh giá sai số của phép đo, ta phải dùng lý thuyết tính sai số trong trường hợp đo gián tiếp. Để rút gọn phép tính, giả sử rằng :  $\Delta I_1 = 0$ ;  $\Delta I_2 = \Delta I < I_0$ .

Như vậy (13) được viết lại thành:  $P_s \approx I_0 \cdot \Delta I \cdot R_{t0} / 2$

Ký hiệu  $P_s = Z$ ,  $I_0 = x_1$ ,  $\Delta I = x_2$  và  $R_{t0}/2 = a$  ta có:

$$Z = a \cdot x_1 \cdot x_2$$

Giả sử sai số của dòng  $I_0$  và  $\Delta I$  là ngẫu nhiên, ta có sai số của phép đo:

$$\delta_p = \sqrt{\delta_{I_0}^2 + \delta_{\Delta I}^2}$$

Vậy nên nếu  $\delta_{I_0} = \delta_{\Delta I} = 0,01\%$  thì  $\delta_p \approx 0,015\%$ .

### **Mở rộng giới hạn phép đo.**

Giới hạn trên của công suất đo được bằng điện trở nhiệt có thể được mở rộng khi ta cắm thêm ở đầu vào của thiết bị một bộ biến đổi có chia độ (bộ suy giảm). Lúc đó, công suất đo được bằng số đo trên oát-mét nhân với hệ số của bộ biến đổi (bộ suy giảm).

Các thiết bị đo nêu trên là các thiết bị hấp thụ công suất, có thể sử dụng thiết bị cho công suất đi qua, muốn vậy phải có một đường dẫn công suất. Đường chính được nối từ máy phát và phân chia công suất. Thiết bị đo được nối vào đường rẽ có một phần công suất nhỏ đi qua. Nhánh rẽ này được xác định, chia độ cho một công suất tắt dần chỉ trong một khoảng giới hạn cho trước. Công suất đi qua đường chính ở cuối đường sẽ lớn hơn công suất đo được bằng oát-mét trên nhánh rẽ là C lần:

$$P_{\text{đi qua}} = P_{\text{đo}} \cdot C$$

Trong đó,  $C = P_{\text{chính}}/P_{\text{phụ}}$  là tỷ lệ công suất trên đường chính và đường rẽ.

## *Chương VII*

# ĐO CÁC THAM SỐ ĐIỀU CHẾ VÀ ĐẶC TÍNH PHỔ CỦA TÍN HIỆU

### 7.1 ĐO HỆ SỐ ĐIỀU CHẾ

Trong kỹ thuật điện tử, thông tin, có rất nhiều loại tín hiệu dao động điều chế được sử dụng. Các tín hiệu dao động được điều chế với các phương thức khác nhau tùy theo yêu cầu của sự truyền tín hiệu và khả năng cấu tạo của thiết bị. Có nhiều phương thức điều chế, ví dụ như: điều chế biên độ, điều chế tần số, điều chế pha, điều chế đơn biên, điều chế xung, và còn cả các phương thức điều chế phức tạp khác như điều chế xung-cốt ...

Các giá trị của tần số điều chế tùy thuộc vào đặc tính của sự truyền tín hiệu, ví dụ như ở kỹ thuật vô tuyến điện thoại thì tần số này vào khoảng  $300 \div 3400$  Hz; ở kỹ thuật vô tuyến truyền thanh thì khoảng  $40 \div 10000$  Hz; ở kỹ thuật truyền hình thì vào khoảng  $(2 \div 6,5 \cdot 10^6)$  Hz...

Dao động điều chế biên độ được biểu thị bằng hệ số điều chế  $m$ . Dao động điều chế tần số (dao động điều tần), được biểu thị bằng chỉ số điều tần  $m_f$ . Tất cả các loại dao động điều chế đều được biểu thị bằng độ sâu điều chế, độ sâu điều chế bằng tỷ số của hệ số điều chế hay chỉ số điều chế so với trị số điều chế cực đại có thể thực hiện, nó được tính bằng số phần trăm.

Khi điều chế xung thì cần phải đo các thông số của xung và tần số lặp lại của xung điều chế này.

Như đã xét từ chương mở đầu (chương 1), một điện áp cao tần được điều chế biên độ bằng một tín hiệu thuần túy điều hoà, có thể viết dưới dạng:

$$u = U_m (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega t \quad (1)$$

Ở đây  $U_m$  là biên độ của điện áp bị điều chế;  $\omega = 2\pi f$ , với  $f$  là tần số của các dao động bị điều chế (tần số mang);  $\Omega = 2\pi F$ , với  $F$  là tần số của dao động điều chế;  $m$  là hệ số điều chế. (Cũng cần chú ý, trong trường hợp điều biên,  $f$  và  $F$  đều là giá trị tần số trung bình:  $f_0, F_0$ . Để đơn giản ở đây ta bỏ ký hiệu chỉ số “0”).

Hệ số điều chế  $m$  của điện áp cao tần bằng tỷ số của lượng biến thiên biên độ điện áp  $\Delta U$  với trị số biên độ điện áp  $U_m$  khi không có điều chế:

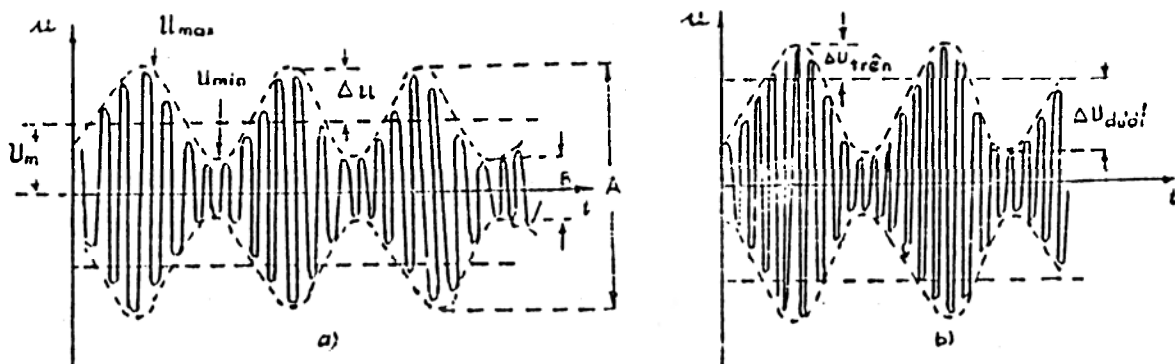
$$m = \frac{\Delta U}{U_m} \quad (2)$$

Biểu thức (2) được tính theo số phần trăm. Trị số biến thiên biên độ cực đại không thể lớn hơn được trị số biên độ, vì vậy mà hệ số điều chế biên độ, hệ số điều chế cực đại bằng 1. Khi không có điều chế, thì  $m = 0$ . Trong trường hợp điều chế biên độ, hệ số điều chế và độ sâu điều chế là cùng nghĩa, các trị số này bằng nhau.

Hình 7-1 là đồ thị biểu diễn dao động điều chế tương ứng với biểu thức (1). Từ đồ thị này có thể xác định được hệ số điều chế như sau:

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \quad (3)$$

Các công thức (2) và (3) chỉ đúng trong trường hợp điều chế đối xứng. Khi điều chế không đối xứng thì hệ số điều chế được phân biệt thành hệ số điều chế “trên” và hệ số điều chế “dưới” (xem hình 7-1b):



Hình 7-1

Hệ số điều chế theo phần nửa “trên”:

$$m_{tr} = \frac{\Delta U_{tr}}{U_m} \quad (4a)$$

và hệ số điều chế theo phần nửa “dưới”:

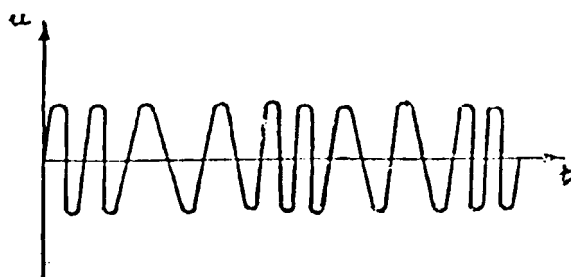
$$m_d = \frac{\Delta U_d}{U_m} \quad (4b)$$

Một điện áp cao tần được điều chế tần số bằng một tín hiệu thuận tuý điều hoà thì biểu thức của điện áp điều tần này có thể viết dưới dạng :

$$u = U_m \cos(\omega_0 t + m_f \sin \Omega t) \quad (5)$$

ở đây,  $U_m$  là biên độ của điện áp có tần số bị điều chế  $\omega_0 = 2\pi f_0$ , với  $f_0$  là tần số của điện áp bị điều chế;  $\Omega = 2\pi F$ , với  $F$  là tần số của điện áp điều chế;  $m_f$  là chỉ số điều tần, được xác định bằng biểu thức:

$$m_f = \frac{\Delta\omega}{\Omega} = \frac{\Delta f}{F} \quad (6)$$



Hình 7-2

Ở công thức (6),  $\Delta f$  là độ lệch tần số khi điều chế tần số, tức là độ di tần.

Trị số tần số tức thời của tín hiệu điều tần bằng:

$$f = f_0 \pm \Delta f$$

Trị số độ di tần khi điều tần tỷ lệ với biên độ của điện áp điều chế, và không phụ thuộc vào tần số của điện áp điều chế:

$$\Delta f = aU_F \quad (7)$$

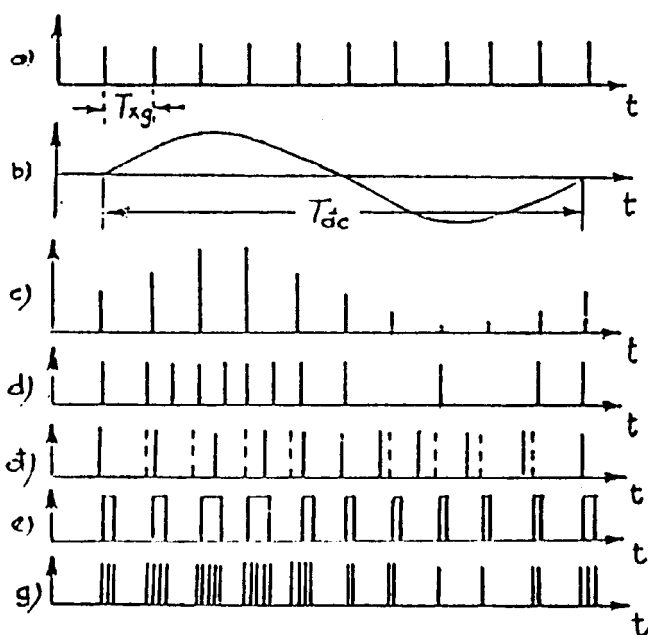
Hình 7-2, là đồ thị biểu diễn áp điều tần, tương ứng với biểu thức (5).

Tần số của điện áp điều chế xác định tốc độ biến thiên trị số tức thời của độ di tần:

$$\Delta f = \Delta f_{\max} \cos \Omega t$$

Ở đây,  $\Delta f_{\max}$  là độ di tần cực đại.

Trên thực tế đo lường các thông số của điện áp điều tần, với các trường hợp như khi ở trong điều kiện khai thác, thì thường đo độ di tần



Hình 7-3

$\Delta f$ , sau đó dùng công thức (6) để xác định chỉ số điều tần. Đối với các trường hợp cần đo chính xác, như khi cần điều chuẩn máy phát hay hiệu chỉnh máy đo, thì thường đo độ di tần  $m_f$ . Sau đó dùng công thức (6) để xác định độ di tần  $\Delta f$ .

Các dạng điều chế xung được minh họa như hình 7-3. Hình 7-3a là giản đồ của dãy xung tựa. Hình 7-3b là dạng điện áp điều chế. Hình 7-3c là giản đồ điều chế biên độ xung. Hình 7-3d là giản đồ điều chế tần số xung. Hình 7-3đ là giản đồ điều chế thời gian xung (hay pha xung). Hình 7-3e là giản đồ điều chế độ rộng xung. Hình 7-3g là giản đồ điều chế xung-cốt.

Đo các thông số và đặc tính của các dạng điều chế xung thì cần đo biên độ, độ rộng của xung, thời gian tạo sườn và suy giảm của đỉnh. Với xung biến đổi có tính chu kỳ thì còn cần đo tần số lặp lại và hệ số khoảng trống của xung.

### 7.1.1 Đo hệ số điều chế biên độ

Hệ số điều chế biên độ thường được đo bằng hai phương pháp: Phương pháp vẽ đồ thị bằng dao động ký, và phương pháp tách sóng.

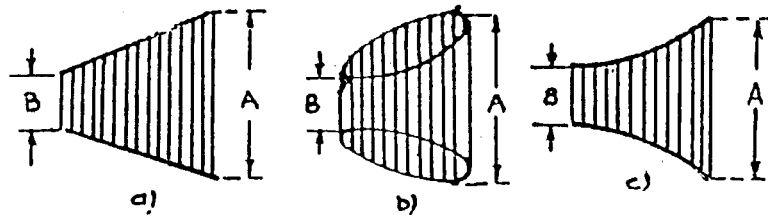
*Phương pháp vẽ dao động đồ.*

Để xác định hệ số điều chế biên độ bằng dao động ký thì có thể dùng ba cách tạo quét: quét đường thẳng, quét hình sin và quét hình elíp (hay quét tròn).

Khi đo bằng cách quét đường thẳng, thì điện áp quét răng cưa được đưa vào cặp phiên lệch ngang; điện áp của dao động cao tần đã điều chế đưa vào cặp phiên lệch đứng. Tần số của điện áp quét thường lấy khoảng 2 - 3 lần nhỏ hơn tần số điều chế. Khi đó trên màn của dao động ký sẽ có dao động đồ như hình 7-1a dưới dạng hàm số  $u = f(t)$ . Để đo hệ số điều chế, ta đo các kích thước hình học của dao động đồ A và B (hình 7-1a), rồi tính theo công thức (3). Ta có  $A = 2U_{\max}$ , và  $B = 2U_{\min}$  do đó:

$$m = \frac{A - B}{A + B} \quad (8)$$

Muốn có dao động đồ đứng yên, thì phải thực hiện đồng bộ giữa điện áp quét và



Hình 7-4

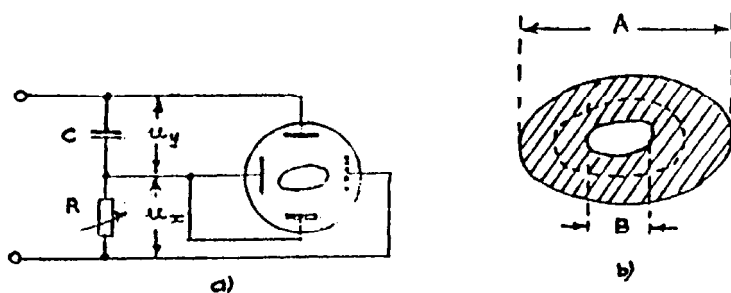
điện áp điều chế.

Khi đo bằng cách quét hình sin, thì điện áp của dao động đã được điều chế được đưa vào cặp phiến lệch đứng, còn điện áp điều chế, thì đưa vào cặp phiến lệch ngang. Khi đó các hình bao của dao động đã điều chế làm cho tia điện tử bị dịch chuyển theo phương thẳng đứng, với biểu thức:  $y = U_m(1 + m\cos\Omega t)$ . Điện áp điều chế làm cho tia điện tử bị dịch chuyển theo phương nằm ngang với biểu thức:  $x = U_m\cos\Omega t$ . Khử thành phần  $\cos\Omega t$ , ta có:  $y = U_m + mx$ , nghĩa là các giới hạn trên và dưới của dao động đồ là các đoạn thẳng mà độ nghiêng của chúng tùy thuộc vào trị số hệ số điều chế  $m$ . Trên màn dao động ký xuất hiện một dao động đồ là một miền sáng có dạng hình thang như hình 7-4-a. Hai đoạn thẳng giới hạn trên và dưới của dao động đồ chính là hai đồ thị Litsagiu. Các đồ thị Litsagiu chính là do tác động quét lẫn nhau của hình bao điện áp đã điều chế và điện áp điều chế, khi hai điện áp này không lệch pha nhau. Các kích thước hình học A và B của dao động đồ hình 7-4 cũng là tương ứng với các trị số cực đại và cực tiểu của điện áp điều chế. Vì vậy, hệ điều chế ở đây cũng được xác định như công thức (8).

Hình 7-4b là dao động đồ có được khi có lệch pha giữa hai điện áp đưa vào cặp phiến lệch. Sự di pha này có thể thường là do bộ khuếch đại của dao động ký gây ra do đó khi đo các điện áp được đưa trực tiếp tới các cặp phiến làm lệch.

Hình 7-4c là trường hợp khi có méo không đường thẳng của một trong hai điện áp cung cấp tới các cặp phiến lệch.

Khi đo bằng cách quét elíp, thì điện áp của dao động đã điều chế được đưa vào hệ thống hai cặp phiến lệch qua bộ tạo di pha  $90^\circ$  như hình 7-5a. (Lúc này bộ tạo điện áp quét răng cưa của dao động ký không làm việc). Trên màn dao động ký xuất hiện dao động đồ là một miền sáng hình vành elíp như hình 7-5b. Các kích thước A và B của hình vành này tùy thuộc vào độ sâu điều chế của điện áp cần đo. Hệ số điều chế  $m$  cũng được tính như công thức (8). Đường elíp vẽ chấm chấm trên hình 7-5b là dao động đồ khi không có điều chế.

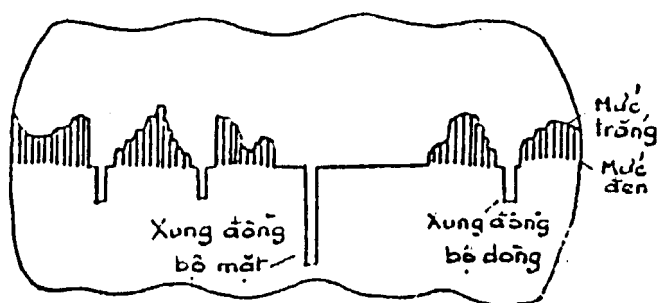


Hình 7-5

Phương pháp đo hệ số điều chế bằng dao động ký có ưu điểm là đơn giản, rõ ràng và dễ thực hiện. Phương pháp này thường được dùng trong trường hợp đo mà điện áp điều chế có dạng thuần sin và có tần số trong dải âm tần. Nhược điểm của phương pháp này là tần số mang của dao động điều chế còn bị hạn chế bởi dải thông tần của bộ khuếch đại dao động ký. Vì vậy nên các điện áp đo thường được đưa trực tiếp tới các cặp phiên lệch của ống tia điện tử.

Phương pháp này có thể đo được hệ số điều chế từ 0 đến 100%, và quan sát được cả chế độ quá điều chế. Độ chính xác không cao, vì bị hạn chế bởi các sai số do khả năng tiêu tụ và đo các kích thước hình học của dao động đồ. Sai số đo thường vào khoảng (8 - 10)%.

Khi tín hiệu điều chế là tương ứng với tiếng nói hay âm nhạc, thì thích hợp hơn cả là quan sát dao động điều chế này bằng cách thực hiện quét đường thẳng. Tín hiệu được biểu diễn dưới dạng hàm số theo thời gian, dễ quan sát song không thực hiện đo được, vì đặc tính ngẫu nhiên của tín hiệu này.

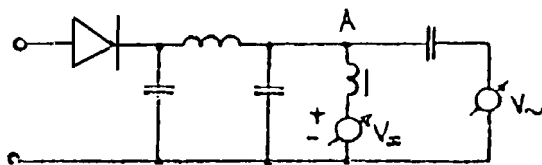


Hình 7-6

Phương pháp này còn được dùng để quan sát chỉ số điều chế của tín hiệu vô tuyến truyền hình, để từ đó có thể kiểm tra được dễ dàng các mức “trắng”, mức “đen”, cũng như các xung đồng bộ. Hình 7-6 là ví dụ dao động đồ của tín hiệu truyền hình.

#### Phương pháp tách sóng.

Phương pháp tách sóng dùng để đo hiệu số điều chế biên độ dựa trên nguyên lý tách sóng điện áp cao tần đã điều chế, và đo các thành phần một chiều, thành phần xoay chiều của điện áp này.



Hình 7-7

Thiết bị đo thực hiện theo phương pháp trên được gọi là máy đo hệ số điều chế. Thang độ chỉ thị của máy được khắc độ trực tiếp theo số phần trăm của hệ số điều chế m.

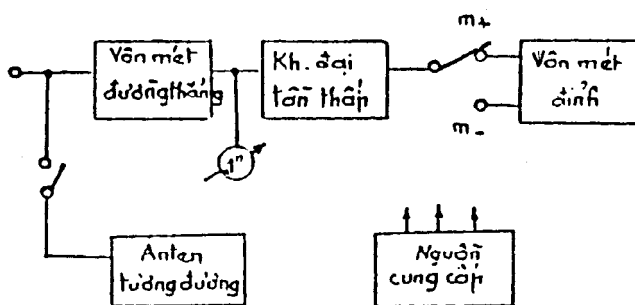
Tuỳ theo thiết bị chỉ thị được chọn dùng, phương pháp tách sóng để đo hệ số điều chế có các biện pháp thực hiện khác nhau. Các biện pháp được thực hiện phổ biến hơn cả là dùng vôn-mét tách sóng có đặc tuyến bậc hai, vôn-mét tách sóng đỉnh và vôn-mét dùng mạch bù chỉ thị không.

Mạch đo dùng vôn-mét tách sóng có đặc tuyến bậc hai ví dụ như hình 7-7. Ở đầu vào của mạch này có mắc diốt tách sóng cao tần. Tách sóng này là tách sóng có đặc tuyến đường thẳng, sau diốt tách sóng là bộ lọc cao tần. Như vậy, điện áp ra trên tải của diốt tách sóng này là điện áp xung có tần số thấp. Thành phần xoay chiều của điện áp xung chính là dạng hình bao của dao động đã điều chế, tức là điện áp của tần số điều chế.

Thành phần điện áp một chiều của điện áp xung tương ứng với trị số trung bình của dao động điều chế U một chiều cũng là điện áp của tần số mang  $U_m$ . Trị số điện áp một chiều này được đo bằng đồng hồ đo dòng điện một chiều, và mạch đo mắc thêm cuộn chặn để ngăn thành phần điện áp xoay chiều. Thành phần điện áp xoay chiều tần số thấp được đo bằng vôn-mét này là trị số điện áp hiệu dụng:  $U = 0,707mU_m$ . Do vậy, hệ số điều chế bằng:

$$m = 1,41 \frac{U}{U_m} \quad (9)$$

Để thuận lợi có thể là cấu tạo sao cho trị số chỉ của hai vôn-mét như nhau khi điều chế 100%. Bởi vì, có giữ cho chỉ số của hai vôn-mét đo điện áp một chiều ở giá trị nào đó, để quy định điều kiện đơn vị khắc độ, thì thang độ vôn-mét đo điện áp xoay chiều mới có thể khắc độ theo “m%”. Từ công thức (9) thấy là, muốn thực hiện được điều nói trên, thì cần mắc trước vôn-mét tách sóng bậc hai một biến áp hay một biến áp tự ngẫu



Hình 7-8

có hệ số biến áp bằng 1,41.

Nếu ở mạch đo hình 7-6, thay vôn-mét tách sóng bậc hai bằng vôn-mét tách sóng đỉnh, bằng điốt có mạch vào đóng, thì trị số chỉ của vôn-mét này sẽ tỷ lệ với biên độ dương  $\Delta U_m+$  hay biên độ âm  $\Delta U_m-$  của điện áp tần số thấp. Như vậy, có thể xác định được trị số hệ số điều chế phần “trên” và phần “dưới” theo công thức trong phần đo điện áp. Điện áp một chiều  $U_-$  được luôn giữ bằng máy đo điều chế có cấu tạo bằng vôn-mét đỉnh như vậy được dùng nhiều trong thực tế. Sơ đồ khối của một trong số những loại này như hình 7-8.

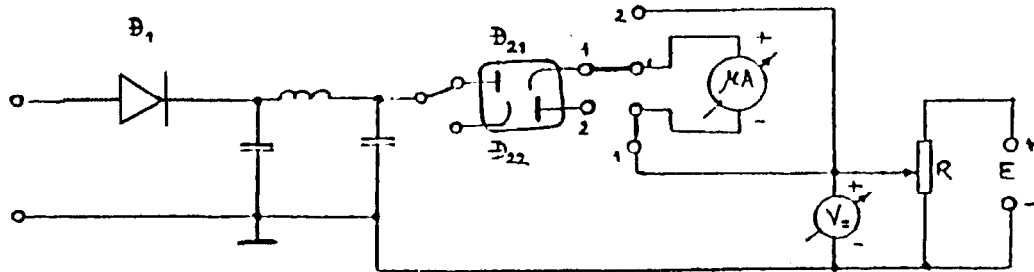
Hình 7-9 là ví dụ một mạch đo hệ số điều chế bằng vôn-mét dùng mạch bù chỉ thị không ví dụ như hình 7-9: Nguồn dao động điều chế cần đo ở đây được đưa vào đầu Đ1, mạch đo này không bị tiêu hao công suất. Chiết áp R ở đây được điều chỉnh để cho hạ áp trên nó sao cho đèn Đ1, ở mức ngưỡng dẫn điện (lúc này chuyển mạch đo ở vị trí 1).

Kết quả điều chỉnh này có thể biết được nhờ đồng hồ micro ampe-mét. Trị số hạ áp trên chiết áp R là điện áp  $E_1$ , được đo bằng vôn-mét từ điện .  $E_1$  bằng trị số cực đại  $U_{max}$  của hình bao điện áp điều chế:

$$E_1 = U_m(1 + m) \quad (10)$$

Nếu đổi chuyển mạch sang vị trí 2, thì điều chỉnh hạ áp  $E_2$  trên chiết áp R sao cho đèn Đ<sub>2</sub> ở mức ngưỡng dẫn điện. Khi đó:

$$E_2 = U_m(1 - m) \quad (11)$$



Hình 7-9

Do vậy, có thể tính được hệ số điều chế m:

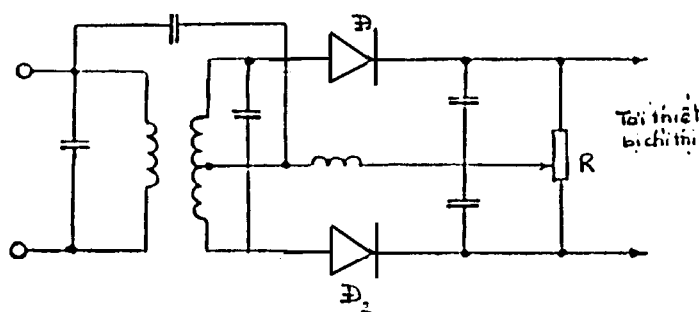
$$m = \frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2} \quad (12)$$

Để nâng cao độ chính xác, thì điện áp của dao động điều chế dùng với cách đo này phải lớn, (khoảng chừng lớn hơn 20V).

## 7.1.2 Đo các thông số điều tần

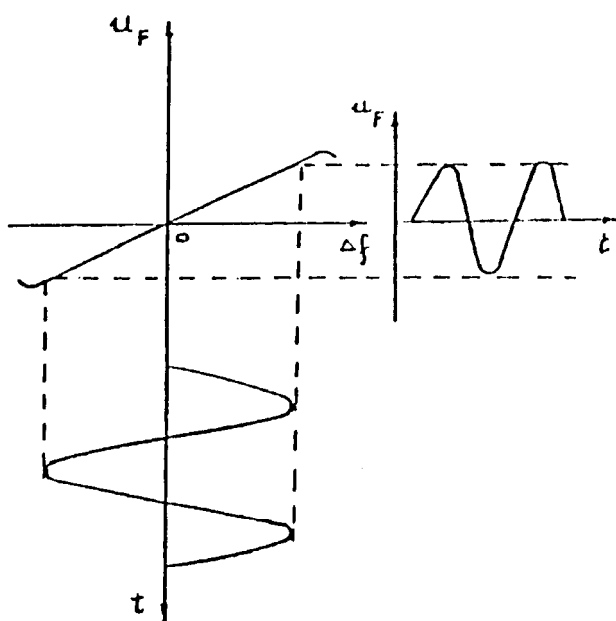
### 1. Đo độ di tần

Phương pháp đo độ di tần đơn giản hơn cả là phương pháp tách sóng tần số. Nguyên lý của phương pháp này là biến đổi dao động điều tần thành dao động điều biên



Hình 7-10

rồi sau đó tách sóng biên độ. Kết quả là điện áp tách sóng tỷ lệ với điện áp tần số điều chế. Điện áp này được đo bằng vôn-mét đỉnh mắc ở đầu ra của bộ tách sóng biên độ. Như vậy, theo công thức (7), thang độ của vôn-mét đỉnh có thể trực tiếp khắc độ theo đơn vị độ di tần ( kHz).



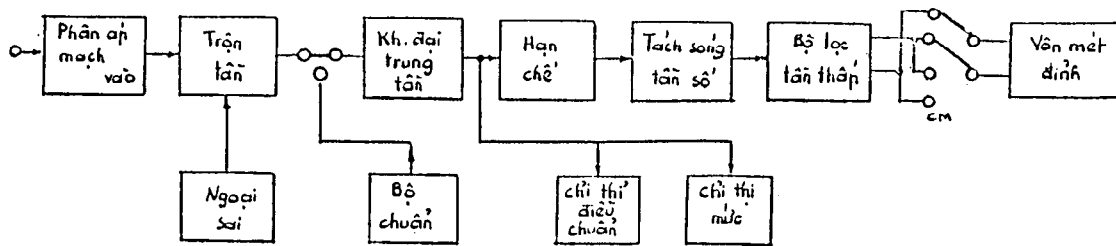
Hình 7-11

Dao động điều tần có thể biến đổi thành dao động tần số thấp bằng bộ tách sóng tần số, ví dụ như hình 7-10. Đặc tuyến của bộ tách sóng này là  $u_r = \varphi(\Delta f)$ , có dạng chữ S như hình 7-11. Các linh kiện của bộ tách sóng tần số yêu cầu có phẩm chất cao, đặc biệt là mạch cộng hưởng. Vì nếu thông số của chúng bị thay đổi ít thì cũng gây nên sai số đáng kể.

Mạch sơ đồ khối của các thiết bị đo độ di tần bằng phương pháp tách sóng tần số

như hình 7-12. Thiết bị này tương tự một máy thu điều tần chuẩn có chất lượng cao, có thêm các đồng hồ đo để trực tiếp chỉ thị các đại lượng cần thiết. Tín hiệu điều chế tần số

cần đo được biến đổi thành trung tần, được khuếch đại và hạn chế rồi đưa tới bộ tách sóng tần số. Điện áp ra của bộ tách sóng này tỷ lệ với độ di tần, được đưa qua bộ phận lọc tần số thấp, được khuếch đại và được đo bằng vôn-mét đỉnh. Thang độ của vôn-mét này được khắc độ theo đơn vị di tần. Bộ khuếch đại trung tần và bộ hạn chế có tác dụng khử bỏ ảnh hưởng điều chế biên độ ký sinh của tín hiệu đo, và giữ cho tín hiệu có biên độ không đổi để đưa vào bộ tách sóng tần số. Bộ chuẩn của thiết bị đo dùng để kiểm tra bộ tách sóng tần số và các đồng hồ đo. Chuyển mạch CM để đo độ di tần khi điều chế không đối xứng.



Hình 7-12

## 2. Đo chỉ số điều tần

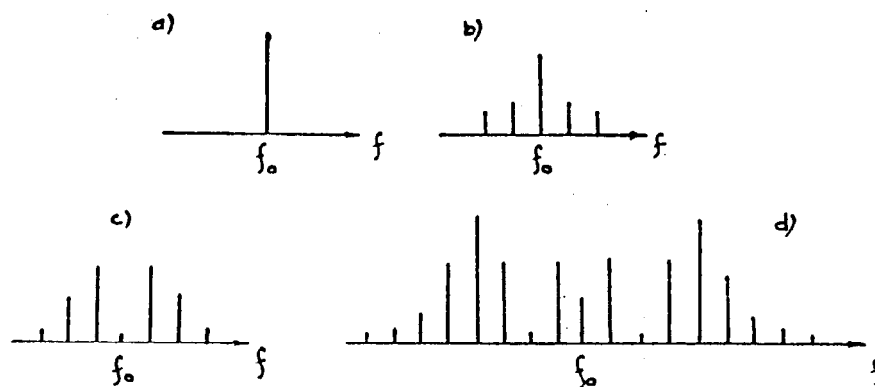
Biểu thức (5) của dao động điều tần, có thể được biểu diễn dưới dạng phổ như sau:

$$u = U_m J_0(m_f) \cos \omega_0 t + U_m \sum_{n=1}^{\infty} J_n(m_f) [\cos \omega_0 + (-1)^n \cos(\omega_0 - n\Omega)t] \quad (13)$$

Ở đây:  $J_0(m_f)$  là hàm số Bétxen cấp không của chỉ số điều tần  $m_f$ ;

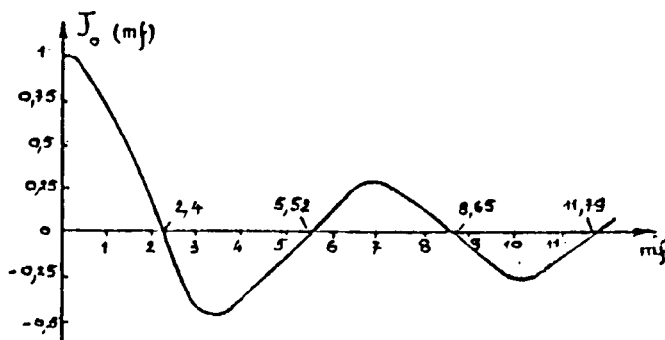
$J_n(m_f)$  là hàm số Bétxen cấp  $n$  của chỉ số điều tần  $m_f$ .

Số tần số biên (biên tần) của dao động điều tần là  $2n$ . Hình 7-13 là các đồ thị phổ của dao động điều tần ứng với vài trị số của chỉ số điều chế khác nhau. Hình 7-14 là đồ thị biểu diễn hàm số Bétxen cấp không của  $m_f$ :  $J_0(m_f)$ .



Hình 7-13

Từ biểu thức (13), lưu ý tới thành phần đầu của biểu thức này, ta thấy biên độ của thành phần tần số mang  $\omega_0$  biến đổi tương ứng với hàm số  $J_0(m_f)$ . Khi  $m_f = 2,4; 5,52; 8,65; 11,79; 14,93; 18,07, \dots$  thì hàm số  $J_0(m_f)$  triệt tiêu, thành phần tần số mang của phổ dao động điều tần cũng triệt tiêu.

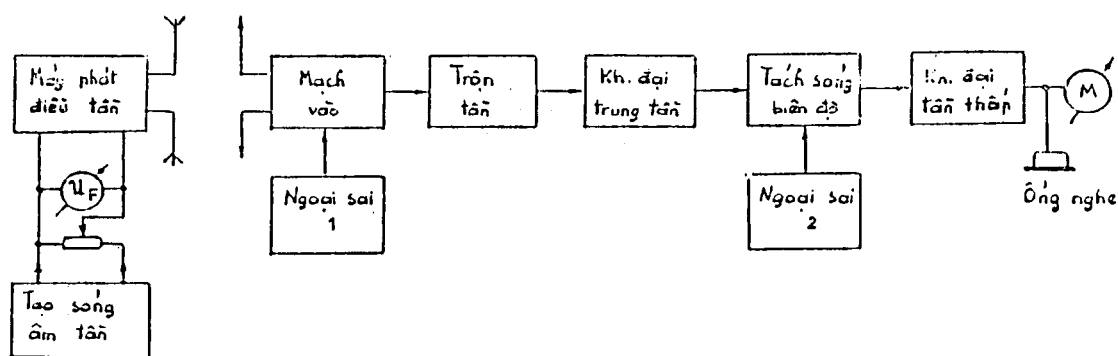


Hình 7-14

Dựa trên hiện tượng này mà ta thực hiện phương pháp đo chỉ số điều tần, gọi là phương pháp đo khi mất tần số mang.

Để thực hiện phương pháp này có hai cách: giữ nguyên tần số điều chế và giữ nguyên biên độ của điện áp tần số điều chế. Sơ đồ khối của phương pháp đo chung cho cả hai cách này như hình 7-15.

Việc xác định chỉ số điều tần của một bộ tạo dao động (hay máy phát) bằng phương pháp đo khi phát hiện mất tần số mang được thực hiện như sau: Ta giữ nguyên tần số điều chế, mắc ở đầu vào bộ điều chế tần số một chiết áp để điều chỉnh được biên độ của điện áp điều chế. Đầu ra của bộ phát sóng điều tần có thể dùng một máy thu điều tần có dải thông tần hẹp để phát hiện các thời điểm khi mất điện áp của tần số mang.



Hình 7-15

Dải thông tần của bộ khuếch đại trung tần của máy thu cần phải nhỏ hơn hai lần trị số của tần số điều chế để ngăn các biên tần thứ nhất.

Đầu tiên, điều chỉnh máy thu ở tần số mang của dao động điều chế tần khi máy phát chưa được điều chế số (xem hình 7-13a), và bộ chỉ thị được điều chỉnh tới trị số đọc thích hợp. Nếu bộ chỉ thị là ống nghe thì bộ ngoại sai thứ hai điều chỉnh sao cho đầu ra tới ống nghe có âm thích hợp (ví dụ 1.000Hz).

Sau đó biến đổi điện áp của tần số điều chế tăng dần; còn tần số điều chế thì vẫn có trị số không đổi (ví dụ như bằng 3 kHz); như vậy thì trị số chỉ của bộ chỉ thị (hay cường độ âm trong ống nghe) giảm dần và biến mất, ví dụ khi đó biên độ điện áp tần số điều chế bằng  $U_{F1}$ . Như vậy  $U_{F1}$  là ứng với điểm trở về trị số không đầu tiên của hàm số Bessel  $J_0(m_f)$  (xem hình 7-14). Ta có  $m_{f1} = 2,4$ . Độ di tần lúc này bằng:

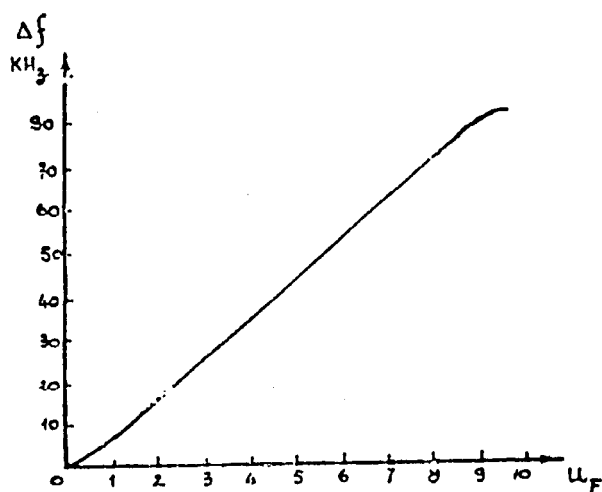
$$\Delta f_1 = m_{f1} \cdot F = 2,4 \cdot 3 = 7,2 \text{ kHz}$$

Tiếp tục tăng điện áp điều chế, ta lại được trị số thứ hai  $U_{F2}$  tương ứng với trị số quay trở về điểm không của hàm số  $J_0(m_f)$  là 5,52. Ta có  $m_{f2} = 5,52$ , do đó độ di tần bằng:

$$\Delta f_1 = 16,56 \text{ kHz}.$$

Các kết quả đo được lập thành bảng và vẽ được đồ thị biểu diễn đặc tuyến điều chế. Từ đó ta có thể xác định được các trị số trung gian của  $m_f$  và điện áp  $U_F$ ; cũng như có thể biết được phạm vi đường thẳng của đặc tuyến điều chế này (xem bảng 7-1 và hình 7-16).

Muốn độ di tần đo được có trị số bé, thì cần phải giảm nhỏ tần số điều chế; song như vậy thì không còn thoả mãn điều kiện dải thông tần của máy thu phải nhỏ hơn hai



Hình 7-16

lần trị số điều chế. Điều này dẫn tới hiện tượng là cả biên tần cũng thông qua tới được bộ chỉ thị, do đó không xác định được điểm không của thành phần tần số mang.

Việc xác định chỉ số điều tần còn có thể thực hiện bằng cách giữ nguyên điện áp điều chế  $U_F$  và biến đổi tần số điều chế. Trường hợp này khi đã chọn trị số của điện áp điều chế, ta giữ nguyên không đổi, chỉ tiến hành biến đổi tần số  $F$

của nó bắt đầu từ những trị số cao. Sở dĩ phải bắt đầu từ tần số thật cao để có thể chắc chắn là với những tần số đó thì  $m_f < 2,4$ . Ví dụ, giả sử tần số  $F$  bắt đầu bằng 25kHz, khi phát hiện tín hiệu đầu ra biến mất ứng với  $F_1 = 20\text{kHz}$ ,  $m_f = 2,4$  thì  $\Delta f = 2,4 \cdot 20 = 48\text{kHz}$ . Tiếp tục giảm tần số  $F$ , ta lại có điểm phát hiện tín hiệu ở đâu ra biến mất, ta có  $m_{f2} = 5,52$ , điểm này tương ứng khi  $F_2 = \Delta f/m_{f2} = 48/5.52 \approx 8,7\text{kHz}$ ,...

Bảng 7-1

| Điện áp tần số điều chế | Trị số chỉ số điều chế và độ di tần khi<br>$F = \text{const}(3 \text{ kHz})$ |                        |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|                         | $m_f$                                                                        | $\Delta f \text{ kHz}$ |
| $U_{F0}$                | 0                                                                            | 0                      |
| $U_{F1}$                | 2,4                                                                          | 7,2                    |
| $U_{F2}$                | 5,52                                                                         | 16,56                  |
| $U_{F3}$                | 8,65                                                                         | 25,95                  |
| $U_{F4}$                | 11,79                                                                        | 35,37                  |
| $U_{F5}$                | 14,93                                                                        | 44,79                  |
| $U_{F6}$                | 18,07                                                                        | 54,21                  |
| $U_{F7}$                | 21,21                                                                        | 63,63                  |
| $U_{F8}$                | 24,35                                                                        | 73,05                  |
| $U_{F9}$                | 27,49                                                                        | 82,47                  |

Cách đo thứ nhất có ưu điểm là thuận lợi và đầy đủ hơn, vì vậy trên thực tế thường dùng cách đo này. Độ chính xác của phương pháp đo này cao và có khả năng có độ chính xác cao hơn khi có dải thông tần của máy thu hẹp hơn.

### 7.1.3 Đo các thông số điều chế xung

#### 1. Đo biên độ rộng và tần số lặp lại của xung

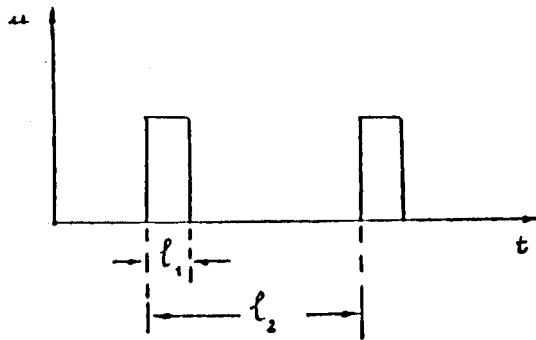
Phương pháp đo các thông số của xung khi điện áp xung phổ biến nhỏ hơn 100V, là dùng dao động ký xung. Phương pháp xác định bằng dao động đồ này không những cho phép đo được biên độ mà còn đo được các trị giá tức thời của điện áp ở bất kỳ điểm nào của tín hiệu xung.

Đo độ sâu điều chế biên độ xung (hình 7-3c) bằng phương pháp dao động đồ thực hiện quét đường thẳng và tính toán như đo hệ số điều chế biên độ.

Các tín hiệu xung được dùng trong kỹ thuật điện tử có các độ rộng khác nhau, nó vào khoảng từ 1 sec tới 1nanôsec. Đo độ rộng xung thường dùng phương pháp dao động

đồ và phương pháp đếm tín hiệu rời rạc. Phương pháp dao động đồ được thực hiện bằng cách dùng dao động ký thời gian chuẩn hay dùng cách đo so sánh với xung có chu kỳ, độ rộng đã biết. Các xung chuẩn để so sánh thường dùng là xung có dạng gần giống hình chữ nhật và hệ số khoảng trống không lớn lắm, để dao động đồ có thể dễ dàng có được hai xung như hình 7-17. Ở hình này có thể đo được các khoảng  $l_1 = \tau$  và  $l_2 = T$  trên thang độ kẻ ly do đó có thể tính được độ rộng xung theo công thức:  $\tau = (l_1/l_2)T$

Đo độ rộng xung bằng phương pháp đếm rời rạc cũng giống như cách đo khoảng thời gian bằng phương pháp đếm rời rạc.



Hình 7-17

Tần số lặp lại của xung thường xếp dịch trong khoảng từ vài chục Hz đến vài trăm MHz. Phương pháp đo tần số đơn giản và thuận tiện hơn cả là phương pháp so sánh bằng dao động ký. Nó được thực hiện bằng cách đưa điện áp của xung cần đo tần số vào cặp phiến lệch Y; còn điện áp đặt vào phiến lệch X là điện áp từ bộ tạo dao động chuẩn có tần số tương ứng. Khi đó, dao động ký không dùng bộ tạo quét. Tần số của bộ tạo dao động chuẩn được điều

chỉnh để sao cho trên màn dao động ký có xuất hiện dao động đồ với một xung. Như vậy lúc đó tần số của bộ tạo dao động bằng tần số lặp lại của xung. Độ chính xác của phép đo này được xác định bởi độ chính xác khắc độ của tạo dao động chuẩn. Với tần số lặp lại của xung cỡ nanôsec thì dùng cách đo bằng dao động ký siêu cao tần, hay là dao động ký kèm thêm một thiết bị hoạt nghiệm. Tần số lặp lại của xung còn có thể đo bằng tần số mét. Với yêu cầu đo không cao lắm (sai số lớn hơn 2%) thì có thể dùng loại tần số mét cấu tạo theo nguyên lý nạp và phóng của tụ điện; còn nếu với yêu cầu cao hơn thì có thể dùng loại tần số mét có bộ phận đếm điện tử.

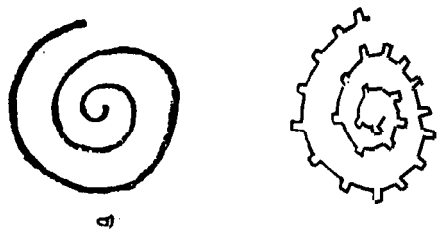
## 2. Đo khoảng thời gian

Độ dài khoảng thời gian giữa hai xung là một thông số đặc tính quan trọng ở nhiều quá trình xung, như điều chế tần số xung, điều chế pha xung, đo lường xa, radar, xung đồng bộ trong vô tuyến truyền hình... Lượng trình khoảng thời gian này thường nằm trong giới hạn từ vài microsec đến vài milisec, có thể tới vài sec.

Đo khoảng thời gian thường được dùng hai phương pháp chủ yếu là phương pháp dao động đồ và phương pháp đếm rời rạc.

Phương pháp dao động đồ thường được thực hiện bằng dao động ký có thời gian chuẩn hay dao động ký có quét xoắn ốc.

Khi khoảng thời gian bằng dao động ký có thời gian chuẩn, thì đầu vào cặp phiên lệch Y được đưa tới các xung có khoảng thời gian giữa chúng cần đo. Tần số quét được điều chỉnh để sao cho trên màn hình dao động ký có xuất hiện cả hai xung. Sau đó cho bộ chuẩn khắc độ thời gian công tác. Vì độ dài khắc độ đã biết, nên khoảng thời gian giữa các xung đo được xác định bằng số lượng khoảng khắc độ giữa chúng. Sai số của cách đo này càng nhỏ nếu có khoảng cách giữa hai xung đo trên màn càng cao. Sai số đo này thường vào khoảng  $\pm 3.10^{-4}$ .



Hình 7-18

Khi khoảng thời gian đo lớn hơn, thì muốn đo theo phương pháp dao động đồ còn dùng cách quét xoắn ốc. Với cách quét xoắn ốc thì có thể kéo dài quỹ đạo của tín hiệu điện tử trên màn dao động ký tới vài chục lần. Quá trình đo được thực hiện như sau: Khi không có tín hiệu đo thì ống tia điện tử tắt tia, và bộ quét cũng không làm việc. Khi có xung thứ nhất, xung này xác định thời điểm bắt đầu của

khoảng thời gian đo thì nó kích bộ tạo quét xoắn ốc và cũng tạo xung làm cho có tia điện tử (có tạo điểm sáng trên màn), đưa tới cực điều chế của ống hình. Khi có xung thứ hai, xung này tương ứng với thời điểm cuối của khoảng thời gian đo, thì nó tắt bộ tạo quét và tắt cả tia điện tử của ống. Như vậy, độ dài của khoảng thời gian đo được xác định bằng số vòng của đường quét xoắn ốc trên màn dao động ký (xem hình 7-18a), chiều dài của một vòng đã biết. Phép đo này có độ chính xác khá cao, vì bộ tạo dao động quét tròn để thực hiện quét xoắn ốc thường lấy từ bộ tạo dao động bằng thạch anh có độ ổn định cao. Ví dụ, khi tần số của bộ tạo dao động thạch anh là 100 kHz, thì chiều dài mỗi vòng là 10μsec; nếu số vòng đo được là 20, thì độ dài khoảng thời gian đo là 200 μsec và sai số của nó không bị vượt quá sai số của bộ tạo dao động thạch anh.

Để nâng cao độ chính xác của phương pháp đo bằng cách quét xoắn ốc có thể đưa vào mạch anốt A<sub>2</sub> của ống tia điện tử điện áp khắc độ thời gian. Như vậy, dao động đồ của đường quét xoắn ốc có xuất hiện các múi nhỏ như hình 7-18b. Khoảng cách giữa hai múi bằng chu kỳ của điện áp khắc độ. Ví dụ, nếu tần số của bộ tạo dao động khắc độ bằng 5MHz, thì khoảng thời gian khắc độ bằng 0,2μsec.

Khi đo khoảng thời gian của các quá trình biến đổi có chu kỳ, thì dao động đồ quan sát được khá rõ ràng. Song khi đo khoảng thời gian giữa hai xung đơn thì cần phải chụp ảnh dao động đồ. Dao động ký có thêm thiết bị chụp ảnh và bộ phận cơ khí để chụp được không chế bằng một cơ cấu điện cơ được đồng bộ với xung tạo quét của dao động ký. Ống tia điện tử của dao động ký được dùng là loại có độ dư huy cao.

Đo khoảng thời gian bằng phương pháp đếm rời rạc thì cũng có nguyên lý đo giống như khi đo chu kỳ của dao động. Trong khoảng thời gian đo thì bộ chọn thời gian được mở để đưa tới bộ đếm điện tử các xung từ bộ tạo dao động thạch anh có độ ổn định cao. Từ số lượng các xung đếm được và chu kỳ của chúng, ta có thể xác định được độ dài khoảng thời gian cần đo. Với phương pháp này còn có thể đo được cả độ rộng của xung. Khi đó, bộ chọn thời gian được mở và đóng bằng các xung có độ rộng rất hẹp, tương ứng với sườn trước và sau của xung cần đo. Độ chính xác của phương pháp đo này được nâng cao khi khoảng thời gian đo càng lớn và tốc độ đếm càng cao. Với các thiết bị đo khoảng thời gian hiện nay thì sai số có thể đạt khoảng  $\pm 0,01\%$ .

Trên thực tế đo lường điện tử hiện nay, đã có các loại máy đo xung được cấu tạo theo nguyên lý vẽ đồ thị thời gian trên ống tia hay nguyên lý đếm rời rạc. Những thiết bị này cho phép thực hiện được hầu như tất cả các yêu cầu đo các thông số của xung cần thiết.

## 7.2 ĐO MÉO KHÔNG ĐƯỜNG THẲNG

Hiện tượng méo không đường thẳng xuất hiện ở hệ thống mạch điện có các phần tử không đường thẳng (ví dụ đèn điện tử, đèn bán dẫn, cuộn dây có lõi...).

Những trường hợp cần xác định hệ số méo không đường thẳng khi ta cần xác định các thông số của bộ khuếch đại hay các bộ tạo dao động điều hoà. Trong kỹ thuật âm tần và cao tần ta thường hay gặp các dao động có chu kỳ không phải tuân tuý điều hoà.

Nguyên nhân cơ bản của méo không đường thẳng là do tính không đường thẳng của hệ đặc tuyến vôn-ampe khi có tác dụng của điện áp tín hiệu. Trong trường hợp chung thì đặc tuyến này có thể viết theo dạng gần đúng là:

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n \quad (14)$$

Trong đó,  $u$  là trị số điện áp tức thời ở đầu vào của mạch,  $i$  là trị số dòng điện tức thời ở đầu ra ;  $a_0 \dots a_n$  là các hệ số.

Nếu đặt vào mạch điện (hay hệ thống) có phương trình biểu diễn như (14) một điện áp có dạng thuần điều hoà thì ở đầu ra của mạch, ngoài thành phần một chiều và thành phần dòng điện có tần số bằng tần số điện áp đưa vào, còn xuất hiện một số các phân lượng hài tần số khác của dòng điện. Sự xuất hiện các phân lượng hài do các phần tử không đường thẳng gây ra làm cho tín hiệu được truyền đạt bị méo không đường thẳng.

Hình dạng méo càng phức tạp nếu như đưa vào hệ thống (14) không phải là một điện áp hình sin, mà là tổng số các điện áp hình sin. Khi đó ở đầu ra của hệ thống, ngoài

các phân lượng sóng có tần số bội, thì còn các phân lượng sóng có tần số tổ hợp. Ví dụ trường hợp đơn giản điện áp tổng đưa vào có hai thành phần tần số:

$$u = U_{m1} \sin \Omega_1 t \pm U_{m2} \sin \Omega_2 t \quad (15)$$

thì đầu ra của hệ thống, ngoài các phân lượng là tần số bội của  $\Omega_1$  và  $\Omega_2$ , thì còn các tần số tổ hợp:

$$m\Omega_1 \pm p\Omega_2 \quad (16)$$

ở đây, m và p là những số nguyên bất kỳ.

Vấn đề nghiên cứu các dao động chu kỳ có dạng không điều hoà tiến hành theo hai cách với hai yêu cầu khác nhau:

a. Cách phân tích các sóng hài riêng biệt nhau. Khi muốn tìm các nguyên nhân gây méo không đường thẳng, thì cần phải xét nhiệm vụ riêng biệt của mỗi thành phần trong sóng phức tạp này, nghĩa là xác định trị số hiệu dụng của điện áp mỗi phân lượng sóng hài trong điện áp tổng hợp.

Phương pháp này ta xét tới trong tiết sau, nó là phương pháp phân tích phổ của dao động.

b. Cách xác định tổng hợp các phân lượng sóng hài. Khi méo dạng ít, thì sự xác định trị số của mỗi thành phần sóng hài riêng biệt thường cũng không cần thiết, hơn nữa nó còn làm cho vấn đề thêm phức tạp, yêu cầu thiết bị máy móc đắt tiền. Do vậy, với trường hợp này thông thường người ta bỏ qua điện áp tần số cơ bản của sóng nghiên cứu, và đo trị số hiệu dụng của các điện áp sóng hài còn lại. Cách đo này gọi là đo độ méo không đường thẳng.

Hệ số méo không đường thẳng của một tín hiệu được xác định bằng tỷ số của trị số điện áp hiệu dụng của tất cả các sóng hài của phổ tín hiệu trừ thành phần sóng hài cơ bản, với trị số điện áp hiệu dụng của sóng hài cơ bản:

$$K_f = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1} 100\% \quad (17)$$

Như vậy, muốn đo hệ số méo không đường thẳng thì cần chia toàn thể phổ của tín hiệu thành hai thành phần: một thành phần chỉ có sóng hài cơ bản, và một thành phần khác gồm tất cả các sóng hài, trừ sóng hài cơ bản. Sau đó, đo trị số hiệu dụng của mỗi thành phần trên, rồi tính  $K_f$  theo công thức (17).

Trên thực tế đo lường, thường để cho thuận tiện, người ta đo hệ số méo không đường thẳng bằng:

$$K_{f1} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots}} 100\% = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U} 100\% \quad (18)$$

ở đây,  $K_{f1}$  bằng tỷ số của trị số điện áp hiệu dụng tất cả các sóng hài trừ sóng hài bậc nhất, với trị số hiệu dụng của tất cả tín hiệu  $u(t)$ . Như vậy, với trường hợp này cần tách riêng sóng hài bậc nhất, rồi đo các trị số hiệu dụng của chúng.

Hai công thức (17) và (18) để xác định hệ số méo không đường thẳng có quan hệ với nhau, nếu đo được  $K_{f1}$  thì có thể tính được  $K_f$ . Để tìm được quan hệ giữa chúng, biến đổi công thức (18) bằng cách đưa  $U_1$  ra khỏi dấu căn thức.

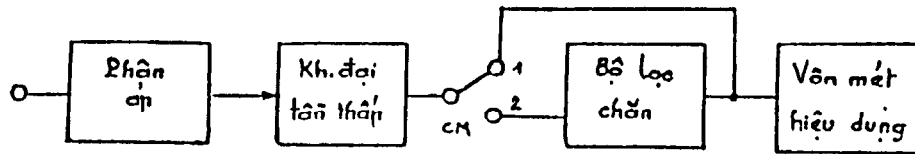
Tacó:

$$K_{f1} = \frac{K_f}{\sqrt{1 + K_f^2}} \quad (19)$$

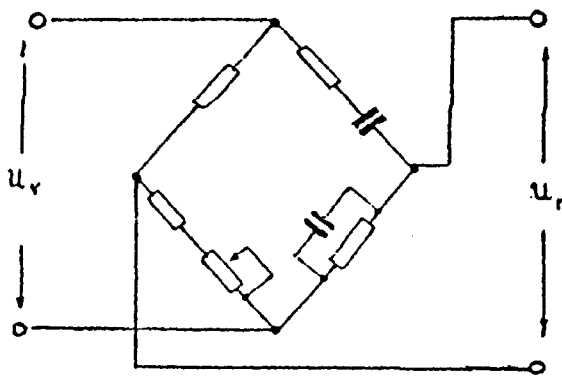
và cũng từ (19)

$$K_f = \frac{K_{f1}}{\sqrt{1 - K_{f1}^2}} \quad (20)$$

Trên thực tế nếu tín hiệu có độ méo nhỏ, tức  $K_f$  không lớn quá vài phần trăm thì:  $K_{f1} \approx K_f$ . Trường hợp cần đo chính xác  $K_f$  thì dùng công thức (20).



Hình 7-19



Hình 7-20

Sơ đồ khối của các máy đo hệ số méo không đường thẳng theo nguyên lý của công thức (18) như hình 7-19.

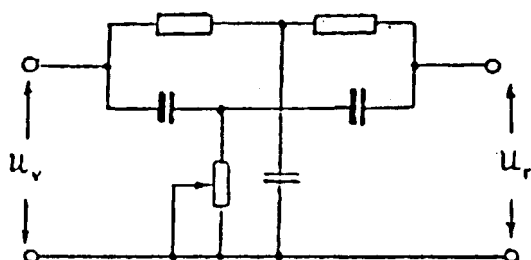
Điện áp nghiên cứu được đưa qua bộ khuếch đại không gây méo có hệ số khuếch đại điều chỉnh được. Chuyển mạch CM ở vị trí 1 là vị trí chuẩn. Khi đó trị số chỉ của vôn-mét

tỷ lệ với trị số điện áp hiệu dụng của vôn-mét tỷ lệ với trị số điện áp hiệu dụng của tín hiệu ở đầu vào bộ khuếch đại, nghĩa là điện áp ở mẫu số của công thức (18).

Điều chỉnh hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại, sao cho có được trị số chỉ thích ứng trên thang khắc độ của vôn-mét. Ví dụ như tương ứng với vị trí cuối thang của đồng hồ.

Sau đó chuyển mạch CM được chuyển về vị trí 2 là vị trí công tác. Trị số chỉ của vôn-mét lúc này sẽ thấp hơn, vì nó tỷ lệ với trị số hiệu dụng của tất cả các sóng hài trừ sóng hài bậc nhất, nghĩa là theo biểu thức tử số của công thức (18). Sóng hài bậc nhất bị suy giảm hoàn toàn, không qua được bộ lọc chặn. Trị số chỉ của vôn-mét ở lần đo thứ hai này thì tỷ lệ với  $K_{f1}$  và thường thì thang chia độ của vôn-mét được khắc độ theo trị số  $K_{f1}$ . Vôn-mét dùng là loại vôn-mét đo trị số hiệu dụng của điện áp; và trong hai lần đo thì trị số hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại được giữ không đổi.

Bộ lọc chặn để chọn lọc sóng hài thường dùng là loại lọc R-C. Hình 7-20 là sơ đồ



Hình 7-21

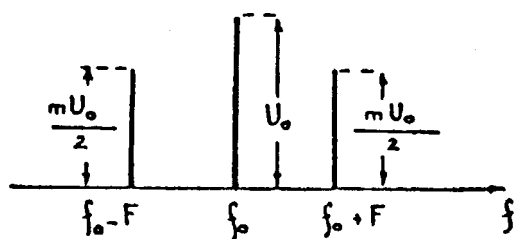
bộ lọc chặn kiểu cầu Viên. Hình 7-21 là sơ đồ bộ lọc chặn kiểu cầu chữ T kép. Đặc điểm của các bộ lọc này là chặn được thành phần sóng hài bậc nhất, và cho qua tất cả các thành phần của phổ còn lại. Ưu điểm của các sơ đồ này là có thể điều chỉnh được tần số để đo khi cần đo ở tần số bất kỳ nào đó trong dải tần số đã xác định.

### 7.3 PHÂN TÍCH PHỔ TÍN HIỆU

Như ta đã biết, một tín hiệu vô tuyến điện có thể được diễn đạt bằng hai phương pháp, phương pháp hàm số thời gian và phương pháp hàm số phổ.

Ở chương dao động ký ta đã xét các phương pháp quan sát tín hiệu khi nó được biểu diễn theo hàm số thời gian và cách quan sát này được thực hiện bằng dao động ký.

Ta còn có thể quan sát và nghiên cứu tín hiệu khi tín hiệu được biểu biểu diễn theo hàm số phổ và cũng được thực hiện bằng dao động ký. Lúc này dao động đồ có được là theo quan hệ phụ thuộc giữa biên độ các thành phần sóng hài của tín hiệu, theo tần số. Muốn có các dao động đồ như vậy, thì trục x của màn ống tia điện tử là trục thang độ tần số, còn trục y là trục thang độ biên độ.



Hình 7-22

Hình 7-22 là ví dụ dao động đồ biểu diễn phổ của tín hiệu hình sin cao tần được điều chế biên độ bằng dao động có dạng thuần sin.

Các thiết bị có thể dùng để tự động vẽ được đồ thị phổ biên độ - tần số của dao động tín hiệu, có thể đo được tần số và tỷ số biên độ các phân

lượng riêng biệt của phổ là *máy phân tích phổ*. Cũng còn có loại máy phân tích vẽ đồ thị phổ theo quan hệ bình phương của biên độ đối với tần số. Loại này biểu thị phổ năng lượng (tức phổ công suất), và được dùng để nghiên cứu các tín hiệu tạp âm.

Với các đồ thị phổ đã vẽ được, ta có thể phân tích đặc tính và đo lường được các thông số của tín hiệu. Ví dụ, có thể đo được tỷ số cường độ của các phân lượng sóng hài bậc cao so với phân lượng sóng hài bậc nhất, tức là xác định được hệ số méo không đường thẳng của tín hiệu. Ví dụ như với đồ thị phổ của dao động điều biên (hình 7-22), thì ta có thể đo được hệ số điều chế biên độ. Thiết bị phân tích phổ còn có thể dùng như thiết bị chỉ thị, ví dụ chỉ thị độ chọn lọc tần số, chỉ thị độ suy giảm, chỉ thị độ di tần của tín hiệu điều tần...

Nguyên lý của thiết bị phân tích phổ là dựa trên cơ sở dùng hiện tượng cộng hưởng để chọn lọc tần số. Như ta đã biết, với các mạch cộng hưởng có dải thông tần hẹp (tức là mạch này có hệ số phẩm chất khá cao), thì biên độ của dao động cưỡng bức sẽ cực đại nếu như tần số tác động trùng hợp với tần số bản thân (tần số cộng hưởng) của mạch cộng hưởng và biên độ đó có trị số rất nhỏ khi có lệch cộng hưởng. Như vậy, mạch cộng hưởng ở đây có tác dụng như một bộ lọc, bộ lọc này có khả năng tách riêng được các phân lượng sóng hài khác nhau của tín hiệu với phân lượng sóng hài có tần số trùng hợp với tần số bản thân của mạch.

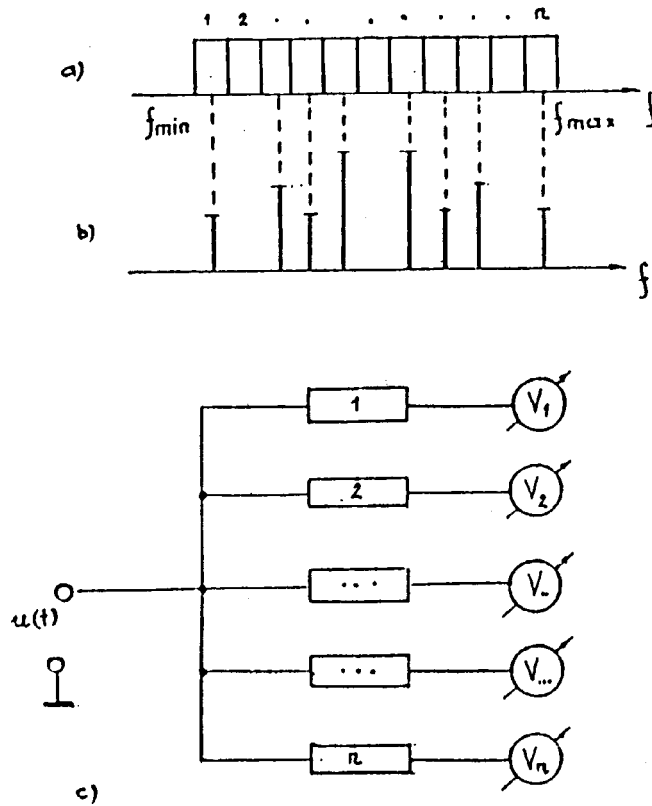
### 7.3.1 Phương pháp phân tích

Về phương pháp phân tích, các thiết bị phân tích phổ có hai loại là loại phân tích song song và loại phân tích nối tiếp.

Hình 7-23 là sơ đồ mạch điện và đồ thị giải thích nguyên lý hoạt động của thiết bị phân tích phổ loại song song, tức là loại có nhiều đường phân tích.

Ví dụ có một hệ thống bộ lọc dải được sắp xếp liên tiếp kề sát nhau theo thang tần số trong dải tần từ  $f_{\min}$  đến  $f_{\max}$ . Mỗi đường cong cộng hưởng của bộ lọc được biểu thị đơn giản bằng một hình chữ nhật; dải thông tần của bộ lọc này bằng  $\Delta f$  (hình 7-23a). Ở đây, trong dải tần số của thiết bị phân tích có  $n$  bộ lọc như vậy, vì:

$$n = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\Delta f}$$



Hình 7-23

này có thể điều chỉnh được để tương ứng với từng tần số một trong dải tần số phân tích phổ từ  $f_{\min}$  đến  $f_{\max}$ . Như vậy, loại này chỉ có một đường và có thể điều chỉnh được. Nó đơn giản hơn nhiều so với loại phân tích song song, vì loại phân tích song song cần phải có nhiều đường phân tích. Tuy nhiên, về thời gian phân tích thì loại này lại tăng hơn. Do đó nếu như bộ lọc của thiết bị phân tích loại song song cần một thời gian bằng  $\Delta t(\text{sec})$  thì mới chấm dứt được quá trình quá độ, thì để quan sát được thành phần phổ bằng thiết bị phân tích loại nối tiếp, (ngay cả khi giả sử là sự biến đổi từ thành phần này sang thành phần kế tiếp là tức thời), thì cần  $n\Delta t(\text{sec})$ ; vì với mỗi sự điều chỉnh mới của bộ lọc thì đều cần thời gian để có biên độ ổn định.

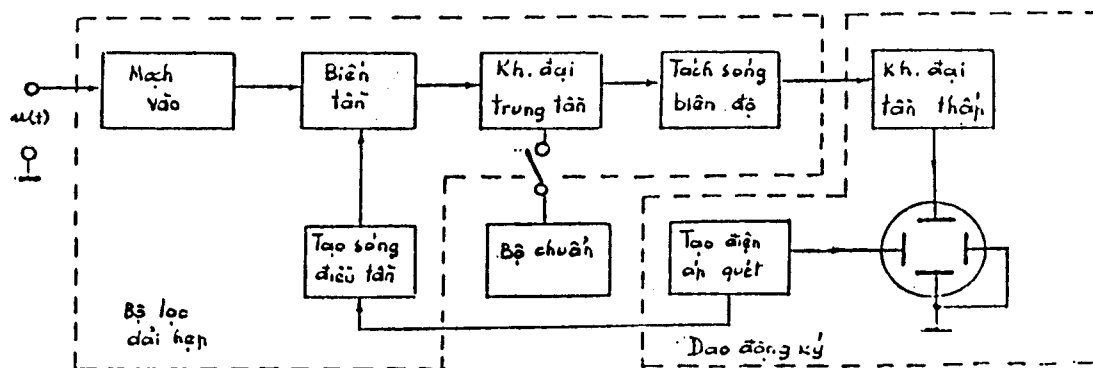
Cũng cần phân biệt các bộ phân tích sóng hài và các bộ phân tích phổ. Các bộ phân tích sóng hài thì dùng để đo biên độ và tần số của các thành phần sóng hài riêng biệt của tín hiệu nghiên cứu. Các bộ phân tích phổ thì để vẽ được đồ thị phổ trên màn của ống tia điện tử.

Nếu tín hiệu được phân tích có phổ nằm trong dải tần công tác của hệ thống bộ lọc như trên (hình 7-23b); thì có tín hiệu vào, mỗi bộ lọc sẽ được tác động đối với riêng từng thành phần phổ mà tần số của thành phần phổ này tương ứng với tần số bản thân của bộ lọc. Đầu ra của mỗi bộ lọc này sẽ có điện áp tỷ lệ với biên độ của thành phần phổ tương ứng. Các điện áp này được đo bằng các vôn mét như (hình 7-23c).

Biết trị số chỉ của các vôn mét, và biết tần số cộng hưởng của mỗi bộ lọc, thì có thể cấu tạo được đồ thị phổ của tín hiệu điện áp nghiên cứu.

Thiết bị có phương pháp phân tích nối tiếp thì chỉ có một bộ cộng hưởng. Bộ cộng hưởng

Hình 7-24 là sơ đồ cấu tạo của máy phân tích phổ. Nó gồm có bộ lọc dải hẹp điều chỉnh được và một dao động ký. Nguyên lý công tác của thiết bị này như hình 7-24.

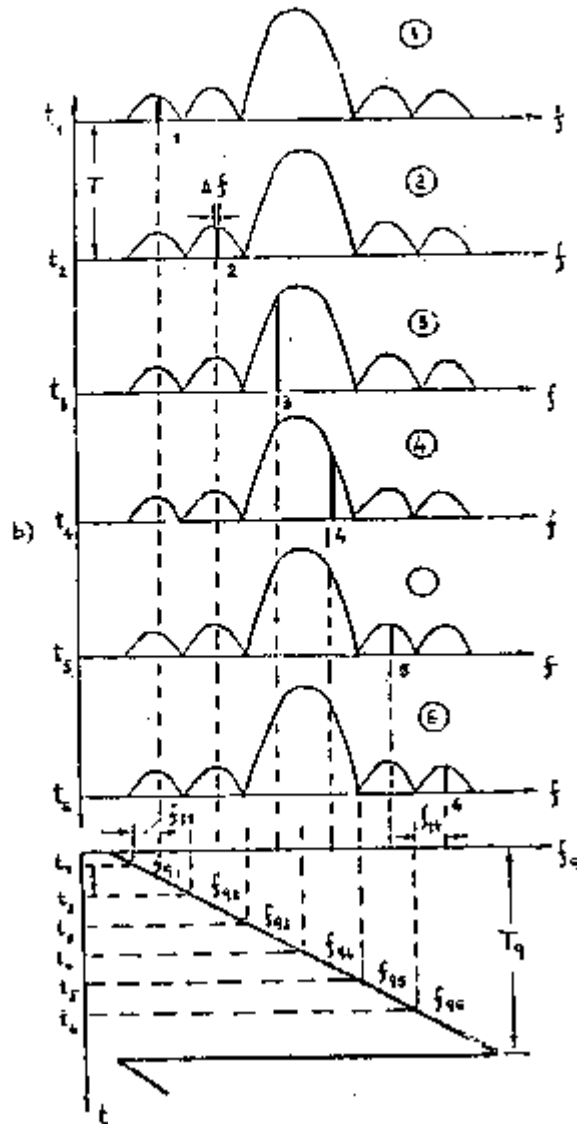
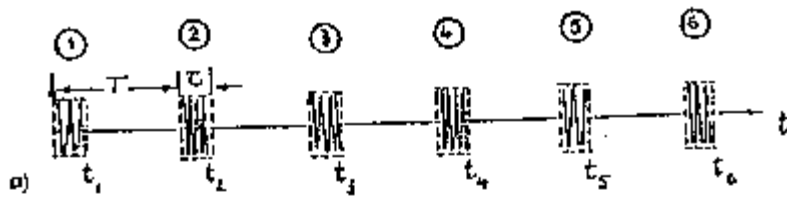


Hình 7-24

Điện áp từ bộ tạo điện áp quét răng cưa được đưa tới cặp phiến lệch X của ống tia điện tử. Đồng thời, cũng điện áp này được đưa tới để điều chế tần số bộ chủ sóng của bộ tạo dao động điều tần. Tại bộ trộn tần có hai tín hiệu được đưa tới là tín hiệu cần nghiên cứu phổ và điện áp của bộ tạo sóng điều tần. Ở bộ trộn tần, tần số của bộ tạo sóng điều tần ngoại sai cùng với một trong các thành phần sóng hài của tín hiệu sẽ tạo ra một tần số mới có trị giá bằng hiệu của hai tần số trên. Khi tần số hiệu này bằng tần số cộng hưởng của bộ khuếch đại trung tần thì phân lượng điện áp có tần số đó được khuếch đại, sau đó được tách sóng rồi lại được khuếch đại bằng bộ khuếch đại tần thấp để đưa tới cặp phiến lệch Y của ống tia điện tử.

Tia điện tử sẽ được lệch so với đường nằm ngang (tương ứng với vị trí ban đầu khi chưa có tín hiệu tác động), một trị số tỷ lệ với trị số trung bình của điện áp tín hiệu nghiên cứu đưa tới, trong dải thông tần  $\Delta f$ , (khi bộ tách sóng có đặc tuyến bậc hai). Cứ qua một khoảng thời gian nào đó, khi trị số tức thời của tần số bộ dao động điều tần biến đổi tạo nên một tần số hiệu bằng trung tần với lần lượt hai thành phần sóng hài kế tiếp nhau của tín hiệu, thì đồng thời tia điện tử cũng được dịch chuyển theo trục hoành và trên màn lại xuất hiện một vạch sáng khác theo trục dọc. Biên độ của các vạch này tương ứng với điện áp (hay công suất) của các phân lượng thành phần của phổ. Như vậy qua một thời gian bằng chu kỳ quét, với một tia điện tử, nó đã vẽ được trên màn dao động ký toàn thể các vạch phổ của tín hiệu nghiên cứu.

Để diễn giải sự phân tích tần số trên được cụ thể hơn, ta có thể ví dụ nó tương tự như phương pháp biến tần bằng cách ngoại sai như sau:



Hình 7-25 a, b, c

sẽ thu được tất cả các tín hiệu của các đài từ tần số  $f_1$  đến  $f_n$ .

Nếu giả sử ở đầu vào của máy thu, thay tín hiệu các đài là tín hiệu có dạng:

Giả sử có một máy thu siêu ngoại sai, có tần số ngoại sai được điều chỉnh trong dải tần là từ  $f_{\min} \div f_{\max}$ . Còn bộ khuếch đại trung tần được điều chỉnh cố định ở tần số  $f_{tt}$ . Ví dụ trong dải tần  $f_{\min} \div f_{\max}$  có  $n$  đài làm việc, chúng có các tín hiệu với các tần số là  $f_1, f_2, \dots, f_n$ .

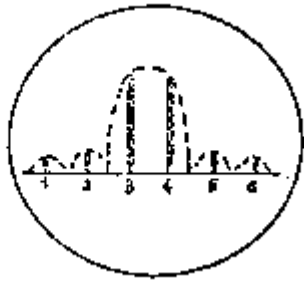
Để có thể thu được các tần số trên, thì ta điều chỉnh tần số của bộ ngoại sai. Khi tần số của bộ ngoại sai là  $f_{ng1}$  sai lệch với tần số  $f_1$  một trị số đúng bằng  $f_{tt}$ , ( $f_1 - f_{ng1} = f_{tt}$ ), thì tần số  $f_1$  của đài thứ nhất được thu. Khi điều chỉnh tần số ngoại sai tới trị số  $f_{ng2}$  để  $f_2 - f_{ng2} = f_{tt}$ , thì tần số  $f_2$  của đài thứ hai được thu... Như vậy khi điều chỉnh tần số bộ ngoại sai biến đổi theo một chu trình từ  $f_{\min} \div f_{\max}$ , thì máy thu

$$u(t) = \sum_{k=1}^n C_K \cos(2\pi k f_1 t + \varphi_K)$$

ở đây,  $n$  thành phần phổ của nó là  $f_1$ ;  $2f_1 = f_2$ ;  $3f_1 = f_3 \dots n f_1 = f_n$ .

Bộ tạo dao động ngoại sai được điều chế tần số sao cho độ di tần của nó bao trùm được tất cả các thành phần của phổ. Như thế, khi biến đổi tần số của bộ ngoại sai thì tất

cả các thành phần phổ sẽ lần lượt có sai lệch với tần số ngoại sai một trị số bằng  $f_u$ , và chúng đều được lần lượt thông qua dải thông tần của bộ khuếch đại trung tần.



Hình 7-25d

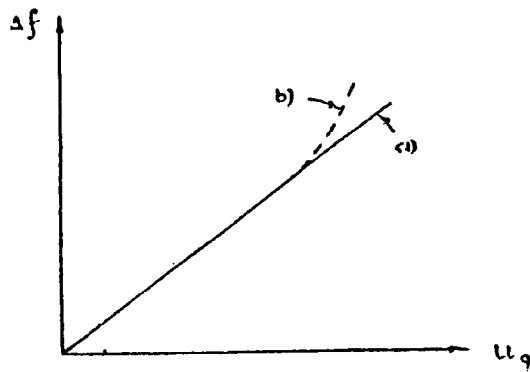
Nguyên lý tạo được đồ thị phổ của tín hiệu trên màn ống tia điện tử được diễn giải như hình 7-25. Ở đây, được diễn giải với ví dụ là

Tín hiệu được phân tích phổ là tín hiệu xung vuông biến đổi có chu kỳ và có hệ số  $\frac{\tau}{T}$  lớn như hình 7-25a. Hình 7-25b là phổ liên tục (phổ đặc) của một xung đơn. Hình 7-25c là sự biến thiên tần số của dao động điều tần và hình 7-25d là đồ thị các vạch phổ trên màn dao động ký. (Cũng cần lưu ý là trên các hình vẽ 7-25 tỷ lệ xích thời gian của các hình không giống nhau).

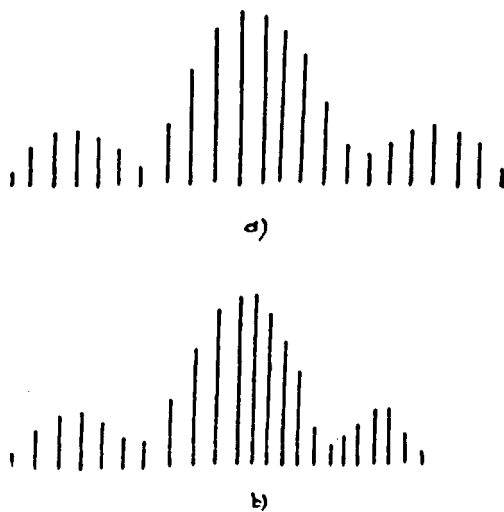
Mỗi thành phần phổ được biểu thị bằng một vạch sáng trên màn. Khoảng cách hai vạch trên thang tần số bằng tần số lặp lại của xung tín hiệu  $F = \frac{1}{T}$ .

Bộ tạo sóng điều tần của thiết bị phân tích phổ cũng được cấu tạo với tính năng giống như của thiết bị để vẽ đặc tuyến tần số. Vì bộ phân tích phổ thường được dùng cho dải tần số rộng hơn, có khi tới cả sóng cm, nên bộ phát sóng điều tần còn dùng cả các đèn siêu cao tần như đèn Klystron phản xạ. Thực hiện điều chế bằng cách đưa điện áp răng cưa vào cực phản xạ. Yêu cầu chủ yếu của bộ tạo dao động điều tần này là phải ổn định tần số trung tâm. Bởi vì nếu không ổn định sẽ dẫn tới tình trạng hoặc làm dịch chuyển tất cả phổ theo trục tần số (khi tần số biến đổi từ từ), hoặc là làm dịch chuyển từng thành phần riêng biệt của phổ (khi tần số biến đổi nhanh). Như vậy sẽ khó quan sát và làm giảm độ chính xác đo lường các thông số của phổ.

Đặc tuyến điều chế của bộ tạo dao động điều tần phải thẳng (xem hình 7-26). Khi đặc tuyến thẳng thì phổ có hình dáng như hình 7-27a, nếu không thẳng thì thang độ tần



Hình 7-26



Hình 7-27

số sẽ khác nhau đối với các phần khác nhau theo đường quét ngang và phổ sẽ bị méo dạng theo chiều ngang như hình 7-27b.

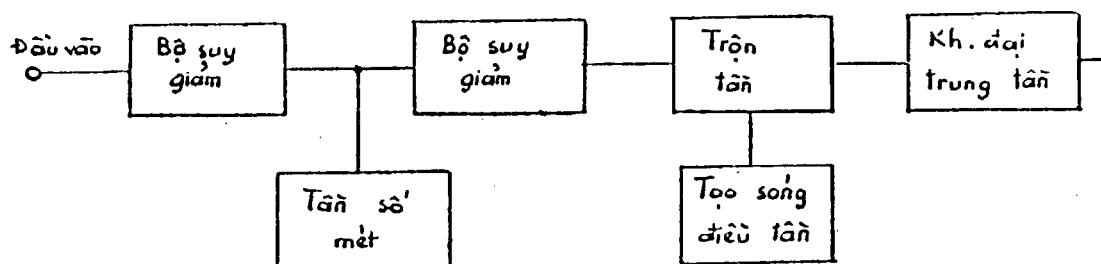
Bộ tạo điện áp quét ở đây cũng giống như của máy vẽ đặc tuyến tần số. Nó dùng để tạo nên đường quét ngang trên ống tia điện tử và để điều chế tần số.

Tốc độ biến đổi tần số của bộ phát sóng điều tần phải sao cho điện áp tín hiệu tăng tới được mức điện áp cực đại trong khoảng thời gian ứng với dải thông tần của bộ khuếch đại trung tần. Vì vậy, vấn đề chọn hình dáng và tần số của điện áp quét cũng cần phải nhỏ hơn 25 Hz nhiều, và như vậy muốn quan sát được toàn thể dao động đồ của phổ cần chọn ống tia điện tử có độ dư huy lớn.

Một trong những khối quan trọng của thiết bị phân tích phổ là bộ khuếch đại trung tần tùy thuộc vào mục đích, công dụng của máy phân tích phổ. Với các máy phân tích tần số thấp thì dải thông tần được chọn sao cho để có khả năng phân biệt rõ ràng được hai thành phần phổ lân cận nhau. Nếu phổ cần

nghiên cứu có băng tần số rộng và bao gồm nhiều thành phần (ví dụ xung có độ rộng nhỏ và tần số lặp lại bé), thì vấn đề vẽ được tất cả các thành phần phổ trên một màn của ống tia điện tử không lớn lắm là một điều khó thực hiện được. Trong trường hợp này chỉ có thể vẽ được hình bao của phổ. Dải thông tần không cần chọn quá hẹp, mà chỉ cần sao cho thoả mãn vẽ được hình bao. Do vậy, cho thông qua dải thông tần không phải chỉ từng thành phần, mà là một số thành phần của phổ. Đầu ra của bộ khuếch đại có các xung mà biên độ của nó tỷ lệ với năng lượng của từng bộ phận của phổ. Đồ thị trên màn dao động ký sẽ rất giống với phổ thực tế, nhưng ở đây mỗi vạch phổ đọc là tương ứng với năng lượng xác định một bộ phận của phổ.

Tần số trung tần được chọn dựa trên yêu cầu là sao cho loại bỏ được sự cho qua tín hiệu tần số ảnh. Vì nếu không thì trên màn hình dao động ký sẽ xuất hiện đồng thời cả hai dạng phổ: một là phổ thực, một là phổ ảnh. Muốn khử bỏ sự thông qua đường ảnh thì cần phải tăng trị số tần số trung tần.



Hình 7-28

Hai yêu cầu: tăng tần số trung tần và giảm nhỏ dải thông tần là xung khắc nhau, vì trung tần càng cao thì càng khó thực hiện dải thông tần hẹp (do khả năng cấu tạo mà hệ số phẩm chất của bộ khuếch đại trung tần không thể thoả mãn). Để khắc phục, trong một số máy phân tích phổ thường thực hiện hai bộ biến tần và khuếch đại trung tần.

Hệ số khuếch đại được chọn dựa trên yêu cầu về biên độ cực tiểu của tín hiệu nghiên cứu và biên độ đưa vào bộ tách sóng. Biên độ tín hiệu đưa tới bộ tách sóng không tỷ lệ với tất cả năng lượng phổ mà chỉ tỷ lệ với một phần của nó, vì vậy cũng cần phải tính tới sự suy giảm biên độ này.

Khi nghiên cứu phổ, điều quan trọng không chỉ là quan sát dạng phổ, mà còn vấn đề đo các thông số khác, như đo bề rộng của từng phân hay cả dải phổ...

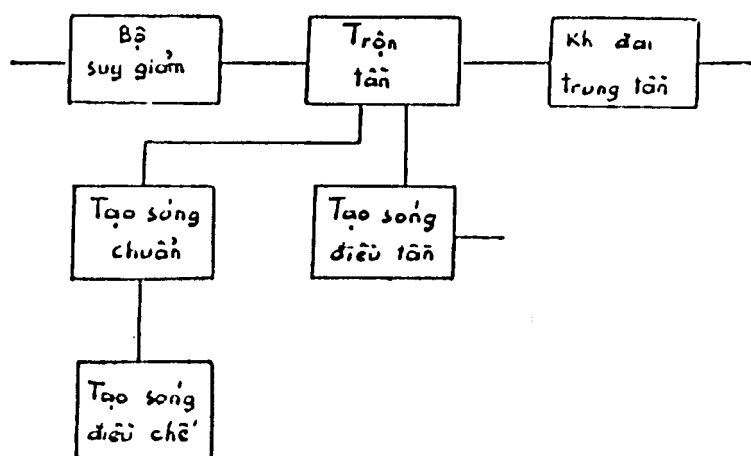


Hình 7-29

Để đo tần số, trong các thiết bị phân tích phổ thường dùng tần số mét cộng hưởng mắc ở đầu vào (hình 7-26). Khi điều chuẩn tần số mét, biên độ vạch phổ biểu thị có tần số tương ứng với tần số cộng hưởng của tần số mét bị suy giảm đi khoảng 15-35% do sự hấp thụ năng lượng của tần số mét ở tần số đo

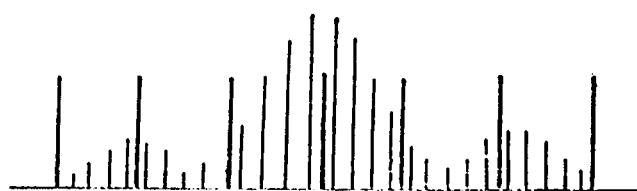
này (hình 7-29).

Để đo bề rộng của phổ, ta dùng cách so sánh phổ cần đo với phổ chuẩn. Thông thường phổ chuẩn được dùng là phổ của tín hiệu điều tần mà tần số điều chế có dạng điều hoà. Hình 7-30 là sơ đồ khối của bộ phận tạo tín hiệu có phổ chuẩn. Bộ tạo sóng điều chế phát ra điện áp hình sin có tần số từ 1-10 MHz. Điện áp này đưa tới điều chế bộ tạo sóng chuẩn (cũng giống như bộ tạo sóng điều tần từ bộ phát sóng chuẩn được vào bộ



Hình 7-30

chế, thì có thể phối hợp hai thành phần của phổ chuẩn với giới hạn các phân đoạn của phổ nghiên cứu. Biết tần số điều chế và số lượng các thành phần của phổ chuẩn thì có thể xác định được đúng các phân đoạn của phổ cần đo. Như vậy, biến đổi biên độ điện áp điều chế thì có thể biến đổi được số lượng các thành phần của phổ chuẩn. Còn biến đổi tần số điều chế sẽ biến đổi được khoảng cách giữa các thành phần của phổ chuẩn.



Hình 7-31

trộn tần cùng với tín hiệu nghiên cứu. Như vậy, ở trên màn của dao động ký sẽ xuất hiện phổ của tín hiệu nghiên cứu và cả phổ của tín hiệu điều tần chuẩn. Khoảng cách giữa các thành phần của phổ chuẩn như vậy thì biết được.

Biến đổi tần số của bộ phát sóng điều

chế, thì có thể đo được bề rộng của bất kỳ phổ nào. Hình 7-31 biểu thị các vạch phổ khi đo so sánh, các vạch phổ (a) là các thành phần của phổ cần đo, các vạch (b) là các thành phần của phổ chuẩn.

### **7.3.2 Cấu trúc thiết bị phân tích phổ theo phương pháp số**

#### ***1. Thiết bị phân tích phổ của tín hiệu bằng kỹ thuật số***

Việc áp dụng kỹ thuật số trong các máy phân tích phổ tín hiệu nhất là máy phân tích phổ có cài đặt *microprocessor* đã tạo nên những tính chất mới mà kỹ thuật tương tự không có được. Nhưng cũng cần ghi nhận là tốc độ xử lý của các bộ phận không cho phép làm những máy phân tích phổ các tín hiệu cao tần và siêu cao tần. Trong những dải tần đó có các mạch chọn lọc tương tự và còn có các bộ phận dùng kỹ thuật số, như là

bộ biến đổi tương tự - số hay biến đổi số-tương tự, mà vai trò của chúng quyết định tốc độ xử lý của thiết bị đo số. Các máy phân tích phổ có *microprocessor* điều khiển và bộ phận tổ hợp các tần số, đã cho phép loại bỏ hay giảm đi đáng kể các hạn chế đặc trưng của máy phân tích phổ tương tự, vì đã thu hẹp đáng kể dải thông tần của các bộ chọn lọc tần số.

*a. Những nhược điểm của máy phân tích phổ tương tự*

Khi xem xét kỹ sơ đồ khối và nguyên tắc hoạt động có thể thấy các nhược điểm của máy phân tích phổ loại tương tự như sau:

- Gặp khó khăn khi xác định chính xác tần số và độ phân biệt cho phép cao, khi thay đổi tần số của bộ tạo dao động (ngoại sai)
- Độ tuyến tính không cao của trục tần số của màn ảnh bởi vì điện áp hình răng cưa không phải là điện áp có độ tuyến tính cao khi điện áp này dùng để tạo dao động điều tần, do đó có sự không tuyến tính của đặc tuyến điều chế.
- Sự không trùng hợp (có dịch chuyển) của các thời điểm bắt đầu các chu kỳ tạo dao động ngoại sai.
- Sự chính xác không cao của phép đo điện áp (hay công suất) tương ứng với các điểm cực đại của phổ.
- Không thuận tiện và có sai số lớn khi đo độ rộng của phổ; không có khả năng khách quan so sánh các dữ liệu thu được trong quá trình thí nghiệm và quá trình ghi lại các kết quả đo.

*b. Các khả năng của máy phân tích phổ loại số*

Các khả năng cơ bản của máy phân tích phổ số là :

- Phân tích được các tín hiệu dưới dạng tương tự hay dạng số.
- Phân tích song song (nhiều kênh) bằng thiết bị tương đối đơn giản và gọn nhẹ.
- Phân tích được trong lĩnh vực thời gian thực.
- Khả năng phân giải cao.
- Có các dạng lấy trị trung bình khác nhau (tuyến tính, hay hàm mũ).
- Có bộ biến đổi số để đo các giá trị trung bình bình phương.
- Nhớ được thông tin về phổ trong một thời điểm tức thời.
- Có các thiết bị nhớ riêng để lưu giữ các kết quả phân tích phổ với mục đích đưa ra màn ảnh hình ảnh của phổ và so sánh với các phổ khác.

- Lưu giữ các dữ liệu về các giá trị cực đại của các thành phần, hay công suất trung bình của các phổ mà các kênh đưa ra.
- Chỉ thị bằng số và chữ các mức và tần số trung bình các kênh trên màn hình của ống tia điện tử.
- Điều khiển bằng tay hoặc theo chương trình các chế độ làm việc.
- Có khả năng điều khiển được từ xa.
- Có đầu ra với giao diện bus chuẩn, có khả năng cùng làm việc với các thiết bị khác và máy điện toán nhỏ.

### *c. Các phương pháp phân tích*

Các máy phân tích phổ số hiện đại làm việc trong lĩnh vực thời gian thực đa số dùng phương pháp nén tỷ lệ thời gian và phương pháp lọc.

Phương pháp lọc cũng được dùng trong phân tích song song bằng cách lọc số và phân tích nối tiếp bằng cách dùng ngoại sai biến đổi tần số, trong đó việc đo các tần số của bộ ngoại sai hay thay đổi các tần số tổ hợp của nó thì dùng các thiết bị số.

## **2. Thiết bị phân tích phổ số dùng hệ chọn tương tự**

### *a. Máy phân tích với sự nén tín hiệu trong lĩnh vực thời gian*

Để có thể phân tích nối tiếp một phổ tín hiệu có bề rộng  $F$  bằng máy phân tích phổ tương tự với dải thông tần cho phép  $\Delta f$  của bộ lọc, thì cần một khoảng thời gian

$$t_{\text{dải}} = \frac{AF}{(\Delta f)^2} . \text{ Nếu dải cho phép tương ứng với } F \text{ là hẹp thì thời gian phân tích sẽ rất lớn.}$$

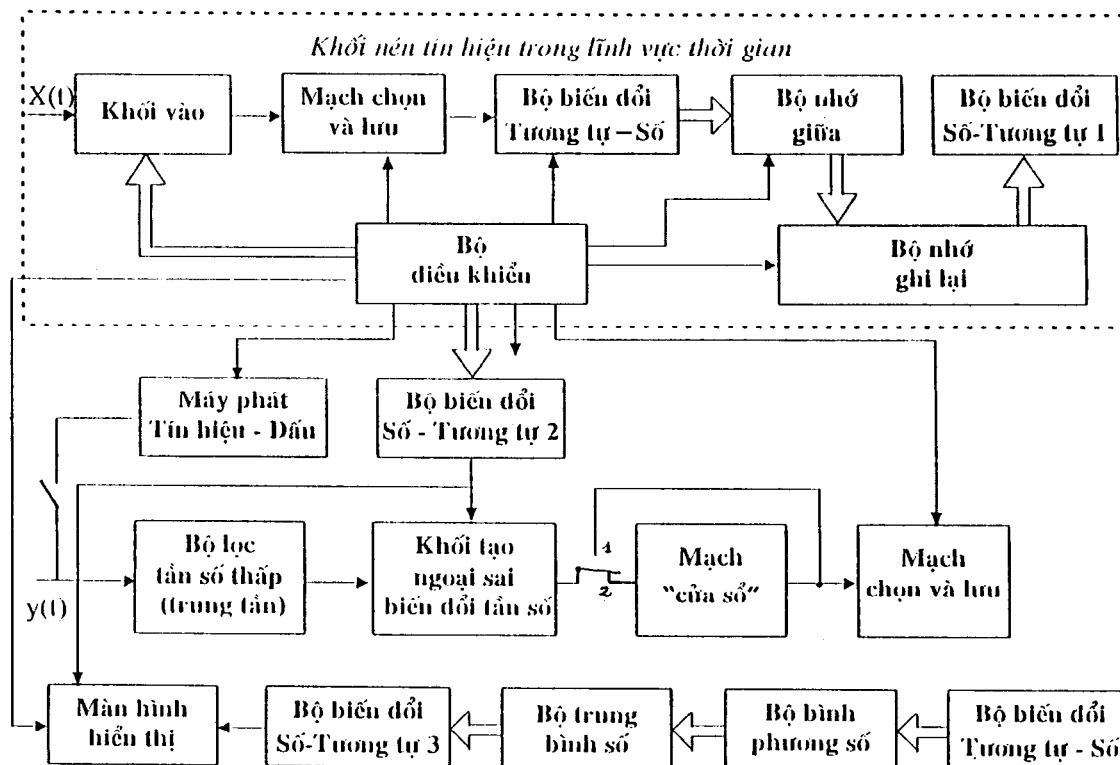
Mặt khác, nếu như giới hạn trên của tần số phổ mà thấp thì việc lọc với dải thông cho phép hẹp là một việc rất khó về mặt kỹ thuật.

Thời gian phân tích có thể giảm đáng kể khi dải tần mà phổ của tín hiệu chiếm giữ. Thực tế, nếu như chiều rộng của phổ là  $F' = nF$ , thì có thể tăng  $n$  lần dải thông tần cho phép của các máy phân tích ( $\Delta f' = n\Delta f$ ) mà vẫn giữ nguyên khả năng phân giải không thay đổi. Kết quả là thời gian phân tích giảm  $n$  lần.

Mở rộng phổ lên  $n$  lần có thể nhận được một đồ thị (copy) của tín hiệu nghiên cứu mà có độ dài nhỏ hơn  $n$  lần tín hiệu ban đầu (ở đầu vào của thiết bị đo), có nghĩa là đã nén tín hiệu trong lĩnh vực thời gian lại (hệ số nén là  $n$ ). Việc chuyển hoá thang độ thời gian được thực hiện nhờ các bộ nhớ. Trong đó tương ứng với các tính chất của biến đổi Fourier, các phổ nén và tín hiệu ban đầu có liên hệ sau:

$$S_{\text{nén}}(nF) = \frac{1}{n} S(F)$$

Sơ đồ khối của phân tích phổ dùng các khối số nén tín hiệu trong lĩnh vực thời gian được biểu diễn trên hình 7-32.



Hình 7-32

Để hiểu rõ hơn các khả năng của thiết bị ta sẽ xem xét các tính chất cơ bản của một máy phân tích phổ làm việc trong dải tần từ 0,1 Hz đến 20 Hz. Dải tần này có thể chia ra làm 11 dải tần nhỏ với các tần số biên trên ( $F_b$ ) là 10, 20, 50, 100, 200, 500 Hz, 1, 2, 5, 10 và 20 kHz. Độ rộng tối đa của dải thông của bộ chọn là  $\Delta f = 0,025 F_b$ . Nghĩa là ở dải tần nhỏ thứ nhất  $\Delta f = 0,025$  Hz, còn ở dải tần cuối  $\Delta f = 50$  Hz. Như vậy có kết quả là biến đổi thang độ thời gian (nén tín hiệu nghiên cứu).

Thiết bị sẽ làm việc như sau: tín hiệu nghiên cứu  $x_{\omega}$  được đưa vào mạch chọn và lưu qua khối vào, có chứa bộ suy giảm, bộ lọc tần số thấp và khuếch đại. Với sự trợ giúp của mạch này thì việc rời rạc hoá điện áp của tín hiệu nghiên cứu tiến hành trong sự lựa chọn với tần số  $F_0 = 3F_b$ , có nghĩa là khoảng cách lựa chọn  $T_0 = 1/3F_b$ . Những giá trị đã chọn  $x(iT_0)$  được ghi nhớ ở khoảng thời gian ngắn cần thiết để có thể chuyển đổi được bằng bộ biến đổi tương tự-số điện áp  $x(iT_0)$  thành các giá trị số-tương tự bằng byte (8 bit). Những byte nhận được được ghi và bộ nhớ giữa sau đó được đưa vào bộ nhớ ghi lại với dung lượng  $C$  (khoảng 1200 bytes). Những byte được đọc với tần số cao

$f_d=12\text{MHz}$  hay vận tốc đọc là  $v = 12 \cdot 10^6 \text{ bytes/s}$  trong khoảng thời gian  $\Delta T = C/v$  ( $\Delta T = 100 \mu\text{s}$ ) và chuyển tới bộ biến đổi số- tương tự 1, biến đổi số thành điện áp. Tín hiệu tương tự ở đầu ra  $y_{(i)}$  là một copy nén của tín hiệu nghiên cứu  $x_{(i)}$  với bề rộng phổ (0...4 MHz). Hệ số nén  $k$  được xác định bằng tỷ lệ:  $f_d/3F_b$ . Suy ra cho  $n$ , dải tần nhỏ thứ nhất là ( $F_b = 10$ ),  $k = 40000$ , còn cho dải tần thứ 11 là:  $k = 200$ .

Tín hiệu  $y_{(i)}$  được đưa qua bộ lọc tần số thấp trong đó  $F_{\text{cắt}}(F_c)$  bằng giới hạn trên của phổ tín hiệu nén ( $F_c = 4 \text{ MHz}$ ). Tín hiệu sau khi đã loại trừ mọi thành phần có tần số cao hơn  $F_c$  được đưa vào khối tạo ngoại sai biến đổi tần số. Điện áp đầu ra của bộ biến đổi số-tương tự 2 sẽ ngày càng tăng lên theo quy luật tuyến tính và làm việc “lắc” tần số của bộ tạo ngoại sai đầu tiên. Điện áp này cũng là điện áp quét cho màn hình dùng ống tia điện tử. Một vòng “lắc” tần số từ  $F_{\text{ngoại sai min}}$  đến  $F_{\text{ngoại sai max}}$  chiếm một khoảng thời gian bằng  $N$  số tần số ghi số và đọc nó, nghĩa là  $T_{\text{vòng}} = N \cdot \Delta T = NC/v$  ( $N = 400$ ;  $T_{\text{vòng}} = 40 \text{ ms}$ ). Tín hiệu sau ba lần biến đổi ngoại sai ( $f_{\text{ngoại sai I}} = 16,27 \text{ MHz}$ ;  $f_{\text{ngoại sai II}} = 13,73 \text{ MHz}$ ;  $f_{\text{tuyến tính II}} = 2,54 \text{ MHz}$ ;  $f_{\text{ngoại sai III}} = 2,29 \text{ MHz}$ ;  $f_{\text{tuyến tính III}} = 250 \text{ MHz}$ ) có thể bị sửa khi cho qua mạch “cửa sổ” có nghĩa là tương đương với việc thay đổi biên độ-tần số của bộ lọc.

Nếu như mạch “cửa sổ” không mắc vào mạch mà tín hiệu phải qua thì ta coi tín hiệu qua “cửa sổ vuông”. Tiếp đó tín hiệu biến thành dạng số nhờ mạch chọn và lưu cũng như mạch biến đổi tương tự-số và qua bộ bình phương số hay là bộ trung bình số. Có các chế độ làm việc khác nhau: truyền đến bộ biến đổi số-tương tự 3 không qua phép trung bình, hay qua phép trung bình tuyến tính hay hàm số mũ, ghi lại các giá trị cực đại. Trong khối trung bình có hai bộ nhớ để nạp và lưu phổ. Nội dung của chúng có thể được thể hiện được thể hiện trên màn hình ống tia điện tử, đồng thời hay lần lượt. Từ đầu ra của bộ trung bình số, mã số được chuyển đến bộ biến đổi số-tương tự 3 mà từ đây số chuyển thành điện áp. Điện áp này sẽ xuất hiện ở đầu vào  $Y$  của kênh lệch dọc. Đầu vào  $X$  của kênh lệch ngang màn hình cũng xuất hiện các điện áp từ đầu ra của bộ biến đổi số-tương tự 2 mà điện áp quét ngang của ống tia điện tử.

Trên màn hình xuất hiện  $N$  dải sáng nhỏ, tương ứng với các kênh phân tích tần số ( $N = 400$ ). Điện áp điều khiển bằng số được sử dụng để điều khiển bộ tạo dao động ngoại sai có tần số biến đổi tuyến tính và quét ngang của ống tia điện tử. Nó cũng sẽ đảm bảo rằng tất cả các điểm bắt đầu các vòng tạo dao động tần số sẽ trùng nhau và tại dải sáng thứ  $i$  (của kênh thứ  $i$ ) cũng sẽ xuất hiện trùng nhau tại cùng một chỗ trên màn ảnh trong mỗi vòng dao động. Có khả năng nữa là người sử dụng có thể đánh dấu kênh riêng quan tâm ( ví dụ kênh  $k$ ). Muốn vậy trên bộ đo tần số (trên sơ đồ khối hình 7-32 không thể hiện) cần phải đưa giá trị trung bình tần số của kênh  $k$  vào, và bật lên bằng tay. Dải  $k$  sẽ sáng hơn. Giá trị biên độ của thành phần phổ (giá trị trung bình của công suất trên phần phổ này) sẽ được hiện bù trên màn hình dưới dạng số.

*b. Máy phân tích phổ với bộ tổ hợp tần số được điều khiển bằng Microprocessor*

- Việc áp dụng bộ tổ hợp tần số được điều khiển bằng *microprocessor* giải quyết được hai vấn đề chính:

- Xác định được chính xác tần số trung bình của dải tần số dao động bộ ngoại sai (sai số 1 Hz trong tần số trung bình 40 MHz) và các tần số ở biên.

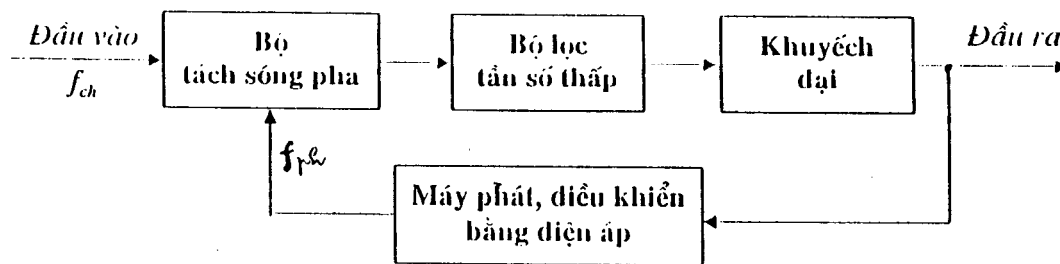
Đạt được độ phân biệt cao (ví dụ dải thông tần của bộ lọc  $\Delta f = 3$  Hz khi tần số trung bình của tín hiệu là 40 MHz).

Ngoài ra độ chính xác phép đo biên độ các thành phần tần số được nâng cao, kết quả đo được thể hiện trên màn hình ống tia điện tử dưới dạng số và được lưu lại trong bộ nhớ; việc điều khiển thiết bị đơn giản, có thể lập chương trình được.

Bộ tổ hợp tần số mà thực hiện chức năng của bộ ngoại sai sẽ thay thế máy phát dao động điều tần. Điều đó cho phép thực hiện việc điều chỉnh chậm tần số của bộ ngoại sai trong điều kiện tần số thay đổi theo tuyến tính và có độ ổn định lớn.

Do các tính năng cao của bộ tổ hợp tần số đạt được trong các tổ hợp tích cực tần số với việc dùng bộ tự động điều chỉnh pha tần số. Cũng cần nhắc lại nguyên lý bộ tự động điều chỉnh pha tần số.

Sơ đồ khối của bộ tự động điều chỉnh pha tần số như hình 7-33.



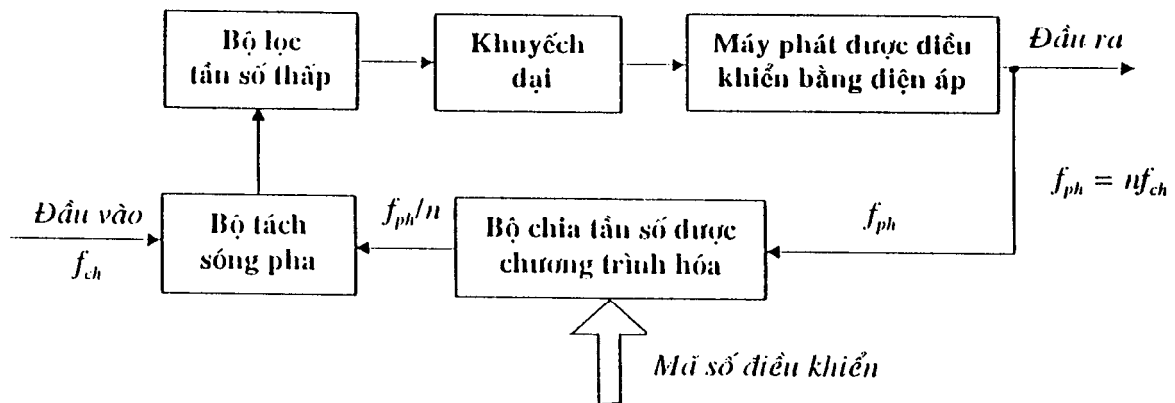
Hình 7-33

Trên một đầu vào của bộ tách sóng pha xuất hiện điện áp tần số chuẩn  $f_{\text{chuẩn}}$ , còn ở đầu vào khác là hiệu điện thế  $f_{\text{phát}}$  từ máy phát điều khiển bằng điện áp. Điện áp đầu ra bộ tách sóng pha làm nhiệm vụ trộn tần xác định bằng tần số và pha của tín hiệu đầu vào. Đó là một tập hợp các điện áp có các tần số khác nhau. Bộ lọc tần số thấp cho qua các những điện áp là hiệu của tần số  $f_{\text{chuẩn}} - f_{\text{phát}}$ . Bởi vì tần số cắt  $f_c$  của bộ lọc tần số thấp nên tín hiệu lọt qua bộ lọc tần số thấp khi mà  $f_{\text{ngoại sai}}$  khác ít với  $f_{\text{chuẩn}}$ , tức là không lớn hơn  $f_c$ . Tín hiệu ra của bộ lọc sau khi được khuếch đại sẽ ra đầu ra của bộ tự động điều chỉnh pha tần số, cũng như theo đường phản hồi ngược lại máy phát để thay đổi tần số  $f_{\text{phát}}$  cho gần vào tần số  $f_{\text{chuẩn}}$  cho đến khi  $f_{\text{phát}}$  bằng  $f_{\text{chuẩn}}$ , sau đó mạch tự động điều chỉnh

pha tần số theo dõi theo tần số  $f_{phát}$ . Vì có sự khác nhau giữa các pha của tín hiệu vào bộ tách sóng nên ở đầu ra xuất hiện điện áp một chiều có giá trị đủ để giữ cho tần số  $f_{phát}$  bằng tần số  $f_{chuẩn}$ . Mạch tự động điều chỉnh pha tần số sẽ thực hiện chức năng nếu  $f_{phát}$  và  $f_{chuẩn}$  không khác nhau nhiều lắm. Các giới hạn được xác định bằng dải tần theo dõi (khác với dải tần nắm bắt).

Bây giờ chúng ta xem bộ tổng hợp tần số có chứa mạch tự động điều chỉnh pha (hay còn gọi là mạch vòng khoá pha).

Sơ đồ khối biểu diễn trên hình 7-34.

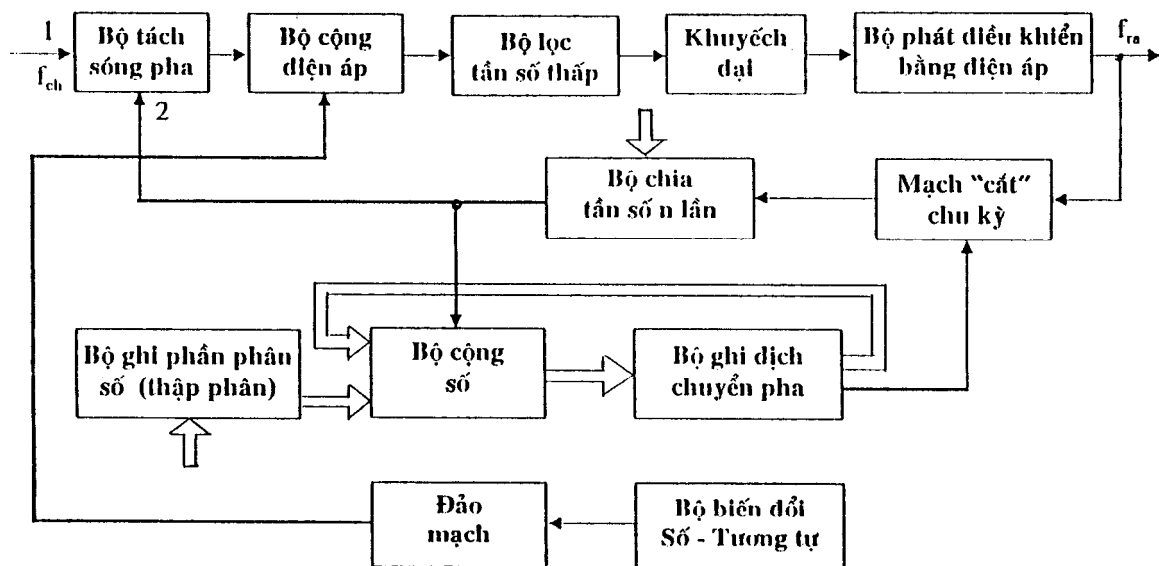


Hình 7-34

Đầu ra của máy phát chính là đầu ra của bộ tổng hợp tần số có xuất hiện một điện áp bằng  $n f_{chuẩn}$ . Điện áp này được truyền đến bộ tách sóng pha theo đường phản hồi ngược sau khi qua bộ chia tần số và được giảm đi  $n$  lần. Có nghĩa là ở các đầu vào của bộ tách sóng pha có:  $f_{chuẩn}$  và  $f_{phát}/n$ , ở đây tín hiệu từ máy phát sẽ đồng bộ với tín hiệu chuẩn. Hệ số chia  $n$  ở bộ chia tần số có thể thay đổi được nhờ sự thay đổi mã số điều khiển từ khối điều khiển. Như vậy khi thay đổi giá trị  $n$  có thể nhận được một tập hợp các giá trị của tần số tín hiệu ra từ máy phát tần số mà thường gọi là “lưới tần số”. Nhưng những bước của lưới tần bằng giá trị  $f_{chuẩn}$ . Để có thể giảm được những bước của lưới tần người ta dùng bộ chia tần số với hệ số chia có phân bố thay đổi. Những sự khác nhau giữa bộ tổng hợp dùng mạch tự động điều chỉnh pha tần số có chứa bộ chia tần số phân số thay đổi với những bộ tổng hợp dùng mạch tự động điều chỉnh pha tần số có chứa bộ chia tần số phân số thay đổi với những bộ tổng hợp thường là tín hiệu ra của máy phát có thể đồng bộ với tín hiệu có tần số  $n f_{chuẩn}$  với  $n$  là giá trị nguyên hay là phân số. Ta hãy xem xét nguyên tắc hoạt động của mạch tự động điều chỉnh pha tần số với bộ chia tần số có phân số thay đổi.

Sơ đồ khối thể hiện trên hình 7-35.

Trong trường hợp chung giá trị tần số tín hiệu ra của bộ phát tần số điều khiển bằng điện áp có thể viết dưới dạng:  $f_{ra} = (n + \alpha) \cdot f_{chuẩn}$ , ở đây  $n$  là số nguyên  $\alpha$  là phân số thập phân ( $0 < \alpha < 1$ ). Phần  $n \cdot f_{chuẩn}$  gọi là phần nguyên, còn  $\alpha f_{chuẩn}$  là phần lẻ của giá trị  $f_{ra}$ . Nếu cho  $f_{chuẩn}$  không đổi thì số  $n$  có thể thay đổi bằng bộ chia tần số để thay đổi hệ số tính. Ví dụ cho  $f_{chuẩn} = 1 \text{ MHz}$  và cho hệ số chia  $n = 10$  thì phần nguyên  $f_{ra}$  sẽ là  $10 \text{ MHz}$ . Nếu cho  $\alpha = 0,1$  (người ta thường nói trong trường hợp này là tần số bị lệch đi một phần thập phân). Mỗi một chu kỳ tín hiệu chuẩn tương ứng với  $(n + \alpha)$  chu kỳ tín hiệu ra của



Hình 7-35

bộ máy phát. Có nghĩa là với mỗi một chu kỳ mới của tín hiệu chuẩn tín hiệu ra ngày càng lệch pha (sớm hơn) so với pha của tín hiệu là phần nguyên  $n f_{chuẩn}$ . Trong quãng thời gian  $(1/\alpha)T_{chuẩn}$  phần lệch pha sớm trước sẽ bằng chu kỳ của tín hiệu ra, trong ví dụ trên với  $\alpha = 0,1$  thì là sau 10 chu kỳ của tín hiệu chuẩn (hay 101 chu kỳ của tín hiệu ra).

Sau khi chia tần số, tín hiệu ra  $n$  ở đầu vào hai bộ tách sóng pha sẽ có tín hiệu mà sớm trước tín hiệu chuẩn về pha  $f_{chuẩn}$  vào đầu 1, trong đó sự khác biệt về pha ngày càng lớn. Để khắc phục trong sơ đồ khối có những nút để chỉnh lại. Nguyên lý của nó là khi mà độ lệch pha bằng chẵn nguyên một chu kỳ thì từ tín hiệu ra sẽ cắt một đoạn có độ dài bằng một chu kỳ của tín hiệu đó qua bộ chia. Lúc đó giá trị trung bình của tần số ở đầu ra của bộ chia tần số sẽ là  $f_{chuẩn}$ . Việc “cắt” chu kỳ phải được lặp lại nhiều lần mỗi khi độ lệch pha bằng một chu kỳ nguyên của tín hiệu ra từ bộ phát và xảy ra việc “cắt” thì điện áp tụt nhanh xuống không. Như vậy ở đầu ra của bộ tách sóng pha sẽ tạo ra điện

áp có hình răng cưa với chu kỳ  $T = (1/\alpha) \cdot T_{ch}$  (trong ví dụ trên thì  $T = 10 \mu s$ ). Điện áp này sẽ cộng với điện áp dòng một chiều.

Để có thể “cắt” đúng được chu kỳ của tín hiệu ra của bộ phát thì cần xác định và chốt đúng thời điểm khi mà độ lệch pha bằng một chu kỳ và lệnh cho mạch “cắt”. Điều đó xảy ra như sau: Trong bộ ghi phân thập phân số có ghi giá trị  $\alpha$ . Mỗi một chu kỳ mới của tín hiệu chuẩn thì số đó chuyển sang bộ ghi lưu. Trong bộ ghi giá trị này tích dần lên số mà nó đặc trưng cho độ lệch pha: sau một chu kỳ ghi  $\alpha$  (ở ví dụ trên là 0,1); sau hai chu kỳ ghi  $2\alpha$  (ở ví dụ trên là 0,2); ...v.v. Khi nào giá trị bằng 1 thì bộ ghi đầy và ở đầu ra xuất hiện tín hiệu tràn. Lúc đó là thời điểm mà độ lệch pha có giá trị bằng một chu kỳ. Tín hiệu tràn là lệnh cho mạch “cắt”. Từ sơ đồ khối thấy rằng để có thể giảm được các bước của lưới tần số thì cần tăng lượng bậc trong bộ ghi phân số. Cũng có thể xảy ra trường hợp khi số lần  $\alpha$  không bằng 1 (ví dụ  $\alpha = 0,3$ ), lúc đó mạch làm việc như sau. Sau chu kỳ đầu của tín hiệu chuẩn trong bộ ghi nhớ những dịch chuyển pha sẽ ghi  $\alpha$ , sau hai chu kỳ là  $2\alpha$ , sau ba chu kỳ là  $3\alpha$  và ...v.v. Ví dụ sau ba chu kỳ là  $3 \times 0,3 = 0,9$ . Sau bốn chu kỳ sẽ là 1,2, nhưng vì dung lượng của bộ ghi chỉ là 1 nên phần thừa 0,2 sẽ được chuyển vào bộ tổng bằng số và vòng thứ hai lưu sẽ không bắt đầu từ 0 mà từ 0,2 và cứ như thế. Khi nào trong bộ ghi có bằng 1 thì bộ ghi phát tín hiệu “đầy” ở đầu ra. Lúc đó cùng với thời điểm sự lệch pha bằng một chu kỳ tín hiệu chuẩn.

Tín hiệu ra của bộ tách sóng pha, như đã nói ở trên là một tổng gồm hai phần: một phần không đổi và một phần thay đổi là điện áp có dạng răng cưa. Phần không thay đổi được dùng để điều khiển bộ phát tần số trong mạch tự động điều chỉnh pha tần số, còn phần thay đổi phải tìm cách loại trừ bởi vì nó sẽ tạo ra sự điều chế tần số không cần thiết cho tín hiệu đầu ra của bộ tách phát tần số. Để trung hoà phần thay đổi người ta dùng bộ biến đổi số-tương tự và bộ đảo mạch. Trên đầu vào của bộ biến đổi số-tương tự sẽ thay đổi tương ứng với những thay đổi của các số ghi trong bộ ghi lưu và sẽ được trung bình hoá những điện áp có dạng răng cưa. Sau khi đảo mạch điện áp này của bộ biến đổi sẽ có cực ngược với cực của điện áp đầu ra của bộ tách sóng pha (có hình răng cưa) và được đưa vào bộ cộng điện áp, ở đây sẽ diễn ra quá trình trung hoà cần thiết.

Cần nói thêm ở phần kết luận rằng bộ vi xử lý có trong thành phần của máy phân tích phổ (bài toán chủ yếu của nó là điều khiển bộ phân tích tần số) đã làm cho bộ phân tích phổ tín hiệu có các tính chất mới. Nó cho phép giảm số lượng các bộ phận điều khiển, đưa thông tin vào thiết bị trong các dạng khác nhau, hiệu chỉnh dễ, xác định được tần số của tín hiệu cần phân tích; đo được tần số của các phần của phổ (hay là tần số trung bình của một đoạn của phổ), tự động thiết lập các dải phân đo, kết hợp được chức năng điều khiển độ cho phép của máy phân tích và độ dài điện áp quét với chức năng để điều khiển độ di tần.

Bộ vi xử lý tiến hành hiệu chuẩn tự động sau một khoảng thời gian định kỳ. Nó sẽ đo các giá trị hệ số truyền đạt của kênh tín hiệu và thực hiện các điều chỉnh cần thiết; cho các hệ số chỉnh vào khi bị yếu do bộ suy giảm khác so với bình thường; chỉnh lại các tần số của bộ tạo ngoại sai khi có sự sai lệch của các giá trị thực tế của tần số so với yêu cầu ...v.v.

### 7.3.3 Máy phân tích phổ dùng bộ vi xử lý với thuật toán biến đổi nhanh Fourier

#### 1. Khái quát về biến đổi nhanh Fourier

Biến đổi nhanh Fourier là một thuật toán để tính nhanh hàm biến đổi Fourier:

$$S_{(\omega)} = \int_{-\infty}^{+\infty} x_{(t)} e^{-j\omega t} .dt \quad (21)$$

$$\text{và} \quad x_{(t)} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_{(\omega)} e^{j\omega t} .d\omega \quad (22)$$

với  $\omega = 2\pi f$  là tần số góc

Công thức (21) và (22) gọi là cặp biến đổi Fourier, trong đó hàm  $S_{(\omega)}$  chứa cả thông tin về phổ của biên độ và phổ của của pha. Phân tích phổ bằng số dựa trên việc tính toán biến đổi rời rạc Fourier.

Nếu phân điểm thời gian thì tín hiệu  $x_{(\omega)}$  sẽ biến thành một tập hợp các điểm chọn rời rạc. Nếu như việc chọn được thực hiện sau một khoảng thời gian  $T_0$  thì ta sẽ có dãy  $x_i(iT_0)$ , ở đây  $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$ , độ dài là:  $T = NT_0$ .

Ta sẽ cho rằng hàm  $x_i(iT_0)$  là tuần hoàn và chu kỳ của nó là  $T = NT_0$ . Hàm tương ứng với nó trong vùng tần số là  $S_{(\omega)}(k\Delta f)$  là hàm của các giá trị rời rạc tần số  $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$ , với  $\Delta f = \frac{1}{N.T_0}$  là khoảng cách giữa các tần số.

Hai hàm  $x_i(iT_0)$  và  $S_{(\omega)}(k\Delta f)$  liên hệ với nhau qua cặp biến đổi rời rạc Fourier

$$S_{(\omega)}(k\Delta f) = T_0 \sum_{i=0}^{N-1} x_{(t)}(iT_0) .e^{-\frac{j2\pi ik}{N}} \quad (23)$$

$$x_{(t)}(iT_0) = \Delta f \sum_{k=0}^{N-1} S_{(\omega)}(k\Delta f) .e^{\frac{j2\pi ik}{N}} \quad (24)$$

Trong đó:  $T_0\Delta f = 1/N$

Bởi hàm  $x_t(iT_0)$  được xem xét là tuần hoàn với chu kỳ  $NT_0$  thì khi hàm  $S_{(\omega)}(k\Delta f)$  biến đổi thành hàm  $x_t(iT_0)$  ta có một chu kỳ tín hiệu  $x_t(iT_0)$ .

Từ cặp biến đổi fourrier (21) và (22) có thể viết dưới dạng:

$$x_{(1)}(iT_0) = \Delta f \sum_{l=-\infty}^{+\infty} x[(i + lN)T_0] \quad (25)$$

$$\text{và} \quad S_{(\omega)}(k\Delta f) = T_0 \sum_{p=-\infty}^{+\infty} S[(k + pN)\Delta f] \quad (26)$$

Từ (25) và (26) thì (23) và (24) có thể viết dưới dạng:

$$S_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_{(i)} \cdot e^{-\frac{j2\pi ik}{N}} \quad (27)$$

$$x_{(i)} = \Delta f \sum_{k=0}^{N-1} S_k \cdot e^{\frac{j2\pi ik}{N}} \quad (28)$$

trong đó:  $S_k = S_{(\omega)}(k\Delta f)$ .  $\Delta f$  và  $x_{(i)} = x_t(iT_0)$  với  $i$  là điểm chọn của dãy (25) mà mỗi chu kỳ chứa  $N$  điểm.

Tính toán (27) và (28) đòi hỏi số lượng các phép tính rất lớn. Nó đòi hỏi khoảng  $N^2$  các phép số học. (Ví dụ  $N = 1000$  thì cần 1.000.000 phép tính). Để rút gọn khối lượng và thời gian tính người ta dùng các thuật toán biến đổi nhanh Fourier (BNF).

Dạng thuật toán BNF phụ thuộc vào chọn số  $N$ . Thuật toán đơn giản nhất là khi  $N = 2^n$  ( $n$  là số nguyên). Thông thường theo định lý Ka-chen-nhi-cốp thì  $N$  có giá trị lớn hơn 2 BL trong đó  $B$  là độ rộng của phổ tín hiệu  $x_{(\omega)}$  đo bằng Hz, còn  $L$  là độ dài của tín hiệu đo bằng giây (s).

Ta sẽ xem xét bản chất BNF .

Biểu thức (27) viết dưới dạng:

$$S_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_{(i)} \cdot W^{ik} \quad (29)$$

Trong đó  $W = e^{-\frac{j2\pi}{N}}$  và  $j = \sqrt{-1}$

Vì  $N$  có giá trị chẵn nên khi hàm rời rạc hoá tín hiệu  $x_{(\omega)}$  thì có thể chia làm hai dãy chẵn và lẻ:  $x_{(2i)}$  và  $x_{(2i+1)}$ , trong đó  $i = 0, 1, 2, \dots, (N/2 - 1)$

Mỗi dãy có  $N/2$  thành phần.

Ví dụ:

Khi  $N = 2^3 = 8$  ta có dãy:

$$x_{(2i)} \rightarrow x_{(0)} \ x_{(2)} \ x_{(4)} \ x_{(6)} \quad (I)$$

$$x_{(2i+1)} \rightarrow x_{(1)} \ x_{(3)} \ x_{(5)} \ x_{(7)} \quad (II)$$

Áp dụng hàm biến đổi rời rạc Fourier với hai dãy với  $N/2$  thành phần.

Theo (29) thì:

$$S_I(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{(2i)} \cdot W^{2ik} \quad (30)$$

$$S_{II}(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{(2i+1)} \cdot W^{2ik} \quad (31)$$

Trong đó:  $k = 0, 1, 2, \dots, (N/2-1)$

Cần phải tìm các giá trị của  $S_{(k)}$  với dãy  $x_{(i)}$  cho trước. Bởi vì  $S_{(k)}$  bao gồm hai dãy  $x_{(2i)}$  và  $x_{(2i+1)}$  nên:

$$S_k = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{(2i)} \cdot W^{2ik} + \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{(2i+1)} \cdot W^{2(i+1)k} \right]$$

$$\text{hay} \quad S_k = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{(2i)} \cdot W^{2ik} + W^k \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{(2i+1)} \cdot W^{2ik} \right]$$

với  $0 \leq k \leq N/2$

$$S_k = S_I(k) + W^k S_{II}(k) \quad (32)$$

Với những giá trị  $N/2 \leq k \leq N$  thì  $S_I(k)$  và  $S_{II}(k)$  sẽ nhận lại những giá trị sau chu kỳ  $N/2$  bằng những giá trị với  $k < N/2$ .

$$\text{Ta có} \quad W^{k+N/2} = W^k \cdot e^{-j\pi} = -W^k$$

$$\text{nên} \quad S_k = S_I(k) + W^k S_{II}(k) \quad (33)$$

Kết hợp (32) và (33):

$$S_{(k)} = S_I(k) + W^k S_{II}(k)$$

$$S_{(k+N/2)} = S_I(k) - W^k S_{II}(k)$$

với  $0 \leq k \leq N/2$ .

Ví dụ: với  $N = 8$  và  $k=2$  thì:

$$S_{(2)} = S_I(2) + W^2 S_{II}(2)$$

$$S_{(6)} = S_I(2) - W^2 S_{II}(2)$$

Như vậy là có thể xác định được giá trị của hàm  $S_{(k)}$  của dãy  $x_{(i)}$  từ  $N$  điểm chọn bằng các hệ số của biến đổi vi phân Fourier dãy  $x_{(2i)}$  và  $x_{(2i+1)}$  với mỗi dãy có  $N/2$  điểm chọn. Để tính  $S_k$  và  $S_{k+N/2}$  ta chỉ cần tính  $S_I(k)$ ;  $S_{II}(k)$ ;  $W^k S_{II}(k)$ , tức là  $N$  phép tính cộng và  $N/2$  phép nhân với  $W^k$ .

Tương tự như thế việc tính các giá trị của biến đổi vi phân Fourier của hai dãy  $x_{(2i)}$  và  $x_{(2i+1)}$  sẽ biến thành việc tính các giá trị hệ số của biến đổi vi phân Fourier của bốn dãy với  $N/4$  điểm chọn cho mỗi dãy. Lấy ví dụ trên ( $N=8$ ) thì từ dãy  $x_{(2i)}$  ta tạo hai dãy:

$$x_{(0)} \quad x_{(4)} \quad (III)$$

$$x_{(2)} \quad x_{(6)} \quad (IV)$$

từ dãy  $x_{(2i+1)}$  ta tạo:

$$x_{(1)} \quad x_{(5)} \quad (V)$$

$$x_{(3)} \quad x_{(7)} \quad (VI)$$

Trong trường hợp chung  $N = 2^n$  thì có  $n$  bước làm  $n = \log_2 N$ , như vậy để giảm bậc tính của biến đổi vi phân Fourier. Trên mỗi bước cần  $N$  phép cộng và  $N/2$  phép nhân, nên để thực hiện xong BNF cần  $n \times N$  phép cộng và  $(N/2) \times n$  phép nhân. Số lượng phép tính cần làm là:  $3/2 Nn = 3/2 N \log_2 N$ . Bình thường số lượng phép tính là  $2N^2$ , như vậy khi dùng BNF cho phép ta giảm được  $4/3 N \log_2 N$  lần. Ví dụ:  $N = 2^{10} = 1024$  thì dùng BNF số lượng phép tính giảm hơn 100 lần.

## 2. Sơ đồ khối của máy phân tích

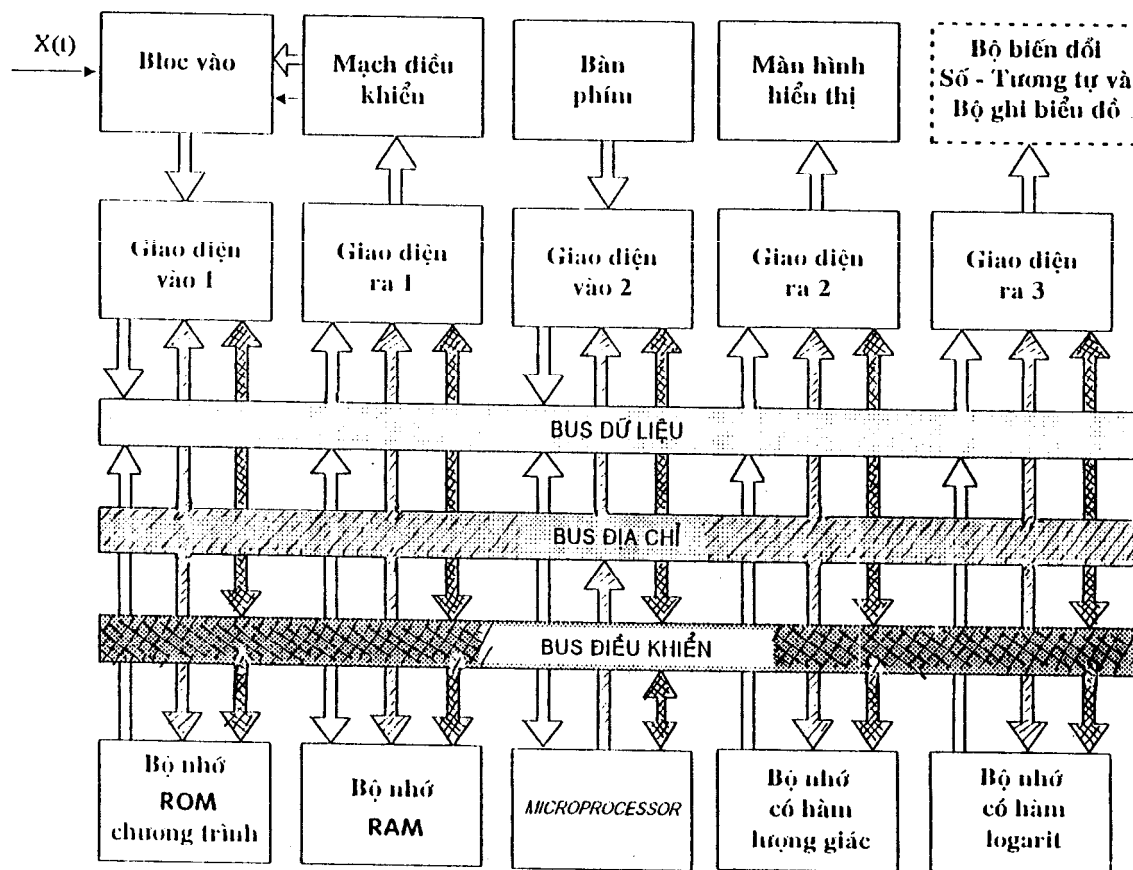
Thông thường trong các máy phân tích dùng thuật toán BNF thì số điểm chọn thường lấy là  $N = 2^n$  ( $n$  là số nguyên). Nếu  $n = 10$  thì  $N = 1024$ , thì BNF là biến đổi trong khoảng tần số 1024 giá trị của điểm chọn rồi rạc hoá theo thời gian. Ta sẽ nhận được trong vùng biến đổi tần số  $N$  giá trị tổng hợp mà phân bố trên trục tần số sau một quãng  $1/NT_0$  ( $T_0$  là quãng cách điểm chọn rồi rạc hoá theo thời gian). Để cho dễ ta xem xét những phổ nằm trong các phần có giá trị dương của tần số.

Số lượng  $p$  là các bộ lọc tương đương được tạo ra do BNF là tương đối lớn, ví dụ nếu  $N = 1024$  thì  $p = 400$ . Bộ lọc sẽ có khoảng cách dải tần  $\beta = \frac{F_b}{p}$ .

Dải cho phép (giá trị của các tần số biên thấp hơn giá trị trung bình của dải là 3 dB) sẽ là;  $0,88\beta$  trong trường hợp dịch chỉnh tuyến tính và 1,44 trong trường hợp dịch chỉnh ở “cửa sổ”.

Trên hình 7-36 là sơ đồ khối của phân tích phổ dùng bộ vi xử lý để tính toán theo thuật toán BNF, làm được các chức năng điều khiển đưa thông tin vào bởi bàn phím, thể hiện kết quả phân tích lên màn hình, .v.v.

Bộ vi xử lý (*microprocessor*) tính toán theo chương trình lưu trong bộ nhớ. Trong đó bộ giải mã của phép tính giải mã không chỉ các lệnh trong chương trình mà còn thông tin về tình trạng các cơ quan điều khiển bàn phím bằng các chương trình khác. Để tăng nhanh quá trình xử lý trong bộ vi xử lý có cả bộ nhớ có chứa bảng tính lượng giác. Nó cũng được dùng khi tiến hành dịch chỉnh ở “cửa sổ”. Việc đó được tiến hành với nhóm các giá trị chọn lựa trong vùng thời gian, có nghĩa là trước khi biến đổi trong vùng



Hình 7-36

tần số. Bảng tính logarit cũng có chứa trong bộ nhớ cho phép đẩy nhanh quá trình chuyển từ tỷ lệ tuyến tính sang tỷ lệ logarit.

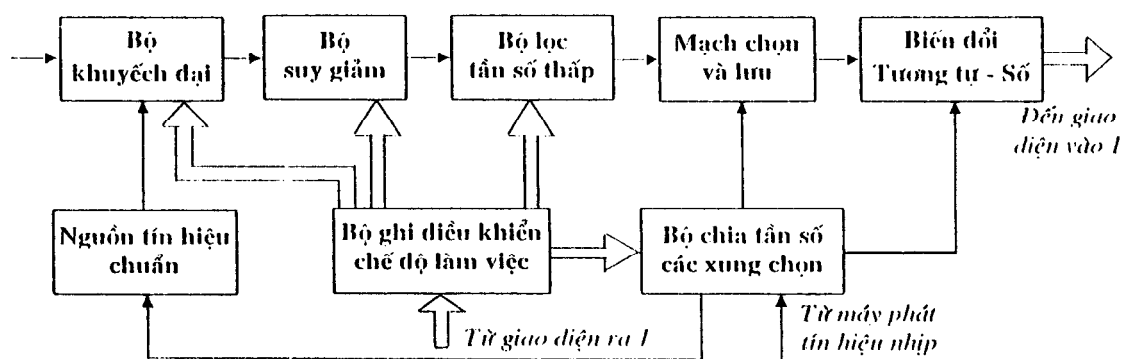
Để lưu giữ các dữ liệu tính thì dùng RAM. Dung lượng của nó phụ thuộc vào khả năng của máy phân tích. Ví dụ trong một máy phân tích làm việc trong dải từ 0,025 Hz đến 20 KHz thì dùng dung lượng RAM là 8Kbyte.

Thiết bị còn có card giao diện (trên hình 7-36 không biểu diễn) nối với *microprocessor* cho phép nối máy phân tích với giao diện hệ thống.

Mặc dù BNF cho phép tăng nhanh lời giải nhưng vẫn phải thực hiện một số lượng lớn phép tính, ví dụ  $N = 2^n = 1024$  thì cần 10.000 phép tính. Các phép nhân là lâu nhất vì vậy muốn mở rộng dải tần của máy phân tích thì cần tăng nhanh phép nhân. Muốn thế người ta cho thêm một *microprocessor* riêng vào mạch của máy phân tích để làm phép nhân ma trận hoặc là dùng *microprocessor* 16 bit loại tổng hợp.

### 3. Block vào

Khả năng của máy phân tích phần lớn phụ thuộc vào bloc vào (được điều khiển bằng bộ vi xử lý). Sơ đồ và sơ đồ điều khiển được biểu diễn trên hình 7-37.



Hình 7-37

Từ hình 7-36 và hình 7-37 ta thấy mạch điều khiển nhận được lệnh từ bộ vi xử lý qua giao diện ra 1 sẽ tự động xác định hệ số tăng của bộ khuếch đại và hệ số truyền của bộ suy giảm. Bộ lọc tần số thấp để loại bớt một số thành phần của tín hiệu có tần số cao hơn tần số  $F_b$  là giới hạn trên của dải tần nhỏ của máy phân tích cũng do bộ xử lý điều khiển, tức là tự động xác lập tần số của  $F_c$  của phần lọc: nó được thiết lập sao cho  $F_c = F_b$  trong mọi dải tần nhỏ.

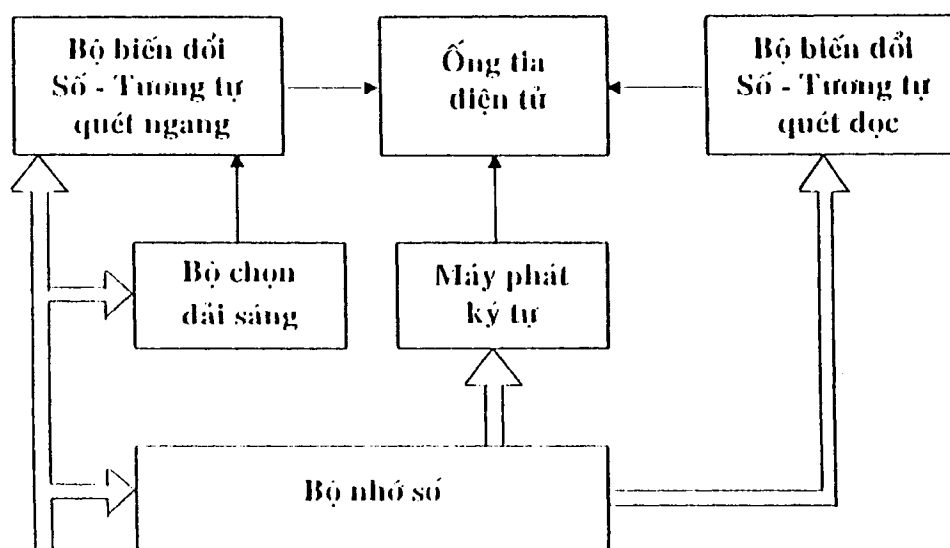
Tín hiệu ở đầu ra của bộ lọc tần số thấp sẽ mạch chọn và lưu, ở đây sẽ chọn các điểm tương ứng với các xung chọn nhịp từ bộ chia tần số. Tần số nối tiếp của các xung đó khi chuyển các dải tần nhỏ được tự động xác định là  $2,56 F_b$  nhờ bộ chia tần. Trong khoảng thời gian ngắn đó các giá trị của tín hiệu qua bộ biến đổi tương tự - số sẽ biến

đổi thành các giá trị số - tương ứng. Nó được chuyển vào bus dữ liệu của bộ vi xử lý qua giao diện 1 và được xử lý theo thuật toán BNF.

Trong thành phần của bộ vào có chứa nguồn tín hiệu chuẩn dùng để hiệu chỉnh các thông số của bộ khuếch đại và suy giảm, cũng như của các phần khác. Tần số của tín hiệu chuẩn được tự động chọn sao cho giá trị của nó tương ứng với một dải phát sáng ở màn hiển thị.

#### 4. Màn hiển thị

Trên hình 7-38 là sơ đồ khối của màn hiển thị của máy phân tích. Những thông tin cần được thể hiện trên màn hình ống phóng tia điện tử được bộ vi xử lý đưa thông qua giao diện ra 2 vào bộ nhớ số (bấm các phím quy định trên bàn tại mặt trước của thiết bị). Trong bộ nhớ có thể chứa chữ số, nhận được khi lấy mẫu và nhờ bộ biến đổi tương tự-số: các dữ liệu của một phổ trong một thời điểm tức thời hoặc các dữ liệu đặc trưng của một phổ trong một thời điểm tức thời hoặc các dữ liệu đặc trưng cho một phổ trung bình.



Hình 7-38

Màn hình có thể thể hiện được một số lượng lớn những giá trị phân biệt điểm trong bộ nhớ (ví dụ  $p = 400$ ). Trong trường hợp có nhu cầu thể hiện giá trị các điểm chọn của tín hiệu thì từ nhóm chọn (ví dụ  $N = 1024$ ) chỉ thể hiện một phần của nó ( $k$  điểm chọn); ví dụ như cách 2 điểm thì chọn 1. Tất nhiên có khả năng thể hiện các điểm chọn liên tục nhau và có thể dịch chuyển được theo trục thời gian.

Kích thước hình ảnh theo chiều dọc tương ứng với dải tần động mà thể hiện qua đơn vị logarit (ví dụ 80 dB). Giới hạn trên và dưới dải tần tương ứng với các đường biên của khắc độ của màn hình. Giá trị giới hạn trên được thiết lập từ bàn phím (80, 40, hay 20 dB). Do có thể thay đổi bậc của dao động tắt dần của bộ suy giảm trong khối vào mỗi 10 dB nên xuất hiện khả năng quan sát phổ trong tất cả dải tần động (80 dB) hoặc phổ mở rộng theo chiều dọc một phần của nó, (40 hay 20 dB).

Trên màn hình ống tia điện tử đồng thời với máy phát ký tự có đưa ra thông tin bằng chữ số về việc thiết lập các giới hạn động và từng phần của dải tần nhỏ, các giá trị bằng số và các đơn vị đo các thông số khác của tín hiệu được nghiên cứu, các giá trị phân điểm (lấy mẫu), giá trị trung bình của phổ cũng như tần số và giới hạn của dải sáng được chọn. Nếu máy phân tích có bộ ghi tự động thì hình ảnh phổ có thể được ghi ra.

### **5. Chương trình điều khiển**

Chương trình điều khiển toàn bộ hoạt động của máy phân tích nằm trong bộ nhớ ROM. Ngoài chương trình chính nó còn chứa nhiều chương trình con. Một trong số đó là chương trình ngắt khi đưa thông tin vào. Nó được kích hoạt từ bàn phím và tự chọn các nhóm phân điểm và đưa dữ liệu vào. Thời điểm bắt đầu xử lý nhóm chọn có thể trùng với thời điểm chạy hay chậm hơn một khoảng thời gian nhất định (đến 9,9 N). Như trên đã nói những hiệu chỉnh theo “cửa sổ” có thể được tiến hành trong vùng thời gian, và một chương trình con điều khiển việc đó. Một chương trình khác dùng để đưa dữ liệu từ RAM vào bộ nhớ số của màn hình.

Một số chương trình con riêng dùng để trung bình hoá phổ. Có các thuật toán trung bình tuyến tính và trung bình số mũ. Có các chương trình để nhớ các giá trị của các biên độ của phổ tương ứng với chiều cao của dải sáng.

## *Chương VIII*

# **ĐO CÁC THÔNG SỐ VÀ ĐẶC TÍNH CÁC PHẦN TỬ CỦA MẠCH ĐIỆN**

### **8.1 ĐO CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN CÓ CÁC PHẦN TỬ TẬP TRUNG**

#### **8.1.1 Đo các thông số của các linh kiện đường thẳng**

Các thông số của các linh kiện đường thẳng trong mạch điện có phần tử tập trung được dùng trong kỹ thuật điện tử như: điện dung của tụ điện, điện cảm của cuộn dây, điện trở của các trở kháng và hệ số phẩm chất của mạch dao động...

Các phương pháp thông dụng nhất để đo các thông số này là phương pháp phân áp bằng vôn-ampe-mét, phương pháp đo so sánh bằng mạch cầu và phương pháp cộng hưởng. Ngoài ra, gần đây còn phổ biến phương pháp đo bằng các thiết bị đo chỉ thị số. Ta sẽ xét riêng từng phương pháp, và có chú trọng hơn về các phương pháp được dùng nhiều ở cao tần.

#### **1. Phương pháp đo phân áp bằng vôn-ampe-mét**

Phương pháp vôn-ampe-mét là đo trực tiếp dòng điện  $I$  và điện áp  $U$  rồi tính ra trở kháng  $Z$  theo định luật Ôm.

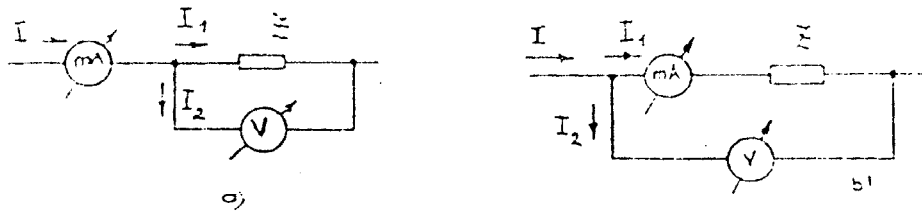
Mạch điện đo như hình 8-1, hình 8-1a là thực hiện đo mạch trong trường hợp trở kháng cần đo  $Z$  có trị số bé hơn nhiều so với trở kháng vào của vôn-mét. Dòng điện  $I_2$  chảy qua vôn-mét có thể bỏ qua, vì nó có trị số rất bé so với  $I_1$  là dòng điện đi qua trở kháng cần đo  $Z$ . Như vậy:

$$I_2 = I = \frac{U}{Z}$$

Do đó:

$$Z = \frac{U}{I} \tag{1}$$

Ở đây,  $Z$  là trở kháng cần đo,  $U$  là điện áp hiệu dụng trên  $Z$ ,  $I$  là dòng điện hiệu dụng chảy qua  $Z$ .



Hình 8-1

Nếu trở kháng cần đo có trị số lớn hơn trở kháng vào của vôn-mét, hay hai trị số này có thể so sánh được với nhau, thì dòng điện qua vôn-mét không thể coi là bỏ qua được. Khi đó mạch đo phải mắc như hình 8-1b. Trong trường hợp này, trị số điện trở bản thân của ampe-mét phải bé hơn nhiều so với trị số trở kháng cần đo.

Trị số trở kháng đo được ở đây chỉ là môđun của trở kháng ( $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ ), mà không đo được góc pha.

Khi đo điện dung của tụ điện  $C$  hay điện cảm của cuộn dây  $L$ , thì chúng phải có thành phần điện trở nhỏ hơn nhiều so với thành phần điện kháng. Khi đó:

$$\frac{U}{I} \approx Z = \sqrt{R^2 + X^2} \approx X \quad (2)$$

Nên ta có:

$$L = \frac{U}{\omega I}$$

và:

$$C = \frac{I}{\omega U}$$

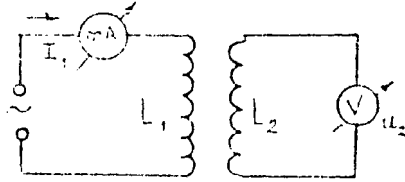
Ở đây,  $\omega$  là tần số góc của nguồn điện cung cấp cho mạch điện đo.

Khi đo điện trở, thì cũng cần phải sao cho thành phần điện kháng của nó nhỏ hơn nhiều so với thành phần điện trở.

Đo dòng điện thì dùng loại ampe-mét nhiệt điện, còn đo điện áp thì dùng vôn-mét điện tử.

Về cấu tạo, các thiết bị đo theo nguyên lý này có thể chỉ dùng một đồng hồ chỉ thị, nếu có một thông số đo là thay đổi còn hai thông số nữa được giữ cố định. Ví dụ, khi đo điện dung, thì hai thông số được giữ cố định là tần số và điện áp, còn dòng điện được đo bằng đồng hồ đo dòng điện. Do đó, thang khác độ của đồng hồ đo dòng điện có thể khác trực tiếp theo thang đơn vị của điện dung (cấu tạo Fara-mét).

Lượng trình đo các thông số bằng phương pháp này là : đo điện trở từ vài ôm đến vài trăm megôm; đo điện dung thì vài picôphara đến vài trăm microphara.



Hình 8-2

Phương pháp vôn-ampe-mét còn có thể đo được trị số hồ cảm. Mạch điện đo như hình 8-2, một trong hai cuộn dây (ví dụ cuộn dây  $L_2$ ) được mắc vào mạch điện có tần số  $\omega$ . Dòng điện  $I_1$  được đo bằng đồng hồ đo dòng điện. Hai đầu cuối của cuộn dây  $L_2$  được mắc một vôn-mét để đo sức điện động cảm ứng  $U_2$ . Trị số này bằng :

$$U_2 = I_1 \omega M \quad (3)$$

Do đó:

$$M = \frac{U_2}{\omega I_1}$$

Sai số của phương pháp đo này là do sai số do cấp chính xác của đồng hồ đo; sai số do ghép trở kháng của đồng hồ đo trở lại mạch đo. Sai số của phương pháp này khoảng từ 5-10%

Các đồng hồ để đo trở kháng theo phương pháp vôn-ampe-mét này thì thường dùng loại đo dòng điện một chiều hay dòng điện âm tần. Sở dĩ như vậy vì ở tần đoạn này dễ thực hiện đo dòng điện và điện áp và ít gây sai số hơn.

## 2. Đo so sánh bằng phương pháp mạch cầu

### a. Cầu cân bằng kiểu bốn nhánh

Đo điện trở, điện dung, điện cảm thường dùng là phương pháp mạch cầu. Sơ đồ nguyên lý mạch cầu bốn nhánh như trên hình 8-3.

Ở mạch cầu này, mỗi nhánh cầu có thể là một hay hỗn hợp các điện trở, điện dung và điện cảm. Trên đường chéo CD của cầu được nối với nguồn điện E, có nội trở là  $Z_E$ . Đường chéo AB của cầu được nối với thiết bị chỉ thị M. Trị số chỉ của đồng hồ chỉ thị tỷ lệ với hiệu số điện thế tại hai điểm A và B.

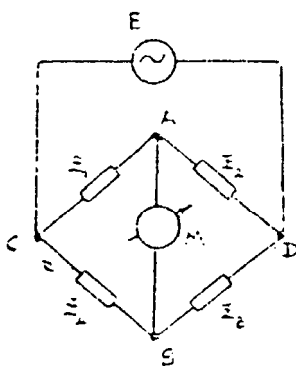
Khi cầu cân bằng thì dòng điện qua đường chéo AB bằng không. Điều kiện cân bằng của cầu là:

$$\underline{Z}_1 \underline{Z}_3 = \underline{Z}_2 \underline{Z}_4 \quad (4)$$

Các trở kháng  $\underline{Z}_1$ ,  $\underline{Z}_2$ ,  $\underline{Z}_3$  và  $\underline{Z}_4$  trong các nhánh cầu ở đây có thể là điện trở, điện dung và điện cảm. Trong đó có một trở kháng là phần tử cần đo thông số điện của nó, còn ba trở kháng kia là đã biết.

Trong trường hợp tổng quát, điều kiện cân bằng của cầu có thể viết là:

$$Z_1 e^{j\varphi_1} Z_3 e^{j\varphi_3} = Z_2 e^{j\varphi_2} Z_4 e^{j\varphi_4} \quad (5)$$



Hình 8-3

Biểu thức cân bằng này có thể phân tích thành hai biểu thức riêng rẽ cho môđun trở kháng và góc pha trở kháng:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4 \quad (6)$$

$$\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4 \quad (7)$$

Từ các biểu thức trên ta thấy rằng để cân bằng cầu đối với các dòng điện xoay chiều thì cần thiết phải có ít nhất là hai sự điều chỉnh cân bằng về môđun trở kháng và cân bằng về góc pha trở kháng.

Hai sự điều chỉnh này có liên quan với nhau, nên khi điều chỉnh máy đo phải thao tác lần lượt để điều chỉnh cân bằng môđun, rồi cân bằng pha, sao cho mỗi lần có trị số chỉ của đồng hồ chỉ thị là cực tiểu. Giới hạn cuối của sự điều chỉnh là vị trí mà khi đó đạt được cực tiểu. Nếu lại tiếp tục điều chỉnh thêm nữa, hoặc là môđun, hoặc là góc pha, thì trị số chỉ của đồng hồ chỉ thị không giảm hay giữ nguyên cực tiểu mà tăng lên. Khi cầu cân bằng thì dòng điện đi qua bộ phận chỉ thị có thể bằng không.

Sự cân bằng tổng góc pha các trở kháng  $\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4$  cho thấy là: điều kiện cân bằng tùy thuộc vào tính chất của các trở kháng khi đã có một sự sắp xếp các phần tử trên các nhánh một cách nào đó. Nếu hai nhánh 1 và 2 chỉ bao gồm các phần tử thuần điện trở:  $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ ; thì cầu có thể cân bằng khi  $\varphi_3 = \varphi_4$ . Nghĩa là tại hai nhánh 3 và 4 của cầu, các trở kháng phải cùng tính: cùng là điện dung hay cùng là điện cảm. Nếu các điện trở lại mắc ở các nhánh đối diện của cầu, nghĩa là nếu  $\varphi_1 = 0$  và  $\varphi_3 = 0$ , thì cầu có thể cân bằng khi trở kháng các nhánh đối 2 và 4 là khác tính, nghĩa là hai điện kháng ở hai nhánh 2 và 4 là ngược pha nhau. Nói khác đi tức là nếu mắc trên một nhánh là điện dung thì nhánh còn lại phải mắc điện cảm.

Như vậy, do tính chất trở kháng của các nhánh, do trị số trở kháng các nhánh mà cầu có thể dùng để đo các trở kháng các loại khác nhau và trị số lớn bé khác nhau.

Hình 8-4 là hai mạch cầu đơn giản để đo điện dung và điện cảm. Hình 8-4a còn gọi là “cầu tích số” và hình 8-4 b còn gọi là “cầu tỷ số”.

Phương trình cân bằng của mạch cầu 8-4a để đo điện cảm là:

$$R_1 R_3 = (r_x + j\omega L_x) \frac{1}{\frac{1}{R_4} + j\omega C_4} \quad (8)$$

Do đó ta có :

$$L_x = R_1 R_3 C_4 \quad (9)$$

$$r_x = \frac{R_1 R_3}{R_4} \quad (10)$$

Hai trị số cần đo  $L_x$  và  $r_x$  được tính theo tích số của các điện trở  $R_1$  và  $R_3$ . Mạch cầu hình 8-4b để đo điện dung. Từ điều kiện cân bằng của cầu và phân tích riêng phần thực và phần ảo của các trở kháng, ta cũng có:

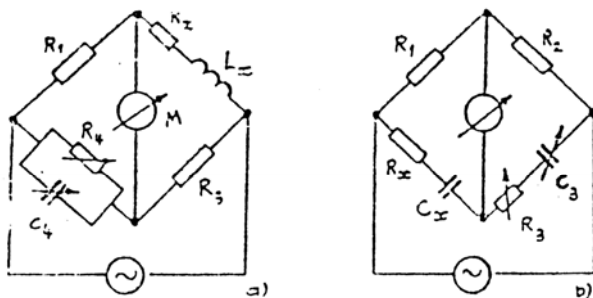
$$C_x = \frac{R_2}{R_1} C_3 \quad (11)$$

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3 \quad (12)$$

Hai trị số cần đo  $C_x$  và  $R_x$  được tính theo tỷ số của hai điện trở  $R_1$  và  $R_2$ .

Trị số góc tổn hao của tụ điện  $\text{tg}\delta$  bằng :

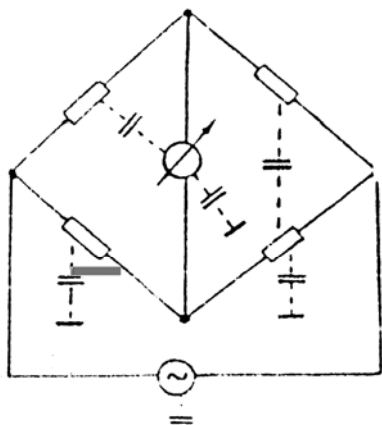
$$\text{tg}\delta = \omega R_x C_x = \omega R_3 C_3 \quad (13)$$



Hình 8-4

Nguồn điện cung cấp cho mạch cầu đo phải là điện áp có dạng thật điều hoà, vì điều kiện cân bằng cầu chỉ thực hiện với một trị số tần số đã xác định. Nếu điện áp của nguồn điện cung cấp cho cầu có dạng không điều hoà, tức là ngoài tần số cơ bản

(tần số thoả mãn điều kiện cân bằng cầu) còn có các phân lượng hài, thì điện áp trên đường chéo của cầu đặt trên bộ chỉ thị sẽ không bằng không. Do vậy, ở các cầu đo thường dùng bộ khuếch đại chọn lọc tần số ở mạch chỉ thị để làm giảm ảnh hưởng của các phân lượng hài và tăng được độ chính xác của phép đo.

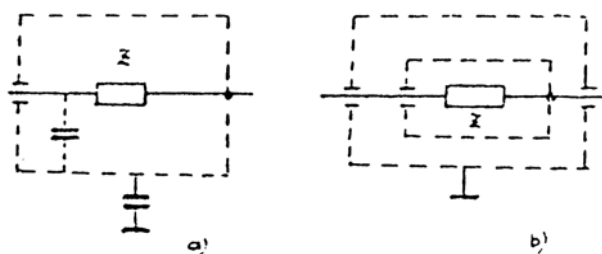


Hình 8-5

Bộ phận chỉ thị để xác định cân bằng cầu dùng phổ biến là các loại: ống nghe (khi có nguồn cung cấp với tần số từ 200 Hz đến 6000 Hz), vôn-mét chỉnh lưu bằng chất rắn hay vôn-mét điện tử, và có khi dùng cả ống tia điện tử.

Một điểm cần lưu ý khi dùng cầu đo có nguồn cung cấp bằng dòng điện xoay chiều là khả năng bị phân mạch dòng điện do sự ghép tập tán giữa các linh kiện. Các hiện tượng ghép tập tán nảy sinh ra giữa các phần tử trong mạch đo (giữa vật đo, nguồn cung cấp, đồng hồ chỉ thị ... với nhau và với vỏ máy) có thể là ghép điện trở, điện dung và điện cảm, nhưng chủ yếu vẫn là điện dung. Hình 8-5 là sơ đồ mạch điện khi có

xét tới các điện dung tập tán. Các điện dung ghép này làm cho dòng điện bị sai khác và kết quả đo cũng sai đi. Sự ghép này lại không phải là cố định, nó tùy vào vị trí đặt vật đo, vào ảnh hưởng của tay người điều chỉnh...



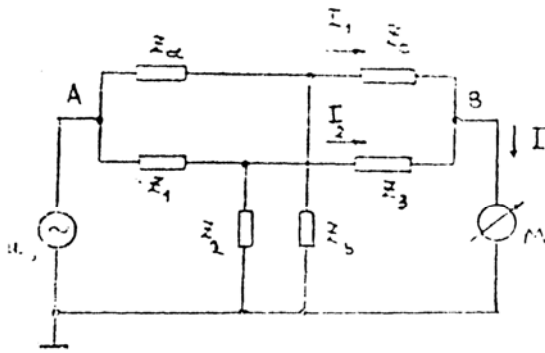
Hình 8-6

Do vậy, để làm giảm ảnh hưởng của điện dung tập tán thường dùng các phần tử của mạch cầu có kích thước bé và phải bọc kim chúng. Hình 8-6 là sơ đồ bọc kim loại một lớp (hình 8-6a) hay loại hai lớp (hình 8-6b) của các phần tử mạch cầu.

Để đảm bảo bọc kim tốt và không tăng điện dung giữa màn bọc kim với đất (hay với vỏ máy) thì dùng cách bọc kim hai lớp. Tuy như vậy có thể làm tăng điện dung lắp ráp của mạch, nhưng vì màn bọc được cố định, nên trị số điện dung này không đổi nên có thể tính toán, điều chuẩn để loại bỏ ảnh hưởng của chúng tới kết quả đo.

#### b. Cầu chữ T cân bằng

Nguyên lý cấu tạo của mạch điện cầu kiểu chữ T như hình 8-7. Cầu này bao gồm hai mạng bốn cực chữ T mắc song song, một mạng gồm các trở kháng  $Z'_1$ ,  $Z'_2$  và  $Z'_3$ ;



Hình 8-7

một mạng nữa gồm các trở kháng  $Z_a$ ,  $Z_b$  và  $Z_c$ . Đầu vào của mạch điện có nguồn điện cung cấp  $U$ ; đầu ra có đồng hồ chỉ thị  $M$ .

Các trở kháng của cầu có một quan hệ đã được xác định; trong đó có một trở kháng là của linh kiện cần đo thông số. Cầu cân bằng khi đồng hồ chỉ thị ở mức cực tiểu (hay mức không).

Để xét điều kiện cân bằng của cầu, cần tính các trị số dòng điện đầu ra của các mạng bốn cực.

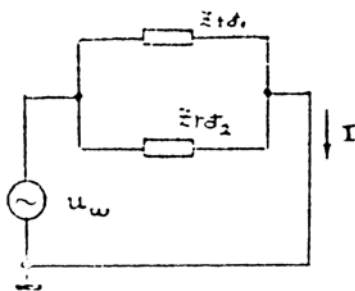
Dòng điện đầu ra của mạng bốn cực thứ nhất  $I_1$  (được tính khi đầu ra ngắn mạch) có trị số bằng:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1 + Z_3 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2}} = \frac{U}{Z_{td1}} \quad (14)$$

ở đây,  $Z_{td1} = Z_1 + Z_3 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2}$  là tổng trở tương đương của mạng bốn cực thứ nhất.

Dòng điện đầu ra của mạng bốn cực thứ hai có trị số bằng  $I_2$ :

$$I_2 = \frac{U}{Z_a + Z_c + \frac{Z_a Z_c}{Z_b}} = \frac{U}{Z_{td2}} \quad (15)$$



Hình 8-8

ở đây,  $Z_{td2} = Z_a + Z_c + \frac{Z_a Z_c}{Z_b}$  là tổng trở tương đương của mạng bốn cực thứ hai.

Ta có mạch tương đương của hình 8-7 như mạch trên hình 8-8.

Ở đây, cầu cân bằng khi:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0 \quad (16)$$

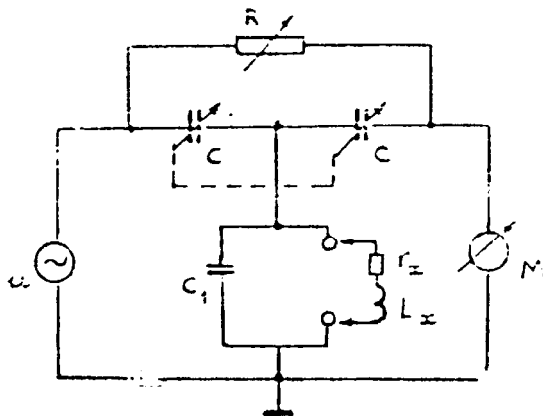
Điều kiện (16) cũng còn có nghĩa là trở kháng tương đương của hai trở kháng  $\dot{Z}_{td1}$  và  $\dot{Z}_{td2}$  của mạch hình 8-8 có trị số bằng vô cùng:

$$\frac{\dot{Z}_{td1} \dot{Z}_{td2}}{\dot{Z}_{td1} + \dot{Z}_{td2}} = \infty \quad (17)$$

Điều kiện của phương trình (17) cũng tức là:

$$\dot{Z}_{td1} + \dot{Z}_{td2} = 0 \quad (18)$$

Từ phương trình (18) có xác định được phân tử cần đo theo các phân tử đã biết. Nguồn điện dùng để cung cấp cho cầu chữ T cũng có các yêu cầu giống nhau như nguồn cung cấp cho cân bằng kiểu bốn nhánh.



Hình 8-9

So sánh với cầu cân bằng kiểu nhánh thì cầu cân bằng kiểu chữ T có ưu điểm là: giữa nguồn điện cung cấp, đồng hồ chỉ thị cũng như trở kháng cần đo có một điểm chung nối đất. Do vậy, vấn đề bọc kim ở cầu này được đơn giản hơn, tần đoạn sử dụng của cầu này do đó có thể cao hơn.

Khuyết điểm của loại này là giới hạn đo bị hạn chế theo trị số của vật mẫu, nó không mở rộng được theo quan hệ tỷ số hay tích số của các nhánh cầu như loại cầu cân bằng bốn nhánh.

Ví dụ một mạch cầu chữ T dùng trên thực tế để đo điện cảm như hình 8-9. Ở mạch này  $C_1$  là tụ mẫu mắc song song với điện dung tập tán của cuộn điện cảm cần đo. Điều kiện cân bằng là:

$$R + j\frac{2}{\omega C} - \frac{1}{\omega^2 C^2} \left( \frac{1}{r_x + j\omega L_x} + j\omega C_1 \right) = 0 \quad (19)$$

Cân bằng phần thực và phần ảo riêng rẽ của phương trình (19), ta có:

$$R = \frac{r_x}{\omega^4 L_x^2 C^2 \left( 1 + \frac{r_x^2}{\omega^2 L_x} \right)} \quad (20)$$

$$2 + \frac{C_1}{C} = \frac{1}{\omega^2 L_x C \left( 1 + \frac{r_x^2}{\omega^2 L_x} \right)} \quad (21)$$

Khi ở tần số cao, có thể cho điều kiện :

$$r_x^2 \ll \omega^2 L_x \quad (22)$$

Từ các phương trình (20), (21) và (22) ta có:

$$L_x \approx \frac{1}{\omega^2 (2C + C_1)} \quad (23)$$

$$r_x \approx \frac{R}{4 \left( \frac{C_1}{C} \right)} \quad (24)$$

Trong trường hợp  $C_1 \ll C$ , thì các công thức (23) và (24) có thể đơn giản thành:

$$L_x \approx \frac{1}{2\omega^2 C} \quad (25)$$

$$r_x \approx \frac{R}{4} \quad (26)$$

Như vậy, có thể trực tiếp khắc độ  $r_x$  trên điện trở mẫu biến đổi được  $R$  và khắc độ  $L_x$  trên tụ điện mẫu biến đổi được  $C$ .

Trị số điện dung tập tán của cuộn  $L_x$  ở đây có thể xác định được bằng hai lần đo với hai trị số  $C_1$  khác nhau hay với hai lần đo có và không có tụ điện  $C_1$ . Từ số liệu đo được của hai lần đo này mà ta tính được trị số  $C_{tt}$  bản thân của  $L_x$ .

Cầu T này có thể dùng đo điện cảm ở cao tần tới tần số 30MHz.

Tóm lại, do cấu tạo mạch điện của các loại cầu, để khử bỏ ảnh hưởng của các thông số điện kháng ký sinh, nên các cầu dùng để đo trở kháng chủ yếu chỉ dùng ở đoạn tần số thấp (tới vài kHz). Cũng có loại với các cách bọc kim tốt hơn hay dùng các biện pháp mạch cầu kép để cân bằng các điện kháng tập tán, thì có thể dùng ở tần số cao hơn. Ví dụ cầu chữ T, cầu vi phân... có thể đo ở tần số cao hơn 30MHz. Sai số của phép đo bằng phương pháp cầu có thể đạt được khoảng 1-5%.

Ngoài các trường hợp mạch đo được cấu tạo thành các máy đo LCR riêng rẽ, các loại mạch cầu trên còn có thể được dùng để làm các bộ phận chọn lọc tần số chỉ thị cân bằng... trong các máy đo lường khác như ở cầu đo độ méo không đường thẳng, vôn-mét điện tử, bộ tạo dao động âm tần kiểu RC...

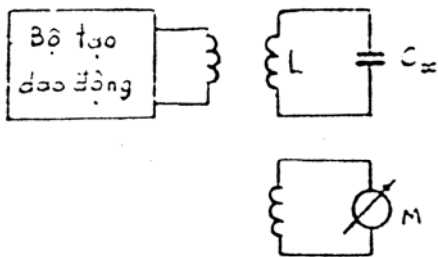
### 3. Phương pháp mạch cộng hưởng

Nguyên lý của phép đo các thông số mạch điện bằng phương pháp mạch cộng hưởng là lợi dụng hiệu ứng cộng hưởng của mạch dao động. Phương pháp này có độ chính xác khá cao và được dùng ở các dải tần số sử dụng trong vô tuyến điện tử.

Các nguyên nhân chủ yếu gây sai số của phương pháp này là: sự xác định không chính xác vị trí điểm cộng hưởng của mạch điện; do sự không ổn định của tần số bộ tạo dao động; do ảnh hưởng các thông số điện kháng tạp tán của mạch đo. Sai số của phương pháp này khoảng  $2\div 5\%$ .

So với phương pháp cầu, thì phương pháp cộng hưởng có ưu điểm là đo được các thông số của phần tử cần đo tại tần số thực tế mà phần tử đó sẽ công tác tại mạch điện. Tần số của nguồn đo cũng cao hơn, có thể lên tới 100MHz, do vậy có thể đo được các trị số của các thông số đo nhỏ.

#### a. Đo điện dung



Hình 8-10

Mạch điện đo điện dung bằng phương pháp cộng hưởng thì gồm có điện cảm L có trị số đã biết và điện dung cần đo  $C_x$ . Hai linh kiện này hình thành một mạch cộng hưởng và mạch này được ghép yếu với bộ tạo dao động như hình 8-10.

Nếu tần số của bộ tạo dao động  $f$  tương ứng với sự điều chuẩn cộng hưởng của mạch đo thì trị số  $C_x$  được xác định bằng:

$$C_x = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} \quad (27)$$

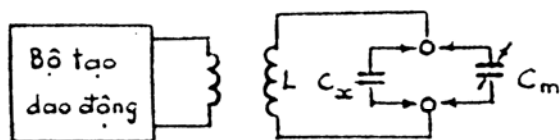
ở đây  $C_x$  tính ra đơn vị Fara;  $f$  tính theo đơn vị Hz;  $L$  tính theo đơn vị Henri.

Nếu biến đổi đơn vị:  $f$  tính theo MHz;  $L$  tính theo  $\mu H$  thì công thức (27) trở thành:

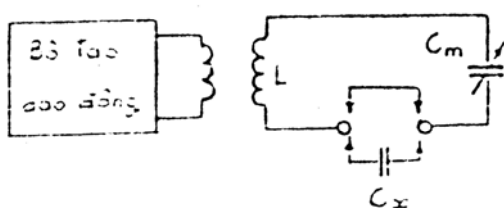
$$C_x = \frac{2,53 \cdot 10^4}{f^2 L} \text{ (pF)} \quad (28)$$

Từ công thức (28) thấy là: sai số của phép đo  $C_x$  ở đây thì phụ thuộc vào sai số của sự xác định trị số tần số cộng hưởng  $f$  và trị số của điện cảm mẫu  $L$ .

Trị số  $C_x$  được tính như (28) bao gồm trị số điện dung chung của cả mạch. Nó gồm cả điện dung bản thân của cuộn cảm điện và điện dung của các dây nối mạch điện... Vì vậy kết quả đo được là lớn hơn trị số thực của  $C_x$ .



Hình 8-11



Hình 8-12

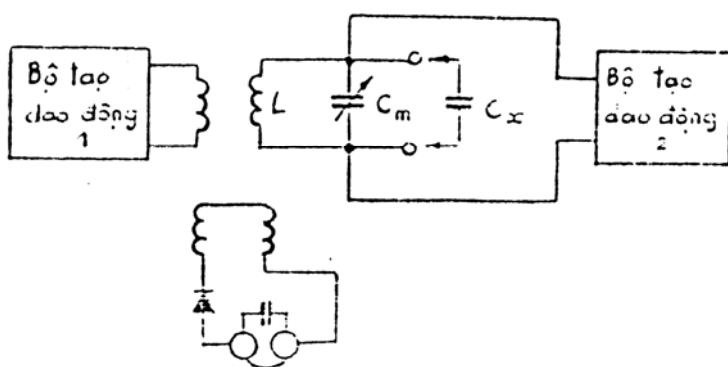
Muốn loại bỏ ảnh hưởng của điện dung bản thân cuộn dây  $L$ , điện dung và điện cảm của dây nối thì ta dùng phương pháp đo thay thế. Mạch đo thay thế ví dụ như hình 8-11. Quá trình thao tác như sau: đầu tiên điều chỉnh tần số của bộ

tạo dao động tới tần số mà mạch đo cộng hưởng. Mạch đo lúc này bao gồm điện cảm  $L$  mắc song song với tụ điện mẫu có khắc độ và biến đổi được  $C_m$  (xem hình 8-11). Sau đó, giữ nguyên tần số của bộ dao động, mắc tụ điện  $C_x$  cần đo song song với tụ mẫu  $C_m$ . Điều chỉnh tụ  $C_m$  để mạch điện cộng hưởng với tần số đang dùng. Như vậy, tương ứng với

hai trị giá xác định cộng hưởng trên thang khắc độ của  $C_m$  ta có thể tính được trị số  $C_x$ .

Sai số đo  $C_x$  trong trường hợp này chỉ còn là do xác định không chính xác vị trí cộng hưởng; sai số do tần số nguồn cung cấp cho mạch đo không ổn định và sai số khắc độ tụ điện mẫu.

Nếu trị số tụ điện cần đo lớn hơn trị số cực đại của tụ điện mẫu thì mắc  $C_x$  nối tiếp với  $C_m$  như hình 8-12.



Hình 8-13

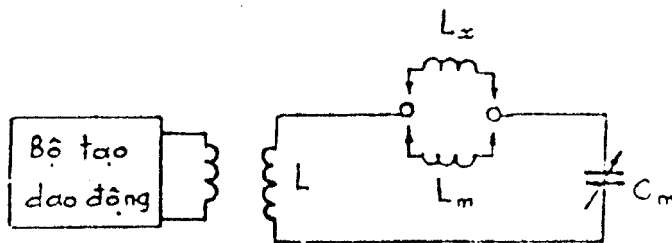
Để nâng cao độ chính xác xác định điểm cộng hưởng thì còn dùng phương pháp chỉ thị ngoại sai. Mạch đo được dùng hai bộ tạo dao động cao tần; bộ phân chỉ thị cộng hưởng là mạch tách sóng và ống nghe như hình 8-13. Quá trình thao tác của phép đo này là: đầu tiên,

chưa mắc  $C_x$ , biến đổi tần số của bộ tạo dao động thứ hai bằng cách biến đổi  $C_m$  sao cho có phách bằng không. Trị số  $C_x$  được xác định bởi thang khắc độ của  $C_m$ , nó bằng hiệu số hai trị số tương ứng với hai lần điều chuẩn để có phách bằng không.

#### b. Đo điện cảm

Phép đo điện cảm của một cuộn dây bằng phương pháp mạch cộng hưởng có thể dùng mạch điện đo giống như điện dung (hình 8-10). Mạch cộng hưởng ở đây gồm có cuộn dây điện cảm cần đo  $L_x$ , và tụ điện mẫu biến đổi  $C_m$ . Biến đổi  $C_m$  thì điều chuẩn được mạch cộng hưởng tới chế độ cộng hưởng tương ứng với tần số của bộ tạo dao động. Trị số điện cảm  $L_x$  được tính theo công thức:

$$L_x = \frac{2,53 \cdot 10^4}{f^2 C} \quad (29)$$



Hình 8-14

Trị số  $L_x$  được tính theo đơn vị  $\mu H$ ;  $f$  theo MHz và  $C$  theo pF.

Điện dung  $C$  của mạch đo này là tổng điện dung của tụ mẫu  $C_m$  và điện dung bản thân của cuộn dây. Nếu không tính đến trị số điện dung bản thân của cuộn dây thì trị số

điện cảm  $L_x$  đo được là trị số điện cảm thực tế.

Đo điện cảm còn có thể thực hiện bằng phương pháp đo thay thế. Mạch điện đo như hình 8-14. Điều chuẩn mạch điện cộng hưởng bằng tụ  $C_m$  trong hai trường hợp đo: khi có  $L_x$  bằng  $L_m$  là cuộn điện cảm mẫu. Hai trị số của  $C_m$  trong hai trường hợp là  $C_{m1}$  và  $C_{m2}$ . Nếu điện dung bản thân của cuộn dây điện cảm bé so với  $C_{m1}$  và  $C_{m2}$  thì:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_x C_{m1}}} = \frac{1}{\sqrt{L_m C_{m2}}} \quad (30)$$

Từ (30) ta có :

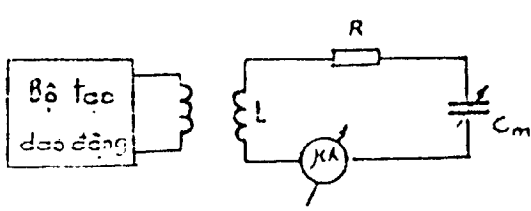
$$L_x = L_m \frac{C_{m2}}{C_{m1}} \quad (31)$$

#### c. Đo điện trở mạch cộng hưởng

Phương pháp mạch cộng hưởng còn được dùng khá phổ biến để đo điện trở của mạch cộng hưởng. Ta xét tới các phương pháp cụ thể này.

### c.1. Phương pháp thay đổi điện dung

Mạch đo bằng phương pháp này như hình 8-15. Ta có tỷ số trị số dòng điện hiệu dụng của mạch với trị số hiệu dụng của dòng điện khi có cộng hưởng bằng:



Hình 8-15

$$\frac{I}{I_{ch}} = \frac{R^2}{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (32)$$

Khi mạch có cộng hưởng thì:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$C_0$  là trị số điện dung khi mạch có cộng hưởng.

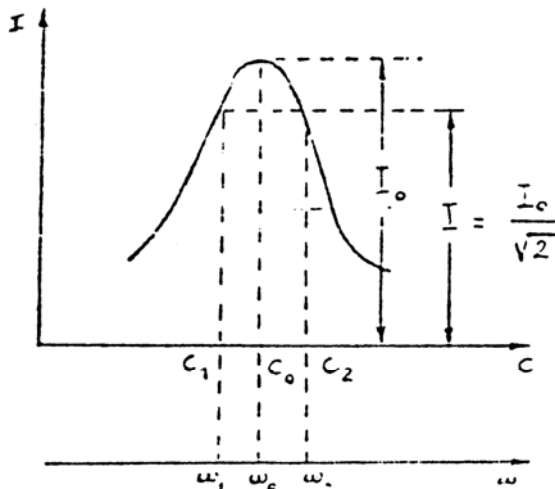
Từ các biểu thức (32) và (33) thông qua các tính toán gần đúng, ta có:

$$R = \frac{1}{\omega} \frac{C_1 - C_2}{2C_0^2} \quad (34)$$

ở đây  $C_1$  và  $C_2$  là trị số điện dung ở hai phía của  $C_0$  ứng với :

$$\frac{I}{I_{ch}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$$

### c.2. Phương pháp thay đổi tần số



Hình 8-16

Ngoài cách thay đổi điện dung, điều kiện  $\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{2}}$  còn có thể đạt được

bằng cách biến đổi tần số của bộ tạo dao động. Các tần số tương ứng là  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  và  $\omega_0$  (xem hình 8-16).

Từ các biểu thức (32) và (33) khi thực hiện tính toán gần đúng:

$$\omega_1 \omega_2 = \omega_0^2$$

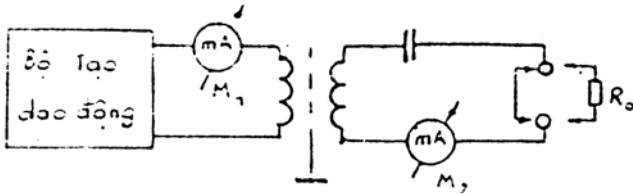
ta có :

$$R = \frac{1}{C} \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\omega_0^2} \quad (35)$$

Nguyên nhân sai số của cả hai phương pháp biến đổi điện dung và biến đổi tần số, chủ yếu là ở mức độ xác định chính xác hiệu số điện dung cũng như hiệu số hai trị số tần số.

### c.3. Phương pháp dùng điện trở mẫu

Mạch điện đo của phương pháp này như hình 8-17. Đầu tiên, nối tắt điện trở mẫu  $R_0$ , điều chỉnh tần số của bộ dao động cho mạch cộng hưởng. Giả sử, khi cộng hưởng thì



Hình 8-17

dòng điện trong mạch cộng hưởng là  $I_1$ . Sức điện động cảm ứng trong mạch khi đó là:  $I_1(R + R_M)$  (ở đây  $R_M$  là điện trở của đồng hồ đo dòng điện  $M_2$ ). Sau đó mắc điện trở mẫu  $R_0$  vào, và điều chỉnh tần số của bộ tạo dao động sao cho mạch lại cộng hưởng và giữ cho dòng điện bộ tạo

dao động không đổi so với lần trước. Giả sử là dòng điện trong mạch cộng hưởng lúc này là  $I_2$ ; sức điện động cảm ứng bằng:  $I_2(R + R_M + R_0)$ . Vì sức điện động cảm ứng trong cả hai lần đo bằng nhau vì dòng điện bên cuộn dây sơ cấp là không đổi, ta có:

$$I_1(R + R_M) = I_2(R + R_M + R_0) \quad (36)$$

Do đó:

$$R = \frac{I_2 R_0}{I_1 - I_2} - R_M \quad (37)$$

Từ biểu thức (37) ta thấy là: muốn nâng cao độ chính xác của phép đo thì cần chọn đúng đồng hồ đo dòng điện sao cho có trị số điện trở  $R_M$  càng bé thì càng tốt.

### d. Đo hệ số phẩm chất

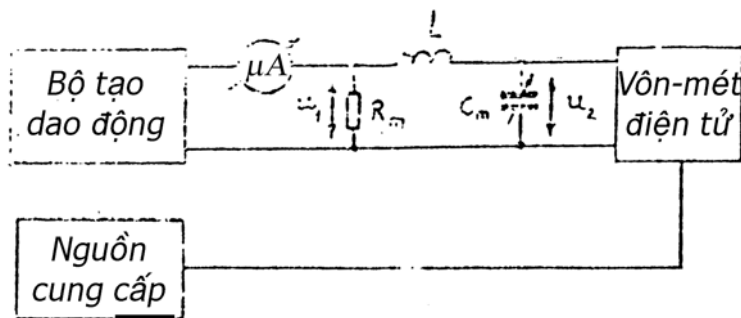
Với mạch cộng hưởng có các linh kiện  $L$ ,  $C$  và  $R$  là phần tử tập trung thì hệ số phẩm chất của cuộn dây  $L$  có thể xác định gần đúng theo công thức:

$$Q = \frac{\omega L}{R_L} \quad (38)$$

ở đây,  $\omega$  là tần số góc;  $L$  là trị số điện cảm, tính ra Henri;  $R_L$  là trị số điện trở của cuộn dây ở tần số đo, tính ra Ôm.

Thiết bị dùng để đo hệ số phẩm chất của mạch cộng hưởng, của cuộn dây, của tụ điện... là máy đo hệ số phẩm chất hay “Q-mét”

Sơ đồ khối của mạch đo hệ số phẩm chất của cuộn dây hay sơ đồ khối cấu tạo của Q-mét như hình 8-18. Nó bao gồm các bộ phận cơ bản là: bộ tạo dao động; mạch đo (gồm L và  $C_m$ ); vôn-mét điện tử và nguồn điện cung cấp.



Hình 8-18

Bộ tạo dao động được ghép với mạch đo qua một điện trở mẫu  $R_m$ , có trị số khá nhỏ.

Như đã biết ở mạch cộng hưởng nối tiếp, trị số điện áp  $U_2$  trên tụ điện C khi mạch có cộng hưởng thì bằng Q lần lớn hơn trị số điện áp  $U_1$  cung cấp cho

mạch. Nghĩa là:

$$U_2 = QU_1 \quad (39)$$

Điện áp cao tần  $U_1$  ở đây được đo bằng ampe-mét cao tần mắc nối tiếp với điện trở mẫu  $R_m$ :

$$U_1 = IR_m$$

I là dòng điện qua ampe-mét.

Vì điện áp  $U_1$  là một trị số đã xác định, nó luôn được chuẩn lại trong quá trình đo, nên thang độ của vôn-mét điện tử có thể trực tiếp khắc độ theo trị số Q.

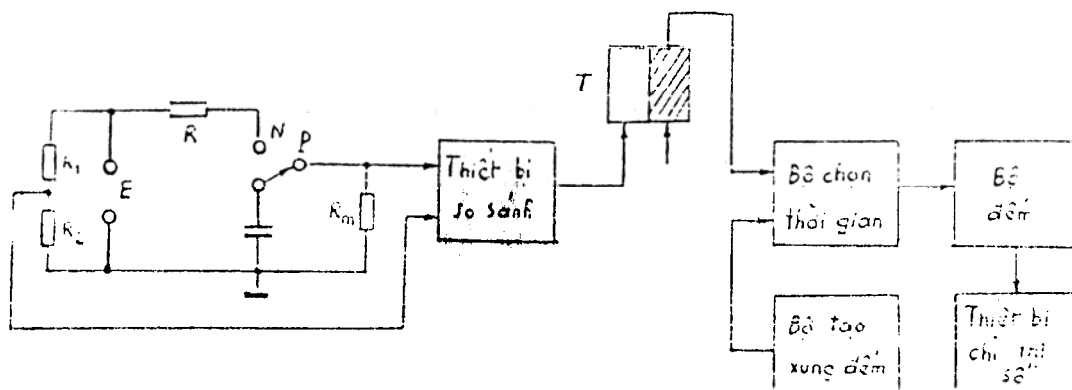
Các sai số của Q-mét là: sai số đo độ không ổn định tần số của bộ dao động; sai số của đồng hồ đo dòng điện và vôn-mét điện tử; sai số khắc độ của tụ mẫu  $C_m$ , và sai số do các thông số điện dung, điện cảm ký sinh của dây nối mạch điện.

Ngoài nhiệm vụ dùng để đo hệ số phẩm chất, Q mét còn có thể đo được điện cảm, điện dung, điện trở, tgδ... của các linh kiện theo nguyên lý đo của phương pháp mạch cộng hưởng. Vì vậy, Q-mét là loại máy đo có nhiều tính năng và khá thông dụng.

#### 4. Phương pháp đo bằng các thiết bị chỉ thị số

Đo các thông số của mạch điện có phần tử tập trung bằng các thiết bị đo chỉ thị có các ưu điểm là dễ đọc, kết quả đo được nhanh và có độ chính xác cao. Tuy nhiên về cấu tạo thiết bị đo thì có phức tạp hơn.

Để xét nguyên lý chung của các phương pháp đo này ta xét một mạch đo đơn giản của các thiết bị chỉ thị số đo điện dung bằng phương pháp hằng số như hình 8-19. Nguyên lý cộng tác của mạch đo này như sau:



Hình 8-19

Trước khi đo, chuyển mạch ở vị trí N, tụ  $C_x$  được nạp điện đến mức điện áp  $E$  của nguồn ổn áp. Khi bắt đầu đo chuyển mạch chuyển sang vị trí P, tụ  $C_x$  phóng điện qua điện trở mẫu  $R_m$ . Điện áp của tụ bằng:

$$u_C = Ee^{-\frac{t}{\tau}} \quad (40)$$

ở đây,  $\tau = R_m C_x$  là hằng số thời gian của mạch phóng điện. Khi bắt đầu đặt ngắn mạch  $C_x$ , tức khi  $C_x$  bắt đầu phóng điện, thì trong mạch có tự động tạo một xung đưa tới đầu vào bên phải của trigơ T, kích trigơ T chuyển trạng thái từ trạng thái ban đầu là “0” sang trái “1”. Bộ đếm bắt đầu đếm các xung từ bộ phát xung đếm đưa tới.

Các điện áp được đưa tới bộ chọn thời gian là điện áp:  $u_C = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$  và điện áp  $U_R = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$  lấy từ bộ phân áp  $R_1 - R_2$  mắc song song với nguồn ổn áp  $E$ . Các điện trở  $R_1$  và  $R_2$  ở đây được chọn chính xác sao cho có được tỷ số phân áp:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{e} \quad \text{Khi đó thì: } U_R = \frac{1}{e} E$$

Tụ  $C_x$  phóng điện sau một khoảng thời gian  $\tau = R_m C_x$  thì điện áp trên tụ giảm so với mức ban đầu, và còn bằng  $U_c = \frac{1}{e} E$  nghĩa là:  $U_c = U_R$ . Khi hai điện áp ở đầu vào bộ so sánh bằng nhau, thì ở đầu ra bộ so sánh có một xung đưa tới kích cho tri-gơ T làm cho tri-gơ chuyển trạng thái từ trạng thái “1” trở về trạng thái ban đầu “0”. Bộ chọn thời gian đóng lại, các xung không tới được bộ đếm nữa. Như vậy, bộ đếm đã đếm được  $m$  xung, có tần số lặp lại là  $F_{xg}$ , trong khoảng thời gian là  $\tau$ . Ta có:

$$\frac{m}{F_{xg}} = \tau = R_m C_x \quad (41)$$

Khi  $F_{xg}$  và  $R_m$  là đã biết thì có thể tính được  $C_x$  theo số lượng xung đếm được  $m$ :

$$C_x = \frac{1}{R_m F_{xg}} m = Km \quad (42)$$

Như vậy,  $C_x$  được tính theo (41). Khi  $R_m = 1M\Omega$  và  $F_{xg} = 1MHz$  thì:

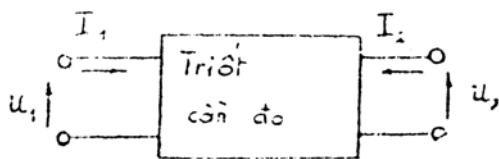
$$C_x = m(pF)$$

Trường hợp đo điện dung 1.000pF tức là tương ứng với 1.000 xung đếm. Sai số đếm xung là  $\pm 1$  đơn vị, tức cũng là 1pF; như vậy sai số tương đối là 0,1%. Nếu thay đổi  $R_m$  thì có thể chuyển mạch thang đo điện dung từ 1.000 pF đến 100 $\mu$ F.

Cũng phương pháp đo như mạch điện trên, nếu thay các điện trở mẫu bằng các điện dung mẫu thì có thể đo được điện trở bằng các thiết bị chỉ thị số.

### 8.1.2. Đo thử các thông số của đèn bán dẫn.

Đèn bán dẫn ngày nay được dùng ở hầu khắp các thiết bị điện tử vì vậy nên có nhiều phương pháp và loại máy đo các thông số bán dẫn khác nhau. Trong phần này chỉ đặt vấn đề giới thiệu phương pháp đo các thông số của các loại đèn bán dẫn.



Hình 8-20

Tranzixto bán dẫn (hay còn gọi là triốt) được dùng ở các thiết bị điện tử thì hầu hết là loại bán dẫn tiếp mặt. Triốt bán dẫn loại tiếp mặt có trở kháng vào bé và trở kháng ra rất lớn. Vì vậy, trên quan điểm đo lường các thông số mà xét thì thông số H thuận lợi và hợp lý hơn

các thông số Y và Z. Chẳng hạn như muốn đo thông số Y, thì cần phải thực hiện chế độ ngắn mạch đầu vào và đầu ra đối với điện áp xoay chiều. Vấn đề ngắn mạch đầu ra thực hiện được tương đối dễ dàng đối với triốt có trở kháng ra lớn, do vậy chỉ cần mạch ra có trở kháng tương đối bé so với trở kháng ra của triốt là xem như thực hiện được ngắn mạch. Trái lại vấn đề ngắn mạch đầu vào tương đối khó, vì muốn mạch vào xem như ngắn mạch đối với xoay chiều thì điện trở mắc trong mạch đó phải nhỏ hơn nhiều so với điện trở vào của triốt, mà điện trở vào của triốt thì vốn đã rất bé. Đo thông số Z cũng tương tự, muốn thực hiện hở mạch đầu vào thì tương đối dễ, song thực hiện hở mạch đầu ra thì gặp phải khó khăn.

Cho nên đối với tri-ốt tiếp mặt thì thường dùng hệ thông số H vì hệ thông số này là một hệ thông số hỗn hợp, đo ở chế độ hở mạch đầu vào và ngắn mạch đầu ra. Như vậy, khắc phục được các nhược điểm của hai hệ thông số trên.

Một triốt bán dẫn cần đo thông số được coi như một mạng bốn cực (hình 8-20). Trong hệ thông số H thì nó có các phương trình cơ bản là:

$$U_1 = H_{11}I_1 + H_{12}U_2 \quad (43)$$

$$I_2 = H_{21}I_1 + H_{22}U_2 \quad (44)$$

Trong phạm vi đo lường ở tần số thấp, khi tác dụng các phần tử điện kháng có thể coi như bỏ qua được, thì các phương trình (43) và (44) có thể viết dưới dạng:

$$U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2 \quad (45)$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2 \quad (46)$$

Từ các phương trình (45) và (46) có thể dễ dàng xác định được:

$h_{11} = \frac{U_1}{I_1}$  khi  $U_2 = 0$ , là *trở kháng vào* của triốt khi đầu ra ngắn mạch (đối với thành phần xoay chiều).

$h_{21} = \frac{I_2}{I_1}$  khi  $U_2 = 0$ , là *hệ số khuếch đại dòng điện* của triốt khi ngắn mạch đầu ra (đối với thành phần xoay chiều).

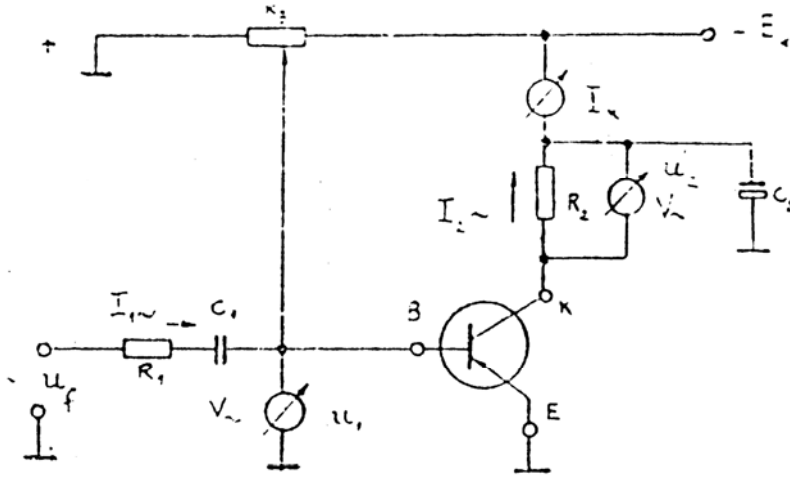
$h_{12} = \frac{U_1}{U_2}$  khi  $I_1 = 0$ , là *hệ số hồi tiếp điện áp* của triốt khi đầu vào hở mạch (đối với thành phần xoay chiều).

$h_{22} = \frac{I_2}{U_2}$  khi  $I_1 = 0$ , là *dẫn nạp ra* của triốt khi hở mạch đầu vào (đối với thành phần xoay chiều).

Có hai phương pháp đo các thông số trên được dùng nhiều hơn cả là phương pháp vôn-ampe và phương pháp cầu đo.

Phương pháp vôn-ampe để đo các thông số  $h_{11}$  và  $h_{21}$  ví dụ như mạch đo hình 8-21. Ở đây có thực hiện các điều kiện làm cho thành phần có chứa  $U_2$  của các phương trình (45) và (46) nhỏ, có thể coi như bỏ qua được.

Trở kháng của tải đối với dòng điện xoay chiều trong mạch góp thì được thực hiện nhỏ hơn nhiều so với trở kháng cực góp  $r_k = \frac{1}{h_{22}}$ . Tần số dùng cho mạch đo là tần số thấp, nên có thể bỏ qua được tác dụng của điện dung cực góp. Với các triốt tiếp mặt thì thường đo thử ở các tần số 250-400Hz.



Hình 8-21

Để định chế độ công tác của triốt đối với dòng một chiều thì dùng chiết áp  $R_3$  vì có thể điều chỉnh được dòng trong mạch gốc. Điện áp xoay chiều có biên độ chuẩn  $U_f$  đưa vào cực gốc của triốt qua điện trở mẫu  $R_1$ . Trị số  $R_1$  được chọn sao cho  $R_1 \gg r_B$  ( $r_B$  là trở kháng cực gốc) để  $I_1$  hầu như được xác định

bởi  $U_f$  và  $R_1$ :  $I_1 = \frac{U_f}{R_1}$ . Dùng các vôn-mét có trở kháng vào lớn để đo điện áp  $U_1$  là điện

áp gốc phát của triốt, và đo điện áp  $U'_2$  là điện áp tỷ lệ với dòng điện ra:  $U'_2 = I_2 R_2$ . Từ đó thì có thể tính được các thông số:

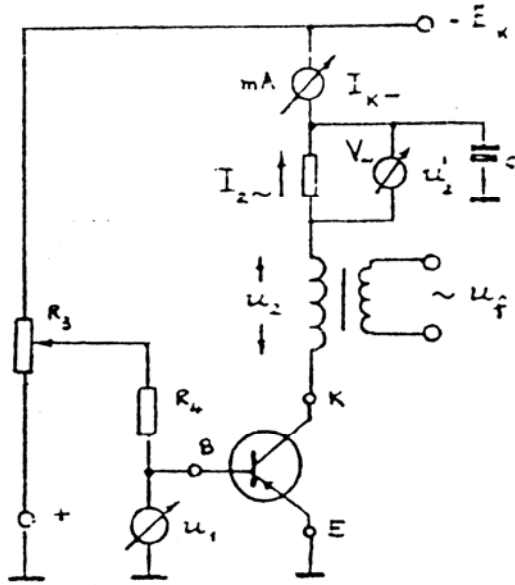
$$h_{11} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_1}{U_f} R_1 \quad (47)$$

$$h_{21} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{U'_2}{R_2 U_f} R_1 \quad (48)$$

Vì ở mạch đo này, triốt được mắc theo sơ đồ phát chung, nên:  $h_{21} = \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ , ở đây  $\beta$  là hệ số khuếch đại dòng điện trong sơ đồ phát chung;  $\alpha$  là hệ số khuếch đại dòng điện trong sơ đồ gốc chung.

Nếu chọn trị số  $U_f = 1V$ ;  $R_1 = 100\Omega$ , còn  $U_1$  và  $U'_2$  đo bằng đơn vị mV, thì  $h_{11}$  và  $h_{21}$  có quan hệ một cách đơn giản với  $U_1$  và  $U'_2$ :

$$h_{11} = 100 U_1 \Omega$$



Hình 8-22

trượt được điều chỉnh bằng chiết áp  $R_3$ . Điện áp xoay chiều có biên độ chuẩn  $U_f$  được đưa vào mạch góp thông qua biến áp bằng 1; Do vậy,  $U_2=U_f$ . Vì  $R_2 \ll r_k$  ( $r_k$  là trở kháng cực góp) nên  $U'_2 \ll U_2$ . Các thông số cần đo được xác định theo  $U_1$  và  $U'_2$ :

$$h_{12} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_f} \quad (49)$$

$$h_{22} = \frac{I_2}{U_2} = \frac{U'_2}{R_2 U_f} \quad (50)$$

Nếu chọn  $U_f=1V$ ,  $R_2=100\Omega$  còn đơn vị đo  $U_1$  và  $U'_2$  là mili-vôn, thì:

$$h_{12} = 10^{-3} U_1$$

$$h_{22} = 10^{-5} U'_2 \left( \frac{1}{\Omega} \right)$$

và:  $h_{21}=U'_2$

Sai số đo  $h_{11}$  thì tùy thuộc vào độ tiêu chuẩn của điện trở  $R_1$ , nguồn điện áp  $U_f$  và vào sai số đo điện áp  $U_1$ . Sai số đo  $h_{21}$  thì tùy thuộc vào độ tiêu chuẩn  $R_2$  và sai số đo  $U'_2$ .

Các thông số  $h_{12}$  và  $h_{22}$  được đo bằng mạch điện như hình 8-22. Nếu ở mạch này điện trở  $R_4$  được chọn đủ lớn thì dòng điện

ở mạch vào  $I_1 = \frac{U_1}{R_4}$  rất nhỏ. Như vậy

điều kiện đo  $h_{12}$  và  $h_{22}$  được thỏa mãn (tức là các thành phần có chứa  $I_1$  trong các phương trình (45) và (46) là có thể bỏ qua).

Chế độ cung cấp nguồn điện một chiều cho

## 8.2 ĐO CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN CÓ PHẦN TỬ PHÂN BỐ

### 8.2.1 Khái niệm

Trong phần 8.1, ta đã xét các phương pháp cơ bản để đo các thông số của mạch điện có phần tử tập trung. Ở phần này sẽ xét tới các phương pháp cơ bản để đo các thông số của mạch điện có phần tử phân bố.

Như đã biết, mạch có phần tử tập trung là mạch có thể phân tích bằng các lý thuyết mạch điện thông thường với giả định là khi có một điện áp đặt vào mạch thì tức khắc nó gây tác dụng đồng thời trên mọi điểm của mạch, và dòng điện trên một mạch vòng khép kín nào đó của mạch sẽ có trị số về biên độ và pha như nhau. Do vậy, các phương pháp đo thông số của mạch là có thể dựa theo các định luật cơ bản như định luật Ôm, Kiết-hốp...

Khi kích thước của mạch, nghĩa là chiều dài các dây dẫn và các linh kiện của mạch bằng một tỷ số đáng kể nào đó so với bước sóng của năng lượng truyền lan dọc theo dây dẫn, lúc đó nếu có một điện áp đặt vào mạch, thì dòng điện có trị số pha khác nhau tại các điểm khác nhau trong mạch. Khi đó, dùng phương pháp phân tích mạch, các phương pháp đo các thông số như trên sẽ không hoàn toàn chính xác nữa và ngay cả từ các khái niệm về các thông số như điện cảm, điện dung... như mạch có phần tử tập trung cũng không còn đúng nữa. Với loại mạch như vậy, tức mạch mà sự truyền năng lượng phải mất một thời gian đáng kể, không thể bỏ qua được thì là loại mạch có phần tử phân bố. Do vậy, các thông số của mạch cũng được đặc trưng một cách khác. Ví dụ như ở đây có hiện tượng xuất hiện sóng đứng của dòng điện và điện áp trên đường dây truyền và trở kháng vào của một đoạn mạch là đại lượng thay đổi theo tần số. Các phương pháp đo các thông số cũng khác, mà cơ sở của nó là lý thuyết truyền sóng trên đường dây (dây đồng trục, ống dẫn sóng).

Để biểu thị tính chất và mức độ phối hợp trở kháng của đường dây truyền sóng hai thông số thường được dùng nhiều hơn cả là: hệ số phản xạ  $p$  và hệ số sóng đứng  $k_d$  (hay hệ số sóng chạy  $k_{ch}$ )

Tỷ số của điện áp phản xạ (tức điện áp của sóng phản xạ) và điện áp tới (tức điện áp của sóng tới) tại tải gọi là hệ số phản xạ;

$$\rho = \frac{E_{ph}}{E_t} e^{j\theta} \quad (51)$$

ở đây,  $E_t$  là điện áp sóng tới ;  $E_{ph}$  là điện áp sóng phản xạ;  $\theta$  là góc di pha giữa điện áp sóng tới và sóng phản xạ.

Nói chung  $p$  là một số phức, đúng ra phải gọi là “hệ số phản xạ điện áp tại tải”, để phân biệt với hệ số phản xạ dòng điện, và để lưu ý là hệ số phản xạ thay đổi theo vị trí trên đường dây truyền.

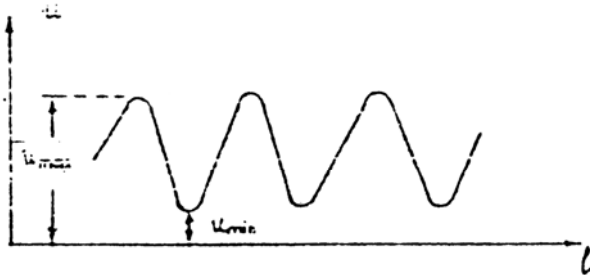
Hệ số phản xạ khi được tính theo trị số trở kháng tải và trở kháng đặc tính của đường dây truyền sóng thì công thức:

$$p = \frac{Z_t - W}{Z_t + W} \quad (52)$$

ở đây  $Z_t$  là trở kháng tải;  $W$  là trở kháng đặc tính thay trở kháng sóng của đường dây truyền sóng:

$$W = \frac{U_{\max}}{I_{\max}} = \frac{U_{\min}}{I_{\min}}$$

Trường hợp đường dây bị ngắn mạch, tức  $Z_t = 0$  thì hệ số phản xạ  $p = -1$ ; nếu đường dây truyền không tải, tức  $Z_t = \infty$  thì  $p = +1$  ; nếu có phối hợp trở kháng, tức  $Z_t = W$  thì  $p = 0$ .



Hình 8-23

Như vậy, hệ số phản xạ có thể dùng để biểu thị chế độ công tác của đường dây truyền sóng. Song trong thực tế đo lường thì việc xác định trị số phản xạ thường phức tạp hơn vì cần phải đo được riêng rẽ môđun của điện áp sóng tới và của điện áp sóng phản xạ. Nên có một thông số thường còn được dùng hơn là hệ

số sóng đứng, ký hiệu là  $k_d$ . Hệ số sóng đứng là tỷ số điện áp tại điểm cực đại  $U_{\max}$  và điện áp tại điểm cực tiểu  $U_{\min}$  (hình 8-23) trên đường dây:

$$k_d = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$$

Cũng cùng tính chất này người ta còn dùng một định nghĩa tương tự là hệ số sóng chạy, ký hiệu là  $k_{ch}$ :

$$k_{ch} = \frac{U_{min}}{U_{max}}$$

Quan hệ giữa hệ số phản xạ và hệ số sóng đứng là:

$$k_d = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (53)$$

Biểu thức này rất hay dùng trên thực tế đo lường, từ đó có thể rút ra:

$$|\Gamma| = \frac{k_d - 1}{k_d + 1} \quad (54)$$

Về phương pháp đo, khi đo hệ số sóng đứng (hay hệ số sóng chạy), và đo môđun của hệ số phản xạ, thì cần phải hoặc là đo biên độ điện áp tại các điểm cực đại và cực tiểu hoặc đo riêng rẽ được biên độ của điện áp sóng tới và của sóng phản xạ. Muốn đo trở kháng thì còn phải xác định được thêm vị trí điện trường cực tiểu, hay xác định được góc lệch pha giữa sóng tới và sóng phản xạ. Vì vậy, các thiết bị dùng để đo các thông số này có thể phân chia thành các loại sau:

Loại thiết bị dùng để đo được tỷ số điện áp tại điểm có điện trường cực đại và cực tiểu, hay xác định vị trí của điện trường cực tiểu (hay cực đại) tính từ một điểm cuối nào đó... Các thiết bị này ví dụ như các loại dây đo, loại dây đo có đầu đo di động được, và loại dây đo có đầu đo đặt cố định có thêm bộ biến đổi pha hay bộ nối tắt biến đổi được.

Loại thiết bị đo thứ hai là loại dùng để đo được tỷ số biên độ của điện áp sóng tới và sóng phản xạ. Các thiết bị của loại này ví dụ như phản xạ mét cấu tạo bằng các bộ phân mạch định hướng.

Loại thiết bị đo thứ ba là các loại cầu đo bằng dây đồng trục hay ống dẫn sóng, dùng để đo trở kháng. Các cầu này dùng phương pháp đo so sánh trở kháng cần đo với trở kháng mẫu.

Nội dung của chương này sẽ xét tới ba phương pháp cơ bản để đo các thông số của mạch có phân tử phân bố. Phương pháp dây đo, phương pháp phản xạ mét và phương pháp cầu. Trong ba phương pháp này thì phương pháp dây đo là chủ yếu và cũng sẽ được đề cập tới nhiều hơn cả. Để thực hiện được các phép đo thì cũng xét tới cấu tạo của các thiết bị, linh kiện cơ bản dùng cho công tác đo lường ở siêu cao tần, và sau hết là cách xác định các sai số của phép đo.

## 8.2.2 Các linh kiện đo lường ở siêu cao tần

### 1. Bộ suy giảm

Những bộ suy giảm siêu cao tần là linh kiện dùng để thay đổi công suất siêu cao tần trong hệ thống dây đồng trục hay ống dẫn sóng. Nó thường được dùng trong kỹ thuật đo lường ở siêu cao tần. Các trường hợp đo được sử dụng ví dụ như cần làm giảm công suất ra của máy phát tín hiệu chuẩn một số lần nào đó theo ý muốn, hay làm bộ khử ghép giữa tải và nguồn tín hiệu, tức trừ bỏ ảnh hưởng đo tải phản xạ gây ra với công suất và tần số của nguồn phát dao động,... Trong các thiết bị đo lường thường phải làm yếu tín hiệu đưa vào thiết bị đo, nên bộ suy giảm ở đây làm giảm công suất vào của thiết bị đo. Do vậy mà với một máy đo công suất nhỏ có thể dùng để đo được các nguồn công suất tương đối lớn. Các oát-mét dùng để đo công suất lớn thường có gắn các bộ suy giảm ở đầu vào.

Tuỳ theo cách phân loại mà có nhiều loại suy giảm. Phân loại theo nguyên lý công tác thì có các loại như bộ suy giảm kiểu hấp thụ, kiểu tới hạn và kiểu dùng ống phe-rít. Phân loại theo cấu tạo thì có loại dây đồng trục, loại ống dẫn sóng; theo khả năng điều chỉnh thì có loại cố định hay loại điều chỉnh được...

Hệ số suy giảm của bộ suy giảm được tính theo đơn vị dexiben, theo biểu thức:

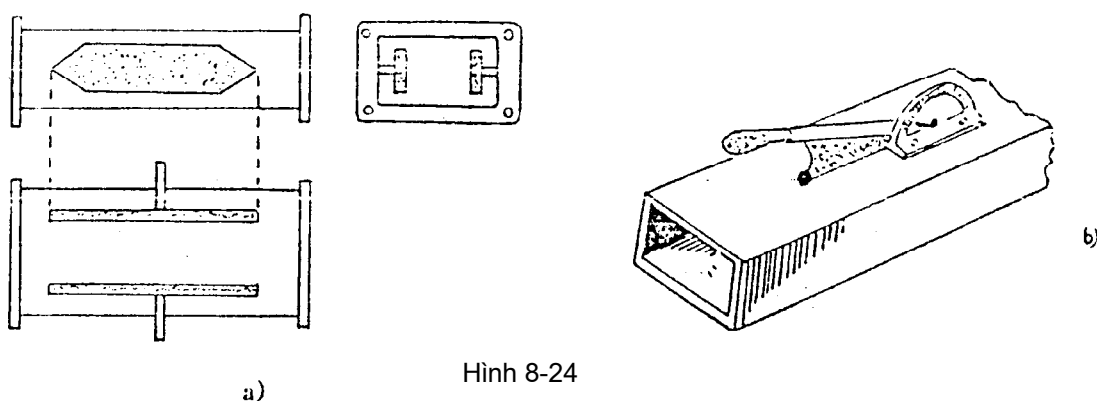
$$S = 10 \lg \frac{P_r}{P_v}$$

ở đây,  $P_v$ : công suất ở đầu vào bộ suy giảm, và  $P_r$ : công suất đầu ra của bộ suy giảm.

Sau đây, ta xét tới một số loại suy giảm cơ bản dùng trong kỹ thuật đo lường.

#### a. Bộ suy giảm hấp thụ

Những bộ suy giảm loại này hấp thụ một phần công suất được đưa vào đường ống



dẫn sóng. Công suất này được biến thành nhiệt và toả ra ngoài. Loại này có tính chất suy giảm thuận nghịch, nghĩa là theo cả hai chiều của sóng truyền trên đường dây. Nó thường chỉ được dùng trong trường hợp công suất nhỏ.

Về cấu tạo, dạng thường gặp là một đoạn ống dẫn sóng có vật liệu hấp thụ đặt bên trong. Vật liệu hấp thụ là một (hay nhiều) phiến hấp thụ bằng chất điện môi có phủ một lớp bột kim loại ngoài mặt để hấp thụ và có dạng vát chéo để giảm độ phản xạ.

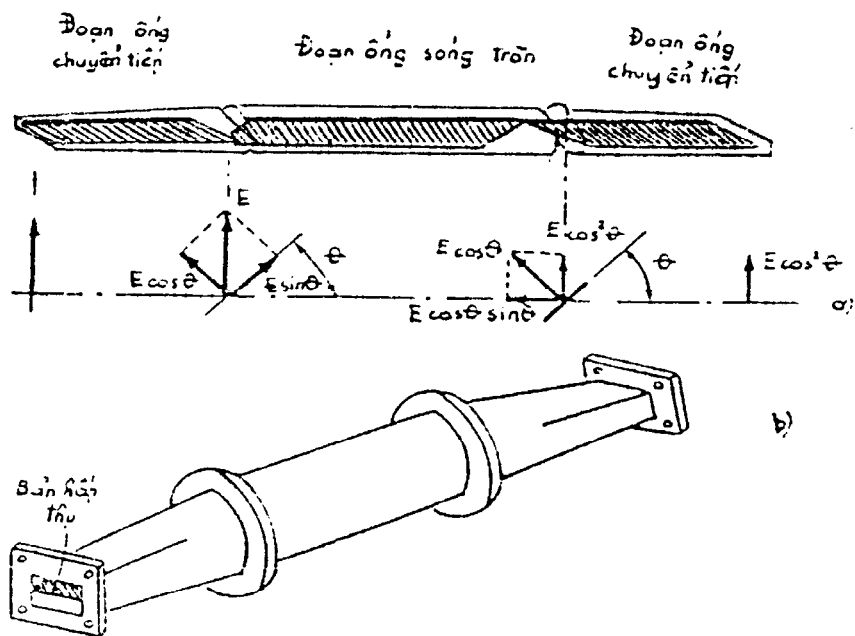
Hình 8-24 là sơ đồ cấu tạo các bộ suy giảm hấp thụ kiểu ống sóng chữ nhật thường dùng trong đường dây đo lường viba. Hệ số suy giảm ở đây có thể điều chỉnh được. Hình 8-24a là loại phiến hấp thụ có thể thay đổi được độ sâu cắm vào ống sóng; hệ số phản xạ sẽ có trị số cực đại khi phiến hấp thụ được đặt nơi có điện trường cực đại. Hình 8-24b là loại hệ số suy giảm biến đổi độ nông sâu của phiến hấp thụ qua khe giữa thành rộng của ống như kiểu : “dao cầu”.

Những bộ suy giảm kiểu này thường có hệ số suy giảm biến đổi trong khoảng 0.5-40dB. Để tăng hệ số suy giảm thường hay dùng hai hay nhiều phiến hấp thụ n đặt nối tiếp nhau. Độ phối hợp trở kháng có thể đảm bảo được khi tần số thay đổi từ 10÷15%. Hệ số sóng đứng thường nhỏ hơn 1.02÷1.05.

Hiện nay còn sử dụng các bộ suy giảm hấp thụ kiểu có cực tính (hình 8-25a là sơ đồ nguyên lý cấu tạo và hình 8-25b là sơ đồ kết cấu bề ngoài của bộ suy giảm kiểu này).

Nguyên lý của bộ suy giảm này như sau:

Bộ suy giảm gồm ba đoạn ống sóng nối tiếp nhau, ống sóng giữa hình tròn. Đầu



Hình 8-25

vào và đầu ra của bộ suy giảm là ống sóng hình chữ nhật, các ống sóng này chuyển tiếp dạng từ hình chữ nhật chuyển thành hình tròn. Sự chuyển tiếp dạng ống này được cấu tạo sao cho biên độ của thành phần điện trường (véc-tơ  $E$ ) có phương không đổi. Tại mỗi đoạn ống sóng đều có đặt các bản hấp thụ như hình 8-25b. Nếu ba bản hấp thụ được đặt trên cùng một mặt phẳng thì các ống này không suy giảm. Khi thay đổi vị trí của bản hấp thụ ở giữa, quay nó đi quanh trục ống sóng tròn thì độ suy giảm tăng. Vì bản hấp thụ chỉ tác dụng đối với điện trường khi phương của điện trường trùng với mặt phẳng của bản. Giả sử bản hấp thụ ở giữa quay lệch đi tạo với hai bản hấp thụ ở hai đầu một góc  $\theta$  như hình 8-25a. Lúc này véc-tơ  $E$  tạo với mặt phẳng của bản hấp thụ giữa một góc  $\theta$ ; nó có hai thành phần:  $E \sin \theta$  song song với bản và  $E \cos \theta$  thẳng góc với bản. Như vậy ở đầu ra của ống dẫn sóng tròn có điện trường với biên độ bằng  $E \cos \theta$  và phương của nó khác đi. Điện trường này lại gặp bản hấp thụ của đoạn ống sóng chuyển tiếp dạng ở đầu ra và phương của điện trường cũng tạo với mặt phẳng bản một góc  $\theta$ . Hiện tượng này cũng lại được phân tích như trên, ở đây véc-tơ điện trường có hai thành phần:  $E \sin \theta \cos \theta$  bị suy giảm còn thành phần thẳng góc với bản  $E \cos^2 \theta$  thì được truyền qua đầu ra.

Công suất truyền tỷ lệ với bình phương của trường như vậy ở đây nó tỷ lệ với  $\cos^2 \theta$ . Độ suy giảm của bộ suy giảm hấp thụ kiểu có cực tính này bằng:

$$S = -40 \lg \cos \theta \text{ (dB)}$$

Ưu điểm của bộ suy giảm loại này là hệ số suy giảm chỉ phụ thuộc vào góc quay của ống sóng tròn ở giữa mà không bị phụ thuộc vào tính ổn định hấp thụ của bản hấp thụ và hầu như không phụ thuộc vào tần số.

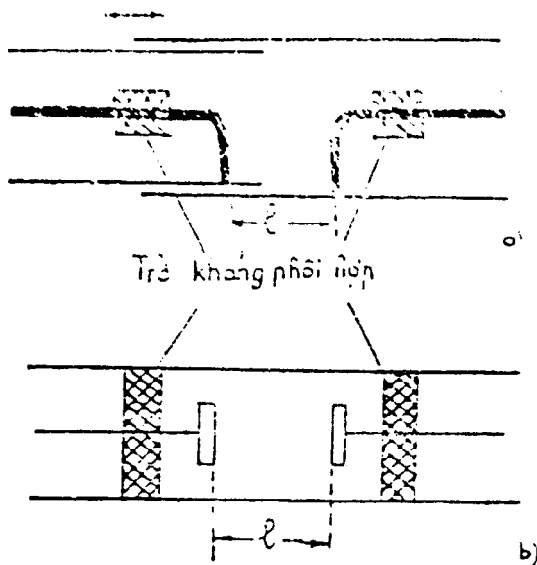
#### *b. Bộ suy giảm tới hạn*

Nguyên lý cấu tạo của bộ suy giảm này là lợi dụng đặc tính tới hạn của ống dẫn sóng. Trong các đường dây truyền là dây đồng trục, công tác ở đoạn sóng  $dm$ , muốn chế tạo các bộ suy giảm điều chỉnh được kiểu hấp thụ thì gặp khó khăn về kết cấu và công nghệ. Song chế tạo các bộ suy giảm kiểu tới hạn điều chỉnh được hệ số suy giảm thường dễ dàng hơn.

Cấu tạo của bộ suy giảm kiểu tới hạn là một ống sóng nào đó có một bước sóng tới hạn. Khi trường điện từ truyền lan truyền tới đường dây có bước sóng nhỏ hơn bước sóng tới hạn của ống sóng, thì nó truyền qua được. Khi trường điện từ có bước sóng lớn hơn bước sóng tới hạn thì nó suy giảm. Sự suy giảm càng nhiều khi bước sóng của năng lượng truyền càng lớn hơn nhiều so với bước sóng tới hạn. Độ suy giảm này phụ thuộc vào chiều dài bước sóng, kích thước của ống sóng và loại sóng truyền trong ống (vì trong ống dẫn có thể truyền nhiều loại sóng khác nhau). Ví dụ, với loại sóng  $H_{11}$ , thì trong ống dẫn sóng tròn có độ suy giảm được xác định theo biểu thức:

$$S = 8,69 \sqrt{\left(\frac{1,841}{a}\right)^2 - \left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right)^2} \quad (55)$$

ở đây  $a$ : bán kính của ống sóng;  $\lambda_0$ : chiều dài bước sóng trong truyền lan tự do.



Hình 8-26

Hình 8-26 là hình vẽ cấu tạo của bộ suy giảm dùng ống sóng tròn. Độ suy giảm của chúng được xác định bằng khoảng cách các phần tử ghép và được xác định bằng đường kính của ống sóng. Hình 8-26a là trường hợp ghép điện cảm và hình 8-26b là ghép điện dung; và ở đây  $l$  là chiều dài tối hạn của ống sóng. Tùy theo số đêxiben suy giảm  $S$  cho trước theo ý muốn mà có thể tính được độ dài  $l$  tối hạn của ống sóng.

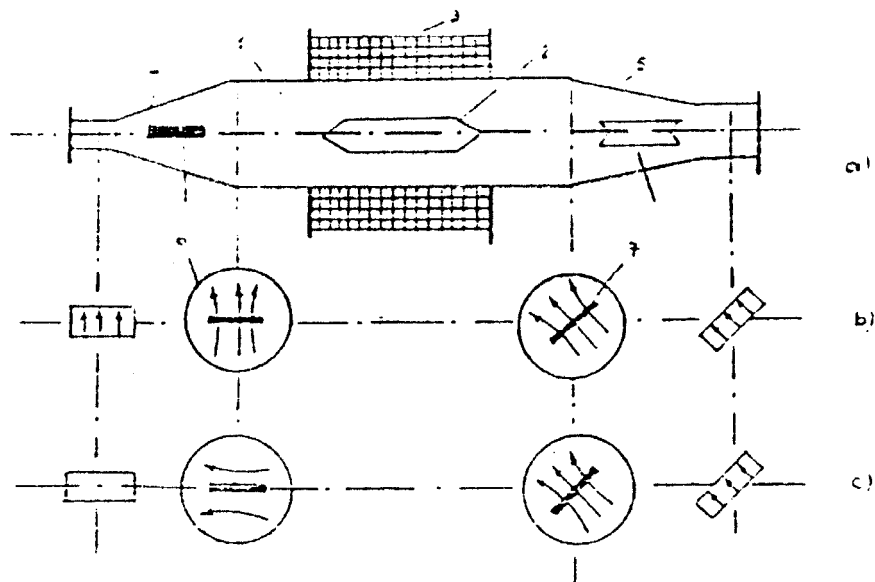
Bộ suy giảm tối hạn có độ suy giảm ban đầu tương đối lớn nên không tiện dùng lắm, đó là một khuyết điểm của loại

này; khuyết điểm khác nữa là đầu vào và đầu ra của nó đều không có phối hợp cao; do vậy nó thường được ghép thêm với bộ suy giảm hấp thụ để có được sự gần hoàn toàn phối hợp.

### c. Bộ suy giảm pherit.

Trong kỹ thuật đo lường được dùng nhiều bộ suy giảm kiểu pherit. Nó khác với các bộ suy giảm ở trên là loại này độ suy giảm có tính chất thuận nghịch. Tính chất thuận nghịch nghĩa là năng lượng truyền theo chiều này thì ít suy giảm (0.5-1dB) còn truyền theo chiều ngược lại thì bị suy giảm nhiều (>20dB). Như vậy, nếu dùng nó trong trường hợp mắc giữa nguồn phát dao động và tải để khử ghép thì nó ít gây tổn hao công suất hơn cả.

Nguyên lý của bộ suy giảm pherit dựa trên cơ sở hiệu ứng Faradê đối với chất hấp thụ là pherit, là tác dụng làm quay một cách không thuận nghịch mặt phẳng cực hoá của sóng truyền lan trên đường truyền có chứa pherit. Nguyên lý cấu tạo của bộ suy giảm kiểu này như hình 8-27a. Bộ này gồm đoạn ống dẫn sóng tròn 1, ở dọc theo trục ống có đặt thanh pherit 2 có hai đầu nhọn để giảm bởi cuộn dây 3 quấn chung quanh ống dẫn sóng. Cường độ của trường này phải sao cho để có được tần số cộng hưởng sắt từ thấp



Hình 8-27

hơn tần số của dao động truyền trên đường dây cân suy giảm. Hai đầu của đoạn ống sóng tròn được nối với hai đoạn biến đổi dạng ống sóng để biến dạng tròn thành dạng chữ nhật 4 và 5. Tại hai đoạn ống này có hai bản hấp thụ 6 và 7, mà tiết diện của các bản này song song với tiết diện của ống sóng chữ nhật.

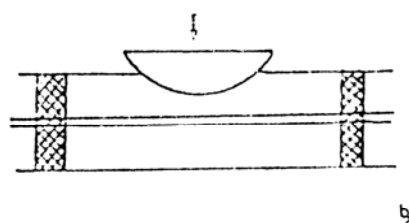
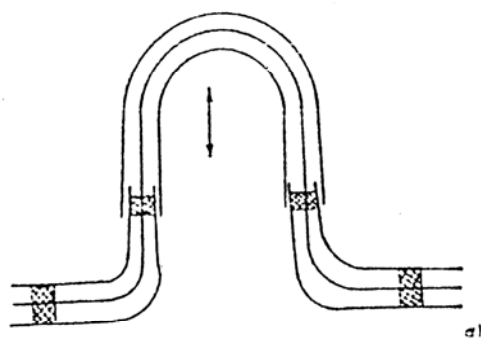
Sóng cân suy giảm được đưa vào ống dẫn sóng tròn qua đoạn ống biến đổi dạng 4, nó được kích thích thành dạng sóng  $H_{11}$ . Do có thanh pherit được từ hoá mà nó làm quay mặt phẳng cực hoá một góc  $\theta$ . Kích tắc của thanh pherit (chiều dài và đường kính), và cường độ của từ trường (dòng điện của cuộn dây), được chọn sao cho có  $\theta=45^\circ$ . Đoạn ống sóng 5 cũng được tạo nghiêng  $45^\circ$  so với đoạn ống sóng 4. Vì vậy sóng truyền theo chiều từ đoạn ống 4 sang tạo đoạn ống 5 thì hầu như không suy giảm, vì do cả hai bản hấp thụ 6 và 7 đều thẳng góc với véc-tơ điện trường (xem hình 8-27b). Nhưng khi sóng truyền theo chiều ngược lại (hình 8-27c) thì mặt phẳng cực hoá khi vào ống dẫn sóng tròn đã lệch đi  $45^\circ$  do đoạn ống 5 gây nên. Do tác dụng của thanh pherit chúng lại bị lệch thêm đi  $45^\circ$  nữa. Vì vậy véc-tơ điện trường trở thành song song với bản hấp thụ 6, nên sóng truyền lan sẽ bị suy giảm đi nhiều.

Độ suy giảm của bộ suy giảm kiểu này có thể điều chỉnh được bằng cách biến đổi dòng điện qua cuộn dây, vì do có thể thay đổi được góc lệch  $\theta$  của mặt phẳng cực hoá trong ống sóng tròn có thanh pherit.

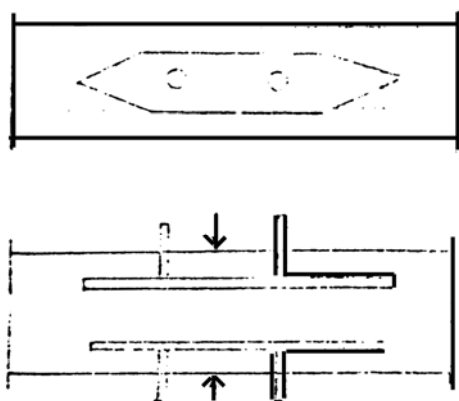
## 2. Bộ dịch pha.

Bộ dịch pha dùng để dịch chuyển pha của sóng điện từ truyền lan đường dây truyền sóng.

Cấu tạo của các bộ dịch pha dùng trong kỹ thuật đo lường siêu cao tần khác hẳn so với các bộ dịch pha ở tần số thấp. Các bộ dịch pha dùng dây đồng trục có thể chia thành hai loại. Một loại được cấu tạo bằng cách biến đổi chiều dài hình học của đường dây. Dạng đơn giản là dùng hai đoạn ống sóng hình chữ nhật hay ống tròn lồng vào nhau thành một ống sóng lồng. Khi thay đổi chiều dài của ống sóng lồng này trên đường dây đo sẽ thay đổi được pha của sóng truyền trên đường dây. Loại này có nhiều nhược điểm, trước hết là trong khi đo phải thay đổi chiều dài thì phải dịch chuyển tải hay nguồn, như vậy sẽ gây nhiều phức tạp cho thao tác. Hơn nữa, để cho chỗ nối lồng hai ống sóng ít gây ra phản xạ, thì vỏ ống phải mỏng, về công nghệ chế tạo cũng gặp nhiều khó khăn. Để đỡ phải dịch chuyển khoảng cách giữa đầu ra và đầu vào thì có loại dịch pha được cấu tạo theo hình vòng cung như hình 8-28a.



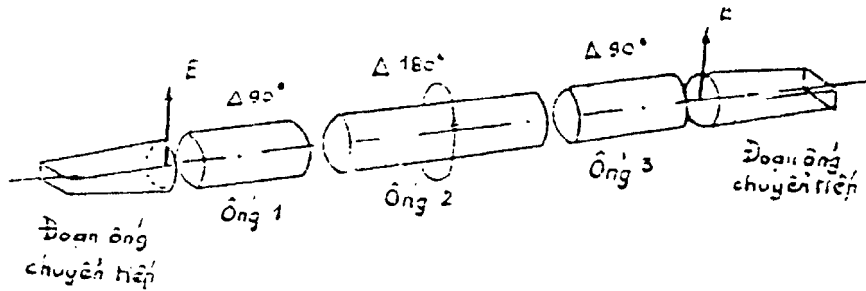
Hình 8-28a,b



Hình 8-28c

Một loại thứ hai được cấu tạo bằng cách đổ đầy vào trong dây đồng trục một chất điện môi. Vì chiều dài bước sóng có giảm tỷ lệ với căn bậc hai của hằng số điện môi của chất điện môi này. Điều này cũng tương đương như tăng độ dài của đường dây. Hiện tượng này cũng xuất hiện tương tự như khi đặt vào trong dây đồng trục 1 lá điện môi có thể điều chỉnh được độ nông sâu qua khe dọc theo dây như hình 8-28b. Như vậy, tùy theo độ nông sâu của lá này mà chiều dài tương đương của đoạn dây đồng trục cũng thay đổi, tức là làm cho pha của sóng thay đổi.

Cấu tạo của các bộ dịch pha dùng ống sóng cũng thực hiện bằng cách đưa vào ống các lá điện môi chúng cũng làm cho pha của sóng thay đổi. Trong ống sóng chữ nhật thường là điện môi đặt song song với thành hẹp. Dùng hai thanh điện môi xuyên qua thành hẹp để kéo dãn lá điện môi như hình 8-28c. Khi lá điện môi nằm ở chính giữa ống

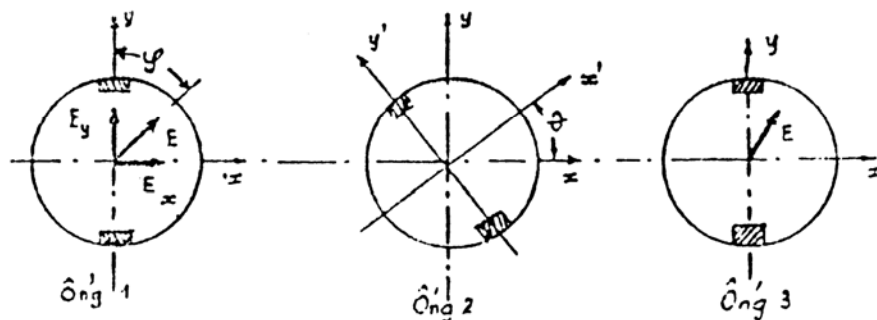


Hình 8-29

thì sự dịch pha lớn nhất, vì ở đó có điện trường mạnh nhất. Lá điện môi càng dịch lại gần thành thì sự dịch pha càng ít. Các bộ dịch pha này khác với các bộ suy giảm dịch chuyển ngang ở chỗ là các lá điện môi này phải tổn hao ít hơn. Các loại dịch pha này không dùng để đo góc pha được, vì khi lá điện môi dịch chuyển từ vị trí sát thành hẹp tới vị trí ước độ khoảng một phần ba chiều thành rộng thì đã tạo nên dịch pha  $360^\circ$ . Do vậy, ví dụ như đoạn sóng 3cm, muốn yêu cầu có độ chuẩn xác là  $1^\circ$ , thì cự ly dịch chuyển của lá điện môi không được có sai số quá 0,03cm, đó là điều rất khó thực hiện. Hơn nữa, còn vì do vấn đề cự ly dịch chuyển của lá điện môi và góc dịch pha không phải là tuyến tính, nên vấn đề đo đạc và hiệu chỉnh cũng khó khăn.

Một loại bộ dịch pha dùng ống dẫn sóng có tính năng tương đối tốt hơn như hình 8-29. Cấu tạo của bộ dịch pha này gồm có hai đoạn ống sóng tròn cố định kẹp giữa một đoạn ống sóng tròn quay được xung quanh trục. Để có thể dùng được vào đường dây đo ống sóng hình chữ nhật, ở hai đầu còn có hai đoạn ống chuyển tiếp dạng ống sóng hình chữ nhật sang ống sóng tròn. Trong hai đoạn ống sóng cố định có gắn hai lá điện môi trên đường kính tạo góc lệch  $\varphi=45^\circ$  với vectơ điện trường E của sóng truyền, ống sóng quay được cũng gắn hai lá như vậy trên đường kính, vị trí góc lệch của nó thay đổi theo góc quay của ống sóng.

Nguyên lý dịch pha của loại này được giải thích như sau: Đặt trục y xuyên qua đường kính có gắn hai lá điện môi, và trục x thẳng góc với y. Do tác dụng của lá điện



Hình 8-30

môi, nên khi lan truyền qua ống sóng tròn, sóng phân cực theo hướng y so với sóng phân cực theo hướng x sẽ chậm hơn một góc pha  $\Delta$  mà trị số của  $\Delta$  thì phụ thuộc vào độ dài của ống sóng. Chọn chiều dài hai đoạn ống cố định ở hai đầu bộ dịch pha để cho góc chậm pha  $\Delta = 90^\circ$ , Lựa cho chiều dài đoạn ống sóng quay được dài gấp đôi chiều dài ống sóng cố định, nên góc chậm pha do nó sinh ra sẽ là  $\Delta = 180^\circ$  (xem hình 8-29).

Sóng cơ bản trong ống sóng chữ nhật sau khi qua bộ chuyển tiếp dạng ống sẽ thành sóng  $H_{11}$  trong ống sóng tròn phân cực theo đường kính, (véc-tơ E trên hình 8-30) Vì véc-tơ E hợp với trục x một góc  $45^\circ$ , nên ở đầu bên trái ống sóng cố định thứ nhất có:

$$E_x = E_y = \frac{E}{\sqrt{2}} \quad (56)$$

Để đơn giản ở đây giả thiết pha ban đầu bằng không. Do góc chậm pha của đoạn này là  $\Delta = 90^\circ$  nên ở đầu bên phải ống sóng này có :

$$\left. \begin{aligned} E_x &= \frac{E}{\sqrt{2}} e^{-j\alpha} \\ E_y &= -jE_x \end{aligned} \right\} \quad (57)$$

Vì ống sóng 2 quay đi một góc  $\theta$  (xem hình 8-30) nên các phân lượng điện trường trên hai trục  $x'$  và  $y'$  của ống sóng 2 là:

$$\left. \begin{aligned} E_{x'} &= l_1 E_x + m_1 E_y \\ E_{y'} &= l_2 E_x + m_2 E_y \end{aligned} \right\} \quad (58)$$

ở đây các hệ số biến đổi tọa độ có giá trị là:

$$\begin{vmatrix} l_1 & m_1 \\ l_2 & m_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix}$$

Vì chiều dài của ống sóng 2 dài gấp đôi chiều dài của ống sóng 1,  $\Delta = 180^\circ$  nên khi sóng truyền qua ống sóng 2 thì :

$$\left. \begin{aligned} E_{x'} &= \frac{E}{\sqrt{2}} e^{-j^3\alpha} (l_1 - jm_1) \\ E_{y'} &= \frac{E}{\sqrt{2}} e^{-j^3\alpha} (l_2 - jm_2) \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

Tương tự như vậy ở đầu vào của ống sóng 3 có:

$$\left. \begin{aligned} E_x &= l_1 E_{x'} + m_1 E_{y'} \\ E_y &= l_2 E_{x'} + m_2 E_{y'} \end{aligned} \right\} \quad (60)$$

Còn ở đầu ra của ống sóng 3 (cùng là đầu ra của bộ dịch pha) thì có:

$$E_x = (l_1 E_{x'} + l_2 E_{y'}) e^{-j\alpha} = \frac{E}{\sqrt{2}} e^{-j(4\alpha+2\theta)} \quad (61)$$

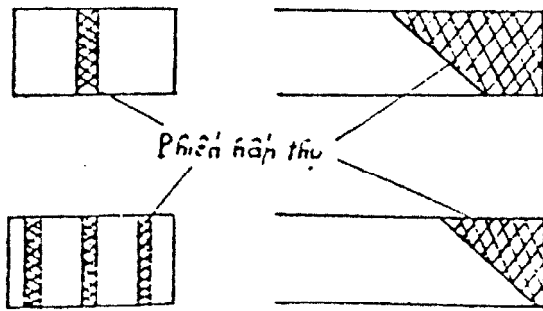
$$E_y = -j(m_1 E_{x'} + m_2 E_{y'}) e^{-j\alpha} = E_x \quad (62)$$

Từ đó thấy là: sóng ở đầu ra của bộ dịch pha vẫn là sóng phân cực vuông góc có biên độ không thay đổi. Còn dịch pha thì gồm hai phần: dịch pha cố định  $4\alpha$  và dịch pha thay đổi  $2\theta$ . Do vậy, có thể thông qua trị số góc quay của ống sóng 2 quay được mà xác định góc dịch pha của sóng truyền. Nó vừa đúng bằng hai lần trị số của góc quay ống sóng.

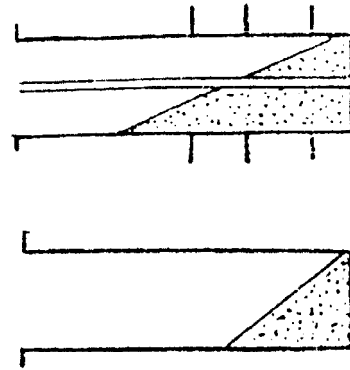
### 3. Tải phối hợp

Tải phối hợp là thiết bị mắc ở cuối đường dây truyền sóng để hấp thụ toàn bộ năng lượng siêu cao tần; làm cho không có sự bức xạ năng lượng đo ra xung quanh hay phản xạ trở lại. Tải phối hợp còn gọi là tải giả; trong kỹ thuật đo lường nó dùng là tiêu chuẩn phối hợp, để lấy đặc tuyến công tác các máy móc ở siêu cao tần. Loại này ví dụ như là một ăng-ten tương đương để điều chuẩn máy hay như một bộ hấp thụ để đo công suất.

Phân loại theo công suất hấp thụ, thì thường chia tải phối hợp thành hai loại: loại công suất nhỏ và loại công suất lớn. Loại công suất nhỏ công tác được trong hệ thống công suất trung bình nhỏ hơn 1W. Loại công suất lớn là khi công tác trong hệ thống có công suất trung bình lớn hơn 1W.



Hình 8-31



Hình 8-32

Về cấu tạo, tải phối hợp có rất nhiều kiểu. Tải phối hợp công suất nhỏ thường là một đoạn ống sóng ngắn mạch đầu cuối, trong có các phiến hấp thụ đặt ở mặt phẳng điện trường. Các phiến hấp thụ thường có dạng vát chéo để cho có sự phối hợp tốt hơn với ống sóng chính như hình 8-31. Nó thường được đặt ở giữa bề thành rộng của ống.

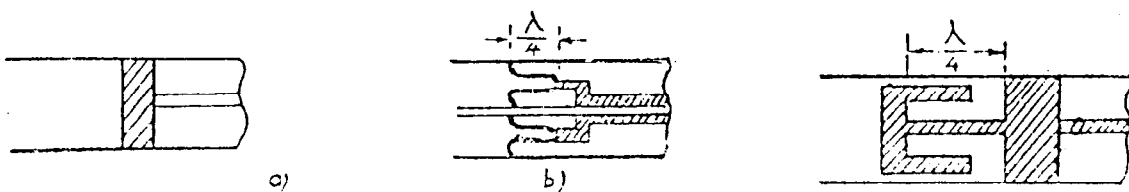
Vật liệu các phiến hấp thụ là các chất điện môi như thuỷ tinh, gốm, sứ, chất dẻo... bên ngoài có phủ một lớp bột kim loại rất mỏng như bạch kim, graphit, vàng... Chiều dài của độ vát nghiêng thường được chọn bằng thực nghiệm sao cho tải có hệ số sóng đứng nhỏ nhất, ứng với một dải tần số càng rộng càng tốt. Thông thường mặt vát chéo có chiều dài bằng hay lớn hơn nửa chiều dài bước sóng. Trên thực tế có thể chế tạo được các tải giả với  $k_d=1,02-1,05$ , ứng với dải tần số bằng  $\pm (10-15\%)$  quanh tần số trung tâm.

Những tải công suất lớn thường chế tạo bằng các chất rắn như hợp chất graphit và xi-măng chứa đầy trong ống dẫn sóng. Để tăng thêm công suất tải người ta có thể làm thêm các phiến toả nhiệt như hình 8-32. Với công suất lớn có thể công tác trong phạm vi công suất trung bình hàng mấy trăm oát hay bằng kW; khi đó có bộ hấp thụ bằng nước. Nước được đựng trong một ống thuỷ tinh, cho chảy tuần hoàn và hấp thụ công suất rồi thải ra dưới dạng nhiệt năng. Loại tải này cũng thường có thiết bị toả nhiệt và để cho phối hợp cũng cấu tạo có một mặt vát nghiêng thích hợp (xem chương đo công suất).

#### 4. Pit- tông ngăn mạch

Khi cần biến đổi trở kháng trong đo lường thì phải dùng đến những pit-tông ngăn mạch. Yêu cầu cơ bản đối với một pit-tông ngăn mạch là phải đảm bảo tổn hao nhỏ tại chỗ tiếp xúc. Khi pit-tông dịch chuyển thì tổn hao không được thay đổi theo vị trí của pit-tông và cũng không được biến đổi theo thời gian. Khi truyền công suất lớn thì cũng yêu cầu không gây tia lửa giữa pit-tông và đường dây truyền sóng.

Muốn thoả mãn điều đó thì phải đảm bảo tiếp xúc cơ khí giữa pit-tông và ống sóng tốt. Nghĩa là tiếp xúc phải rất cứng và có dung sai nhỏ. Như vậy, chất lượng chế tạo rất khó hoàn hảo; nên các pit-tông tiếp xúc kiểu đơn giản thường là không đạt yêu cầu (xem hình 8-33a)



Hình 8-33

Hình 8-34

Dùng các lá tiếp xúc đàn hồi (kiểu lò xo ép) có thể cải thiện được tính năng của pit-tông tiếp xúc. Tốt nhất là dùng lá tiếp xúc dài bằng  $\frac{\lambda}{4}$  để điểm tiếp xúc giữa lá và thành ống đúng vào nút dòng điện cao tần. Song loại này vẫn có một số nhược điểm như khi pit-tông dịch chuyển thì tiếp xúc không ổn định, lá tiếp xúc dễ bị mài mòn và vẫn gây đánh lửa khi công suất lớn (hình 8-33b).

Hiện nay, người ta thường thay thế loại pit-tông tiếp xúc bằng loại pit-tông không tiếp xúc có thiết bị chắn sóng như hình 8-34. Sở dĩ gọi là “không tiếp xúc” vì ở cuối ống sóng điện trở tiếp xúc giữ pit-tông này và thành ống sóng không phải nối vào bụng dòng điện, mà là nối vào nút dòng điện. Do vậy, tiếp xúc cơ học giữa pit-tông và thành ống sóng tốt hay xấu đều không quan trọng. Ảnh hưởng của điện trở tiếp xúc tới tổn hao của pit-tông có thể giảm xuống tới mức tối thiểu. Thực nghiệm thấy là dùng pit-tông loại này ở cuối đường dây có thể có hệ số sóng đứng lớn hơn 100. Khi pit-tông di chuyển tính không đổi của tiếp xúc cũng có thể đạt được mức yêu cầu. Nhược điểm của loại này là đặc tính chắn dòng phụ thuộc vào bước sóng công tác. Thường loại pit-tông không tiếp xúc có thể công tác tốt trong phạm vi dải tần  $\pm (10\% \div 15\%)$  quanh tần số trung tâm.

### 5. Đầu tách sóng và đầu nhiệt điện trở

Ở siêu cao tần, vấn đề đo công suất là một trong những thông số phổ biến như đo hệ số sóng đứng và đo trở kháng. Như đã biết (ở chương đo công suất) đo công suất bằng phương pháp đo nhiệt đo tải nước, thì thường chỉ đo được với công suất lớn hơn 1W. Còn khi cần đo công suất nhỏ như vài micro oát thì phải dùng phương pháp đo khác. Phương pháp đơn giản nhất là dùng bộ tách sóng tinh thể có bộ chỉ thị là micro ampe-mét.

Ở chế độ công suất nhỏ, nếu dòng tách sóng nhỏ hơn  $10\mu\text{A}$  thì quan hệ giữa dòng tách sóng và công suất tiêu hao trên đi-ốt tách sóng là bậc nhất:

$$I_{ts} = KP$$

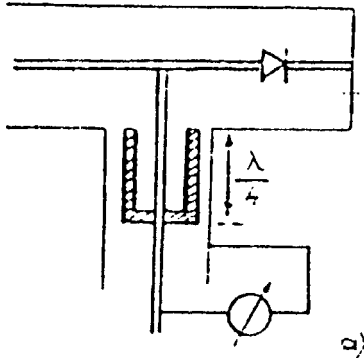
Trong đó hệ số K đặc trưng cho độ nhạy của đi-ốt khi tách sóng. Đối với các đi-ốt thông dụng hiện nay, K thường vào khoảng  $0,5 \div 2\mu\text{A}/\mu\text{W}$ .

Giới hạn đo công suất chỉ vào khoảng  $5 \div 20\mu\text{W}$ . Còn với công suất lớn hơn thì quan hệ bậc nhất trên không còn đúng nữa.

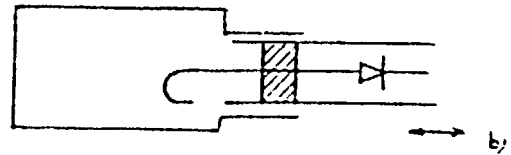
Đo công suất theo phương pháp này còn có khuyết điểm nữa là đặc tính của các đi-ốt bán dẫn này thay đổi rất nhiều theo thời gian và phụ thuộc nhiều vào tác động cơ học và điện học ở bên ngoài. Do đó không thể xác định quan hệ giữa dòng điện đã tách sóng với công suất một cách chính xác được. Đây chính là nguyên nhân tại sao không dùng bộ tách sóng để đo trị số tuyệt đối của công suất mà chỉ có thể đo được trị số tương đối.

Các đi-ốt được mắc vào đầu ống dẫn sóng nhờ một thiết bị đặc biệt gọi là đầu tách sóng. Đầu tách sóng cấu tạo bằng dây đồng trục như hình 8-35. Để năng lượng siêu cao tần không bị tiêu hao trong mạch chỉ thị (mắc  $\mu\text{A}$ -mét) thì dùng một đoạn ống dẫn sóng ngắn mạch, một đầu được cấu tạo đóng kín, còn một đầu thì để hở, chiều dài đoạn này

bằng  $\frac{\lambda}{4}$ . Hình 8-36 là cấu tạo của đầu tách sóng dùng dây đồng trục ghép với ống sóng chữ nhật bằng vòng ghép để đo trị số tương đối của công suất siêu cao tần truyền trong ống dẫn sóng. Ở đây, độ ghép có thể điều chỉnh được bằng cách chuyển dịch vòng ghép đối với ống sóng chữ nhật.



Hình 8-35

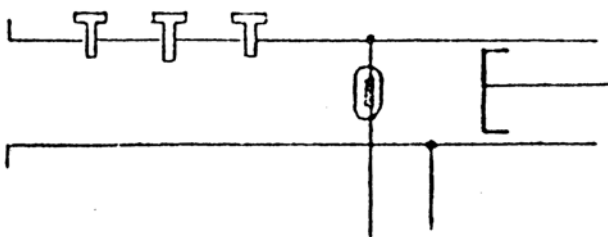


Hình 8-36

Bộ chỉ thị của đầu tách sóng có thể dùng micro ampe-mét từ điện để đo dòng tách sóng, khi nguồn phát tín hiệu đo công tác ở chế độ liên tục. Khi nguồn phát tín hiệu công tác ở chế độ xung, mà hệ số khoảng trống  $\frac{T}{\tau}$  lớn, thì không thể dùng micro ampe-mét để đo dòng tách sóng trung bình được, mà yêu cầu bộ chỉ thị phải đo được trị số xung của dòng tách sóng. Có như vậy, đi-ốt mới không bị cháy do dòng điện xung lớn quá mà trong khi dòng điện trung bình vẫn còn nhỏ. Bộ chỉ thị dùng để đo trị số xung trên thực tế hay dùng là dao động ký điện tử, vì nó là thiết bị có quán tính nhỏ.

Nhiệt điện trở kháng là một dụng cụ bán dẫn điện mà điện trở của nó phụ thuộc vào công suất siêu cao tần tức cũng là phụ thuộc vào nhiệt độ. (Cấu tạo của nhiệt điện trở có thể xem ở chương đo công suất, gọi là điện trở nhiệt)

Dùng nhiệt điện trở để đo công suất siêu cao tần nhỏ. Cách mắc nhiệt điện trở vào mạch phải làm sao cho nó hấp thụ được toàn bộ công suất siêu cao tần truyền trong ống sóng. Tất cả cơ cấu hoàn chỉnh đó gọi là đầu nhiệt điện trở. Hình 8-37 là sơ đồ cấu tạo của đầu nhiệt điện trở; ở đây có ba ốc chính là bộ biến đổi trở kháng dùng để điều chỉnh phối hợp trở kháng.



Hình 8-37

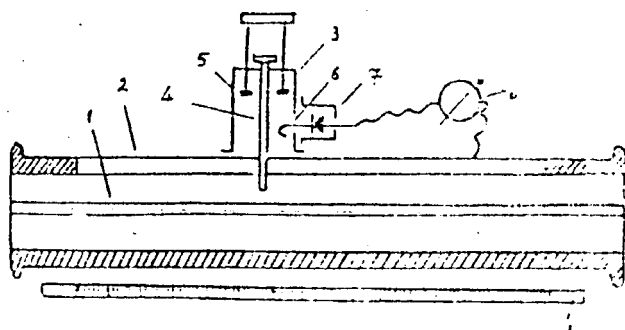
Nói chung về cấu tạo của đầu nhiệt điện trở kháng cũng giống như

của đầu tách sóng. Điểm khác là ở chỗ yêu cầu về phối hợp trở kháng, về độ tổn hao năng lượng do tiếp xúc hay các dạng khác ở đây có khắt khe hơn, vì ở đây trị giá đo được là trị giá tuyệt đối của công suất siêu cao tần.

Mạch điện đo của nhiệt điện trở kháng thường có dạng mạch cầu, mà một trong những nhánh cầu là nhiệt điện trở (xem chương đo công suất)

## 6. Dây đo

Dây đo là một thiết bị đo lường dùng siêu cao tần, nó có khả năng phân tích sự phân bố của điện áp hay dòng điện (điện trường hay từ trường) dọc theo đường dây truyền. Từ đó mà có thể xác định được hệ số sóng đứng (hay hệ số sóng chạy) hệ số phản xạ, trở kháng của tải, chiều dài bước sóng của năng lượng truyền trên đường dây. Nó cũng còn có khả năng xác định được suy giảm và trở kháng đặc tính (trở kháng sóng) của đường dây cần nghiên cứu, nếu đường dây này được mắc nối tiếp để dùng làm tải của dây đo.



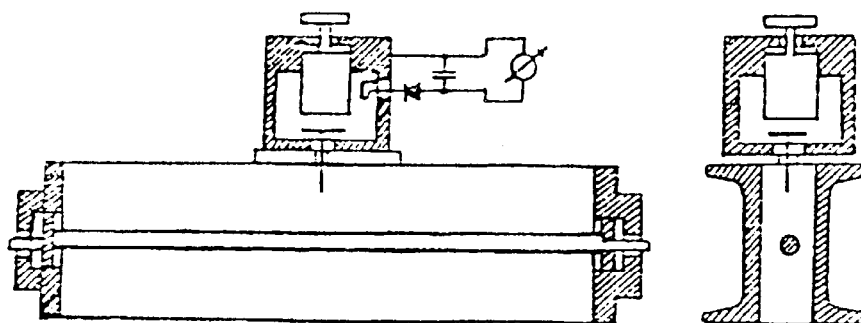
Hình 8-38a

Trên thực tế đo lường, dây đo được dùng trong đoạn sóng mét, dm và cm; nó có tác dụng như một thiết bị đo lường vạn năng ở các đoạn sóng này. Ở đoạn sóng mét và dm thì dây đo được chế tạo dưới dạng đồng trục; ở đoạn sóng cm thì nó được chế tạo dưới dạng ống sóng. Dây đo mà được cấu tạo

là đoạn dây song hành thì rất ít khi gặp.

Hình 8-38a là sơ đồ nguyên lý của dây đo loại cấu tạo bằng dây đồng trục.

Cấu tạo của loại này gồm một đoạn dây đồng trục cứng 1, có trở kháng đặc tính

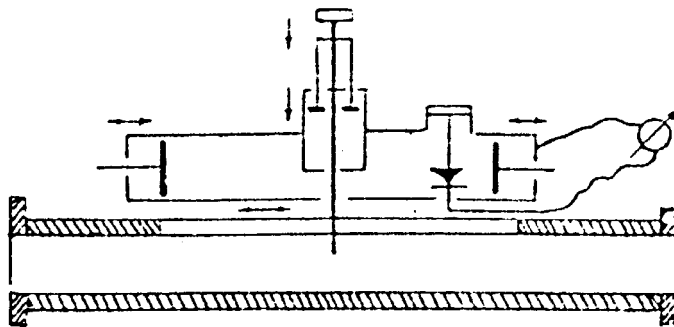


Hình 8-38b

bằng trở kháng đặc tính của đoạn dây đồng trục nối dây đo với máy phát.

Trên dây đo có một đường rãnh hẹp dọc theo dây 2 và có đầu đo 3 có thể dịch chuyển cùng với đầu dò 4. Đầu dò ở đây được ghép rất yếu với dây đo, để không gây thay đổi sự phân bố trường trên dây đo. Đầu đo 3 có pit-tông đo mạch 5 để có thể điều chỉnh sao cho trở kháng vào của mạch đầu đo cực đại và sự phản tác dụng của mạch này với dây đo thì cực tiểu. Trong đầu đo còn có vòng ghép 6 ghép giữa mạch đầu đo và mạch tách sóng 7. Vị trí của đầu đo trên dây đo được xác định có thể biết được hình dáng phân bố điện trường từ trường dọc trên dây bằng trị số chỉ thị của micro ampe-mét 8. Vì đầu đo được cắm sâu vào khe rãnh của dây, nên được chọn ở mức độ sao cho không làm ảnh hưởng tới sự cấu tạo của trường ở bên trong dây. Khi đó có thể coi dây là đồng đều và sự phân bố điện áp dọc trên dây là thoả đáng với phép tính toán lý thuyết cho đường dây không tổn hao.

Trong hệ thống dây đồng trục còn có loại dây đo kiểu phiên phẳng như hình 8-38b. Kiểu này có tính năng tương đối tốt. Đặc điểm của nó là không dùng dây đồng trục xoắn rãnh, mà là dùng hai phiến kim loại phẳng đặt song song, để một dây dẫn tròn nằm giữa. Với loại này có thể tránh được nhược điểm là khó khăn về công nghệ khi chế tạo dây đồng trục xoắn rãnh. Vì trong dây đồng trục muốn giảm nhỏ ảnh hưởng của rãnh tới điện từ trường trong dây, rãnh cần phải hết sức hẹp song như vậy lại khó đảm bảo khoảng cách giữa đầu đo tới hai mép rãnh không bị thay đổi. Trong khi đo loại dây đo



Hình 8-39

kiểu phiên phẳng đã có một rãnh rộng, nên không gặp phải những khó khăn nói trên.

Hình 8-39 là ví dụ kiểu sơ đồ dây đo dùng ống dẫn sóng. Ở đây ống dẫn sóng có tiết diện vuông góc (hay hình chữ nhật) thường được kích thích bằng loại sóng  $H_{10}$ . Các bộ phận khác của

dây đo cũng giống như hình 8-37.

Chiều dài  $l$  của dây đo thường được chọn sao cho:

$$3\lambda_{\max} > l > \frac{\lambda_{\max}}{2}$$

ở đây,  $\lambda_{\max}$  là chiều dài bước sóng công tác cực đại trên dây đo. Nếu lấy  $l < \frac{\lambda_{\max}}{2}$

thì trong một số trường hợp đo không thể xác định được vị trí điện áp cực tiểu ở gần đầu về phía nối với trở kháng cần đo. Còn nếu dây có chiều dài  $\lambda > 3\lambda_{\max}$  thì công nghệ chế tạo sẽ rất phức tạp vì chiều dài lớn đáng kể như vậy mà yêu cầu đảm bảo tính đồng nhất kích thước dây là một điều khó.

Kích thước tiết diện của dây đo phải được chọn sao cho để trở kháng đặc tính của dây đo bằng trở kháng đặc tính của đường dây nối với nguồn phát tín hiệu, hay bằng trở kháng ra của bộ suy giảm. Tiết diện của nó phải không đổi suốt dọc dây, vì nếu không thì trở kháng đặc tính của dây sẽ bị thay đổi; từ đó sẽ phát sinh ra sự phản xạ phụ, và như vậy sinh ra méo trường phân bố trên đường dây cần nghiên cứu.

Đường rãnh dọc cần phải hẹp và được xẻ đối xứng đối với trục dây. Trường hợp dây đo là ống dẫn sóng chữ nhật thì tiết diện rãnh được xẻ ở một bề mặt của bề rộng ống, ở đây nó có điện trường cực đại.

Bộ chỉ thị của dây đo được dùng là tách sóng tính thể hay tách sóng bằng đèn hai cực. Đầu ra của tách sóng là đồng hồ từ điện, được mắc trực tiếp hay thông qua bộ khuếch đại. Muốn giảm bớt sự hiệu chỉnh các kết quả đo thì bộ tách sóng cần chọn loại có đặc tuyến tách sóng là đường thẳng hay bậc hai.

### 8.2.3 Công dụng đo lường của dây đo

Để đo các thông số của mạch có phân tử phân bố thì một phương pháp chủ yếu và được dùng phổ biến hơn cả là phương pháp dây đo. Ở chương này cũng sẽ xét nhiều hơn tới phương pháp này thông qua công dụng đo lường các thông số cơ bản của nó.

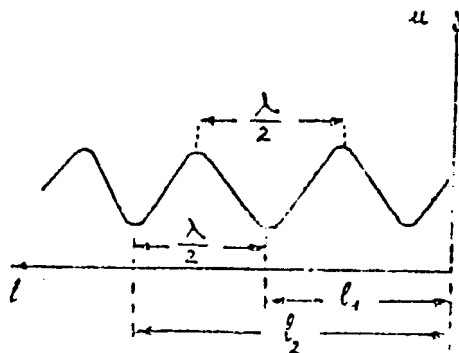
#### 1. Đo chiều dài bước sóng $\lambda$

Hình 8-40a là giản đồ biểu diễn sự phân bố điện áp dọc trên dây, trong trường hợp chung khi có mắc tải.

Như đã biết từ lý thuyết đường dây truyền sóng là khoảng cách giữa hai điểm cực tiểu hay giữa hai điểm cực đại của điện áp phân bố thì bằng  $\frac{\lambda}{2}$ . Vì các điểm điện áp cực tiểu, độ cong có dạng nhọn hơn, nên trong đo lường thông thường người ta đo khoảng cách giữa hai điểm cực tiểu.

Chiều dài bước sóng  $\lambda$  được xác định theo công thức:

$$\lambda = 2(l_2 - l_1) \quad (63)$$



Hình 8-40a

Như đã biết (từ chương về đánh giá kết quả đo) khi xác định điểm cực tiểu, thì sai số mắc phải phụ thuộc khả năng cho phép về độ phân biệt vạch khắc độ của thiết bị chỉ thị và đạo hàm bậc hai tại vị trí cực trị này của đường cong phân bố điện áp. Muốn tìm đạo hàm bậc hai thì phải biết phương pháp biểu thị đường cong phân bố điện áp dọc trên đường dây.

Từ lý thuyết dây truyền sóng đã biết: tại điểm cực tiểu ( $U_{\min}$ ) thì trở kháng vào của dây là thuần trở và bằng:

$$Z_v = W.k_{ch} \quad (64)$$

Với tải thuần trở thì biểu thức điện áp phân bố dọc trên đường dây là:

$$\mathcal{U}_{l_m} = U_{\min} \cos 2\pi \frac{l_m}{\lambda} + jI_{\max} W \sin 2\pi \frac{l_m}{\lambda} \quad (65)$$

ở đây:

$U_{\min}$ : điện áp tại điểm điện áp cực tiểu

$I_{\max}$ : dòng điện tại điểm điện áp cực tiểu

$W$ : trở kháng đặc tính của đường dây

$l_m$ : khoảng cách từ điểm điện áp xác định tới điểm điện áp cực tiểu.

Đặt thừa số chung  $\frac{U_{\min}}{k_{ch}}$  cho biểu thức (65):

$$\mathcal{U}_{l_m} = \frac{U_{\min}}{k_{ch}} \left( k_{ch} \cos 2\pi \frac{l_m}{\lambda} + j \frac{I_{\max}}{U_{\min}} W k_{ch} \sin 2\pi \frac{l_m}{\lambda} \right) \quad (66)$$

Ta đã biết ở đường dây truyền:

$$\frac{U_{\min}}{I_{\max}} = Z_v = W.k_{ch} \quad (67)$$

Do vậy, biểu thức (66) có thể viết dưới dạng:

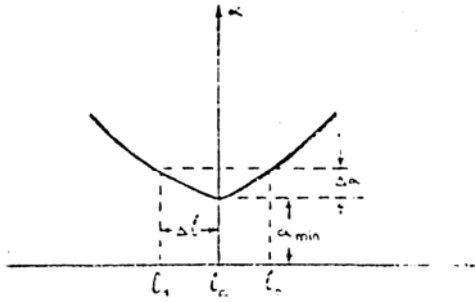
$$\mathcal{U}_{l_m} = \frac{U_{\min}}{k_{ch}} \left( k_{ch} \cos 2\pi \frac{l_m}{\lambda} + j \sin 2\pi \frac{l_m}{\lambda} \right) \quad (68)$$

Môđun của  $\mathcal{G}_{l_m}$  là :

$$U_{l_m} = \frac{U_{\min}}{k_{\text{ch}}} \sqrt{k_{\text{ch}}^2 \cos^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda} + \sin^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda}} \quad (69)$$

Khi đặc tuyến tách sóng là bậc nhất, thì biểu thức (69) có dạng:

$$\alpha = \frac{\alpha_{\min}}{k_{\text{ch}}} \sqrt{k_{\text{ch}}^2 \cos^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda} + \sin^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda}} \quad (70)$$



Hình 8-40b

Như đã biết ở chương đánh giá kết quả đo, công thức tính sai số trong trường hợp đo ở trị số cực trị (xem hình 8-40b) là :

$$\Delta l = \sqrt{\frac{2\Delta\alpha}{f''(l_0)}} = M_l \quad (71)$$

ở đây,  $f(l_0)$  là đạo hàm bậc hai của đường cong điện áp phân bố tại vị trí cực tiểu.

Đạo hàm bậc nhất biểu thức (70) ta có:

$$\frac{d\alpha}{dl_m} = \frac{\alpha_{\min}}{k_{\text{ch}}} \frac{\pi}{\lambda} (1 - k_{\text{ch}}) \frac{\sin 4\pi \frac{l_m}{\lambda}}{\sqrt{k_{\text{ch}}^2 \cos^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda} + \sin^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda}}} \quad (72)$$

Đạo hàm bậc hai:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\alpha}{dl_m^2} &= \frac{\alpha_{\min}}{k_{\text{ch}}} \frac{\pi^2}{\lambda^2} (1 - k_{\text{ch}}^2) \times \\ &= \frac{4\cos 4\pi \frac{l_m}{\lambda} \left( k_{\text{ch}}^2 \cos^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda} + \sin^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda} \right) - (1 - k_{\text{ch}}) \cdot \sin^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda}}{\sqrt{\left( k_{\text{ch}}^2 \cos^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda} + \sin^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda} \right)^3}} \end{aligned} \quad (73)$$

Khi  $l_m = 0$ , đạo hàm bậc hai có dạng:

$$\frac{d^2\alpha}{dl_m|_{l_m=0}} = 4\alpha_{\min} \frac{\pi^2}{\lambda^2} \frac{1 - k_{\text{ch}}^2}{k_{\text{ch}}^2} \quad (74)$$

Dùng các biểu thức (71) và (74) để tính sai số khi xác định vị trí cực tiểu:

$$M_l = \frac{\lambda k_{ch}}{\pi \sqrt{1 - k_{ch}^2}} \sqrt{\frac{\Delta \alpha}{2 \alpha_{min}}} \quad (75)$$

Vì khi xác định hai điểm cực tiểu thì sai số ngẫu nhiên  $M_l$  như nhau, chúng hoàn toàn không có liên hệ, ảnh hưởng với nhau. Theo (63) thì tính sai số bước sóng  $\lambda$  là:

$$M_\lambda^2 = 4(M_{l_1}^2 + M_{l_2}^2)$$

với  $M_{l_1} = M_{l_2} = M_l$ , nên  $M_\lambda^2 = 8M_l^2$ ; từ đó ta có:

$$M_\lambda = 2\sqrt{2}M_l \quad (76)$$

Từ biểu thức tính sai số (75) ta cũng còn có nhận xét là: nếu như trong phép đo đã cho, chỉ cần đo chiều dài bước sóng không thôi, thì nên chọn chế độ công tác hoặc ngắn mạch, hoặc hở mạch. Khi đó  $k_{ch} \approx 0$ , nên  $M_l \approx 0$ .

Khi đặc tuyến tách sóng là bậc hai, thì biểu thức (69) có dạng:

$$\alpha = \frac{\alpha_{min}}{k_{ch}^2} \left( k_{ch}^2 \cos^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda} + \sin^2 2\pi \frac{l_m}{\lambda} \right) \quad (77)$$

Cũng cách biến đổi như loại tách sóng có đặc tuyến bậc nhất, sai số trong trường hợp đo này là:

$$M_l = \frac{\lambda k_{ch}}{2\pi \sqrt{1 - k_{ch}^2}} \sqrt{\frac{\Delta \alpha}{\alpha_{min}}}$$

Về phương pháp đo, để nâng cao độ chính xác thì còn dùng phương pháp đo hai trị số cùng mức ở hai phía điểm cực trị, như trong hình 8-41.

Trên hình vẽ ta có:

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \frac{l_1' + l_1''}{2} \\ l_2 &= \frac{l_2' + l_2''}{2} \end{aligned} \right\} \quad (78)$$

Thay các biểu thức của (78) vào (63), ta có:

$$\lambda = l_2' + l_2'' - l_1' + l_1'' \quad (79)$$

Ở đây có vấn đề cần chọn trị số mức đo  $\alpha_d$ , nó nên lấy tại mức nào từ  $\alpha_{min}$  để kết quả đo đạt được độ chính xác cao. Trị số  $\alpha_d$  nên lấy tại điểm uốn của đường cong phân bố điện áp (hình 8-42). Vì tại đây, đường cong có độ dốc lớn nhất, khi đo dễ phân biệt



Thay các biểu thức (82) và (83) vào (70) thì xác định được trị số mức đo cần thiết theo phương pháp đo hai phía điểm cực trị khi bộ chỉ thị có đặc tuyến tách sóng đường thẳng:

$$\alpha_d = \frac{\alpha_{\min}}{\sqrt{k_{\text{ch}}}} \quad (84)$$

Vấn đề tiếp tục là cần xác định trị số sai số trong trường hợp đo này. Sai số trong trường hợp này là tính ở điểm uốn, tức là vị trí mà hàm số có độ dốc lớn nhất (hình 8-42). Công thức để tính sai số (xem chương đánh giá kết quả đo) trong trường hợp này là:

$$M_l = \Delta l = \frac{\Delta \alpha}{2f'(l_d)} \quad (85)$$

Tìm đạo hàm bậc nhất khi  $\alpha = \alpha_d$ . Thay biểu thức (84) vào (72), ta có:

$$\left. \frac{d\alpha}{dl_m} \right|_{\alpha = \alpha_d} = \frac{\alpha_{\min}}{k_{\text{ch}}} \frac{\pi}{\lambda} (1 - k_{\text{ch}}^2) - \frac{\frac{2\sqrt{k_{\text{ch}}}}{\sqrt{1+k_{\text{ch}}}} \frac{1}{\sqrt{1+k_{\text{ch}}}}}{\sqrt{\frac{k_{\text{ch}}^2}{\sqrt{1+k_{\text{ch}}}} + \frac{1}{\sqrt{1+k_{\text{ch}}}}}}$$

Sau khi biến đổi, thì ta có:

$$\left. \frac{d\alpha}{dl_m} \right|_{\alpha = \alpha_d} = 2\alpha_{\min} \frac{\pi}{\lambda} \frac{1 - k_{\text{ch}}}{k_{\text{ch}}} \quad (86)$$

Thay (86) vào (85) để tính sai số  $M_l$  trong trường hợp đo này:

$$M_l = \frac{\lambda}{4\pi} \frac{k_{\text{ch}}}{1 - k_{\text{ch}}} \frac{\Delta \alpha}{\alpha_{\min}} \quad (87)$$

Trị số sai số ngẫu nhiên cực đại khi đo  $\lambda$  bằng phương pháp này là:

$$M_{\lambda}^2 = (M'_{l_1})^2 + (M'_{l_2})^2 + (M''_{l_1})^2 + (M''_{l_2})^2 \quad (88)$$

Vì sai số ngẫu nhiên cực đại khi đo các chiều dài  $l_1, l'_1, l_2, l'_2$  là như nhau và độc lập với nhau, nên để đơn giản ta biểu thị chúng đều bằng  $M_l$ .

$$M_{\lambda}^2 = 4(M_l)^2$$

do đó ta có:

$$M_{\lambda} = 2M_l = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{k_{ch}}{1 - k_{ch}} \frac{\Delta\alpha}{\alpha_{min}} \quad (89)$$

Với bộ chỉ thị có đặc tuyến bậc hai, thì trị số mức đo  $\alpha_d$  tính theo phương pháp đo trị số cùng mức ở hai phía, có biểu thức bằng:

$$\alpha_d = \frac{1}{2} \alpha_{min} \frac{k_{ch}^2 + 1}{k_{ch}^2} \quad (90)$$

Và cũng cách xác định sai số như trên, lấy trị số đạo hàm bậc nhất khi  $\alpha = \alpha_d$  như (90), thay vào (85), ta có:

$$M_l = \frac{\lambda}{4\pi} \frac{k_{ch}^2}{1 - k_{ch}^2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha_{min}} \quad (91)$$

Sai số khi đo bước sóng trong trường hợp này bằng:

$$M_{\lambda} = 2M_l = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{k_{ch}^2}{1 - k_{ch}^2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha_{min}} \quad (92)$$

## 2. Đo hệ số sóng chạy

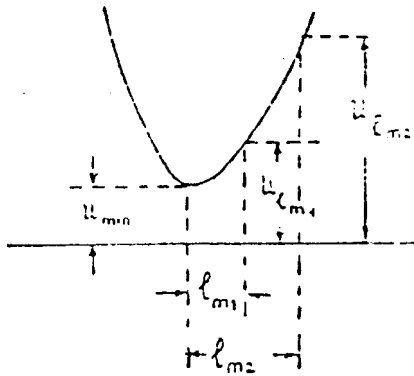
Như đã biết từ lý thuyết đường dây truyền sóng, khi đường dây có mắc tải, thì tùy theo tác dụng của tải đường dây truyền sóng có phối hợp với trở kháng đặc tính của đường dây hay không, mà có một phần năng lượng được phản xạ lại từ tải. Hiện tượng sinh ra trên đường dây truyền này có thể khảo sát bằng cách quan sát hai sóng chạy chuyển động dọc theo hướng ngược nhau, là sóng tới và sóng phản xạ. Như vậy, để quan sát được hiện tượng này bằng dây đo, thì ta khảo sát các biên độ điện áp (hay dòng điện) cực đại và cực tiểu phân bố dọc trên dây. Để đo lường được thì cần đo được tỷ số của hai biên độ này. Tỷ số của hai biên độ tại các vị trí cực trị của điện áp phân bố trên dây đo là hệ số sóng đứng hay hệ số sóng chạy:

$$k_d = \frac{U_{max}}{U_{min}}; \quad (93)$$

$$\text{và:} \quad k_{ch} = \frac{U_{min}}{U_{max}} = \frac{1}{k_d} \quad (94)$$

Hệ số sóng đứng có trị số biến thiên từ 1 đến  $\infty$ ; còn hệ số sóng chạy thì biến thiên từ 1 đến 0; tức là từ chế độ có tải phối hợp hoàn toàn tới chế độ tải mất phối hợp hoàn toàn.

Như vậy, đo trị số sóng đứng hay hệ số sóng chạy cũng như nhau; nó tùy theo sự biểu thị trong các phép đo cụ thể nào tiện mà thôi. Các phương pháp đo trên bày ở chương này thường dùng hơn là hệ số sóng chạy, nên ở đây ta xét các phương pháp đo có kết quả trực tiếp ra hệ số sóng chạy.



Hình 8-43

Khi bộ chỉ thị của dây đo có đặc tính tách sóng là đường thẳng, thì:

$$k_{ch} = \frac{\alpha_{min}}{\alpha_{max}}$$

còn khi đặc tính tách sóng có dạng bậc hai, thì:

$$k_{ch} = \sqrt{\frac{\alpha_{min}}{\alpha_{max}}}$$

Trường hợp khi không phối hợp trở kháng nhiều, khi đó  $k_{ch}$  có trị số nhỏ, các trị số  $U_{min}$  và  $U_{max}$  khác nhau nhiều. Do vậy lúc này không thể đo các trị số  $U_{min}$  và  $U_{max}$  trên cùng một dụng cụ chỉ thị đo. Để đo được  $k_{ch}$  trong trường hợp này thì không nhất thiết chỉ thực hiện bằng cách đo  $U_{min}$  và  $U_{max}$ , mà có thể bằng cách đo ở hai vị trí có mức độ bất kỳ của dụng cụ chỉ thị. Điều này được diễn đạt như hình 8-43.

Để tính trị số  $k_{ch}$ , dùng biểu thức (69) ở trên.

Khi  $l_m = l_{m1}$  thì điện áp bằng:

$$U_{l_{m1}} = \frac{U_{min}}{k_{ch}} \sqrt{k_{ch}^2 \cos^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda} + \sin^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda}} \quad (95)$$

Khi  $l_m = l_{m2}$  thì điện áp bằng:

$$U_{l_{m2}} = \frac{U_{min}}{k_{ch}} \sqrt{k_{ch}^2 \cos^2 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda} + \sin^2 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda}} \quad (96)$$

chia (96) cho (95):

$$\frac{U_{l_{m2}}}{U_{l_{m1}}} = \sqrt{\frac{k_{ch}^2 \cos^2 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda} + \sin^2 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda}}{k_{ch}^2 \cos^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda} + \sin^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda}}} \quad (97)$$

Bình phương hai vế của (97), rồi tìm  $k_{ch}$

$$k_{ch} = \sqrt{\frac{\sin^2 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda} - \left(\frac{U_{lm2}}{U_{lm1}}\right)^2 \sin^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda}}{\left(\frac{U_{lm2}}{U_{lm1}}\right)^2 \cos^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda} + \cos^2 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda}}} \quad (98)$$

Để dễ tính  $k_{ch}$ , thì cần lấy quan hệ giữa hai điện áp là:

$$\frac{U_{lm2}}{U_{lm1}} = \sqrt{2} \quad (99)$$

Nghĩa là, khi đặc tuyến tách sóng là đường thẳng thì  $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \sqrt{2}$  còn khi tách sóng

có đặc tuyến bình phương, thì  $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = 2$ .

Thay (99) vào (98):

$$k_{ch} = \sqrt{\frac{\sin^2 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda} - 2 \sin^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda}}{2 \cos^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda} + \cos^2 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda}}}$$

Biến đổi lượng giác biểu thức này, cuối cùng ta có:

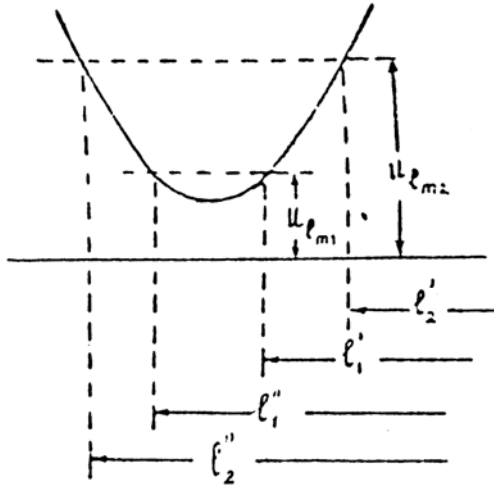
$$k_{ch} = \sqrt{\frac{A - 0,5}{A + 0,5}} \quad (100)$$

$$\text{ở đây } A = \cos 4\pi \frac{l_{m1}}{\lambda} - 0,5 \cos 4\pi \frac{l_{m2}}{\lambda} \quad (101)$$

Trường hợp nếu  $U_{min}$  có thể đo được, thì (100) có thể đơn giản hơn, và vấn đề đo được dễ dàng. Lúc này  $l_{m1} = 0$ , và biểu thức (98) trở thành:

$$k_{ch} = \frac{\sin 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda}}{\sqrt{\left(\frac{U_{lm2}}{U_{lm1}}\right)^2 - \cos^2 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda}}} \quad (102)$$

còn biểu thức (100) cũng trở thành:



Hình 8-44

$$k_{ch} = \frac{\sin 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda}}{\sqrt{1 - \sin^2 2\pi \frac{l_{m2}}{\lambda}}} \quad (103)$$

Trường hợp nếu vị trí điểm cực tiểu không xác định được thì vấn đề xác định  $k_{ch}$  đơn giản hơn phương pháp đo nói trên là phương pháp đo hai trị số cùng mức ở hai điểm cực trị. Phương pháp này được biểu thị như hình 8-44.

Trong trường hợp này:

$$l_{m2} = \frac{l'2 - l'1}{2} \quad (104)$$

$$l_{m1} = \frac{l''1 - l''2}{2} \quad (105)$$

Vấn đề ở đây là cần tính sai số đo. Sai số xác định  $k_{ch}$  của phương pháp này thì theo cách tính sai số của phương pháp đo gián tiếp. Sai số đo  $U_{l_{m1}}$  và  $U_{l_{m2}}$  được xác định tùy thuộc vào cấp của đồng hồ đo chọn dùng. Còn sai số xác định  $l_{m1}$  và  $l_{m2}$  thì bao gồm cả tổng sai số đọc và sai số do mức khả năng phân biệt vạch khắc độ của đồng hồ chỉ thị ( $\Delta\alpha$ ). Loại sai số sau có thể có trị số bé nhất nếu tiến hành đo ở điểm có độ dốc lớn nhất xác định  $l_{m2}$  và sai số xác định  $l_{m2}$  có thể tính theo công thức (89) hay (92). Sai số xác định  $l_{m1}$  có thể tính xuất phát từ điều kiện  $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \sqrt{2}$  khi đặc tính tách sóng là đường

thẳng hay  $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = 2$  khi đặc tính tách sóng là bậc hai.

Khi đặc tính tách sóng là đường thẳng:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{\sqrt{2}} \quad (106)$$

ở đây:  $\alpha_2 = \alpha_d$  như công thức (84).

Thay (84) vào (106), ta có:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_{min}}{\sqrt{2k_{ch}}} \quad (107)$$

Dùng biểu thức (70), với  $\alpha = \alpha_1$ , ta có:

$$\frac{1}{\sqrt{2k_{ch}}} = \frac{1}{k_{ch}} \sqrt{k_{ch}^2 \cos^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda} + \sin^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda}}$$

Bình phương hai vế của phương trình trên và thực hiện biến đổi, ta có:

$$\operatorname{tg}^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda} = k_{ch} \frac{1 - 2k_{ch}}{2 - k_{ch}} \quad (108)$$

Biểu thức (108) chỉ có nghĩa khi:  $k_{ch} \leq 0,5$ . Từ (108) ta có:

$$\cos^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda} = \frac{2 - 2k_{ch}}{2(1 - k_{ch}^2)} \quad (109)$$

$$\sin^2 2\pi \frac{l_{m1}}{\lambda} = k_{ch} \frac{1 - 2k_{ch}}{2(1 - k_{ch}^2)} \quad (110)$$

Thay các trị số biểu thức (109) và (110) vào phương trình (72) rồi tìm trị số đạo hàm bậc nhất:

$$\left. \frac{d\alpha}{dl_m} \right|_{l_m = l_{m1}} = \frac{\alpha_{\min}}{k_{ch}} \frac{\pi}{\lambda} (1 - k_{ch}^2) - \frac{2 \sqrt{\frac{2 - k_{ch}}{2(1 - k_{ch}^2)}} \sqrt{\frac{k_{ch}}{2} \frac{1 - 2k_{ch}}{1 - k_{ch}^2}}}{\sqrt{k_{ch}^2 \frac{2 - k_{ch}^2}{2(1 - k_{ch}^2)} + \frac{k_{ch}}{2} \frac{1 - 2k_{ch}}{1 - k_{ch}^2}}}$$

Biến đổi tiếp ta có:

$$\left. \frac{d\alpha}{dl_m} \right|_{l_m = l_{m1}} = \frac{2\alpha_{\min}}{k_{ch}} \frac{\pi}{\lambda} \sqrt{(1 - k_{ch}^2)(2 - k_{ch})(1 - 2k_{ch})} \quad (111)$$

Thay (111) vào biểu thức sai số (85), ta có:

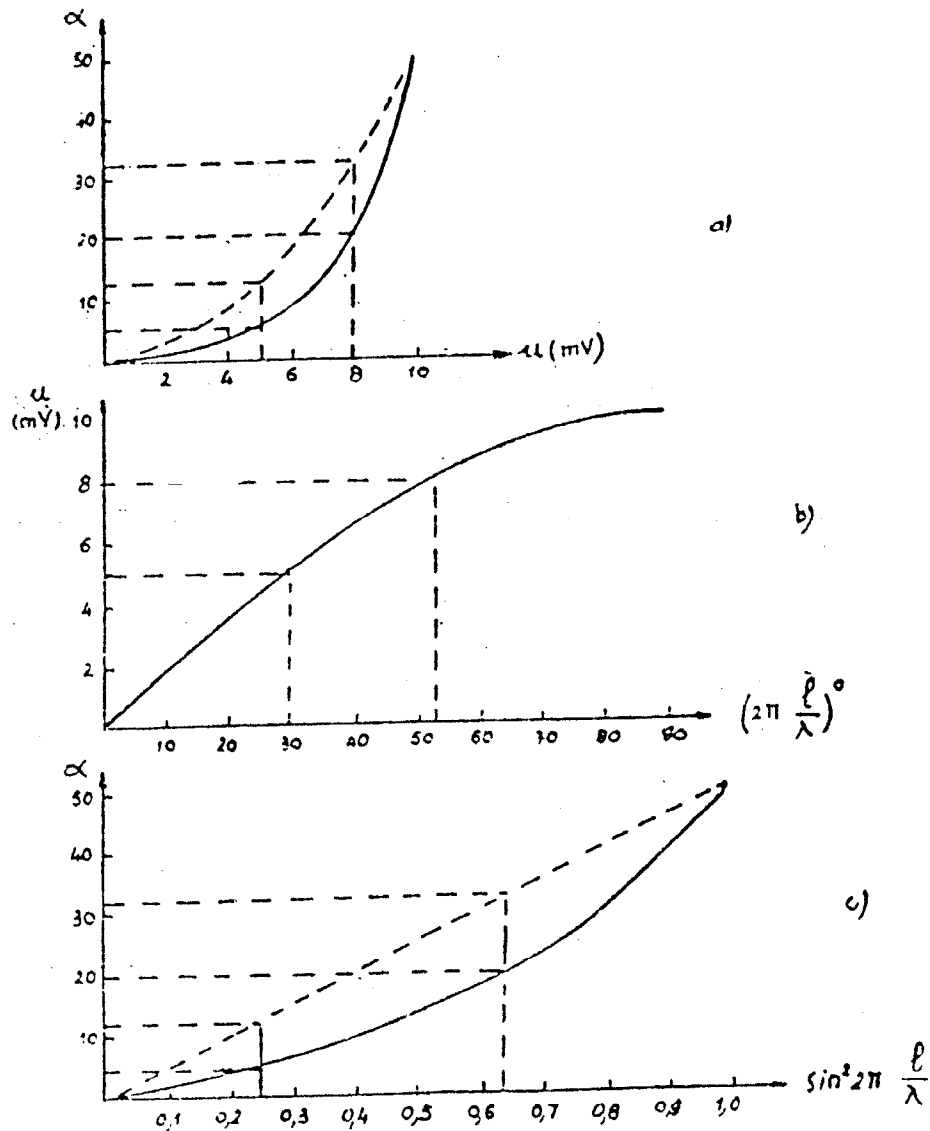
$$M_{l_{m1}} = \frac{\lambda}{4\pi} \frac{k_{ch}}{\sqrt{(1 - k_{ch}^2)(2 - k_{ch})(1 - 2k_{ch})}} \frac{\Delta\alpha}{\alpha_{\min}} \quad (112)$$

Khi đặc tuyến tách sóng có dạng bậc hai, thì cũng cách tính như trên, biểu thức tính sai số được viết là:

$$M_{l_{m1}} = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{k_{ch}^2}{\sqrt{(3 - k_{ch}^2)(1 - 3k_{ch}^2)}} \frac{\Delta\alpha}{\alpha_{\min}} \quad (113)$$

Nếu biểu thức tính  $k_{ch}$  cũng tính như (103), thì để tính sai số cần dùng biểu thức (102) và biểu thức chung về cách tính sai số trong trường hợp đo gián tiếp. Còn sai số đo  $I_{m2}$  thì quyết định chủ yếu mức khả năng phân biệt về khắc độ cho phép  $\Delta\alpha$  của bộ chỉ thị. Nó cũng được tính tương tự như đã tính sai số đo  $I_{m1}$  ở trong cách tính trên.

Cuối cùng, cũng cần xét tới trường hợp khi đặc tuyến tách sóng của thiết bị chỉ thị chưa biết, khi đó cần phải vẽ được nó trong toạ độ  $\alpha = f\left(\sin^2 2\pi \frac{l}{\lambda}\right)$  trong khoảng dịch



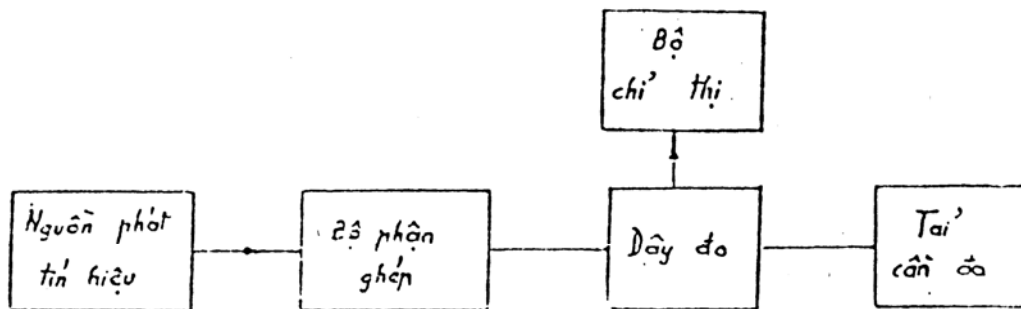
Hình 8-45

chuyển của đầu dò từ vị trí có  $\alpha_{\min} = 0$  đến vị trí có  $\alpha_{\max}$ , khi ngắn mạch dây đo. Hình 8-45c có vẽ đặc tuyến này (đường nét liền). Ta có thể dùng đặc tuyến này để xác định  $k_{ch}$ , nếu như nó có dạng khác với đường thẳng hay đường bình phương. Giả sử rằng khi đo điện áp phân bố ta ghi lại trị số chỉ của đồng hồ chỉ thị là  $\alpha_{\min} = 5$  và  $\alpha_{\max} = 20$ , nó tương ứng với trị số điện áp hiệu dụng là  $U_{\min} = 5\text{mV}$  và  $U_{\max} = 8\text{mV}$  (hình 8-45a); như vậy ta có:  $k_{ch} = \frac{U_{\min}}{U_{\max}} = \frac{5}{8} = 0,625$ . Để tìm trị số chính xác của  $k_{ch}$  còn dùng đặc tuyến như hình 8-45c; ở đặc tuyến này có nối một đường thẳng đi từ gốc toạ độ đến điểm tương ứng với trị số chỉ cực đại của đồng hồ, tức khi  $\sin^2 2\pi \frac{l}{\lambda} = 1$ . Chúng cũng biến đổi tương đương như của đặc tuyến thực (đường nét liền) và đặc tuyến bình phương (đường chấm chấm) của hình 8-45a. (hình 8-45b là đồ thị biểu diễn dạng hình sin của điện áp phân bố; với đồ thị này có thể suy đường biểu diễn ở hình 8-45a thành đường biểu diễn ở hình 8-45c). Sau đó đọc chính xác trị số tương ứng với các trị số chỉ  $\alpha_{\min}$  và  $\alpha_{\max}$  bằng cách hạ các đường thẳng góc lên trục tung từ các điểm trên đường thẳng ở hình 8-45c; ta được các điểm mới là  $\alpha'_{\min} = 12,5$  và  $\alpha'_{\max} = 32$ . Trị số thực cần tìm là:

$$k_{ch} = \sqrt{\frac{\alpha'_{\min}}{\alpha'_{\max}}} = \sqrt{\frac{12,5}{32}} = 0,625$$

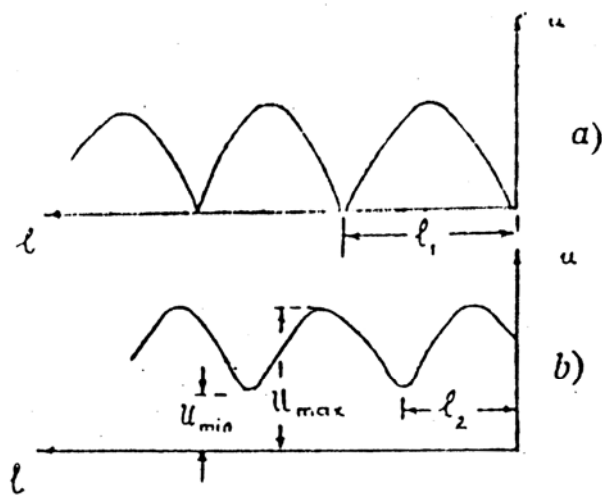
### 3. Đo trở kháng

Khi tính toán và điều chuẩn các thiết bị ở siêu cao tần, thì một trong các phép đo cần thiết phải thực hiện là đo trở kháng của các phần tử. Có nhiều phương pháp để đo trở kháng, nhưng đo trở kháng bằng phương pháp dây đo thường được dùng phổ biến hơn. Nguyên lý của phương pháp đo này được thực hiện như trên hình 8-46.



Hình 8-46

Ở sơ đồ mạch đo này, nguồn phát tín hiệu là để tạo dao động cung cấp cho mạch đo. Yêu cầu đối với nguồn phát tín hiệu là phải đảm bảo cung cấp đủ công suất ra và có



Hình 8-47

độ ổn định tần số cao trong dải tần công tác. Khi chọn dùng nguồn phát tín hiệu cũng cần phải lưu ý tới phạm vi công tác của dây đo, độ nhạy của bộ chỉ thị và khả năng của bộ ghép. Nguồn phát tín hiệu thường công tác ở chế độ dao động liên tục hay còn cả ở chế độ điều chế. Bộ phận ghép ở đây dùng để ngăn cách ảnh hưởng của vật đo tới chế độ công tác của nguồn phát tín hiệu. Nó thường là các bộ suy giảm hấp thụ hay suy giảm kiểu pherit và cần phải được phối hợp tốt để sao cho thành phần sóng phản

xạ về nguồn rất nhỏ, thường phải nhỏ hơn khoảng 20dB so với thành phần sóng tới. Ngoài ra bộ phận ghép nối còn làm chức năng điều chỉnh công suất đưa ra mạch đo.

Phương pháp đo trở kháng bằng dây đo được tiến hành từng bước như sau:

Đầu tiên đo ở chế độ ngắn mạch dây đo, đo một vị trí cực tiểu của điện áp phân bố (đoạn  $l_1$  ở hình 8-47a). Sau đó đo ở chế độ có tải, mắc tải cần đo vào dây đo, lại đo một vị trí cực tiểu mới của điện áp phân bố (đoạn  $l_2$  trên hình 8-47b) và đo hệ số sóng chạy  $k_{ch}$ . Từ các số liệu đo được: hệ số sóng chạy, độ dịch chuyển cực tiểu  $l_1 - l_2$ , ta có thể tính được trị số trở kháng của tải  $Z=R+jX$  như các biểu thức đã biết trong các giáo trình về lý thuyết mạch siêu cao tần.

Song sự tính toán theo biểu thức thường là phức tạp, nên còn có cách tính đơn giản và thực dụng hơn là dùng đồ thị vòng tròn. Đồ thị vòng tròn (hay còn gọi là đồ thị Xmít), là một loại toán đồ thích hợp hơn cả, làm cho sự tính toán về đườngdây truyền sóng được dễ dàng.

Nguyên lý xây dựng đồ thị Xmít đã được trình bày trong giáo trình về anten phide, do đó ở đây sẽ không nhắc lại, mà chỉ giới thiệu cấu tạo và cách sử dụng trong công tác đo lường các thông số của mạch điện có các phần tử phân bố.

Như đã biết, chế độ tại một tiết diện bất kỳ trên đường dây truyền tải một khoảng cách  $l_x$  thì được biểu diễn bằng trở kháng vào  $Z_v$  hay hệ số phản xạ  $p_{lx}$ .

Hệ số phản xạ điện áp tại vị trí cách tải một khoảng  $l_x$  bằng:

$$p_{lx} = \frac{U_{l_{xph}}}{U_{l_{xt}}} \quad (114)$$

ở đây:

$$\mathcal{U}_{l_{\text{ph}}} = \frac{\mathcal{U}_2 - \mathcal{P}_2 W}{2} e^{-j2\pi \frac{l_x}{\lambda}}$$

là biểu thức toàn bộ của sóng phản xạ;

$$\mathcal{U}_{l_{\text{xt}}} = \frac{\mathcal{U}_2 + \mathcal{P}_2 W}{2} e^{j2\pi \frac{l_x}{\lambda}}$$

là biểu thức toàn bộ của sóng tới.

Thay vào (114) hai biểu thức trên, ta có:

$$\mathcal{P}_x = \frac{\mathcal{U}_2 - \mathcal{P}_2 W}{\mathcal{U}_2 + \mathcal{P}_2 W} e^{-j4\pi \frac{l_x}{\lambda}} \quad (115)$$

Chia vế phải của (115) cho  $\mathcal{P}_2$ :

$$\mathcal{P}_x = \frac{\frac{\mathcal{U}_2}{\mathcal{P}_2} - W}{\frac{\mathcal{U}_2}{\mathcal{P}_2} + W} e^{-j4\pi \frac{l_x}{\lambda}} \quad (116)$$

Từ lý thuyết đường dây truyền sóng, ta có:

$$\frac{\mathcal{U}_2}{\mathcal{P}_2} = \mathcal{Z}_t; \text{ do vậy, biểu thức (116) có thể viết thành:}$$

$$\mathcal{P}_x = \frac{\mathcal{Z}_t - W}{\mathcal{Z}_t + W} e^{-j4\pi \frac{l_x}{\lambda}} \quad (117)$$

Song:

$$\frac{\mathcal{Z}_t - W}{\mathcal{Z}_t + W} = \mathcal{P}_t = |\mathcal{P}_t| e^{j2\psi}$$

là hệ số phản xạ tại tải, khi  $l_x = 0$ . Do đó:

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_x &= \mathcal{P}_t e^{-j4\pi \frac{l_x}{\lambda}} = |\mathcal{P}_t| e^{j2\psi} e^{-j4\pi \frac{l_x}{\lambda}} \\ &= |\mathcal{P}_t| e^{j2\left(\psi - 2\pi \frac{l_x}{\lambda}\right)} \end{aligned} \quad (118)$$

Đặt:

$$\theta = 2\pi \frac{l_x}{\lambda} - \psi$$

thì hệ số phản xạ tại tiết diện  $l_x$  là:

$$\Gamma_x = |\Gamma_x| e^{-j2\theta} \quad (120)$$

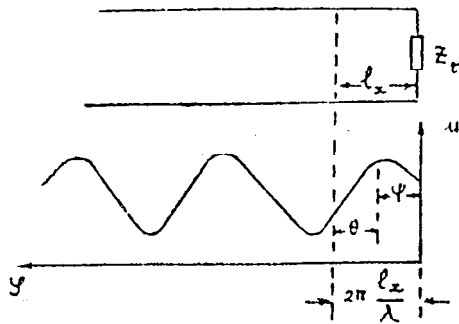
Hình 8-48 biểu thị quan hệ giữa góc pha  $\theta$ ,  $2\pi \frac{l_x}{\lambda}$ , và  $\psi$ .

Ta có quan hệ giữa  $\Gamma_x$  và  $l_x$ , biểu diễn được trên toàn bộ mặt phẳng của tọa độ a và jb, mà từ biểu thức (120) còn được biểu thị bằng:

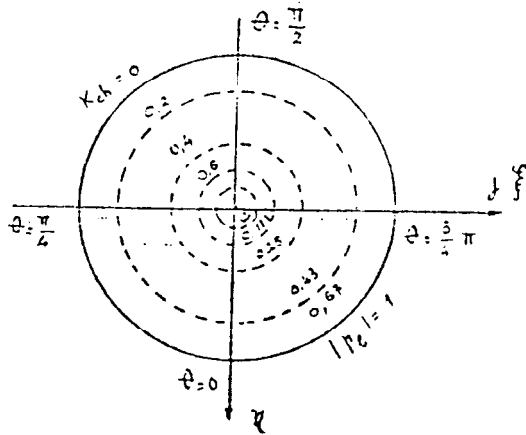
$$\Gamma_x = \eta + j\xi \quad (121)$$

Biểu thức (121) biểu thị một véc-tơ trong mặt phẳng tọa độ a và jb. Đầu cuối của véc-tơ sẽ vẽ thành vòng tròn, khi biến đổi  $l_x$  và giữ  $|\Gamma_x| = \text{const}$ . Khi  $|\Gamma_x|$  có trị giá khác nhau thì có một họ vòng tròn đồng tâm như hình 8-49; nó là các vòng tròn đẳng  $\Gamma$ . Cùng với vòng tròn  $\Gamma_x$  còn có thể biểu thị vòng tròn  $k_{ch}$ ; vì ta có quan hệ giữa  $|\Gamma_x|$  và  $k_{ch}$  là:

$$k_{ch} = \frac{1 - |\Gamma_x|}{1 + |\Gamma_x|} \quad (122)$$



Hình 8-48



Hình 8-49

Hình 8-49 cũng biểu diễn một họ vòng tròn với các trị số khác nhau của  $k_{ch}$ , ( $0 \leq k_{ch} \leq 1$ ).

Theo lý thuyết đường dây truyền sóng, thì trở kháng vào trên tiết diện bất kỳ trên dây bằng:

$$\underline{Z}_v = W \frac{1 + \underline{p}_{l_x}}{1 - \underline{p}_{l_x}}$$

và trị số trở kháng quy đổi của nó là:

$$\underline{Z}_v = \frac{\underline{Z}_v}{W} = \frac{1 + \underline{p}_{l_x}}{1 - \underline{p}_{l_x}} \quad (123)$$

Mặt khác ta có:

$$\underline{Z}_v = R_v + jX_v$$

và trị số quy hoá:

$$\underline{Z}_v = R'_v + jX'_v \quad (124)$$

Cân bằng biểu thức (123) và (124):

$$\underline{Z}_v = R'_v + jX'_v = \frac{1 + \underline{p}_{l_x}}{1 - \underline{p}_{l_x}} \quad (125)$$

Thay (122) vào (125):

$$\underline{Z}_v = R'_v + jX'_v = \frac{1 + \eta + j\xi}{1 - \eta - j\xi} \quad (126)$$

Biến đổi biểu thức (126):

$$\underline{Z}_v = R'_v + jX'_v = \frac{1 - \eta^2 - \xi^2}{(1 - \eta)^2 + \xi^2} + j \frac{2\xi}{(1 - \eta)^2 + \xi^2} \quad (127)$$

Từ (127) ta có:

$$R'_v = \frac{1 - \eta^2 - \xi^2}{(1 - \eta)^2 + \xi^2} \quad (128)$$

$$X'_v = j \frac{2\xi}{(1 - \eta)^2 + \xi^2} \quad (129)$$

Phương trình (128) là phương trình bậc hai đối với  $\eta$  và  $\xi$ . Để xác định dạng của phương trình này, thì đưa nó về dạng chính tắc:

$$\left( \eta - \frac{R'_v}{1 + R'_v} \right)^2 + \xi^2 = \frac{1}{(1 + R'_v)^2} \quad (130)$$

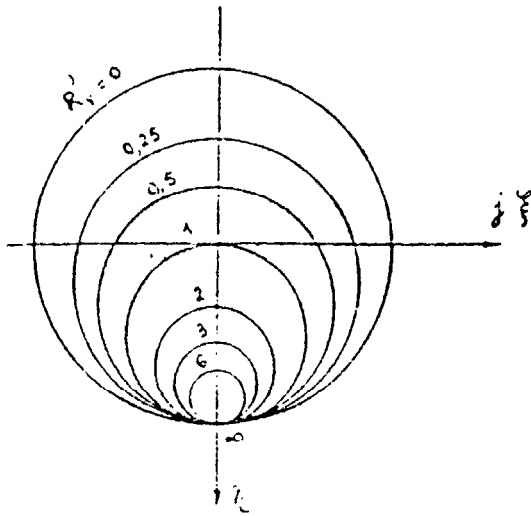
Đây là phương trình của đường tròn. Toạ độ tâm vòng tròn là:

$$\eta_0 = \frac{R'_v}{1+R'_v}; \xi_0 = 0$$

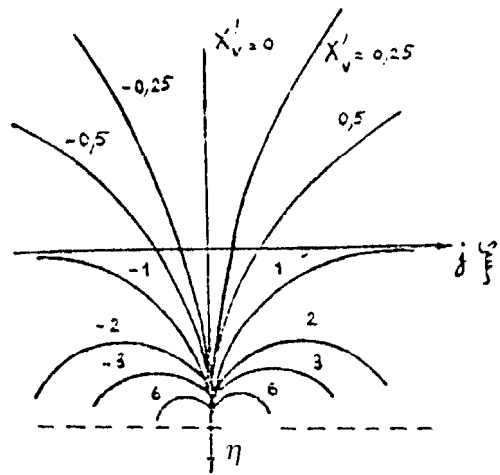
và bán kính của đường tròn:

$$r = \frac{1}{1+R'_v}$$

Hình 8-50 biểu diễn một họ vòng tròn này, với  $0 \leq R'_v \leq \infty$ , gọi là họ vòng tròn đẳng điện trở. Tâm của các đường tròn này nằm trên trục  $\eta$  và chúng có tiếp điểm chung với toạ độ  $\eta_c=1; \xi_c=0$ .



Hình 8-50



Hình 8-51

Phương trình (129) cũng là phương trình bậc hai đối với  $\eta$  và  $\xi$ . Biến đổi nó ta có:

$$(\eta-1)^2 + \left( \xi - \frac{1}{X'_v} \right)^2 = \frac{1}{(X'_v)^2} \quad (131)$$

Phương trình (131) cũng là phương trình vòng tròn. Toạ độ tâm của vòng tròn là:

$$\eta_0=1; \xi_c=\frac{1}{X'_v}$$

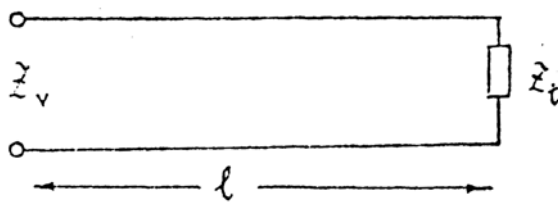
và bán kính của vòng tròn là:

$$r=\frac{1}{X'_v}$$

Hình 8-51 biểu diễn một họ vòng tròn này với:  $-\infty < X'_v < +\infty$ ; gọi là họ vòng tròn đẳng điện kháng. Các tâm của những vòng tròn này nằm trên một đường thẳng song song với trục  $\xi$  và đi qua điểm có tọa độ  $\xi_0=0$  và  $\eta_c=1$ , nghĩa là điểm tiếp xúc của tất cả các vòng tròn có dạng như phương trình (130). Điểm này cũng là tiếp điểm của vòng tròn có phương trình như (121).

Các vòng tròn này tương ứng với trị số âm của  $X'_v$  đều nằm ở phía trái của trục  $\eta$ , còn tương ứng với trị số dương thì ở phía phải của trục  $\eta$ .

Nếu phối hợp cả ba họ vòng tròn (các hình 8-49, 8-50 và 8-51), thì được một giản đồ gọi là giản đồ vòng tròn hay giản đồ Xmít. Ở vòng tròn ngoài cùng của giản đồ được khắc độ theo trị số góc pha hay theo tỷ số  $\frac{l}{\lambda}$  (hay  $\frac{\Delta l}{\lambda}$ ).

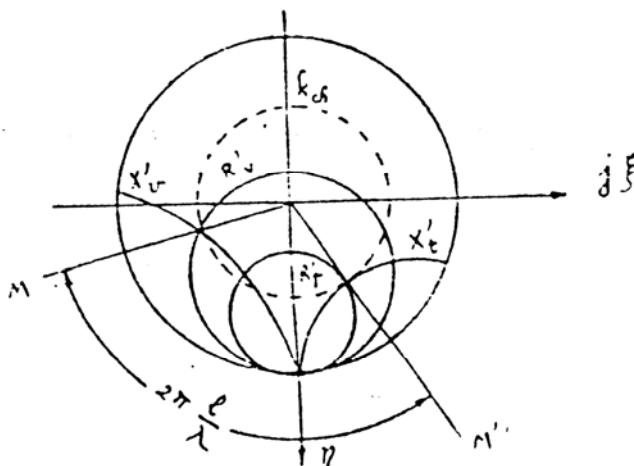


Hình 8-52

Như đã biết, giản đồ Xmít có nhiều ứng dụng trong tính toán về đường dây truyền sóng. Những ứng dụng cơ bản của giản đồ vòng tròn như: tính hệ số sóng chạy khi có tải; tính trở kháng vào tại một tiết diện bất kỳ trên đường dây truyền khi có tải; tính trở kháng tải; tính các điều kiện để phối

hợp trở kháng... Ở đây ta xét một vài ví dụ cụ thể về cách sử dụng giản đồ vòng tròn trong đo lường.

Ví dụ 1: Có một đoạn dây truyền mà chiều dài  $l$  đã biết, với trở kháng vào cũng đã biết  $Z_v = R_v + jX_v$ , như hình 8-52. Cần xác định trị số trở kháng tải.



Hình 8-53

Biết  $W$  của dây, có thể xác định:

$$R'_v = \frac{R_v}{W} \text{ và } X'_v = \frac{X_v}{W}$$

Biết chiều dài của bước sóng, có thể xác định được  $\frac{l}{\lambda}$ .

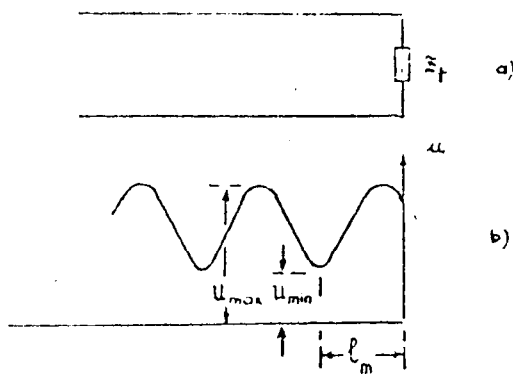
Trên giản đồ có điểm cắt nhau của hai vòng tròn tương ứng với các trị số  $R'_v$  và  $X'_v$  (xem hình 8-53). Qua giao điểm này có vòng tròn xác định trị số  $k_{ch}$ ; và cũng

tại giao điểm này xác định được góc pha, xác định bởi đường thẳng OM từ gốc toạ độ đi qua giao điểm đó. Muốn tìm trị số  $Z_t$ , thì cần quay đường OM một góc  $2\pi \frac{l}{\lambda}$ . Góc pha được tính từ nguồn đến tải, nên quay theo chiều ngược chiều kim đồng hồ.

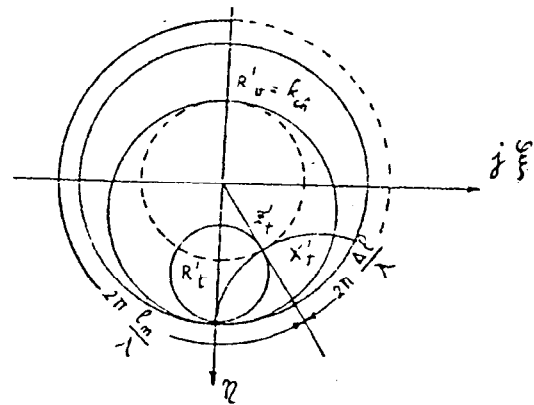
Vì sự biến đổi dọc theo dây trong trường hợp này là đi từ  $Z_v$  đến  $Z_t$ . Điểm cắt của đường OM với vòng tròn  $k_{ch}$  là điểm cần xác định vị trí. Qua điểm này có các vòng tròn có trị số  $R'_t$  và  $X'_t$ . Biết trị số W thì tính được:  $R_t = WR'_t$ . Do đó:

$$Z_t = R_t + jX_t.$$

Ví dụ 2: Hình 8-54 biểu diễn sự phân bố điện áp dọc theo chiều dài đường dây. Từ sự phân bố này cần xác định ra trị số trở kháng tải.



Hình 8-54



Hình 8-55

Do biết được khoảng cách từ tải đến điểm cực tiểu đầu tiên, nên có thể dùng những điều kiện đã biết ở các vị trí có điện áp cực tiểu là trở kháng vào của dây ở đây thuần trở và bằng:

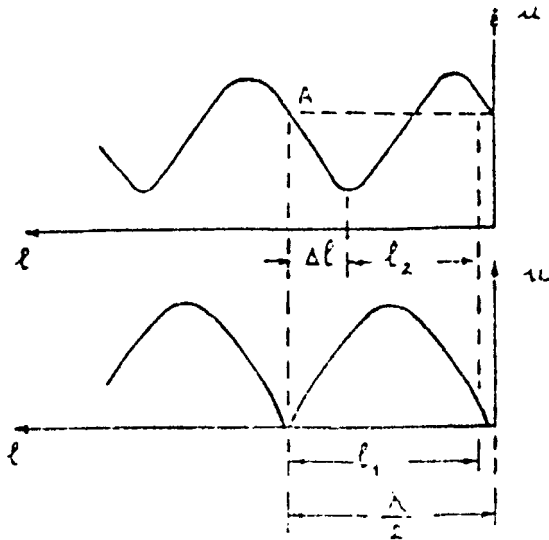
$$Z_v = R_v = Wk_{ch}$$

Trị số W đã biết, còn  $k_{ch}$  thì tìm được từ sự phân bố điện áp. Ta có  $R'_v = k_{ch}$ , vì  $X'_v = 0$  nên điểm tương ứng với  $Z_v$  được tìm là điểm cắt của trục  $\eta$  với vòng tròn có  $k_{ch}$  đã cho (hình 8-55). Để tìm được trị số của trở kháng tải, thì cũng như trên, quay đường kẻ từ tâm một góc bằng  $2\pi \frac{l_m}{\lambda}$  ngược chiều kim đồng hồ. Từ giao điểm của đường kẻ này với vòng tròn  $k_{ch}$ , cho phép tìm được trị số:

$$Z'_t = R'_t + jX'_t$$

Trị số trở kháng tải cần đo là trị số tìm được trên giản đồ nhân với trị số W của đường dây.

Với phương pháp đo này, có thể xác định được trị số trở kháng tải, nếu như xác định được dễ dàng đoạn  $l_m$ . Nhưng vì do cấu tạo nên thực tế khó đo được đúng đoạn này. Vì vậy còn có cách đo khác, bằng cách lợi dụng tính chất trở kháng dọc trên đường dây biến đổi lặp lại một cách có chu kỳ. Nghĩa là ở vị trí cách cuối dây một khoảng bằng  $\frac{\lambda}{2}$  thì trở kháng vào của dây bằng  $Z_t$ .



Hình 8-56

Song ở đây, cần xác định trở kháng vào của dây tại điểm A, cách tải một khoảng bằng  $\frac{\lambda}{2}$ , vì nó bằng trở kháng  $Z_t$ . Trong trường hợp này, sự dịch chuyển của đường OM trên giản đồ Xmit lại quay ngược với chiều ở ví dụ trên: nó quay theo chiều kim đồng hồ một góc bằng  $2\pi \frac{\Delta l}{\lambda}$ , vì sự dịch chuyển ở đây là theo chiều từ tải về nguồn.

Trị số trở kháng tải còn có thể tính được không cần dùng giản đồ vòng tròn, mà trực tiếp bằng các số liệu  $\lambda$ ,  $\Delta l$  và  $k_{ch}$ . Cách tính này như sau:

Biểu thức (125) cho phép tính  $Z_t$  khi  $l_x = 0$ , có thể viết dưới dạng:

$$R'_t + jX'_t = \frac{1 + \mathbf{p}_t}{1 - \mathbf{p}_t} \quad (132)$$

Mà ở đây có:

$$\mathbf{p}_t = p_t e^{j2\psi} = p_t \cos 2\psi + jp_t \sin 2\psi$$

Để xác định điểm cách cuối dây một khoảng bằng  $\frac{\lambda}{2}$ , thì dùng cách ngắn mạch đường dây. Cách thực hiện được biểu thị như trên hình 8-56, khi đường dây ngắn mạch, đọc trị số  $l_1$  trên thang độ; khi có tải mắc vào, thì điểm cực tiểu lại dịch sang vị trí có khoảng cách  $l_2$ ; ta xác định khoảng dịch chuyển  $\Delta l = l_1 - l_2$ .

Tại điểm cực tiểu ta cũng có  $Z_v = R_v = Wk_{ch}$ . Nếu sự phân bố điện áp dọc trên dây lại như ví dụ trên, thì trở kháng vào tại điểm cực tiểu sẽ được xác định cũng như điểm có  $R'_v = k_{ch}$ .

Do vậy biểu thức (132) là

$$R'_t + jX'_t = \frac{1 + p_t \cos 2\psi + jp_t \sin 2\psi}{1 - p_t \cos 2\psi - jp_t \sin 2\psi} \quad (133)$$

Cân bằng (133) và (126), rồi thực hiện biến đổi, trong đó có thay thế  $R'_v$  bằng  $R'_t$ ,  $X'_v$  bằng  $X'_t$ ,  $\eta$  bằng  $p_t \cos 2\psi$  và  $\xi$  bằng  $p_t \sin 2\psi$ . Khi đó, theo (128) có thể viết:

$$R'_t = \frac{1 - p_t^2 \cos^2 2\psi - p_t^2 \sin^2 2\psi}{(1 - p_t \cos 2\psi)^2 - jp_t^2 \sin^2 2\psi} = \frac{1 - p_t^2}{1 + p_t^2 - 2p_t \cos 2\psi} \quad (134)$$

và theo (129):

$$X'_t = -\frac{2p_t \sin 2\psi}{(1 - p_t \cos 2\psi)^2 - jp_t^2 \sin^2 2\psi} = \frac{2p_t \sin 2\psi}{1 + p_t^2 - 2p_t \cos 2\psi} \quad (135)$$

Thay ở các biểu thức (134) và (135), môđun của hệ số phản xạ bằng  $k_{ch}$  theo quan hệ:

$$p_t = \frac{1 - k_{ch}}{1 + k_{ch}}$$

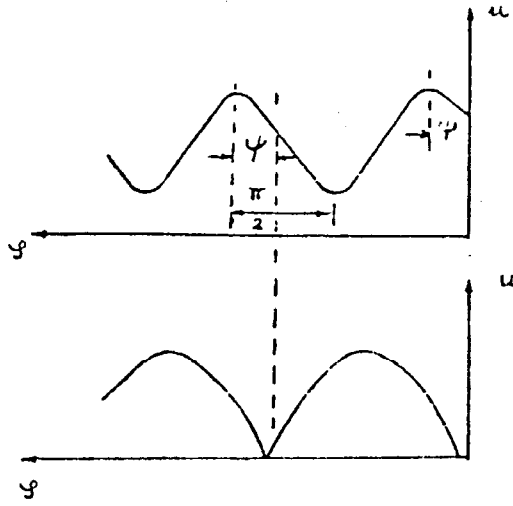
Ta có:

$$\begin{aligned} R'_t &= \frac{(1 + k_{ch})^2 - (1 - k_{ch})^2}{(1 + k_{ch})^2 + (1 - k_{ch})^2 - (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi} \\ &= \frac{2k_{ch}}{1 + k_{ch}^2 - (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi} \end{aligned} \quad (136)$$

$$\begin{aligned} X'_t &= \frac{2(1 - k_{ch}^2) \sin 2\psi}{(1 + k_{ch})^2 + (1 - k_{ch})^2 - (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi} \\ &= \frac{(1 - k_{ch}^2) \sin 2\psi}{1 + k_{ch}^2 - (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi} \end{aligned} \quad (137)$$

Trong các công thức (136) và (137), góc  $\psi$  được tính từ tải (xem hình 8-57). Song trên thực tế đo lường thì như cách đo đã giới thiệu ở trên, không lấy từ tải, mà là từ điểm cực tiểu đầu tiên khi ngắn mạch, và chỉ cần đo sự dịch chuyển của điểm cực tiểu.

Từ hình 8-57, góc  $\psi$  bằng:



Hình 8-57

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \psi_{\Delta} \quad (138)$$

ở đây,  $\psi_{\Delta} = 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda}$  là góc biến thiên của điểm cực tiểu tương ứng với biến thiên của chiều dài  $\Delta l = l_1 - l_2$  (xem hình 8-56).

Thay (138) vào (136) và (137), rồi nhân chúng với W ta được các công thức tính cho  $R_t$  và  $X_t$ :

$$R_t = \frac{2Wk_{ch}}{1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_{\Delta}} \quad (139)$$

$$X_t = \frac{W(1 - k_{ch}^2) \sin 2\psi_{\Delta}}{1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_{\Delta}} \quad (140)$$

ở đây:

$$\psi_{\Delta} = 2\pi \frac{\Delta l}{\lambda} \quad (141)$$

Cách xác định sai số của phép đo trở kháng này được tính như trong trường hợp tín sai số cho phép đo gián tiếp. Muốn tính, cần tìm đạo hàm riêng phần của  $R_t$  theo  $k_{ch}$  và  $\Delta l$ :

$$\frac{\partial R}{\partial k_{ch}} = 2W \frac{1 - k_{ch}^2 + (1 + k_{ch}^2) \cos 2\psi_{\Delta}}{[1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_{\Delta}]^2} \quad (142)$$

$$\frac{\partial R}{\partial \Delta l} = \frac{8\pi W k_{ch}}{\lambda} \frac{(1 - k_{ch}^2) \sin 2\psi_{\Delta}}{[1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_{\Delta}]^2} \quad (143)$$

Thay thế (142) và (143) vào công thức tính sai số đo trong trường hợp đo gián tiếp, ta có:

$$\begin{aligned} \sigma_R^2 = & \frac{[1 - k_{ch}^2 + (1 + k_{ch}^2) \cos 2\psi_{\Delta}]^2}{[1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_{\Delta}]^4} 4W^2 \sigma_k^2 + \\ & + \frac{(1 - k_{ch}^2)^2 \sin^2 2\psi_{\Delta}}{[1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_{\Delta}]^4} \frac{64\pi^2 W^2 k_{ch}^2 \sigma_l^2}{\lambda^2} \end{aligned} \quad (144)$$

Chia hai vế của (144), rồi biến đổi, ta có:

$$\rho_R^2 \frac{\sigma_R^2}{R_t^2} = \frac{\left[1 - k_{ch}^2 + (1 + k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta\right]^2 \rho_k^2 + 4\psi_\Delta \rho_k^2 (1 - k_{ch}^2)^2 \sin^2 2\psi_\Delta}{\left[1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta\right]^2} \quad (145)$$

ở đây:

$$\rho_k = \frac{\sigma_k}{k_{ch}}; \text{ và } \rho_l = \frac{\sigma_l}{\Delta l}$$

Đạo hàm riêng phần của  $X_t$  (biểu thức 90) theo  $k_{ch}$  và  $\Delta l$ :

$$\frac{\partial X_t}{\partial k_{ch}} = - \frac{4k_{ch} W \sin 2\psi_\Delta}{\left[1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta\right]^2} \quad (146)$$

$$\frac{\partial X_t}{\partial \Delta l} = - \frac{4\pi W (1 - k_{ch}^2)}{\lambda} \frac{1 - k_{ch}^2 + (1 + k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta}{\left[1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta\right]^2} \quad (147)$$

Thay (146) và (147) vào công thức tính sai số trong trường hợp đo gián tiếp, ta có:

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 = & \frac{16k_{ch}^2 W^2 \sin^2 2\psi_\Delta \sigma_k^2}{\left[1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta\right]^4} + \\ & \frac{\left[1 - k_{ch}^2 + (1 + k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta\right]^2}{\left[1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta\right]^4} \frac{16\pi^2 W^2 (1 - k_{ch}^2) \sigma_l^2}{\lambda^2} \end{aligned} \quad (148)$$

Chia hai vế của (148) cho  $X_t^2$  (như biểu thức (140)), rồi biến đổi, ta có:

$$\rho_x^2 = \frac{\sigma_x^2}{X_t^2} = \frac{\frac{16k_{ch}^2}{(1 - k_{ch}^2)^2} \rho_k^2 + \left(\frac{2\psi_\Delta}{\sin 2\psi_\Delta}\right)^2 \left[1 - k_{ch}^2 + (1 + k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta\right]^2 \rho_l^2}{\left[1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta\right]^2} \quad (149)$$

Các công thức (145) và (149) là công thức tính sai số khi đo trở kháng trong trường hợp phép đo tiến hành nhiều lần. Nếu phép đo chỉ tiến hành đo một lần thì cần tính sai số theo trị giá sai số cực đại; khi đó các công thức (145) và (149) có dạng là:

$$m_R = \frac{1}{1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta} X$$

$$\sqrt{\left[1 + k_{ch}^2 + (1 + k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta\right]^2 m_k^2 + 4\psi_\Delta^2 m_l^1 (1 - k_{ch}^2)^2 \sin^2 2\psi_\Delta}$$
(150)

$$m_X = \frac{1}{1 + k_{ch}^2 + (1 - k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta} X$$

$$\sqrt{\frac{16k_{ch}^2}{(1 - k_{ch}^2)^2} m_k^2 + \left(\frac{2\psi_\Delta}{\sin 2\psi_\Delta}\right)^2 \left[1 - k_{ch}^2 + (1 + k_{ch}^2) \cos 2\psi_\Delta\right]^2 m_l^2}$$
(151)

ở đây,  $m_k$  là sai số tương đối cực đại khi đo  $k_{ch}$

$m_l$  là sai số tương đối cực đại khi đo  $\Delta l$

Khi tính trở kháng bằng giản đồ vòng tròn, thì cách xác định sai số phải lưu ý tới sai số đọc trên giản đồ, nó cũng được xử lý giống như là sai số đọc trên các thiết bị chỉ thị.

#### 4. Vấn đề khắc độ dây đo

Thường trước khi đo cũng cần phải hiệu chỉnh khắc độ dây đo. Nội dung vấn đề hiệu chỉnh khắc độ bao gồm sự tìm hiểu đặc tính sử dụng của bộ chỉ thị và sự hiệu chỉnh vị trí đầu đo với trị số đọc đầu tiên của thang độ.

Thật vậy, khi dùng dây đo thì cần thiết phải biết khoảng cách giữa đầu dò và đầu dây đo. Trị số được trên thang đo tùy thuộc vào vị trí đầu tiên của thang với đầu dò và sự ghép của đầu dò với ống dẫn sóng. Các vị trí này không chính xác có thể làm cho nút sóng đầu tiên kể từ cuối dây bị dịch chuyển đi. Trị số của sự dịch chuyển này có thể xác định bằng cách nối tắt cuối đường dây lại; đo nửa chiều dài bước sóng trên đường dây bằng cách đo khoảng cách giữa hai nút điện áp khi dịch chuyển đầu dò. Sau đó dịch chuyển đầu dò tới vị trí nút điện áp đầu tiên kể từ cuối dây trên thang độ lúc này đọc được một đoạn  $l$  nào đó. Nếu vị trí đầu dò và thang độ đúng, thì đoạn  $l$  phải bằng nửa chiều dài bước sóng đã xác định ở trên. Nếu đoạn  $l$  khác nửa chiều dài bước sóng thì điểm nút sóng đã dịch chuyển một đoạn bằng  $\Delta l$ . Như vậy cần phải hiệu chỉnh lại các điểm đọc khác ở trên thang khắc độ, nhất là trường hợp cần đo khoảng cách so với đầu cuối dây đo. Muốn loại bỏ sự hiệu chỉnh này thì phải điều chỉnh lại vị trí ghép của đầu dò để không có sự dịch chuyển vị trí nút sóng đầu tiên như trên.

Vấn đề hiệu chỉnh đặc tính sử dụng của bộ chỉ thị xác định quan hệ giữa trị số chỉ thị của thiết bị và điện áp được kích thích vào đầu dò. Nội dung của vấn đề này là cần kiểm tra lại đặc tuyến tách sóng của bộ chỉ thị, để từ đó hiệu chỉnh được kết quả đo (như làm ở cuối mục đo hệ số sóng chạy của chương này). Cách xác định như sau: ngắn mạch

dây đo, rồi tiến hành đo để lập quan hệ  $\alpha=f(l)$ . Như chúng ta đã biết, khi đầu cuối của dây đo ngắn mạch, thì điện áp dọc theo đường dây không tổn hao sẽ biến đổi theo quy luật hình sin.

$$U_l = U_{\max} \sin 2\pi \frac{l}{\lambda}$$

ở đây,  $l$  là khoảng cách từ điểm cần nghiên cứu tới điểm nút điện áp;  $U_{\max}$  là điện áp tại vị trí đỉnh cực đại.

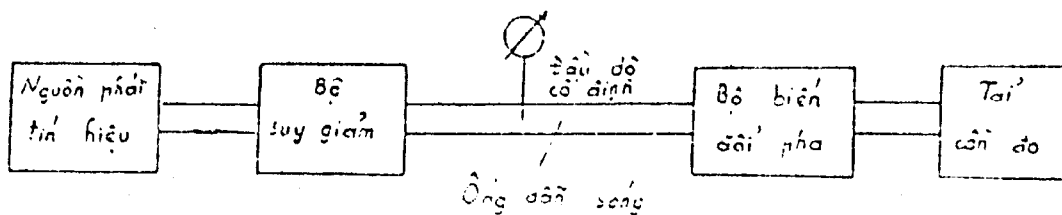
Đặt đầu dò ở vị trí đỉnh điện áp, điều chỉnh công suất đưa vào dây đo sao cho đồng hồ chỉ thị có độ lệch cực đại, sau đó biến đổi đầu dò những khoảng bằng nhau và ghi lại các trị số chỉ của đồng hồ. Có thể dùng phương pháp đo hai trị số quan hệ trên bằng cách khắc độ trục hoành theo  $\sin 2\pi \frac{l}{\lambda}$ , và khắc độ trục tung theo trị số chỉ  $\alpha$  của đồng hồ chỉ thị. Như vậy, trị số khắc độ cực đại theo trục hoành bằng 1. Cũng có thể lập đặc tuyến xác định quan hệ trên bằng cách khắc độ trục hoành theo  $\sin^2 2\pi \frac{l}{\lambda}$  và trục tung theo trị số chỉ thị của  $\alpha$ .

Từ các đặc tuyến này, ta có thể xác định được phạm vi sử dụng của bộ chỉ thị, hay hiệu chuẩn được bộ chỉ thị khi đặc tuyến này có dạng khác đường thẳng hay đường bình phương.

#### 8.2.4 Đo trở kháng bằng các dây đo có đầu dò cố định

Một số nhược điểm chủ yếu của dây đo có đầu dò di chuyển là có hiện tượng bức xạ qua khe rãnh của dây đo và yêu cầu về chế tạo cơ khí phải có độ chính xác cao. Do vậy, đặc biệt là ở ống dẫn sóng, khi đo ở tần số rất cao có những khó khăn đáng kể. Vấn đề trên có thể khắc phục được bằng cách dùng dây đo không có rãnh, mà đầu dò được phép cố định ở một vị trí trên dây.

Hình 5-58 là mạch đo trở kháng khi dùng dây đo có đầu dò cố định. Ở đây trở



Hình 8-58

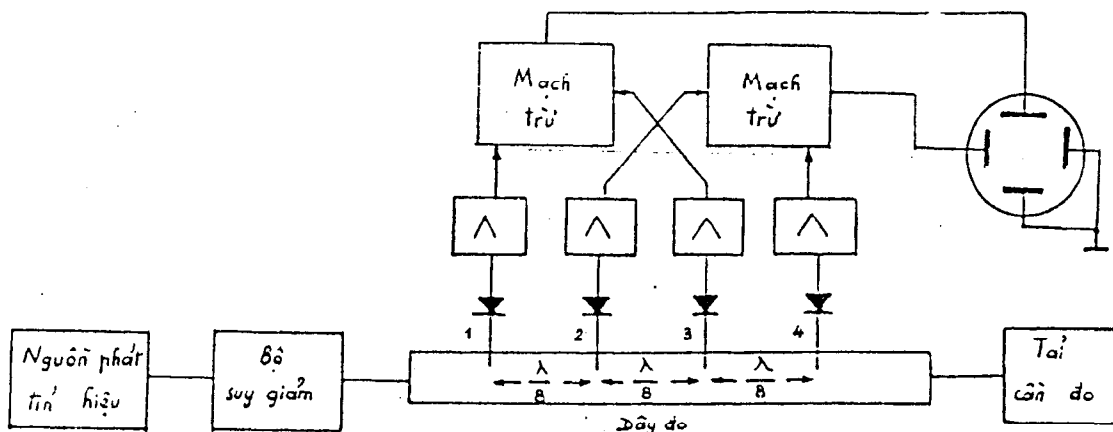
kháng cần đo được nối với dây đo qua bộ biến đổi pha, còn đầu dò để ghép điện trường trong ống sóng ra bộ chỉ thị thì được đặt cố định.

Như ta đã biết ở đây đo đầu dò di động, khi thay đổi đầu dò ta có thể xác định được điện trường phân bố tại cực điểm mà ở đó sóng tới và sóng phản xạ cùng pha hay ngược pha, nghĩa là các điểm có điện trường cực đại hay cực tiểu. Tuy nhiên, sự xác định điện trường cực đại và cực tiểu có thể không cần phải dịch chuyển đầu dò nếu như thực hiện biến đổi được chiều dài của đoạn dây giữa đầu dò và tải. Vì pha của hệ số phản xạ ở đầu dò biến đổi tương ứng với chiều dài đoạn dây, nên điện trường của sóng tới và sóng phản xạ ở điểm ghép đầu dò có thể cùng pha cũng như đối pha. Khi đó thì ở tại điểm ghép có trị số điện trường cực đại hay cực tiểu.

Trường hợp mạch đo như hình 8-58 thì sự biến đổi góc pha của hệ số phản xạ ở điểm ghép đầu dò được ghép thực hiện không phải bằng cách biến đổi chiều dài dây giữa đầu dò và tải cần đo, mà bằng bộ biến đổi pha. Khi biến đổi pha một góc bằng  $\varphi$  trên bộ biến đổi pha thì tương đương như sự tăng chiều dài dây nối giữ đầu dò và tải một khoảng cách bằng :

$$l = \frac{\varphi}{2\pi} \lambda \quad (152)$$

Nếu chỉ yêu cầu xác định hệ số sóng chạy hay môđun của hệ số phản xạ thì không cần biết góc quay pha ở trên bộ biến đổi pha. Khi đó chỉ cần biến đổi bộ dịch pha sao cho có được một trị số điện áp cực đại và cực tiểu trên đồng hồ chỉ thị nối với đầu dò. Dựa vào các trị số này có thể xác định được dễ dàng hệ số sóng chạy và môđun của hệ số phản xạ. Nếu yêu cầu cần biết cả góc pha của hệ số phản xạ, hay nói một cách khác là biết các thành phần điện trở và điện kháng của tải cần đo thì bộ dịch pha phải có khắc độ góc pha.



Hình 8-59

Một yêu cầu khá quan trọng khi nghiên cứu, khai thác hay điều chuẩn các thiết bị siêu cao tần là cần phải đo đạc được nhanh chóng các trị số trở kháng của tải. Nhất là khi trở kháng của tải thường không ổn định, vị trí như khi an-ten quay hay an-ten bị rung động. Như vậy, nếu dùng cách đo bằng dây đo có đầu dò di động thì không đáp ứng được yêu cầu về đo lường này. Trong trường hợp như vậy thì người ta thường dùng các thiết bị có khả năng tự động đo được trị số trở kháng. Một trong các thiết bị có khả năng tự động này như loại dây đo có bốn đầu dò cố định. Cấu tạo sơ đồ khối của loại này như hình 8-59.

Trên mạch đo ở đây, dây đo có bốn đầu dò cố định với khoảng cách từ vị trí đầu dò này với đầu dò kia bằng  $\frac{\lambda}{8}$ . Bộ chỉ thị của thiết bị này là ống tia điện tử, trên màn của ống tia có vẽ giản đồ Xmit. Từ các tọa độ trên giản đồ mà xác định được bởi vết sáng trên màn, có thể trực tiếp ghi nhận được trị số tải cần đo trong dải tần số của nguồn phát tín hiệu.

Nguyên lý công tác của thiết bị dây đo này là: Tại mỗi đầu dò có mắc nối tiếp một tách sóng tinh thể có đặc tuyến tách sóng bậc hai và bộ khuếch đại tần số thấp. Các điện áp trên tải tách sóng của các đầu dò lần lượt là:

$$\begin{aligned}U_1 &= a(1 + |\rho|^2 - 2|\rho|\cos 2\beta l_1) \\U_2 &= a(1 + |\rho|^2 + 2|\rho|\cos 2\beta l_2) \\U_3 &= a(1 + |\rho|^2 + 2|\rho|\cos 2\beta l_3) \\U_4 &= a(1 + |\rho|^2 - 2|\rho|\cos 2\beta l_4)\end{aligned}\quad (153)$$

ở đây,  $\alpha$  là hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào độ nhạy cảm của phần tử tách sóng và mức công suất trên đường dây;  $|\rho|$  là môđun của hệ số phản xạ;  $l$  là khoảng cách từ các đầu dò đến tải.

Điện áp từ đầu dò này tới đầu dò tiếp theo lệch pha nhau  $90^\circ$ . Điện áp giữa các đầu dò 1 và 3 cũng như giữa 2 và 4 lệch pha nhau  $180^\circ$ . Từ các biểu thức (153) có thể xác định được môđun của hệ số phản xạ:

$$|\rho| = \frac{\sqrt{(U_3 - U_1)^2 + (U_2 - U_4)^2}}{4a} \quad (154)$$

Để có được các hiệu số điện áp, trên sơ đồ mạch đo có thiết lập các mạch trừ. Điện áp đầu ra của mạch trừ có biên độ bằng nhau và được đưa tới hai cặp phiên của ống tia

điện tử chỉ thị. Hai điện áp hiệu này lệch pha nhau  $90^\circ$ , vì vậy vị trí hình học của điểm sáng trên màn sẽ ở trên một đường tròn mà bán kính của nó tương ứng với môđun của hệ số phản xạ  $|\rho|$ .

Cứ ứng với mỗi tần số của nguồn tín hiệu, thì có hệ số phản xạ tại tải là  $\rho = |\rho|e^{j\theta}$ , lúc đó trên màn ống tia sẽ xuất hiện một điểm sáng mà bán kính và góc trong tọa độ cực của chúng tỷ lệ với  $|\rho|$  và  $\theta$ . Vì quan hệ giữa hệ số phản xạ tại tải và trở kháng của tải đã biết, nên vị trí của điểm sáng này cũng đồng thời xác định được trị số của trở kháng tải  $\frac{Z_t}{W}$ . Các thành phần của trở kháng tải  $\frac{R_t}{W}$  và  $\frac{X_t}{W}$  được đọc trực tiếp từ giản đồ Xmit, mà giản đồ này đã được vẽ sẵn trên màn ống tia điện tử.

Để việc đo lường được dễ dàng hơn, thì thiết bị thường có thêm một nguồn điện áp chuẩn. Nguồn điện áp chuẩn này dùng để chuẩn thang độ trên màn ống tia điện tử về tọa độ. Với các núm điều chỉnh có khắc độ của nguồn chuẩn, nó cho cách đọc được dễ dàng trị số của trở kháng cần đo.

Với loại thiết bị phức tạp hơn thì còn có thêm một nguồn phát tín hiệu được điều chế tần số (tần số biến đổi có chu kỳ nhưng biên độ không đổi). Khi đó trên màn sẽ vẽ được một đường cong biểu thị đặc tính môđun và pha của hệ số phản xạ tại tải trong dải tần công tác của nguồn tín hiệu.

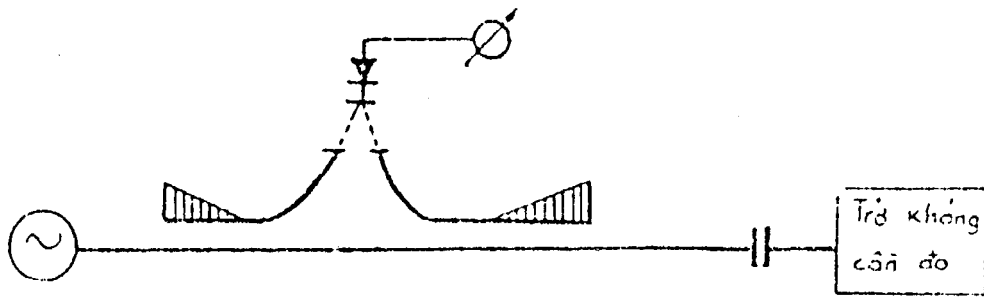
Để đảm bảo cho phép đo ít sai số, cần yêu cầu bốn bộ chỉ thị của bốn đầu đo phải đồng nhất; cũng như yêu cầu công suất ra của nguồn tín hiệu phải ổn định. Khi dùng nguồn tín hiệu là bộ phát điều tần thì đặc tính sử dụng của bốn bộ chỉ thị còn yêu cầu phải ít phụ thuộc vào tần số trong phạm vi của dải tần số biến đổi.

## 8.2.5 Đo trở kháng bằng phản xạ mét và bằng các cầu đo

### 1. Đo trở kháng bằng phản xạ mét

Đo trở kháng của tải ở siêu cao tần có thể thực hiện thông qua cách đo môđun của hệ số phản xạ bằng phản xạ mét và đo pha của hệ số phản xạ bằng thiết bị đo pha.

Về cấu tạo phản xạ mét thì phần tử cơ bản của nó là bộ phân mạch định hướng. Như ta đã biết (ở chương đo công suất) bộ phân mạch định hướng có thể dùng để kiểm tra độ phối hợp trở kháng, để đo hệ số phản xạ và đo hệ số sóng chạy. Một bộ phân mạch định hướng có thêm bộ phân mạch chỉ thị và tải nữa, thì cấu tạo thành một thiết bị có thể dùng đo trở kháng, gọi là phản xạ mét.



Hình 8-60

Sơ đồ khối cấu tạo của phản xạ mét loại dùng hai bộ phân mạch định hướng như hình 8-60. Ở đây, một bộ phân mạch định hướng dùng cho thành phần sóng tới, và một bộ dùng cho thành phần sóng phản xạ. Khi đo môđun của hệ số thành phần phản xạ thì mắc đầu tách sóng lần lượt vào các đầu ra của bộ phân mạch thông qua bộ chuyển mạch siêu cao tần. Đầu tiên, máy để đo thành phần sóng tới, rồi tiếp theo là đo thành phần sóng phản xạ. Từ các trị số chỉ thị của hai lần đo sóng tới  $\alpha_t$  và sóng phản xạ  $\alpha_{ph}$  mà xác định được môđun của hệ số phản xạ. Khi bộ chỉ thị của đặc tuyến tách sóng bậc hai, thì:

$$p = \sqrt{\frac{\alpha_{ph}}{\alpha_t}}$$

Phép đo này còn có thể thực hiện đơn giản hơn, nếu như bằng cách là ở đầu ra của bộ phân mạch có mắc thêm bộ suy giảm để điều chuẩn mức công suất ra. Khi đầu tách sóng mắc vào đầu ra của bộ phân mạch sóng tới, thì điều chuẩn bộ suy giảm để trị số chỉ thị bằng một đơn vị (ví dụ như tương ứng với vị trí cuối của thang đo). Sau đó, khi đầu đo mắc vào đầu ra của bộ phân mạch sóng phản xạ, thì trị số đo được  $\alpha_{ph}$  chính là hệ số phản xạ. Như vậy, nếu như đặc tuyến tách sóng là bậc hai thì:

$$p = \sqrt{\alpha_{ph}}$$

vì khi đó  $\alpha_t = 1$ .

Để xác định pha của hệ số phản xạ, thì giữa hai bộ phân mạch định hướng và tải cần mắc thêm một bộ dịch pha (xem hình 8-60). Trị số pha ở đây được đo bằng độ dịch chuyển vị trí cực tiểu của điện áp phân bố sóng đứng, và được đọc trên thang khắc độ của bộ dịch pha.

Từ trị số hệ số phản xạ đo được bằng phản xạ mét, ta có thể xác định được hệ số sóng đứng và trở kháng cần đo.

Ưu điểm của phương pháp đo bằng phản xạ mét là phép đo đơn giản, có thể trực tiếp đọc được trị số cần đo, không phải thông qua tính toán như các phương pháp đo

khác, ví dụ như phương pháp dây đo. Hơn nữa, đo bằng phản xạ mét cũng không yêu cầu có nguồn phát tín hiệu đặc biệt. Phép đo này lại còn có thể tiến hành đo ngay các nguồn công suất lớn, ví dụ của các đài, mặc dù bộ chỉ thị của nó chỉ là chỉ có thể dùng để đo công suất bé.

Nhược điểm của phương pháp đo bằng phản xạ mét là không trực tiếp đo pha được, và trị số đo còn bị phụ thuộc vào tần số của nguồn phát tín hiệu.

## **2. Đo trở kháng bằng phương pháp cầu**

Nguyên tắc đo trở kháng bằng phương pháp cầu đo ở siêu cao tần cũng giống như cầu đo ở tần số thấp, nó là phép đo so sánh một trở kháng cần đo với trở kháng mẫu. Để thực hiện so sánh được thì cần có hai phần tử là trở kháng mẫu và mạch cầu đo. Mạch cầu đo để mắc trở kháng mẫu và trở kháng cần đo, rồi để thực hiện cân bằng chúng. Ở tần số thấp thì vấn đề chế tạo trở kháng mẫu cũng như mạch cầu đo không gặp phải khó khăn gì nhiều, song ở tần số cao thì lại là vấn đề có nhiều khó khăn trong công nghệ. Chính vì vậy mà nó đã gây nên hạn chế về độ chính xác cho phương pháp đo này. Bởi vì độ chính xác của phép đo là phụ thuộc chủ yếu vào độ chính xác của trở kháng mẫu và độ chính xác về cấu tạo của mạch cầu đo, chứ hầu như không phụ thuộc vào đặc tính tách sóng của bộ chỉ thị.

Ưu điểm của phương pháp cầu đo là phép đo được thực hiện dễ dàng và nhanh chóng. Như đã biết, để thực hiện cân bằng cầu thì cần phải tiến hành hai sự điều chỉnh độc lập nhau. Hai sự điều chỉnh này để thực hiện phối hợp, cân bằng về môđun và cân bằng về pha của trở kháng. Ở mạch cầu đo thì thực tế được kết cấu hai bộ phận độc lập để thực hiện hai sự điều chỉnh này. Do vậy, ta có thể dễ dàng thực hiện được sự cân bằng cầu, và trở kháng đo có thể trực tiếp đọc được, chứ không cần thêm các thao tác xử lý tiếp tục các kết quả đo ví dụ như phương pháp dây đo.

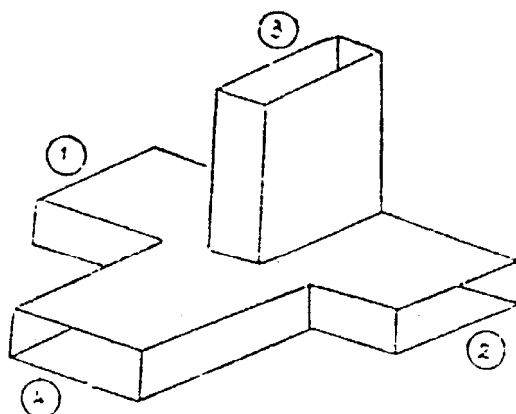
Nhược điểm chủ yếu của phương pháp cầu thì ngoài lý do đã nói về độ chính xác ở trên thì còn là phương pháp cầu bị hạn chế trong dải tần sử dụng.

Trong kỹ thuật đo trở kháng ở siêu cao tần thì có nhiều loại cầu đo. Ở phần này chúng tôi chỉ giới thiệu hai loại cầu có nhiều tính năng và phổ biến hơn cả, nó được dùng ở đoạn sóng cm là cầu kiểu T magic và cầu sáu nhánh.

### **a. Cầu T magic.**

Mạch cầu T magic có dạng cấu tạo như hình 8-61. Công dụng của cầu này là để đo trở kháng và kiểm tra sự phối hợp trở kháng của các phần tử trong mạch đường dây truyền sóng. (Đó chỉ là các công dụng cơ bản trong kỹ thuật đo trở kháng, chứ loại ống sóng được ghép theo kiểu này còn có nhiều ứng dụng quan trọng khác nữa).

Cầu này được dùng ở đoạn sóng cm. Với cách ghép nối các ống sóng như vậy (hình 8-61) thì có tác dụng như có sự phối hợp hoàn toàn và có sự cách ly hoàn toàn lẫn nhau giữa các nhánh.

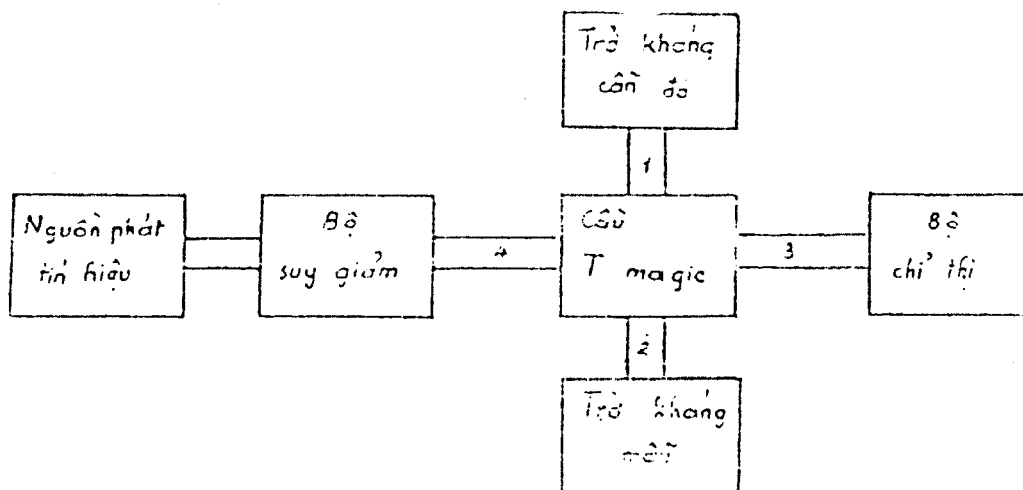


Hình 8-61

Nếu nhánh 1 và nhánh 2 có cùng chiều dài và tải có trở kháng bằng nhau, thì khi tín hiệu vào nhánh 4 sẽ không có tác dụng gì đối với nhánh 3. Nếu trở kháng của tải ở các nhánh 1 và 2 không bằng nhau thì nhánh 3 có tín hiệu đưa ra và cường độ của nó phụ thuộc vào mức độ khác nhau giữa các tải của các nhánh 1 và 2. Do vậy, một thiết bị như thế có thể dùng như một mạch cầu để đo trở kháng, cũng như dùng để hiệu chỉnh mức phối hợp của các phần tử riêng biệt ở trong ống

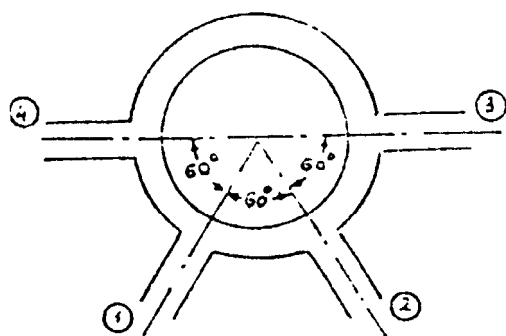
dẫn sóng.

Sơ đồ mạch đo trở kháng bằng cầu T magic được biểu thị như hình 8-62. Trên mạch này, trở kháng cần đo mắc ở nhánh 1; trở kháng mẫu mắc ở nhánh 2; dao động của nguồn phát tín hiệu đưa vào nhánh 4 thông qua bộ suy giảm. Tác dụng của bộ suy giảm là để giảm ảnh hưởng ghép của mạch đo tới nguồn phát tín hiệu. Đầu ra của nhánh 3 đưa tới bộ chỉ thị.



Hình 8-62

Nếu trở kháng cần đo bằng trở kháng mẫu thì đầu ra của nhánh 3 không có tín hiệu. Điều này có nghĩa là các trở kháng đã phối hợp tốt. Nếu trở kháng cần đo không bằng trở kháng mẫu thì đầu ra của nhánh 3 có tín hiệu và cường độ của nó tỷ lệ bậc nhất với hệ số phản xạ của trở kháng cần đo.



Hình 8-63

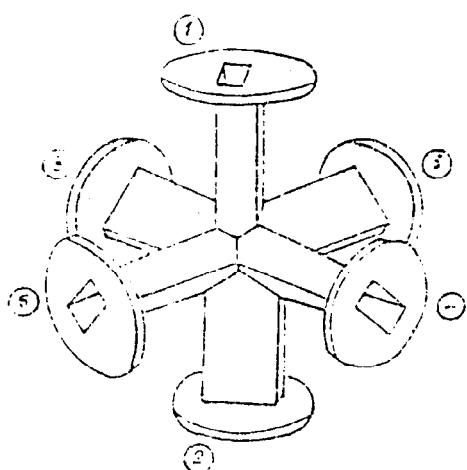
trực; có hình dạng một cấu xuyên như hình 8-63. Nó cũng được dùng để đo trở kháng ở đoạn sóng cm.

Để khắc độ thiết bị cầu thì người ta thực hiện bằng cách đoản mạch nhánh 1, khi đó thì hệ số phản xạ bằng 1. Như vậy, cầu T magic còn đo được cả hệ số phản xạ một cách đơn giản, nó không phụ thuộc vào tần số và có khả năng dùng để đo hệ số phản xạ có trị số nhỏ.

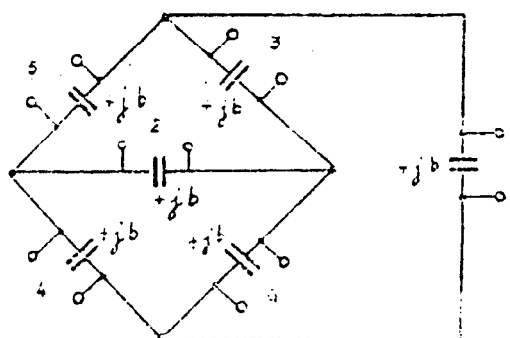
Một loại cầu khác cũng có tính năng giống như cầu T magic được cấu tạo bằng cách nối bốn đường ống một cách đồng

#### b. Cầu sáu nhánh

Hình 8-64 là sơ đồ mạch cầu sáu nhánh. Nó có tính năng tương tự như cầu đo trở kháng kiểu cầu bốn nhánh cân bằng. Mạch tương đương của cầu sáu nhánh này như hình 8-65. Ở đây, sáu nhánh ống sóng được nối chung lại, mỗi nhánh cầu tương đương như một điện kháng vì sự ảnh hưởng của trường phân bố tại vị trí trung tâm, đầu nối chung của sáu nhánh. Các điện kháng do cách nối của cầu gây nên với mỗi nhánh như vậy thì phụ thuộc vào tần số.



Hình 8-64



Hình 8-65

Khi đưa năng lượng vào nhánh 1 thì sẽ không có sự truyền năng lượng từ nhánh 1 sang nhánh 2 nếu có quan hệ trở kháng của bốn nhánh còn lại là:

$$Z_3 Z_4 = Z_5 Z_6 \quad (155)$$

hay

$$Z_3 = \frac{Z_6 Z_5}{Z_4} \quad (156)$$

Như vậy, nếu trở kháng  $Z_6$  có dạng  $1+jX$ , và các trở kháng  $Z_5$  và  $Z_4$  là các điện kháng biến đổi được thì câu có thể cân bằng với  $Z_3$  bất kỳ. Sở dĩ thế vì góc pha của trở kháng mẫu  $1+jX$  có thể thực hiện cân bằng với pha của trở kháng cần đo. Còn tỷ số điện kháng của các nhánh 4 và 5 thì có thể thực hiện để cho vế phải của biểu thức (156) có trị số bằng trở kháng cần đo  $Z_3$ .

## *Chương IX*

# **ĐO LƯỜNG, KIỂM NGHIỆM CÁC MẠCH ĐIỆN TỬ SỐ VÀ VI XỬ LÝ**

### **9.1 KHÁI NIỆM VÀ ĐẶC TÍNH CHUNG CỦA MẠCH SỐ**

Các thiết bị dùng mạch điện tử số và vi xử lý cũng cần kiểm tra để phán đoán hư hỏng như những thiết bị khác. Song có các lý do:

- Với các thiết bị tương tự, (mạch điện dùng kỹ thuật tương tự dựa trên cơ sở hàm thời gian và tần số), thì có thể dùng các thiết bị như ôxilô, máy phân tích phổ, vôn-mét điện tử để đo lường, kiểm tra.

- Thiết bị dùng kỹ thuật mạch điện tử số, có vi xử lý thì hoạt động trên cơ sở xử lý số liệu, nên không thể dùng các thiết bị đo thông thường như trên.

- Vấn đề kiểm tra là khá phức tạp, thậm chí việc sửa chữa còn khó khăn hơn là chế tạo một máy mới. Do thiết bị có dùng vi xử lý là cần nhiều thủ tục phức tạp, cần người điều hành hiểu biết sâu sắc về thiết bị.

Nếu những thủ tục kiểm tra không được thiết kế trước, thì hầu như không kiểm soát nổi hệ thống.

Để lập bộ kiểm tra thiết bị có hệ thống vi xử lý cần chú ý các đặc điểm:

- Hệ thống vi xử lý điều khiển lưu lượng thông tin số liệu, với tổ hợp những từ, số nhị phân có độ dài khác nhau một cách ngẫu nhiên, và thời gian tồn tại cũng thay đổi.

- Hệ thống có vi xử lý có cấu trúc rất phức tạp, có nhiều đường vận chuyển số liệu được điều khiển bởi chương trình. Chương trình có được thực hiện tốt hay không là nhờ quan hệ thời gian giữa sự thay đổi của tín hiệu đầu vào và đầu ra.

- Hệ thống vi xử lý có khác nhau cơ bản với các thiết bị đa năng chỉ có kết cấu mạch cứng. Ví dụ như muốn thay đổi một chức năng nào đó, thay vì thay đổi phần cứng mạch điện, thì lại thay đổi chương trình thuật toán chứa trong ROM.

- Tín hiệu thông tin số không lặp lại, tồn tại trong khoảng thời gian cực ngắn. Sự kiện xảy ra trong thiết bị có vi xử lý có tốc độ rất cao rất nhanh.

-Hệ thống vi xử lý có sử dụng bus hai chiều, nó càng phức tạp khi cần thông dịch xem nó là địa chỉ hay số liệu.

-Thiết bị kiểm tra phải kiểm soát một số rất lớn các hoạt động cơ bản.

Trong các thiết bị dùng vi xử lý, chương trình xử lý có thể lên tới hàng ngàn bước thực hiện.

Những hỏng hóc liên quan tới bộ vi xử lý là rất khó phát hiện, lại càng khó hơn khi muốn cô lập nó ra. Vì vậy, những thiết bị kỹ thuật kiểm tra truyền thống thông thường rất dễ sai lầm khi đo lường chúng.

Do những lý do trên, cùng với sự phát triển của vi xử lý, việc tìm ra phương tiện và kỹ thuật mới mà hữu hiệu cho việc kiểm tra chúng là vấn đề rất cần được nghiên cứu.

Những hình thức và phương pháp kiểm nghiệm đã được sử dụng là:

-Tự động chuẩn đoán (dự đoán có chương trình).

-Kiểm nghiệm thống kê.

-Phân tích logic.

-Phân tích theo nhận dạng (theo mã chỉ dẫn).

Ta sẽ xét các phương pháp trên.

#### *Phương pháp tự động chuẩn đoán*

Là phương pháp sử dụng một chương trình chuẩn đoán ở ngay bên trong của thiết bị, để gỡ rối, kiểm tra, phát hiện điểm hỏng.

Chương trình chuẩn đoán có thể tự động khởi động, hoặc được khởi động bởi người sử dụng.

Trong một vài loại thiết bị, nó lần lượt kiểm tra các chức năng, phần tử của thiết bị và đưa ra màn chỉ thị những thông báo trạng thái một cách vắn tắt và có thể tham khảo theo hướng dẫn của tài liệu sử dụng để phát hiện lỗi. Do vậy cũng ít cần sự phân tích về phương pháp này.

#### *Phương pháp kiểm nghiệm thống kê*

Là phương pháp dựa trên cơ sở coi hoạt động của thiết bị giống như tổ hợp liên tiếp các trạng thái đo. Vì vậy người ta không quan tâm lắm tới quá trình hoạt động, mà có thể tiến hành kiểm nghiệm hệ thống, các trạng thái khác nhau được mô phỏng giả.

Để làm được điều này, cần thiết đưa thiết bị bộ tạo chuyển mạch. Với sự trợ giúp của bộ phận này, có thể tạo ra tất cả các trạng thái có thể.

Việc lựa chọn một tổ hợp nhất định của các chuyển mạch cho phép đưa tín hiệu tới kênh địa chỉ và điều khiển tương ứng (ví dụ RAM), và kiểm tra khả năng làm việc của thiết bị. Cũng ít cần quan tâm nhiều đến phương pháp này.

## 9.2 CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH

### 9.2.1 Phương pháp phân tích logic

Phương pháp phân tích logic sử dụng ba loại thiết bị phân tích logic là:

- Bộ phân tích trạng thái logic.
- Bộ phân tích biểu đồ thời gian (định thời) logic.
- Bộ phát tín hiệu đồng bộ.

#### 1. Khái niệm

Trước khi đưa ra những nguyên tắc của thiết bị, cần xác định thêm các khái niệm *trạng thái logic* và *biểu đồ thời gian* của thiết bị điện tử số.

##### *Trạng thái logic*

Tín hiệu nhị phân dùng trong mạch điện tử số sử dụng hai mức điện áp rõ rệt: một mức được coi là logic “0”, mức kia là logic “1”.

Trong mạch điện thực tế, những mức này không được định nghĩa với trị số điện áp chính xác, mà nó sẽ ở trong một khoảng giá trị điện áp nào đó. Ví dụ như đối với họ vi mạch TTL LSI, mức logic 0 là trong khoảng điện áp nhỏ hơn 0,4V và mức điện áp lớn hơn 2,4V được coi là mức logic 1. Nói cách khác, logic 0 là mức thấp và logic 1 là mức cao, và cách quy ước này coi là *logic khẳng định* (logic dương). Nếu mức điện áp thấp được quy ước là mức 1, thì cách quy ước gọi mạch điện được xây dựng trên cơ sở của *logic phủ định* (logic âm).

Sự tổ hợp của một chuỗi các số các số logic 0 và 1 tại đầu ra của mạch số quyết định trạng thái của nó

##### *Biểu đồ thời gian của tín hiệu logic*

Trong quá trình phân tích hệ thống, gỡ rối chương trình, kiểm tra hoặc tìm lỗi của một hệ có vi xử lý, việc nghiên cứu và biểu diễn của dãy số liệu theo thời gian có thể nhiều khi cho biết về hệ thống hơn hẳn so với bảng trạng thái logic.

Những nhược điểm đặc trưng cho mạch tuyến tính cũng có thể xảy ra trong mạch số, ví dụ như méo sườn xung, sự không ổn định và nhấp nháy khi chuyển mạch.

### Ba dạng biểu diễn kết quả phân tích

Ta có thể biểu diễn thông tin nhận được trong việc thử nghiệm các mạch số dưới ba dạng sau:

- Bảng trạng thái.
- Biểu đồ thời gian.
- Các thẻ trạng thái

1. Hiển thị bảng trạng thái được dùng để phân tích trạng thái logic. Nó cho phép quan sát trạng thái logic dưới dạng bảng số:

Hệ cơ số 2

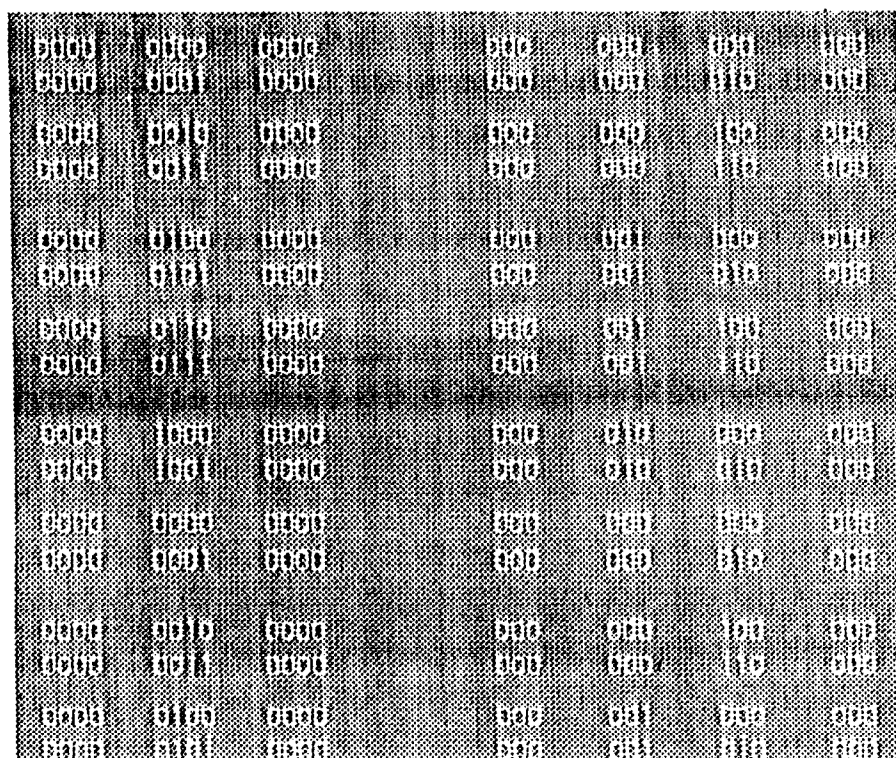
Hệ cơ số 8

Hệ cơ số 10

Hệ cơ số 16

Sự hiển thị này đôi khi được gọi là sự hiển thị phản ánh thông tin trong vùng số liệu.

Hình 9-1 là ví dụ quan sát được trong hiển thị bảng trạng thái.



|      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0000 | 0001 | 0010 | 0011 | 0100 | 0101 | 0110 | 0111 |
| 0010 | 0011 | 0100 | 0101 | 0110 | 0111 | 1000 | 1001 |
| 0100 | 0101 | 0110 | 0111 | 1000 | 1001 | 1010 | 1011 |
| 0110 | 0111 | 1000 | 1001 | 1010 | 1011 | 1100 | 1101 |
| 1000 | 1001 | 1010 | 1011 | 1100 | 1101 | 1110 | 1111 |
| 1010 | 1011 | 1100 | 1101 | 1110 | 1111 | 2000 | 2001 |
| 1100 | 1101 | 1110 | 1111 | 2000 | 2001 | 2010 | 2011 |
| 1110 | 1111 | 2000 | 2001 | 2010 | 2011 | 2100 | 2101 |
| 2000 | 2001 | 2010 | 2011 | 2100 | 2101 | 2110 | 2111 |
| 2010 | 2011 | 2100 | 2101 | 2110 | 2111 | 2200 | 2201 |
| 2100 | 2101 | 2110 | 2111 | 2200 | 2201 | 2210 | 2211 |
| 2110 | 2111 | 2200 | 2201 | 2210 | 2211 | 2300 | 2301 |
| 2200 | 2201 | 2210 | 2211 | 2300 | 2301 | 2310 | 2311 |
| 2210 | 2211 | 2300 | 2301 | 2310 | 2311 | 2400 | 2401 |
| 2300 | 2301 | 2310 | 2311 | 2400 | 2401 | 2410 | 2411 |
| 2310 | 2311 | 2400 | 2401 | 2410 | 2411 | 2500 | 2501 |
| 2400 | 2401 | 2410 | 2411 | 2500 | 2501 | 2510 | 2511 |

Hình 9-1

Theo trục ngang là trục biểu diễn các "từ".

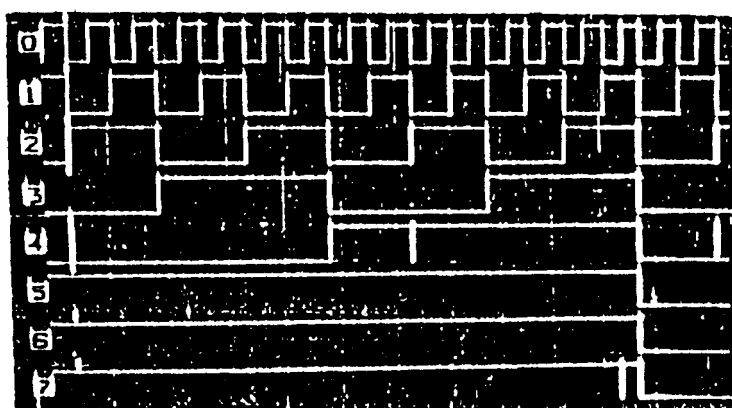
Theo trục dọc là trục biểu diễn các "sự kiện".

Ví dụ các sự kiện là dãy xung, được đưa tới đầu vào của bộ đếm và trạng thái logic của nó bị thay đổi.

Để tiện lợi trong khi đọc, ta chia các phần tử (gồm 12 bit) thành từng phần, mỗi phần chứa 3 bit (dạng cơ số 8) hoặc mỗi phần chứa 4 bit dạng cơ số 16.

2. Biểu đồ thời gian logic được biểu diễn thông qua màn hình tương tự như màn hình ôxilo nhiều kênh bình thường có thể quan sát đồng thời 8 biểu đồ thời gian cùng một lúc.

Hình 9-2 là ví dụ hiển thị biểu đồ thời gian logic.



Hình 9-2

### 3. Tám thẻ trạng thái

Khi biểu diễn dưới dạng "tám thẻ trạng thái", ta không dùng bảng bit mà dùng ma trận vạch sáng. Ở đây mỗi vạch tương ứng với một byte nhất định. Qua quan hệ giữa các vạch sáng trên màn hình, có thể quan sát quá trình xử lý số liệu trong mạch.

Hình 9-3 là ví dụ của tám thẻ phản ánh trạng thái bộ đếm thập phân được thiết lập từ 2 tầng đếm.

Bộ đếm thực hiện đếm số xung từ 0 đến 99 (trong hệ đếm thập phân). Hàng, được tạo nên bằng dãy các vạch tương ứng với các trạng thái của các bit già (nó thay đổi từ 0000 tới 1111). Cột tương ứng trạng thái của các bit trẻ (nó cũng thay đổi từ 0000 tới 1111).

Tại các giao điểm của đường ngang (hàng), tương ứng với các dãy bit già (ví dụ 0010), và đường dọc (cột) tương ứng với dãy các bit trẻ (ví dụ 1001) sẽ là vạch sáng thể hiện một từ xác định (ví dụ trên là 00101001).

Từ hình vẽ, vạch sáng ở góc trên cùng bên trái của tấm thẻ thể hiện từ 00000000. còn ở góc dưới cùng thể hiện từ 10011001.

Nếu sử dụng toàn bộ màn hình thì vạch sáng nằm ở góc sẽ thể hiện như sau:

0000 0000 góc trên bên trái.

0000 1111 góc trên bên phải.

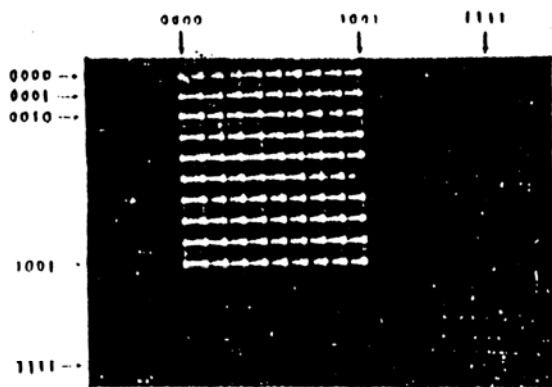
1111 0000 góc dưới bên trái.

1111 1111 góc dưới bên phải.

Cũng nhận thấy là độ sáng của hình ảnh tăng lên mỗi khi tới một điểm mới. Do vậy có thể đánh giá hướng của dòng thay đổi trạng thái.

Tấm thẻ trạng thái cho phép dễ dàng kiểm tra trạng thái chức năng của các mạch số làm việc tuần hoàn.

Ví dụ, trên tấm thẻ hình 9-3, giữa hàng thứ 6 và hàng thứ 7 bỗng mất một hàng sáng, điều đó chứng tỏ là bộ đếm đã chuyển từ trạng thái 01011001 (số 59) trong hệ đếm thập phân sang trạng thái 01110000 (số 70) mà lẽ ra phải là trạng thái 011000000 (số 60) trong trường hợp mạch số hoạt động tốt.



Hình 9-3

Khi dùng phân tích logic theo chương trình phương pháp hiển thị tấm thẻ trạng thái như miêu tả ở trên để kiểm tra hoạt động chương trình hệ thống vi xử lý, ta có được những dạng đặc biệt riêng. Nếu nắm vững cách phân biệt các dạng hình ảnh đặc trưng cho từng hệ thống vi xử lý riêng, thì có thể dễ dàng kiểm tra quá trình hoạt động của chương trình.

## 2. Thiết bị phân tích trạng thái logic (Logic State Analyzers)

Để có thể phân tích, tìm ra hỏng hóc một cách có hiệu quả. Bộ phân tích trạng thái logic (đôi khi còn gọi là bộ phân tích đồng bộ) phải có những yêu cầu sau :

1- Số liệu cần phải được đọc và hiển thị dạng nhị phân, để dễ đọc mà không cần bất cứ một sự thông dịch nào.

2- Có đủ đầu vào để trong một thời điểm có thể cùng lúc hiển thị, kiểm tra toàn bộ một từ số liệu.

3- Một từ kích khởi phải được yêu cầu bởi một từ số liệu riêng, duy nhất trong một chuỗi vào.

4- Phải có một sự trễ cần thiết để đủ thời gian chuyển số hiển thị đến từ cần tham khảo.

5- Phải có khả năng lưu trữ để lưu giữ các sự kiện xảy ra.

6- Việc nối máy phân tích vào hệ thống phải đảm bảo không ảnh hưởng đến những tham số của hệ thống hoặc làm thay đổi sự hoạt động của chương trình.

7- Đầu đo cần được nối với máy phân tích một cách chắc chắn nhất trong suốt quá trình kiểm tra, đo thử.

8- Màn hiển thị phải dễ đọc dễ hiểu.

Như vậy, có nghĩa là: Số liệu phân tích được đưa vào thể hiện dưới dạng mã nhị phân, tức là dưới dạng tổ hợp các bit ; cần có đủ số lượng các đầu vào ra song song để có thể cho phép kiểm tra đồng thời một từ nguyên vẹn; vấn đề điều khiển số liệu ở đầu vào và phân định chu kỳ trong thiết bị thử nghiệm cần được tiến hành bằng một xung đồng bộ duy nhất; khoảng thời gian cần thiết để xử lý thiết để xử lý số liệu của thiết bị phân tích cần phải rất ngắn; việc kết nối thiết bị phân tích với mạch cần khảo sát phải không làm ảnh hưởng tới các thông số của mạch cũng như không đòi hỏi phải thay đổi chế độ hay chương trình làm việc của mạch; đầu vào của thiết bị phải có cấu trúc sao cho có thể dễ dàng kết nối với mạch cần khảo sát; thiết bị phải có màn hình hiển thị để quan sát và nhận dạng để xử lý thông tin.

Theo yêu cầu thứ hai đã có nhà sản xuất thiết bị phân tích trạng thái có thể 8, 16, 32 hay 64 kênh.

Hình 9-4 là sơ đồ ví dụ cấu trúc của thiết bị phân tích 16 kênh.

Hoạt động của thiết bị sẽ được đồng bộ bởi đầu vào đồng bộ trong suốt quá trình kiểm tra, đo thử (có thể lấy tín hiệu đồng bộ từ một máy phát tín hiệu đồng hồ tạo xung nhịp).

Sau khi thiết bị phân tích được bật nguồn, đầu vào 1 và 2 của mạch AND nhận được logic 1 (mức cho phép) từ đầu ra 2 của bộ tạo tín hiệu điều khiển và từ đầu ra của bộ chia tần số. Do đầu vào 1 của AND2 sẽ nhận được mức cho phép hoạt động.

Sử dụng bàn phím, người đo kiểm tra sẽ vào một từ đại diện cho trạng thái logic bình thường của mạch được thử. Từ này sẽ được sử dụng để so sánh với từ sẽ xuất hiện ở đầu vào của bộ phân tích. Từ khoá này sẽ được đưa vào các đầu vào của bộ so sánh từ.

Từ mã được phân tích (từ máy, từ số liệu) sẽ được đưa vào thiết bị phân tích bằng đầu vào 16 đường song song (từ đầu vào 0 đến đầu vào 15) của các đầu vào bộ so sánh. Bộ so sánh này cũng có một đầu vào khác để đưa vào mức điện áp ngưỡng. Nó sẽ quyết định mức ngưỡng giữa mức 0 và mức 1 (ví dụ nó sẽ là 2,4v. Từ số liệu này sẽ ra tại đầu ra của 16 bộ so sánh để đến các đầu vào 2 của bộ so sánh từ, ở đây nó so sánh với các từ khoá và cũng tới các đầu vào D của thanh ghi bộ nhớ, được đánh số từ 1 tới 15.

Nếu từ số liệu qua đầu vào của bộ phân tích là khác với từ khoá để so sánh (từ bàn phím), thì sau mỗi xung nhịp (xung đồng hồ) nó qua cổng AND2 tới đầu vào C của thanh ghi bộ nhớ, sẽ được ghi vào thanh ghi tương ứng với thứ tự bit của từ số liệu. Từ số liệu được ghi trong 16 bộ nhớ dưới dạng song song và sẽ được dịch chuyển thay thế tới vị trí tiếp theo mỗi khi có xung đồng hồ tới nếu như từ số liệu sau vẫn chưa giống với từ khoá. Nó sẽ lặp đi lặp lại cho đến khi một từ số liệu ở cổng 2 giống hệt với từ số liệu ở tại cổng 1 của bộ so sánh từ.

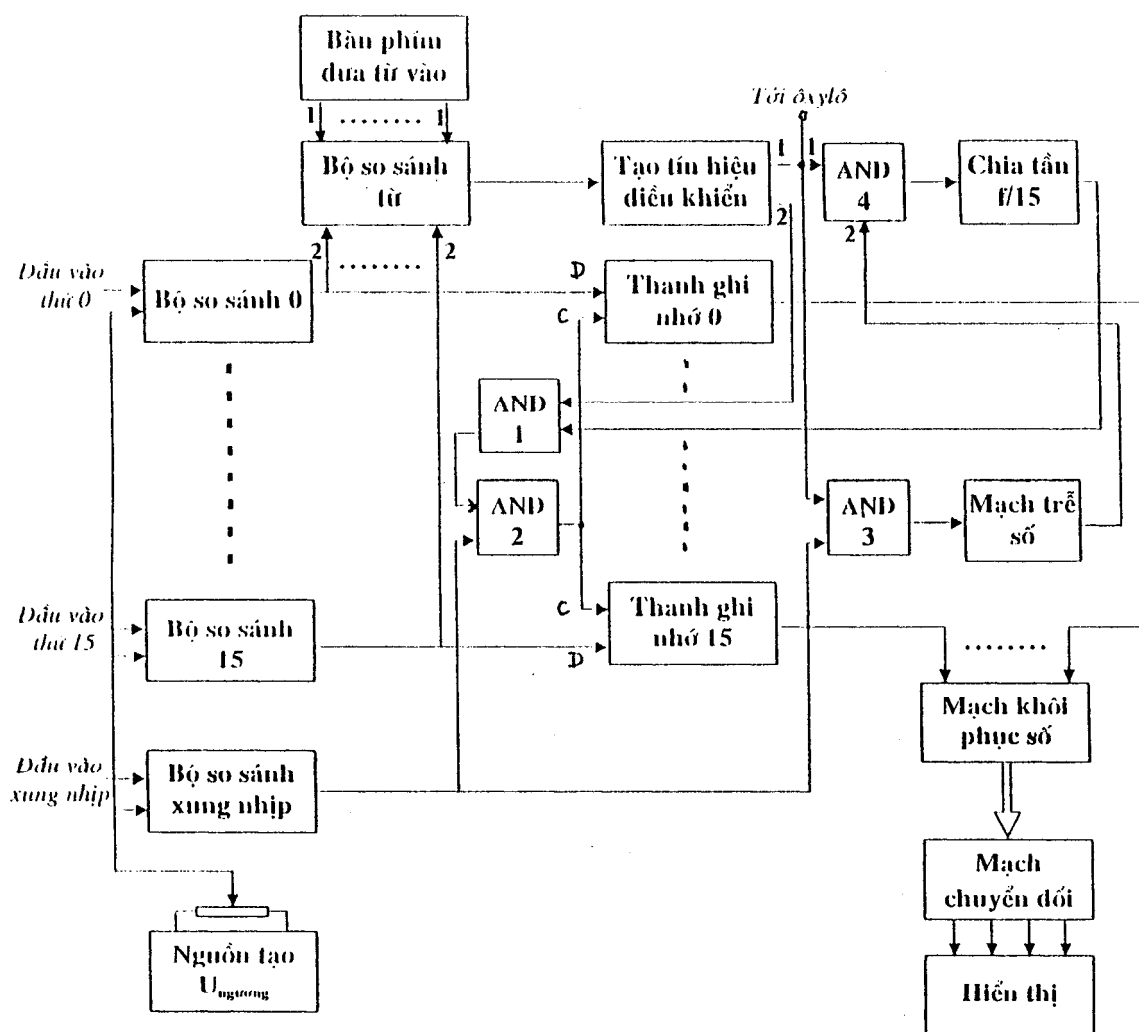
Khi từ số liệu giống như từ khoá, bộ so sánh sẽ phát ra 1 xung đếm khởi động bộ tạo tín hiệu điều khiển đưa tín hiệu ra từ cổng 1 tới cổng 1 của AND3 và AND4. Điều này cho phép xung đồng hồ qua AND3 tới đầu vào của mạch trễ và qua AND4 tới đầu vào của bộ chia 15.

Khi mạch trễ ở chế độ tắt, sau 15 xung đồng hồ, (tính từ lúc đồng bộ tại bộ so sánh từ), bộ chia 15 phát tín hiệu khoá mạch AND1 và AND2.

Kết quả là việc lưu giữ trên thanh ghi bộ nhớ bị dừng lại. Nội dung của thanh ghi bộ nhớ tại thời điểm đó sẽ là từ khoá và 15 từ tiếp theo sau kể từ thời điểm từ số liệu trùng với từ khoá.

Có một kiểu khác gọi là kiểu “hiển thị kết thúc”. Khi bộ so sánh từ phát hiện tín hiệu đồng bộ, đầu hai của bộ điều khiển sẽ phát tín hiệu logic 0, nó sẽ khoá AND1 và AND2. Nó làm dừng lại quá trình lưu trữ trên thanh ghi. Bây giờ trên thanh ghi có từ lưu trữ giống như từ khoá và có thể gọi là 15 từ trước khi đồng bộ. Trên màn hình hiển thị, từ khoá sẽ là từ cuối cùng. Kiểu này cực kỳ có ích trong xử lý hỏng hóc bởi nó cho ta biết tại làm sao dẫn tới hỏng hóc, hơn là chỉ cho biết kết quả của sự hỏng hóc như kiểu trước.

Còn một kiểu thứ ba nữa là sử dụng mạch trễ như hình 9-4. Khi mạch trễ được sử dụng, ta có thể thay đổi được vị trí thứ tự của từ khoá để có thể biết được chuyện gì xảy ra trước và sau nó.



Hình 9-4

Tóm lại, nhìn qua thấy phương pháp này khá là dễ dàng trong việc kiểm tra hệ thống vi xử lý. Thực tế là không hẳn như vậy, bởi vì nó đòi hỏi người sử dụng phải có hiểu biết sâu sắc về hệ thống được kiểm tra. Vì lý do đó, phân tích logic chỉ được thực hiện nhiều trên những hệ thống dùng toàn mạch điện tử số hơn là kiểm tra, đo thử những hệ thống dùng vi xử lý. Nó cũng được dùng nhiều ở trong phòng thí nghiệm, còn lại rất ít tại những nhà máy xưởng sửa chữa, bảo hành.

### **3. Thiết bị phân tích biểu đồ thời gian logic (*Logic Timing Analyzers*)**

Thiết bị phân tích trạng thái logic cho phép xác định hiện tượng (và đôi khi ngay cả vị trí) xuất hiện hư hỏng của mạch số được thử nghiệm. Tuy nhiên sau đó vẫn cần đòi hỏi tìm hiểu thêm về tính chất và nguyên nhân của hư hỏng. Lỗi sai sót thường xuất hiện do xung nhiễu trong thời gian ngắn; do đầu vào tín hiệu không đồng thời, mất đồng bộ, do câu lệnh sai. Trong những tình huống đó, việc sử dụng thiết bị phân tích biểu đồ thời gian logic (cũng còn có thể gọi là thiết bị phân tích lệch đồng bộ) là rất hiệu quả. Nó cũng đặc biệt tiện lợi để kiểm tra các thiết bị giao diện chuẩn đối với các thông tin trên kênh truyền điều khiển, các số liệu được truyền qua các thiết bị vào/ra.

Khi phân tích theo thời gian, phải khảo sát tín hiệu và các quá trình có khoảng thời gian rất nhỏ so với thời gian của một từ, vì vậy tần số làm việc, tốc độ lấy mẫu của thiết bị phân tích biểu đồ thời gian logic càng lớn hơn nhiều so với thiết bị trạng thái logic khi cùng làm việc với một dạng số liệu.

Trong đa số các trường hợp thì các thiết bị phân tích biểu đồ thời gian logic đều có khả năng làm việc trong cả hai chế độ: đồng bộ và dị bộ (không đồng bộ). Cách thứ hai có tốc độ làm việc cao hơn. Tốc độ cực đại phụ thuộc vào yêu cầu của thiết bị phải làm việc. Người ta đã sản xuất các thiết bị có tốc độ nhanh với tần số trên 20, 50, 100 và 200 MHz. Thiết bị có tốc độ nhanh là vô cùng cần thiết để khảo sát hệ thống vi xử lý. Ví dụ với vi xử lý Intel 8080A, mặc dù thời gian nhịp là 500ns (tần số nhịp là 2 MHz), nhưng thông tin trạng thái được truyền theo đường số liệu 8 bit, chỉ cho phép xử lý trong khoảng thời gian rất ngắn, bằng chu kỳ đồng bộ của hệ thống, nghĩa là cỡ 50ns. Trong khoảng thời gian này có một từ trạng thái (8 bit) qua và các trạng thái logic thay đổi ở hai đường đồng bộ. Để phân tích biểu đồ thời gian tương ứng với tín hiệu nêu trên, khoảng thời gian 50 ns phải được chia thành 5 phần, để mỗi phần là 10 ns. Rõ ràng điều này chỉ thực hiện khi tốc độ lấy mẫu (thời điểm tác động) của thiết bị phân tích không nhỏ hơn 100 MHz. Có thể bổ sung thêm trong ví dụ đã nêu là kể cả với các hệ vi xử lý có tốc độ thấp (1 - 2 MHz), thời gian lưu giữ số liệu vào và ra không thể vượt quá 10 ns. Vì vậy, để phân tích quan hệ thời gian giữa tín hiệu của vi xử lý và các vi mạch ngoại vi nhất thiết phải có thiết bị phân tích có tốc độ nhanh. Ưu điểm rất quan trọng của phân tích thời gian logic mà không thể có ở phân tích trạng thái logic là khả năng phát hiện tín hiệu giả, thường là những xung gây nhiễu có độ rộng xung rất nhỏ trong dòng số liệu. Nó có thể phá vỡ hoạt động chức năng thông thường của hệ thống số mà trong chế độ hoạt động đồng bộ khó có thể phát hiện được. Trong một số các thiết bị phân tích trạng thái logic, có thể thấy các mạch flip-flop đặc biệt, cho phép ghi lại các xung giả (thậm chí có thể phát hiện các xung có độ rộng 5 ns). Những mạch như vậy, các xung hẹp sẽ được mở rộng tới mức gần bằng khoảng thời gian lấy mẫu, điều đó cho phép phát hiện xung giả một cách đảm bảo.

Để dễ dàng quan sát số liệu, ở bộ phân tích biểu đồ thời gian, bộ hiển thị của nó có sử dụng con trỏ. Con trỏ là một vạch thẳng đứng, có thể di chuyển con trỏ dọc theo màn hình và dừng lại ở bất kỳ điểm mong muốn khảo sát nào. Với sự trợ giúp của con trỏ ta dễ dàng xác định sự dịch chuyển tương đối theo thời gian của một điểm trên biểu đồ thời gian với các điểm khác. Ở một vài thiết bị phân tích khác, lại có hai con trỏ như vậy, nó cho phép đo trực tiếp được khoảng thời gian giữa hai điểm giữa hai con trỏ mà không cần phải tính toán gì thêm.

Bộ phân tích thời gian logic được thiết kế cùng với một ôxilô hay được thiết kế phối ghép với một ôxilô riêng, để có thể hiển thị biểu đồ thời gian. Có loại được thiết kế hiển thị một bảng biểu đồ thời gian, tùy theo yêu cầu sử dụng.

### **9.2.2. Phương pháp phân tích nhận dạng mã địa chỉ (Signature Analysis)**

Như đã phân tích, việc thử nghiệm đối với hệ thống vi xử lý và các thiết bị số có dùng vi xử lý là công việc rất khó khăn. Thiết bị phân tích trạng thái logic đã khảo sát ở phần trên chỉ giải quyết được một phần của vấn đề. Nó giúp sự đổi theo từng bước công việc của bộ vi xử lý thông qua các chương trình thực hiện. Tuy nhiên quá trình tìm kiếm và phát hiện nguyên nhân hư hỏng đòi hỏi nhiều công sức và khả năng có thể phân tích tốt được những kết quả, những hình ảnh thu được. Ta cũng không loại trừ hoàn toàn khả năng sử dụng của các máy đo truyền thống trong lĩnh vực thời gian hay lĩnh vực tần số, như ôxilô, máy phân tích phổ, vôn-mét điện tử,... Song để xác định được nguyên nhân hư hỏng gây nên bởi vi xử lý hoặc các phần mạch nối ghép với nó thông qua giao diện thì mất quá nhiều thời gian, công sức và cũng cần có những chuyên gia trình độ cao.

Một trong những cách hiệu quả nhất để tìm kiếm hư hỏng trong đa số các thiết bị số và đặc biệt trong các thiết bị có dùng vi xử lý là sử dụng thiết bị phân tích mã chỉ dẫn (Signature Analysis). Nguyên tắc và việc chế tạo các thiết bị này cũng mới được hình thành trong thời gian gần đây.

Tên gọi phân tích “mã chỉ dẫn” được bắt nguồn từ “chữ ký” (signature), nó có rất nhiều nghĩa cho nhiều lĩnh vực khác nhau như âm nhạc, in ấn,... song với nghĩa đơn giản nhất là chữ ký của người mang tên chữ ký đó. Trong vấn đề tìm kiếm hư hỏng của thiết bị số, thì “mã chỉ dẫn” là một số được cấu thành từ 4 ký hiệu chữ và số của hệ mã cơ số 16, được đặc trưng duy nhất cho từng điểm nút của thiết bị được khảo sát.

#### **1. Mô tả bản chất của sự phân tích**

Phân tích mã chỉ dẫn là việc so sánh sự trùng hợp giữa mã chỉ dẫn thực của điểm nút cụ thể nào đó được phản ánh trên màn hình phân tích với mã chỉ dẫn của điểm nút này hoặc với bảng hướng dẫn sử dụng thiết bị khảo sát. Sự không trùng hợp của mã chỉ

dẫn chứng tỏ về sự hư hỏng, hoạt động chức năng không bình thường của thiết bị. Ví dụ, nếu trên màn hình xuất hiện mã chỉ dẫn F865, còn trên mạch tại điểm nút đã cho thì cần phải có mã chỉ dẫn A953, như vậy rõ ràng là đã có hư hỏng. Để tìm hiểu nguyên nhân, ta có thể tiến hành khảo sát tiếp các điểm nút khác. Bằng cách đó có thể kết luận bộ phận hư hỏng là bộ phận mà ở đầu ra của nó, mã chỉ dẫn thực và mã chỉ dẫn mẫu khác nhau, trong khi ở đầu vào của nó, mã chỉ dẫn thực và mã chỉ dẫn mẫu trùng hợp nhau.

Thoạt nhìn bên ngoài, quy trình phân tích mã chỉ dẫn rất giống với quy trình phát hiện hư hỏng trong các thiết bị tương tự. Trên sơ đồ nguyên lý của thiết bị tương tự tại các điểm đặc trưng, người ta chỉ ra hình dạng của tín hiệu và giá trị điện áp tại điểm đó. Có thể dùng ôxilo để quan sát hình dạng của tín hiệu và dùng vôn-mét điện tử để đo giá trị điện áp, qua đó xác định thiết bị khảo sát có làm việc bình thường hay không.

Đối với thiết bị có chương trình, rất tiếc không thể sử dụng hệ thống kiểm tra dựa trên cơ sở so sánh tình trạng trên ôxilo được vì không thể phân biệt được dãy các giá trị nhị phân trên màn hình. Hơn nữa trong các thiết bị dùng vi xử lý, không có sự tương ứng đồng nhất giữa đặc tính của thiết bị với những điểm nút cụ thể.

Do đó, bộ phân tích mã chỉ dẫn là một công cụ thiết bị rất hiệu quả cho mục đích trên.

## **2. Nguyên lý tạo lập mã chỉ dẫn**

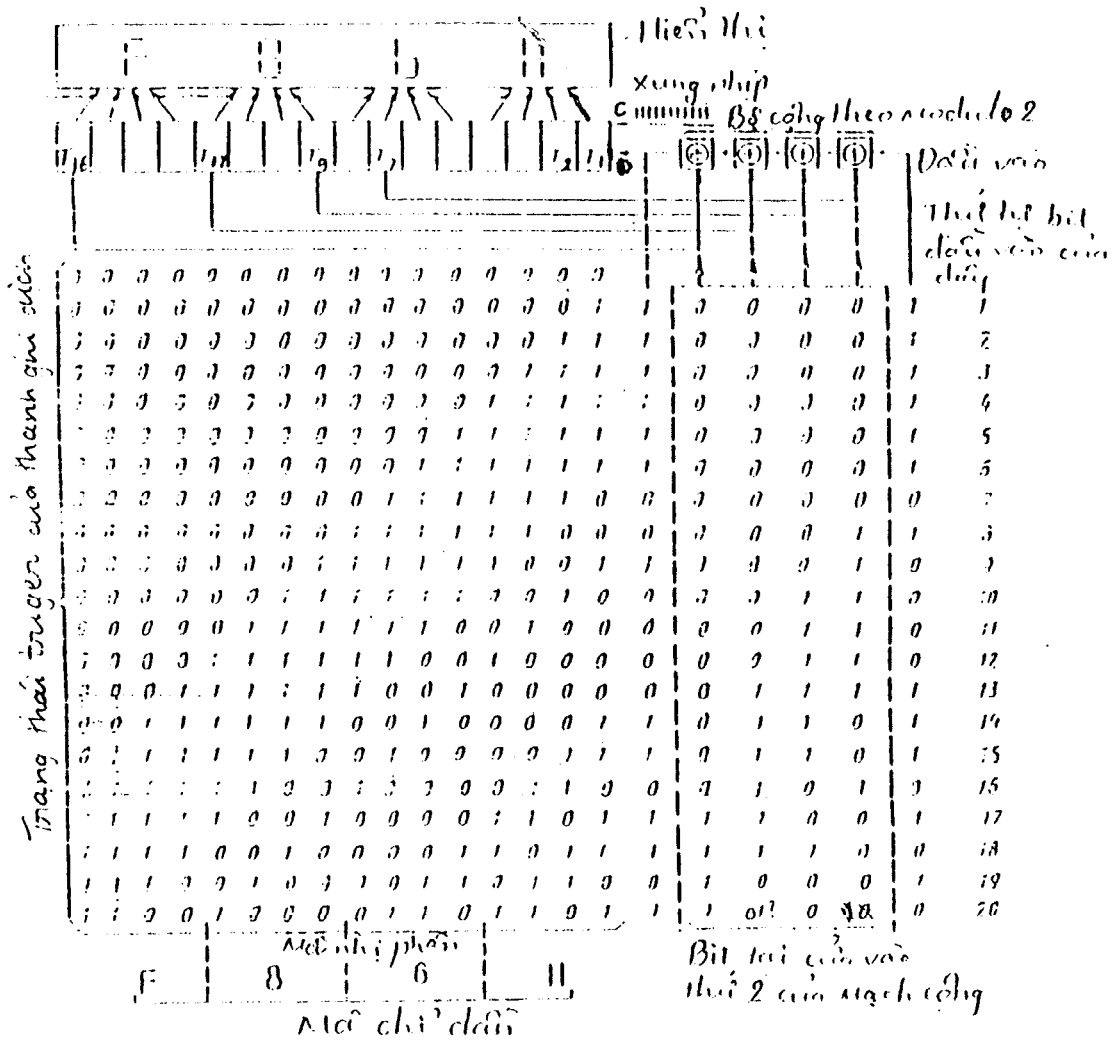
Để có thể tiến hành phân tích mã chỉ dẫn của hệ thống số dùng vi xử lý, nhất thiết phải có tín hiệu thử nghiệm, đó là dãy giá trị nhị phân, nghĩa là dãy xung vuông có độ rộng xung rất nhỏ, biên độ của nó chỉ có thể nhận hai giá trị rất khác nhau theo mức điện áp, được gọi là bit 0 và bit 1.

Dãy các giá trị 0 và 1 gọi là số liệu, được tạo ra nhờ chương trình vi xử lý đặc biệt nằm bên trong thiết bị thử nghiệm. Từ dãy giá trị này hình thành tín hiệu thử nghiệm, dãy thử nghiệm.

Nguyên lý nhận mã chỉ dẫn từ dãy thử nghiệm với sự trợ giúp của thiết bị phân tích được miêu tả trên hình 9-5.

Mã chỉ dẫn được hình thành trong mạch có chứa thanh ghi dịch 16 bit (16 flip-flop), 4 bộ cộng modulo-2 mắc nối tiếp và đường phản hồi nối từ các đầu ra của các flip-flop thứ 7, 9, 12 và 16 tới các đầu vào thứ hai của các bộ cộng thứ 1, 2, 3 và 4 một cách tuần tự. Thanh ghi dịch chuyển có hai đầu vào: đầu vào cơ sở, ký hiệu D (Data), được đưa vào là dãy các bit nhị phân. Và đầu vào thứ 2, ký hiệu C (Clock), được đưa vào là xung nhịp (xung đồng bộ). Như vậy, đầu vào D nhận các bit của bộ thử cơ số 2, và đầu vào C nhận xung nhịp mà nó chuyển dịch bit theo bộ ghi.

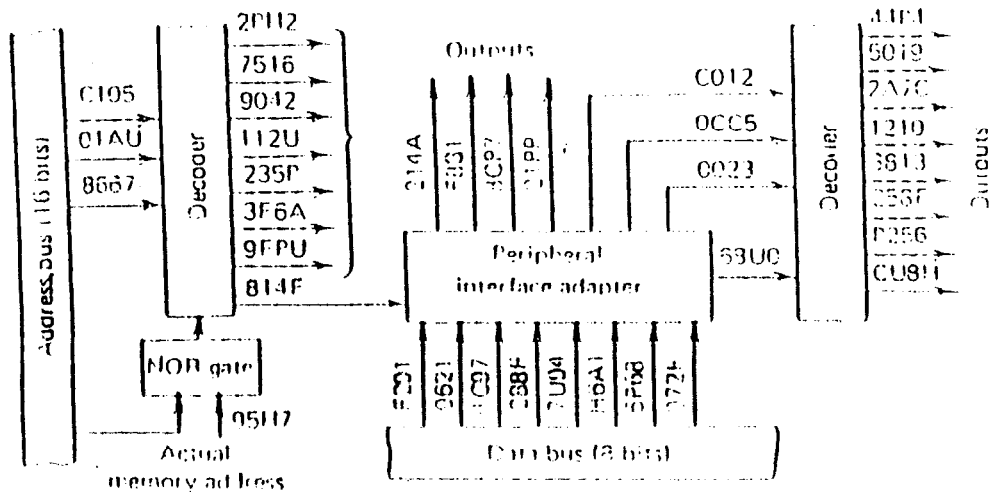
Đầu vào của mạch chính là cửa vào đầu tiên của bộ cộng modulo-2 thứ nhất. Dãy tín hiệu thử nghiệm được đưa tới đây. Dãy này có thể có độ dài bất kỳ, nhưng kết thúc quá trình bao giờ cũng là một số 16 bit, được lưu lại trong thanh ghi. Số này được biểu diễn dưới dạng mã cơ số 16, đó chính là mã chỉ dẫn thu được từ dãy thử nghiệm cho trước. Chính vì số các mã hiệu trong mã chỉ dẫn nhỏ hơn nhiều so với số bit trong dãy thử nghiệm nên có thể nói thiết bị phân tích mã chỉ dẫn đã thực hiện phép “nén” thông tin.



Hình 9-5

Cũng cần phải lưu ý rằng mã 16 bit được dùng trong phân tích mã chỉ dẫn có một số đối khác so với mã 16 thông thường (0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F) và được viết dưới dạng 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A C F H P U. Việc lựa chọn ký hiệu như trên có liên quan đến việc sử dụng các bộ chỉ thị, thể hiện số và chữ thông qua các segment. Sự thay đổi

trên cho phép đọc mã chỉ dẫn dễ dàng hơn và không bị nhầm lẫn. Nếu vẫn sử dụng các mã 16 thông thường, sẽ rất khó phân biệt giữa chữ B với số 8, giữa chữ D với số 0 (xem mã chỉ dẫn như hình 9-6).



Hình 9-6

Mã chỉ dẫn được hình thành như sau: ở đầu vào của mạch vẽ trên hình 9-5, ta đưa dãy thử nghiệm nhị phân với độ dài xác định, ví dụ 20 bit (hình 9-7).

Những bit này được đưa tới đầu vào D của thanh ghi sau khi đã đi qua dãy các bộ cộng modulo-2. Ở bộ cộng đầu tiên, mỗi bit của dãy thử nghiệm sẽ được cộng theo modulo-2 với bit thứ 7 của thanh ghi, bit đầu ra của bộ cộng thứ nhất sẽ được cộng theo modulo-2 với bit thứ 6 của thanh ghi tại bộ cộng thứ 2...

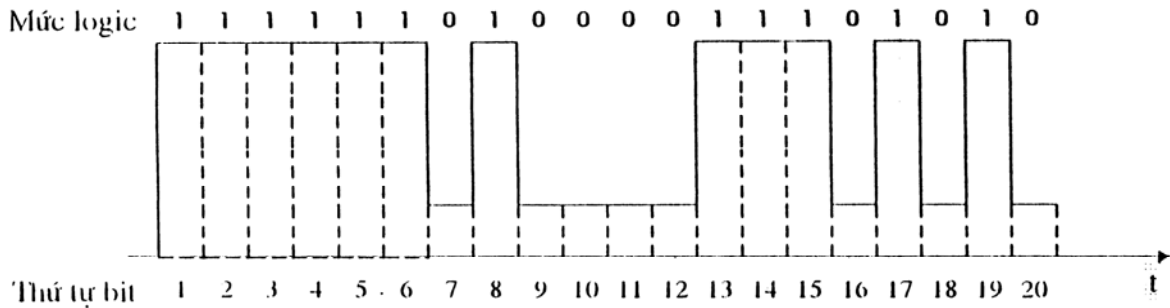
Ở đây có quy luật sau: nếu tại tất cả các cửa vào thứ 2 của 4 bộ cộng là bit 0 hoặc số chẵn các bộ cộng là bit 1, thì bit được đưa vào đầu vào của mạch sẽ được truyền tới đầu vào D của thanh ghi giữ nguyên giá trị; khi bit 1 xuất hiện ở các cửa vào thứ hai của số lẻ các bộ cộng thì tại đầu vào D của thanh ghi sẽ nhận được bit có giá trị đối so với đầu vào của mạch (theo phép cộng modulo-2 thì kết quả sẽ là 1 khi có bit khác mức logic cộng với, nếu bit cộng với cùng mức thì kết quả là 0).

Trước khi bắt đầu làm việc, tất cả các flip-flop của thanh ghi đều nằm ở trạng thái 0. Xung nhịp đầu tiên được đưa tới cửa vào C của thanh ghi sẽ cho FF1 giá trị bit đầu tiên của dãy thử nghiệm, đưa vào kênh D. Xung nhịp thứ hai sẽ đẩy bit đầu tiên sang bên trái một bước, nghĩa là từ FF1 sang FF2 và đưa tới FF1 giá trị bit thứ hai của dãy. Mỗi xung nhịp lại đẩy giá trị của thanh ghi sang bên trái một bước và đưa vào FF1 giá trị tiếp

theo của dãy thử nghiệm. Toàn bộ quá trình này được kết thúc khi và chỉ khi bit thứ 20 của dãy thử nghiệm (trong ví dụ đang xét, chiều dài dãy thử nghiệm là 20), được đưa vào FF1 (sau khi đã đi qua dãy các bộ cộng modulo-2). Mã được tạo thành trong thanh ghi được biểu diễn theo hệ cơ số 16 và nhận được mã chỉ dẫn của dãy thử nghiệm đã cho.

Trong ví dụ trên, mã thử nghiệm là F86H (hình 9-5).

Bây giờ, ta xét mối tương quan giữa các mẫu ở dạng nhị phân tại đầu ra và đầu vào của chuỗi bộ cộng modulo-2.



Hình 9-7

Giả sử rằng chuỗi cập nhật có  $n$  bit ở đầu vào:  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , trong đó  $a_i$  là bằng 0 hay 1. Chuỗi đầu ra cũng có  $n$  bit là  $b_1, b_2, \dots, b_n$ , trong đó  $b_i$  cũng là các bit 0 hay 1.

Do đã có quy ước tại thời điểm làm việc ban đầu, đầu ra của các flip-flop của thanh ghi ở trạng thái logic, nên giá trị các đường hồi tiếp từ đầu ra của các flip-flop 7, 9, 12 và 16 được duy trì ở giá trị 0 logic ít ra trong thời gian tính bằng 7 xung nhịp. Như vậy tính từ thời điểm bắt đầu xuất hiện xung nhịp (clock) thứ nhất tới thời điểm kết thúc xung nhịp thứ 7, thì bit vào thứ 2 của các bộ cộng modulo-1 ở mức 0. Căn cứ vào bảng trạng thái của bộ cộng modulo-2, ta khẳng định chắc chắn rằng trong khoảng thời gian này giá trị của các bit thuộc chuỗi mẫu kiểm tra qua chuỗi bộ cộng modulo-2 hoàn toàn không bị thay đổi. Như vậy 7 bit đầu của hai chuỗi đầu vào và đầu ra là trùng nhau:  $a_i = b_i$ , với  $i=1, 2, 3, \dots, 7$ .

Từ bit thứ 8 trở đi, bit thứ  $i$  có giá trị 0 hay 1, được xác định bởi sự cân bằng:

$$b_i = \begin{cases} a_i & \text{nếu } b_{i-16} \oplus b_{i-12} \oplus b_{i-9} \oplus b_{i-7} = 0 \\ \bar{a}_i & \text{nếu } b_{i-16} \oplus b_{i-12} \oplus b_{i-9} \oplus b_{i-7} = 1 \end{cases}$$

ở đây  $i$  nằm trong dải từ 8 đến  $n$ ;  $\bar{a}_i$  là số bù của  $a_i$ ;  $\oplus$  là cộng của modulo-2.

Nếu trọng số của bit  $b_{iK}$  nhỏ hơn hay bằng 0 ( $i < K$ ) thì có thể bỏ qua sự có mặt của bit đó trong biểu thức cộng modulo-2 trên.

Ví dụ:

Giả sử bit đó là  $b_{10}$ ,  $i = 10$  rõ ràng là:

$$\left. \begin{array}{l} i - 16 = -6 \\ i - 12 = -2 \end{array} \right\} \text{bỏ qua } b_{i-16} \text{ và } b_{i-12}$$

$$i - 9 = 1$$

$$i - 7 = 3$$

do vậy,

$$b_{10} = \begin{cases} a_8 & \text{nếu } b_1 \oplus b_3 = 0 \\ \tilde{a}_8 & \text{nếu } b_1 \oplus b_3 = 1 \end{cases}$$

với  $i=8$  hoặc  $i=9$  thì:

$$b_8 = \begin{cases} a_8 & \text{nếu } b_1 = 0 \\ \tilde{a}_8 & \text{nếu } b_1 = 1 \end{cases}$$

$$b_9 = \begin{cases} a_9 & \text{nếu } b_2 = 0 \\ \tilde{a}_9 & \text{nếu } b_2 = 1 \end{cases}$$

Để có được mã ký hiệu ở dạng nhị phân, ta loại bỏ trước các bit có thứ tự từ  $(n-16)$  trở đi trong chuỗi bit  $b_1, b_2, \dots, b_n$ ; 16 bit còn lại sẽ là mã ký hiệu chỉ dẫn mong muốn ở dạng nhị phân.

Ở ví dụ như hình 9-5, có chuỗi 20 bit đầu vào:  $a_1 a_2 \dots a_{19} a_{20}$ , ta có 20 bit đầu ra tương ứng:  $b_1 b_2 \dots b_{19} b_{20}$  là mã ký hiệu viết dưới dạng cơ số 2, nếu đổi thành dạng cơ số 16 thì là: F86H.

Số thứ tự bit: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

$a_i =$             1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0

$b_i =$             1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1

F                      8                      6                      H

Ví dụ 1: Xét chuỗi bit vào có độ dài  $n=20$  gồm toàn bit có giá trị 1, ta có:

|           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Số tt bit | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| $a_i =$   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| $b_i =$   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  |    |
|           | P |   |   |   | 7 |   |   |   | 3 |    |    |    | 3  |    |    |    |    |    |    |    |

Ví dụ 2: Xét chuỗi bit cũng gồm toàn bit có giá trị 1, nhưng có độ dài  $n=19$ , ta có

|                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Số tt bit        | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |  |
| a <sub>i</sub> = | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |  |
| b <sub>i</sub> = | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  |  |
|                  | U |   |   |   | 3 |   |   |   | 9 |    |    |    | 9  |    |    |    |    |    |    |  |

So sánh kết quả từ hai ví dụ 1 và 2, ta thấy kết quả mã chỉ dẫn rất khác nhau, dù cho hai chuỗi thử thì khác nhau có 1 bit.

### 3. Cấp chính xác của phép phân tích ký hiệu mã chỉ dẫn

Phương pháp kiểm tra có sức thuyết phục như thế nào không phải là vấn đề, mà cấp chính xác, mức độ ý nghĩa của phương pháp như thế nào mới là vấn đề đáng quan tâm.

Với phương pháp phân tích mã ký hiệu, điều quan trọng là có thể giải đáp được các yêu cầu sau:

- Liệu ký hiệu thực tế có là bản sao chính xác của ký hiệu tham khảo hay không, nếu như có một số lỗi lọt vào chuỗi kiểm tra?
- Phương pháp phân tích ký hiệu có thể tách ra được một bit lỗi hay không?
- Cấp chính xác của phương pháp phân tích ký hiệu phụ thuộc như thế nào vào độ dài của chuỗi kiểm tra và xác suất tách một lỗi là bao nhiêu?

Để giải đáp các câu hỏi trên, có thể biện luận như sau:

Giả sử mẫu kiểm tra nguyên bản như đã chỉ ra ở hình 9-7, có thể viết lại như sau: 11111101000011101010. Mẫu này đưa tới thiết bị phân tích ký hiệu từ một nút không bị hư hỏng. Đó là một lỗi chuẩn. Ta sẽ ký hiệu các bit được truyền chính xác bằng trạng thái 0 và các bit truyền sai bằng 1. Ở ví dụ này, tất cả các bit đều được truyền chính xác, như vậy chuỗi lỗi sẽ bao gồm toàn con số 0.

Bây giờ, giả sử là bit thứ tư, đếm từ trái qua phải, bị truyền sai. Như vậy ba chuỗi cần chú ý có dạng:

|               |                                         |
|---------------|-----------------------------------------|
| Chuỗi chuẩn:  | 1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 |
| Chuỗi bị sai: | 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 |
| Chuỗi lỗi:    | 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 |

Dễ dàng thấy rằng chuỗi bị sai có thể xác định được bằng việc cộng modulo-2 của chuỗi chuẩn và chuỗi lỗi theo nguyên tắc bit cộng bit. Trường hợp nếu không có lỗi thì ký hiệu của chuỗi lỗi là các con số 0. Nhờ sự có mặt của chuỗi lỗi mà vị trí bit sai trong chuỗi bị sai (so với chuỗi chuẩn) bị phát hiện.

Nếu thiết bị phân tích ký hiệu mã nhận dạng sử dụng thanh ghi dịch 16 bit thì ký hiệu 0 không thể tạo ra cho chuỗi lỗi gồm 16 bit (hoặc ít hơn 16 bit) ít nhất 1 bit có giá trị 1, nếu không có sai. Có thể dễ dàng chứng minh được điều đó bằng cách xem xét hoạt động của thanh ghi dịch. Thực vậy, trạng thái 1 đầu tiên được ghi vào thanh ghi sẽ chưa thể rời thanh ghi trong thời gian một chu kỳ 16 nhịp, được sử dụng để cập nhật ký hiệu. Mà nó cũng không thể lật sang trạng thái 0 khi bị cộng với bit trở lại bộ cộng qua đường hồi tiếp. Từ đây, có thể khẳng định rằng tất cả các lỗi nếu có thì đều có thể tách ra được.

Khi chuỗi thử lỗi dài tới 17 bit, lỗi sẽ không tách ra được chỉ ở duy nhất một trường hợp trong  $(2^{17}-1)$  trường hợp, đó là chuỗi mà trong đó các bit số 1, 8, 10 và 13 (đếm từ trái sang) có giá trị 1. Bởi vì trạng thái 1 ở các bit này sẽ bị lật xuống 0 khi bị cộng với 1 mà được đưa tới bộ cộng modulo-2 nhờ đường hồi tiếp, và số 1 ở bit đầu tiên bị đẩy ra ngoài thanh ghi khi thanh ghi nhận bit thứ 17 của chuỗi thử lỗi.

Như vậy cứ  $2^{17}$  chuỗi thì có 1 chuỗi không tách ra được lỗi. Do đó khi đưa tới thanh ghi dịch 16 bit với 1 chuỗi thử lỗi có độ dài bất kỳ, thì xác suất của việc không phát hiện được lỗi nhỏ hơn  $1/(2^{16}-1)$ , nghĩa là nhỏ hơn 0,00001526.

Nói cách khác, mức chính xác của việc tách lỗi sẽ luôn lớn hơn  $1 - 0,00001526 = 0,99998474$ , tức lớn hơn 99,998%.

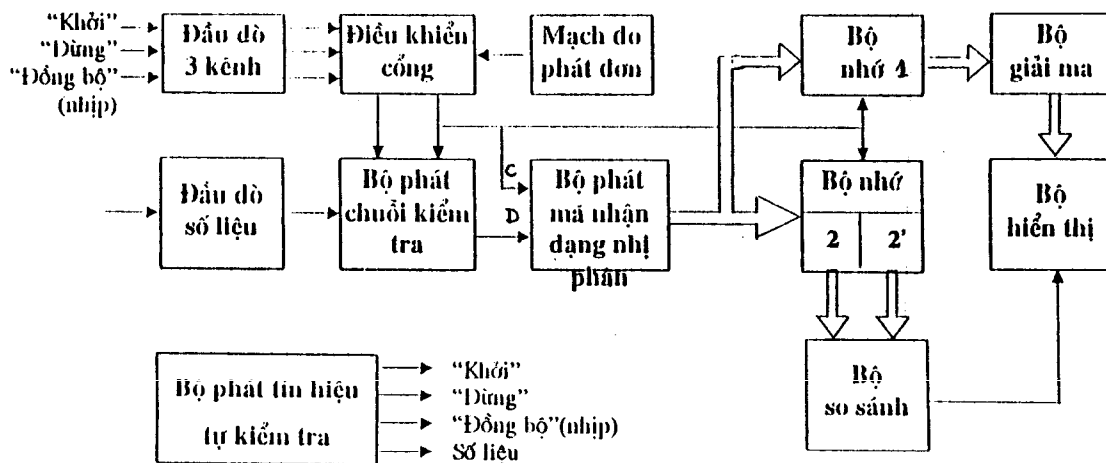
Như vậy ta có thể nói như sau:

- Xác suất của 2 chuỗi nhị phân giống nhau cho mã ký hiệu giống nhau là 1.
- Xác suất để cho 2 mã ký hiệu giống nhau nếu hai chuỗi nhị phân khác nhau chỉ 1 bit là 0.
- Xác suất để cho 2 mã ký hiệu giống nhau nếu hai chuỗi nhị phân mà trong một chuỗi có sai một vài bit thì không vượt quá 0,00001526.

Có thể kết luận rằng, sử dụng phương pháp phân tích mã ký hiệu thì cấp chính xác phép đo là rất cao.

#### 4. Sơ đồ khối của một bộ phân tích nhận dạng mã chỉ dẫn

Sơ đồ khối của một bộ phân tích nhận dạng như hình 9-8.



Hình 9-8

Nó gồm 3 chức năng cơ bản:

- Tạo phát mẫu kiểm tra
- Thu nhận một nhận dạng
- Hiển thị nhận dạng mà nó thu được

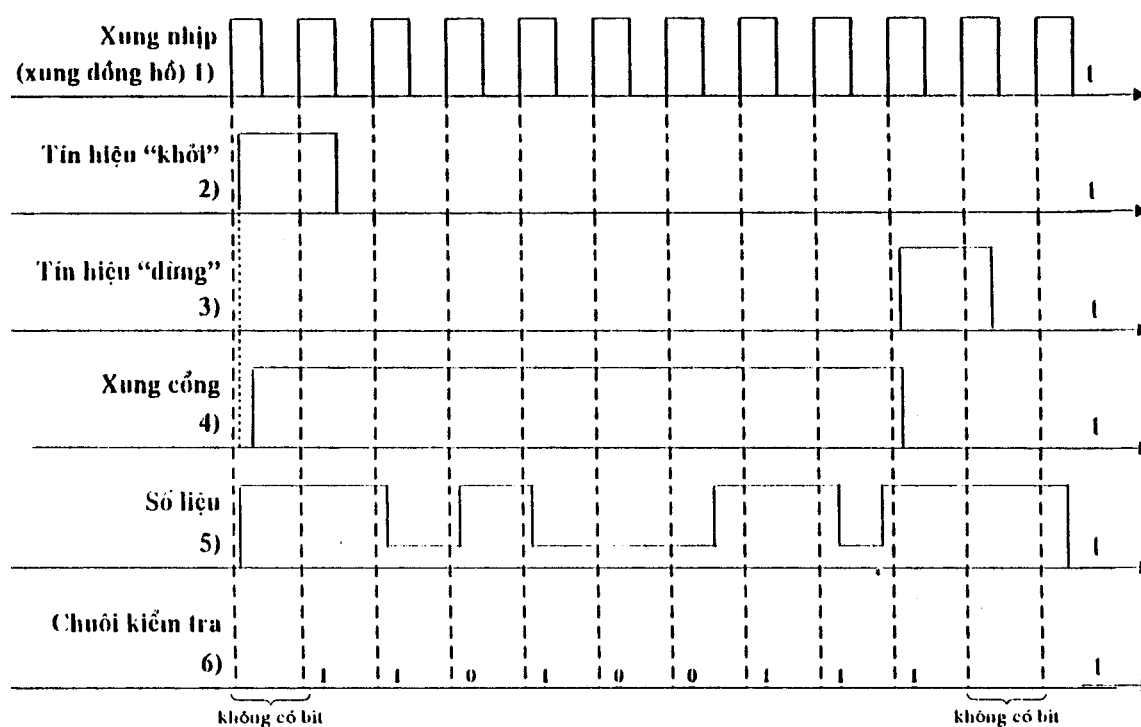
Mẫu kiểm tra được phát như sau:

Thiết bị được kiểm tra sẽ cung cấp tín hiệu điều khiển tới bộ phân tích qua đầu dò 3 kênh. Có 3 kiểu tín hiệu được sử dụng là:

Xung nhịp (xung đồng hồ), hình 9-9.1.

Xung khởi động (hình 9-9.2); và Xung dừng (hình 9-9.3)

Sườn của "xung khởi" sẽ đưa thanh ghi dịch đến trạng thái sẵn sàng để thu nhận mẫu kiểm tra và mở cổng điều khiển. Sườn của "xung dừng" sẽ khoá cổng điều khiển (hình 9-9.4). Như vậy khoảng thời gian giữa hai xung khởi và dừng sẽ là độ rộng của



Hình 9-9

xung cổng. Xung cổng này sẽ cùng với xung nhịp được đưa tới bộ phát chuỗi kiểm tra. Bộ này thông qua đầu dò số liệu cũng nhận chuỗi số liệu từ thiết bị được kiểm tra.

Mỗi lần sườn của xung nhịp (hình 9-9.1) trùng với bit số liệu (hình 9-9.5) thì một chuỗi kiểm tra được phát ra (hình 9-9.6). Bất kỳ sự thay đổi nào của số liệu vào cũng không ảnh hưởng tới cấu trúc của chuỗi kiểm tra. Bit đầu tiên của chuỗi kiểm tra được tạo nên khi sườn xung nhịp trùng với bit số liệu thì một bit của chuỗi kiểm tra sẽ được tạo ra. Các thay đổi ở trong số liệu xảy ra trong khoảng thời gian giữa hai xung nhịp không ảnh hưởng tới cấu trúc của chuỗi kiểm tra. Độ dài của chuỗi kiểm tra chính là số các bit có trong chuỗi tại thời điểm đầu tiên kể từ sau khi cổng mở, và bit cuối cùng của chuỗi kiểm tra được xuất hiện khi xung nhịp trùng với bit số liệu kể từ trước khi cổng được đóng lại (hình 9-9.1 tới hình 9-9.6).

Do đó có thể thấy là chiều dài của chuỗi kiểm tra hoàn toàn có thể khống chế được bằng xung "khởi" và "dừng". Và nó có thể điều chỉnh được bằng bảng điều khiển phía trước của máy phân tích (panel điều khiển).

Xung nhịp cung cấp từ thiết bị được đo lường kiểm tra sẽ cung cấp tín hiệu nhịp cho toàn bộ bộ phân tích nhận dạng kể cả thanh ghi dịch (qua đầu và  $^{\circ}\text{C}$  của thanh ghi).

Chuỗi kiểm tra được đưa tới đầu vào D của thanh ghi.

Số nhận dạng dưới dạng nhị phân sẽ được đưa tới hai đơn vị của bộ nhớ. Đơn vị số 1 của bộ nhớ sẽ lưu giữ số trong thời gian của chu kỳ đo lường. Số này sẽ được đọc ra (mà không phá huỷ nội dung của bộ nhớ) và đưa tới bộ hiển thị thông qua bộ giải mã để đổi số 16 bit thành số mã nhận dạng Hexadecimal 4 số. Đơn vị bộ nhớ 2-2' lưu giữ những con số đại diện cho những nhận dạng được phát qua 2 chu kỳ đo lường liên tiếp. Những con số tương ứng với 2 nhận dạng được cung cấp trên hai đầu vào của bộ so sánh sẽ được so sánh với nhau. Nếu hai nhận dạng này là giống nhau, bộ so sánh sẽ không phát ra tín hiệu nào. Nếu hai nhận dạng này mà khác nhau, báo hiệu nhận dạng không ổn định được đưa ra. Điều này có nghĩa là thiết bị được thử đã có một sai sót, cần để yêu cầu thực hiện kiểm tra lại.

Thiết bị cũng cung cấp chế độ phát đơn. Khi máy làm việc ở chế độ này, chỉ có một nhận dạng được phát ra với một xung cổng đơn. Nó làm việc bằng mạch do phát đơn.

Bộ phân tích cũng có một bộ phát riêng để cung cấp tín hiệu tự kiểm tra. Như hình 9-8, nó có bốn tín hiệu ra: ba cái đầu để đưa vào đầu dò 3 kênh, và đầu ra thứ tư đưa vào đầu dò số liệu.

### ***5. Phân tích nhận dạng ứng dụng trong thiết bị có Vi xử lý***

Phân tích nhận dạng thường được thiết kế trong thiết bị số. Để có thể đưa vào sử dụng trong thiết bị có dùng vi xử lý, mạch điện cần phải được thiết kế sao cho người sử dụng có thể theo được các bước của bộ phân tích nhận dạng: cách ly ra khỏi hạt nhân của hệ thống; mở mạch phản hồi nội tại; khởi động mạch trong quá trình kiểm tra (tức là đặt chúng ở trạng thái khởi động); có một chuỗi kiểm tra ổn định trong khoảng thời gian xung cổng hoạt động; có các nhận dạng tham khảo cho những nút quan trọng và từng phần của mạch để qua đó người sử dụng có thể tìm ra điểm hỏng.

Hạt nhân (The Kernel) của hệ vi xử lý chính là bộ vi xử lý và tín hiệu nhịp (Clock). Trước khi phân tử hạt nhân được kiểm tra, nó phải được cách ly và đường hồi tiếp dẫn tới hạt nhân cần phải được khởi động. Đường hồi tiếp này là Bus số liệu và kênh ngắt (Interrupt). Bước tiếp theo là kiểm tra xem có sự hỏng hóc gì trong phần tử hạt nhân không. Nếu bộ phân tích tìm ra một lỗi gì đó, nó cần phải được tách ra, bởi sự tham khảo của lưu đồ nhận dạng.

Bộ phân tích nhận dạng cho hệ vi xử lý có thể được thực hiện một trong hai cách: tự động và điều khiển theo chương trình.

Trong chế độ tự động, bộ vi xử lý sẽ tự do nối vòng toàn bộ trường địa chỉ. Chế độ này sẽ được khởi động bởi cung cấp lệnh INCREMENT, để khoá tất cả các đầu vào của Bus số liệu. Lệnh này sẽ tăng bộ đếm lệnh lên 1. Sau đó bộ vi xử lý sẽ quay lại xem xét

trên bus số liệu, và vì lệnh INCREMENT vẫn giữ đó, nên bộ đếm lệnh lại tiếp tục tăng thêm 1 và cứ thế,...tín hiệu "khởi" và "dừng" chuyển qua đường địa chỉ của Bit có giá trị cao nhất (A15) của Bus địa chỉ, và tín hiệu định thời là xung nhịp tại đầu vào của bộ vi xử lý. Công việc được làm chuyển đổi bởi tín hiệu READ Và SYNC của bộ vi xử lý.

Với bộ phân tích nhận dạng làm việc ở chế độ điều khiển theo chương trình, chương trình kích thích được đặt ở trong ROM. Chương trình này sẽ phát tín hiệu "khởi" và "dừng" và đưa dãy số liệu tuần hoàn đến Bus số liệu để cho những phần tử kiểm soát có thể nối được bộ vi xử lý.

### 9.3. CÁC NGUYÊN LÝ TỰ KIỂM TRA (PRINCIPLES OF SELF - TESTING)

Cùng với sự phát triển một cách nhanh chóng của mạch tích hợp mật độ cao, dẫn tới việc đo thử kiểm tra một IC hoặc một mảng mạch trở nên vô cùng phức tạp và tốn kém. Càng ngày người ta càng cần thiết bị có dải rộng hơn, có nhiều khả năng để lựa chọn khi sản xuất, bảo hành, sửa chữa. Vấn đề lại càng phức tạp với các thiết bị, có sử dụng VLSI chips, hệ thống hoàn chỉnh có dùng vi xử lý, máy vi tính,...

Có một cách hiệu quả giải quyết vấn đề này là việc cung cấp cho máy chế độ tự kiểm tra. Người ta có thể kiểm tra một mảng mạch, một hệ thống mà không cần sử dụng bất cứ phương tiện nào bên ngoài, cả phần cứng cũng như phần mềm.

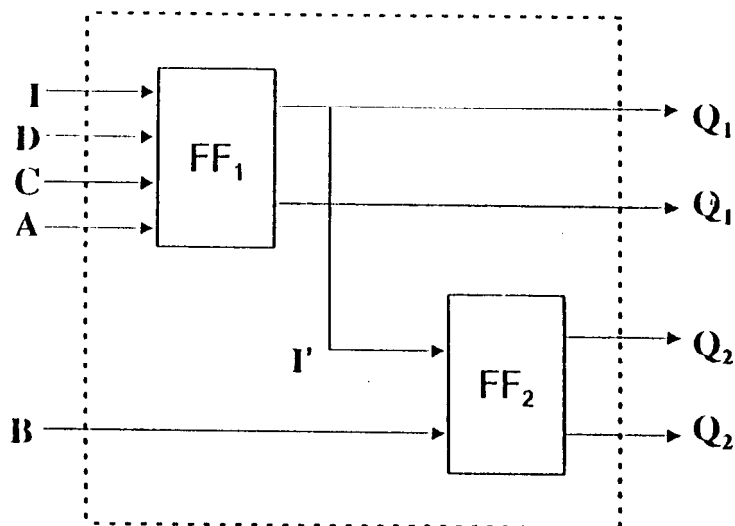
Có một vài phương pháp thực hiện tự kiểm tra sẽ được trình bày dưới đây.

#### 9.3.1. Phương pháp LSSD (Level - Sensitive Scan Design)

LSSD là viết tắt của Level - Sensitive Scan Design, tức là thiết kế quét theo mức độ nhạy. Phương pháp này được đưa ra từ những năm 70 và có thể ứng dụng với các mạch tích hợp, mảng mạch và hệ thống.

Với LSSD, những phần tử nhớ được cung cấp trong cấu trúc sản phẩm, bao gồm hai chốt FF1 và FF2 (hình 9-10). Mặc dù mục đích sơ cấp của thanh chốt FF1 là để thực hiện chức năng cơ bản của sản phẩm nhưng nó cũng được sử dụng trong quá trình kiểm tra. Thanh chốt thứ hai FF2 chỉ dành cho việc nâng cao khả năng của quá trình kiểm tra. Bốn đầu vào I, D, C, A của FF1 để nhận 4 tín hiệu vào lần lượt là: tín hiệu từ phần tử nhớ trước; mẫu (số liệu) kiểm tra; một số liệu đồng bộ từ sản phẩm đang bị kiểm tra, và xung nhịp. Chốt thứ hai có một đầu số liệu đơn (I') liên tục nối tới Q1 của thanh chốt đầu và đầu vào nhịp đơn B, nhận các xung nhịp mà nó là từ thanh chốt đầu được chuyển đổi, và được quét ở bên trong thanh ghi đầu.

Khi một tín hiệu đồng bộ đến cổng vào C, thanh chốt FF1 sẽ được đưa đến trạng thái tương ứng với bit của mẫu kiểm tra đang tồn tại ở cổng D. Khi tín hiệu nhịp được đưa tới cổng A, thanh chốt đầu sẽ được đặt tới trạng thái mức logic (1 hoặc 0) đang tồn tại tại cổng I. Tín hiệu đồng bộ cung cấp tới điểm B là nguyên nhân mạch lật Tớ (the Slave Flip-flop) được đưa tới cùng trạng thái với mạch lật Chủ (the Master Flip-flop).



Hình 9-10

Cặp thanh chốt (những phần tử ghi, nhớ) được tổ hợp thành một thanh ghi dịch đơn như trên để đầu ra của FF2 trong mỗi phần tử nhớ được nối tới đầu vào I của FF1 trong phần tử kế tiếp. Đầu vào D của bit có giá trị thấp nhất trong thanh ghi chấp nhận mẫu kiểm tra. Xung nhịp quét đi quét lại đầu vào A và B là nguyên nhân những bit số liệu được dịch chuyển, hoặc được quét dọc theo thanh ghi. Mẫu bit xuất hiện tại đầu ra của nó sẽ được so sánh với số liệu cất giữ trong bộ nhớ và đại diện cho trạng thái mong muốn của sản phẩm khi nó hoạt động bình thường.

### 9.3.2. Phương pháp BILBO (Built-In Logic Block Observer)

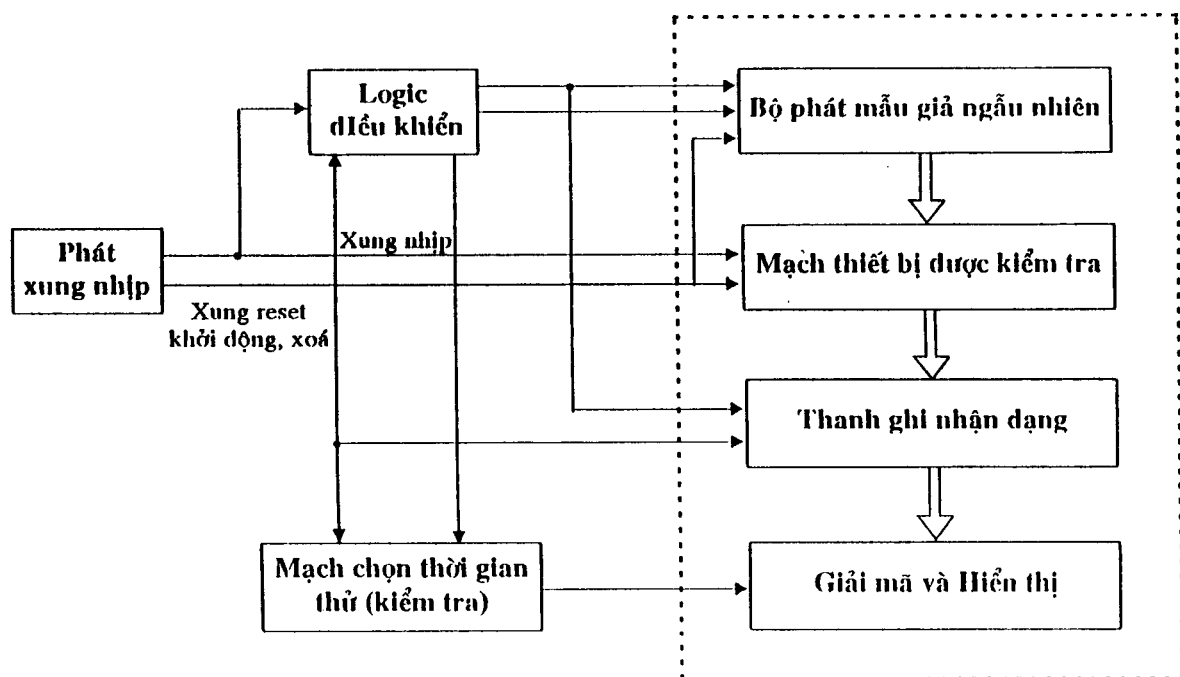
Phương pháp BILBO là phương pháp viết tắt của Built-In Logic Block Observer (dạng biến đổi của BIDCO, Built-In Digital Circuit Observer), là Bộ Giám sát thiết bị sử dụng khối logic (mạch số). Để thực hiện, có hai thanh ghi được cung cấp cho thiết bị này. Một được dùng như là một bộ phát mẫu giả ngẫu nhiên kiểm tra và cái kia sử dụng như thanh ghi của bộ phân tích nhận dạng. Hai thanh ghi này kết hợp với bộ giải mã và bộ hiển thị tạo thành một khối đơn riêng.

Trên hình 9-11 là sơ đồ khối đơn giản của mạch.

Khối phát xung nhịp cung cấp tín hiệu nhịp (clock) cho các mạch điện, và tín hiệu Reset dùng để xoá trạng thái của tất cả các thanh ghi và mạch lật. Mạch điều khiển phát xung đến các khối còn lại của sơ đồ. Mẫu giả ngẫu nhiên kiểm tra từ bộ phát đi đến thiết bị kiểm tra theo dạng song song và tín hiệu xuất hiện tại đầu ra của thiết bị sẽ tới thanh ghi nhận dạng. Sự nhận dạng dưới dạng số nhị phân sẽ được đưa tới bộ giải mã.

Sau một số xung nhịp đã định trước nhận được, mạch điều khiển thời gian vòng thử, kiểm tra phát một tín hiệu kết thúc một vòng kiểm tra. Đáp lại tín hiệu này, xung đồng bộ sẽ chấm dứt việc đưa đến các mạch của bộ kiểm tra và số liệu sẽ đưa ra bộ giải mã để tới màn hình trạng thái của thiết bị trong thời gian kiểm tra.

Còn có một kỹ thuật tự kiểm tra đầy đủ đã được phát triển bởi cả hai phương pháp BILBO và LSSD. Kỹ thuật này còn có thể tìm ra và cách ly điểm hỏng hóc của thiết bị trong quá trình kiểm tra.



Hình 9-11

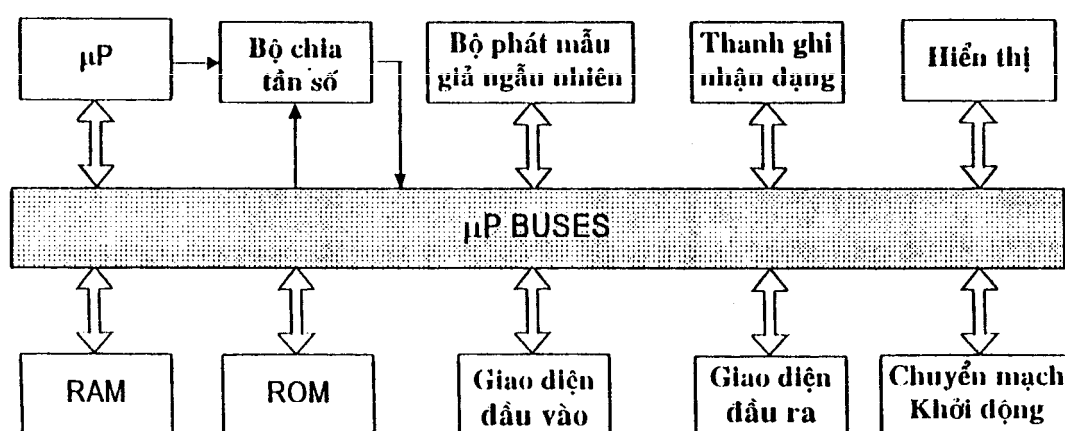
### 9.3.3. Phương pháp MICROBIT.

Phương pháp này được phát triển đặc biệt dành cho việc kiểm tra các hệ thống vi xử lý và những máy vi tính hoàn chỉnh, nhưng nó cũng có thể ứng dụng để kiểm tra những mảng mạch in. Phương pháp này liên quan tới việc sử dụng khả năng chuẩn đoán và những chương trình thử đặc biệt. Kỹ thuật này được ưa dùng vì nó không cần bất kỳ

một thiết bị kiểm tra riêng biệt bên ngoài nào; tốc độ chẩn đoán nhanh (khoảng nửa phút cho một hệ vi xử lý 8 bit); thủ tục đơn giản và có thể sử dụng được những chương trình được cất giữ trong ROM của thiết bị được kiểm tra.

Hình 9-12 là sơ đồ khối đơn giản của một hệ vi xử lý cùng với 4 mạch thêm vào cho việc tự kiểm tra. Đó là: bộ chia tần số; bộ phát mẫu giả ngẫu nhiên kiểm tra; thanh ghi nhận dạng và mạch khởi động sự kiểm tra.

Bộ chia tần số để chia tốc độ tín hiệu đồng bộ với hoạt động của hệ thống tới giá trị thích hợp với sự thử, kiểm tra. Bộ phát mẫu giả ngẫu nhiên kiểm tra sẽ phát một dãy 256 mẫu giả ngẫu nhiên. Nó sẽ được đưa tới những khối được kiểm tra của hệ thống vi xử lý. Mẫu ra sẽ được đưa tới thanh ghi nhận dạng mà ở đó tín hiệu thu được sẽ so sánh với mẫu chuẩn tham khảo.



Hình 9-12

Để kiểm tra, mỗi một khối của hệ thống vi xử lý sẽ được gán một con số. Nó sẽ được hiển thị ở đầu ra nếu khối lượng tương ứng được chứng minh là hỏng.

Một thành phần quan trọng của kỹ thuật MICROBIT là phần mềm. Chương trình chiếm khoảng 700 bytes và được chia ra thành những phần riêng biệt trong bộ nhớ và mỗi phần riêng biệt đó tương ứng với một khối thiết bị cứng cụ thể. Khi thiết kế, người ta gói chúng vào một chương trình ứng dụng rồi cất trong một bộ PROM.

Bước thứ nhất của thủ tục kiểm tra là kiểm tra hạt nhân của hệ thống bao gồm kiểm tra sự hoạt động của bộ vi xử lý, các Bus, mạch đồng bộ và bộ hiển thị. Để kiểm tra hạt nhân người ta đưa vào hai số đặc biệt, chẳng hạn hai dãy 10101010 và 01010101. Tổng của chúng phải là 11111111. Nếu kết quả là tốt, bước tiếp theo là kiểm tra hoạt

động của hiển thị. Để làm việc này bộ vi xử lý đưa ra một chuỗi những số liên nhau từ 0 đến F.

Nếu bộ hiển thị ra tốt, bước tiếp theo là kiểm tra Bộ phát mẫu giả ngẫu nhiên. Một từ khởi động đã biết được nạp vào trong nó và bộ phát nhận được 256 lần xung nhịp. Con số được đưa ra bởi bộ phát trong mỗi một chu kỳ xung nhịp được so sánh bởi bộ Vi xử lý với con số mà nó sẽ được đưa ra khi bộ phát làm việc bình thường. Nếu giống nhau, có nghĩa là bộ phát làm việc tốt.

Thanh ghi cũng được kiểm tra bằng phương pháp tương tự.

PROM được kiểm tra bởi nạp thanh ghi nhận dạng từng byte một của 2047 PROM bytes. Bởi việc nén số liệu đầu vào, thanh ghi nhận dạng phát byte nhận dạng mà nó sẽ được so sánh bởi bộ vi xử lý với nội dung của ô ghi số thứ 2048 của PROM. Nếu hai số là trùng nhau, PROM là tốt.

Bước đầu tiên của kiểm tra RAM là viết trang thứ nhất với nội dung là 256 byte từ bộ phát giả ngẫu nhiên. Sau đó trang 2 sẽ được ghi vào với nội dung của máy phát cộng với trang một. Trang 3 là nội dung của máy phát cộng với trang 2 và trang 4 là nội dung của máy phát cộng với trang 3. Theo cách như vậy, toàn bộ 1K-byte của RAM được chuyển tới thanh ghi nhận dạng từng byte một, nơi số liệu được nén lại. Kết quả nhận dạng được chuyển tới bộ vi xử lý để so sánh với nhận dạng chuẩn tham khảo được cất giữ trong PROM. Nếu hai nhận dạng này khác nhau, thì RAM hỏng. Ngược lại là tốt.

Một hạn chế cơ bản của kỹ thuật MICROBIT là hệ thống chỉ được kiểm tra ở trạng thái tĩnh, không kiểm tra được nó trong quá trình hoạt động.

## *Chương X*

# ĐO LƯỜNG TỰ ĐỘNG

### 10.1 CÁC KHUYNH HƯỚNG CƠ BẢN

Sự phát triển của ngành kỹ thuật điện tử số và kỹ thuật vi xử lý trong hơn một thập kỷ gần đây đã tạo những biến đổi quan trọng cho kỹ thuật đo lường ứng dụng trong ngành điện tử và viễn thông.

Vấn đề tin học hoá phương pháp đo, số hoá cấu trúc thiết bị đo đã làm thay đổi chất lượng của quá trình đo lường, mà điều quan trọng hơn cả là nâng cao được về độ chính xác cho thiết bị đo và tự động hoá được quá trình đo.

Các thiết bị đo lường số đang có xu hướng dần thay thế cho các thiết bị đo lường tương tự. Tuy vậy, các thiết bị đo số vẫn còn các hạn chế do chính phương pháp đo số và cấu trúc cơ sở của mạch đo số gây ra (ví dụ như sai số  $\pm 1$  do không đồng bộ, sai số do các phân tử nhị phân như flip-flop và sai số lượng tử hoá, ...).

*Microprocessor* ( $\mu P$ ) đang tạo nên những biến đổi có tính cách mạng trong kỹ thuật điện tử, do vậy cũng đã góp phần tạo nên các biến đổi quan trọng trong kỹ thuật nói chung và cả trong đời sống kinh tế - xã hội.

Việc sử dụng  $\mu P$  trong kỹ thuật đo tới mức nào và hiệu quả của thiết bị đo có cấu tạo thêm  $\mu P$  đến đâu đó là điều cần khảo sát, cũng đồng thời là hướng nghiên cứu của kỹ thuật đo lường điện tử.

**Các khả năng của thiết bị đo có cài đặt  $\mu P$  như sau.**

#### ***1. Tăng chức năng đo cho thiết bị (Function, Multi functionality)***

Những máy đo nhiều chức năng không có  $\mu P$  trước đây, phải chuyển chức năng bằng chuyển mạch, qui trình đã được chế tạo cố định, nên không thay đổi được, vì phần cứng và mạch logic là cố định.

Khi có  $\mu P$  tham gia vào thiết bị, thì có thể đổi thiết bị đa chức năng chế tạo bằng các mạch logic cố định thành thiết bị đo có chương trình hoá, bằng cách cài đặt chương trình điều hành trong các bộ nhớ ROM khác nhau.

Các máy đo có lưu trữ chương trình như vậy đã làm tăng khả năng mềm dẻo của máy thoả mãn yêu cầu đo mà không phải thay đổi mạch điện.

Đồng thời, logic chương trình hoá cũng đã làm giảm đáng kể giá thành của máy đo.

## **2. Nâng cao độ chính xác đo lường (Accuracy)**

Độ chính xác của thiết bị phụ thuộc vào cấp chính xác của nó. Sai số của thiết bị còn tùy thuộc vào đặc tính đo lường của thiết bị đó. Có nhiều cách để nâng cao độ chính xác (hay giảm sai số), song với bản thân máy đo thì ở khả năng như:

-Thực hiện tự loại bỏ sai số hệ thống, ví dụ khả năng tự động xác định điểm không khi bắt đầu đo

-Thực hiện tự chuẩn, tự thử được chính xác. Khả năng này còn bị sai số ngẫu nhiên, nên cần phải thực hiện đo nhiều lần và lấy trung bình thống kê các kết quả đo được.

Máy đo có  $\mu P$  có khả năng thực hiện được các yêu cầu trên.

## **3. Mở rộng khả năng đo (Capability)**

$\mu P$  trong thiết bị đo đã có thể mở rộng và phát triển khả năng đo lường của máy để thích hợp với các dạng yêu cầu khác nhau của kỹ thuật đo, ví dụ yêu cầu đo gián tiếp một đại lượng vật lý cần đo.

Một đại lượng vật lý phải đo gián tiếp thì được thực hiện thông qua tính toán bằng một quan hệ toán học giữa các đại lượng đo trực tiếp, ví dụ: hệ số khuếch đại của một thiết bị, được tính toán từ các trị số đo của điện áp đầu vào đầu ra. Tổng quát hơn, một đại lượng vật lý  $Z$  cần biết giá trị, nó có quan hệ với các đại lượng  $x_1, x_2, \dots, x_q$ , mà các đại lượng này có thể đo trực tiếp được, có quan hệ như sau:

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_q)$$

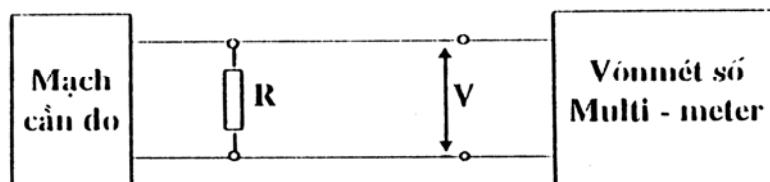
Như vậy, kết quả đo gián tiếp là:

$$A = f(B_1, B_2, \dots, B_q);$$

( $B_1, B_2, \dots, B_q$  là kết quả đo trực tiếp các đại lượng  $x_1, x_2, \dots, x_q$ )

Vì phải cần một số thiết bị khác nhau để đo được các kết quả  $B_1, B_2, \dots, B_q$ , phải tính toán, phải mất nhiều thời gian, phải giữ mạch thực nghiệm cần đo số liệu suốt thời gian đo và tính,... do vậy chính chúng đã là các yếu tố quan trọng gây sai số.

Nhưng với thiết bị đã có  $\mu P$ , thì bằng các lệnh đưa vào từ bàn phím, thiết bị đo đã thực hiện phép đo đúng yêu cầu theo chương trình đã định và vì lưu trữ được các kết quả đo trực tiếp, đồng thời tính toán theo yêu cầu và hiển thị kết quả cuối cùng. Mặc dù là



Hình 10-1

đại lượng cần đo là phải đo gián tiếp, song ta có thể có được kết quả trực tiếp khi nối máy đo với các mạch cần đo.

Ví dụ, đo công suất tiêu thụ trên tải điện trở bằng vôn-mét chỉ thị số có cấu tạo  $\mu P$ , mạch đo như hình vẽ 10-1.

$$P = \frac{U^2}{R} \text{ là phương trình tính toán của công suất.}$$

Phép đo được thực hiện với chương trình là: đầu tiên vôn-mét đo điện trở của tải điện trở  $R$  và lưu trữ kết quả; rồi đo điện áp hạ trên điện trở, rồi thực hiện tính toán  $P$ .

Cũng mạch đo trên, ví dụ đo  $R$  thông qua định luật Ôm:

$$R = \frac{U}{I}$$

Ví dụ khác, đo hệ số khuếch đại:

$$K = \frac{U_{ra}}{U_{vào}}$$

Thiết bị đo có  $\mu P$  còn thực hiện rất hiệu quả với các phép đo tích lũy tích (Cumulative measurement), kết quả đo được giải từ các nhóm phương trình của các kết quả đo trực tiếp của một số đại lượng vật lý đồng nhất cần đo.

#### **4. Điều khiển đơn giản**

Mối nhìn có thể nghĩ là máy đo có  $\mu P$  phải thực hiện nhiều chức năng, thao tác của một thiết bị được chương trình hoá, song ngược lại, tính ưu việt của cấu tạo phần mềm cao đã làm đơn giản mặt máy đi nhiều.

Một thiết bị đo càng "thông minh" nếu như nó càng ít đi sự điều khiển. Những máy đo có  $\mu P$  thường có bàn phím ngoài, để riêng hay cấu tạo trên mặt máy.

Ví dụ vôn-mét số có độ linh hoạt cao, có bộ phím cỡ 17 phím nhưng đã điều khiển được 44 tổ hợp các chức năng, thang độ, và chế độ công tác. Các phím điều khiển mạch và tín hiệu tương tự ghép nối qua  $\mu P$ , nên một cách gián tiếp đã có chức năng, thang độ, chế độ mong muốn thích ứng với phím ấn điều khiển đó.

Ví dụ khác về điều khiển đơn giản: một tần số mét chỉ thị số 7 bit, với thang tần số đo 10 Hz - 1GHz, mà mặt máy chỉ có 2 đầu nối vào (một đầu cho tần số 10 - 75 MHz, và đầu khác cho tần số 70 - 1 GHz), một công tắc tắt mở máy, một núm điều chỉnh độ nhạy và một công tắc để chọn thang thời gian 1 milisec và 1 sec.

Sự đơn giản điều khiển của các máy đo có  $\mu P$  rõ nét hơn cả là sự tự động chọn thang đo, chọn khoảng thời gian chuẩn, chọn các điều kiện thao tác. Một số loại còn có thiết bị báo lỗi khi người đo có nhầm lẫn và có hướng dẫn cách thực hiện đúng ở màn hiển thị của máy.

#### **5. Thực hiện các phép tính mong muốn cho kết quả đo**

Nhiều khi người đo mong muốn có một hàm số toán học nào đó của kết quả đo hơn là chỉ biết bản thân kết quả riêng biệt. Máy đo có  $\mu P$  cho khả năng chương trình hoá để thực hiện các biến đổi kết quả này. Ví dụ:

*a. Muốn có kết quả A nhân với hằng số C:*

$$A' = C \times A$$

Hằng số được chọn từ bàn phím

*b. Sai số đo muốn biết*

- Sai số tuyệt đối:  $A - A_{\text{thực}}$

- Sai số tương đối:  $((A - A_{\text{thực}})/A_{\text{thực}}) \times 100$

*c. Kết quả suy diễn dưới dạng logarit*

Ví dụ, sự suy giảm biểu thị bằng decibel

$$a = 20 \log(U_{\text{vào}}/U_{\text{ra}})$$

*d. Tạo một quan hệ tuyến tính (đường thẳng hoá)*

*Ví dụ:* Khi đo một đại lượng vật lý không điện (ví dụ nhiệt độ) bằng phương pháp điện, thường xảy ra hiện tượng điện áp ra ở bộ biến đổi không điện - điện ( $t^\circ \rightarrow I$ ) là không tuyến tính, khi có đại lượng không điện ở đầu vào.

Để tuyến tính hoá chỉ thị, thường thực hiện như sau:

Điện áp ở đầu ra bộ biến đổi không điện - điện, được biến đổi qua bộ biến đổi A-D (Analog to Digital Converter) thành số. Mã số này được  $\mu P$  xử lý theo một chương trình; do đó quan hệ tuyến tính sẽ được thiết lập giữa bộ chỉ thị và đại lượng không điện đầu vào bộ biến đổi.

**6. Có thể phân tích thống kê đại lượng cần đo**

Một số vôn-mét số có cấu trúc  $\mu P$  có thể cho các giá trị như:

- Trị số trung bình cộng:  $\bar{a}$

(Vọng số:  $E(x)$ , Mean Value)

- Trị số trung bình bình phương  $\sigma$  (độ lệch quân phương)

(Mean Square Value, Standard Deviation)

- Phương sai  $D(x) = \sigma^2$

(Variance, Dispersion) của phân bố ngẫu nhiên điện áp đo.

Nó cũng cho hệ số tương quan của hai biến đổi ngẫu nhiên.

**7. Có thể tiểu hình hoá thiết bị**

Số linh kiện dùng ít đi vì đã có nhiều chức năng thực hiện bởi  $\mu P$ , nên kích thước bé đi.

**8. Máy có giá thành ngày càng hạ**

Giá hạ do rút bớt được các giá về công nghệ chế tạo và giá thao tác tính toán.

**9. Có thể nâng cao được độ tin cậy**

Do máy có  $\mu P$  thì dùng ít linh kiện (độ tin cậy tỷ lệ nghịch với số linh kiện được sử dụng).

Do máy có đặc tính tự chuẩn, không phải dùng mạch chuẩn cho máy (ví dụ như mạch chuẩn độ khuếch đại Y của Ô-xi-lô).

### **10. Giảm nhỏ thời gian đo**

Vì có thư viện mẫu, các chương trình con (routine),... nên thao tác phần mềm đã làm đơn giản các thuật toán như bình phương, khai căn, nhân chia,... Tính thông minh của máy, do phần mềm, đã chọn chương trình thực hiện, rút ngắn được thao tác và thời gian.

### **11. Phối hợp, tổ chức được trong một hệ thống đo, mạng đo**

Máy đo có  $\mu P$ , có thể thêm card phối ghép (interface card), thì tổ chức thành một hệ thống đo, một mạng đo của các máy đo riêng biệt.

Đó là các khả năng của máy đo có cấu trúc cài đặt *microprocessor*, biểu thị tính cách mạng của vấn đề sử dụng vi xử lý trong kỹ thuật đo lường.

### **Vấn đề tự động hoá trong đo lường.**

Như đã trình bày ở chương 1, một trong những đặc điểm của đo lường trong điện tử viễn thông là đối tượng đo rất rộng rãi, không chỉ bó hẹp trong phạm vi các đại lượng thuộc kỹ thuật điện tử thông tin mà bao gồm cả những đại lượng không điện nữa.

Các đại lượng này hợp thành từng nhóm, có liên quan với nhau phản ánh nhiều khía cạnh của một quá trình nào đó. Khoa học kỹ thuật ngày càng phát triển các quá trình sản xuất và phục vụ đời sống ngày càng trở nên phức tạp. Điều đó không những làm cho các đại lượng cần đo tăng lên mà một điều quan trọng hơn còn làm cho khối lượng tin tức cần đo lường và gia công trong một đơn vị thời gian tăng lên không ngừng. Trong khi đó, do những hạn chế về sinh lý, khả năng thao tác và nhận biết của con người chỉ có hạn, đã không thể đáp ứng được yêu cầu của thực tế kỹ thuật.

Để giải quyết mâu thuẫn này, người ta tìm cách hoàn thiện khả năng của kỹ thuật đo lường (về phương pháp và thiết bị) nhằm hạn chế phần tham gia của con người vào quá trình ấy. Những cố gắng trong lĩnh vực này rất đa dạng, phát triển theo nhiều hướng khác nhau. Cho đến nay, có thể thấy kỹ thuật đo lường điện tử hiện đại có xu thế đi theo hai hướng lớn sau:

Một là tự động hoá từng phần nhằm tăng nhanh tốc độ đo lường và giảm bớt khối lượng thao tác của con người. Theo hướng này, người ta thiết kế những máy đo có thể thực hiện được một vài phép toán đơn giản, những máy đo nhiều chức năng, đo được nhiều đại lượng vật lý khác nhau và những máy đo toàn cảnh cho phép quan sát trực tiếp dạng các đồ thị đặc trưng cho tính chất của hệ thống hay của một quá trình nào đó.

Hai là tự động hoá toàn bộ quá trình đo lường. Khi đó mỗi máy đo là một hệ tự động hoàn chỉnh, xây dựng theo nguyên tắc vòng kín. Về mặt sử dụng, tất nhiên máy đo loại này tiện lợi hơn loại trên nhiều nhưng kết cấu và nguyên lý của nó lại phức tạp hơn rất nhiều, đó cũng là điều tất nhiên. Trong nhiều trường hợp, tự động hoá toàn bộ là không cần thiết. Vì vậy, cả hai hướng trên vẫn phát triển song song và ngày càng đi tới hoàn chỉnh.

Dưới đây, ta sẽ lần lượt xem qua một vài nét tiêu biểu cho hai hướng này. Cũng như những chương trước ở đây vẫn đề khảo sát để tiện diễn giải, thì được thông qua các ví dụ với thiết bị cụ thể.

### **10.1.1 Tự động hoá từng phần quá trình đo lường**

#### ***1. Thay thế phép đo gián tiếp bằng phép đo trực tiếp***

Bảng những dụng cụ đo thông thường như vôn-mét, ampe-mét, ôm-mét... ta có thể đọc được trực tiếp trị giá của nhiều đại lượng cần đo. Tuy nhiên nhiều khi kết quả đo được bằng những dụng cụ ấy còn chưa phải là đại lượng cần biết. Chẳng hạn, khi khai thác, kiểm tra điều chỉnh các thiết bị điện tử chúng ta thường phải đo được tỷ số điện áp của hai tín hiệu: tỷ số này cho ta khái niệm về đặc tính truyền đạt của một mạng bốn cực, về độ suy giảm trên một đường dây, về hệ số sóng đứng, về hệ số phản xạ... Nếu như chỉ dùng vôn mét ta sẽ phải làm hai thao tác: đo và tính tỷ số như vậy sẽ mất nhiều thời gian và công sức. Tỷ số hai điện áp tín hiệu có được là nhờ cách đo gián tiếp.

Tự động hoá từng phần đo lường giải quyết vấn đề thời gian và lao động trên đây bằng cách tạo ra những dụng cụ đo theo phương pháp trực tiếp. Ví dụ một trong những loại dụng cụ ấy là máy đo tỷ số biên độ hai tín hiệu. Thang đo của nó khác độ không thứ nguyên hoặc theo deciben. Những phương pháp đo tỷ số sau đây được thực hiện nhiều nhất:

Thực hiện chia trực tiếp

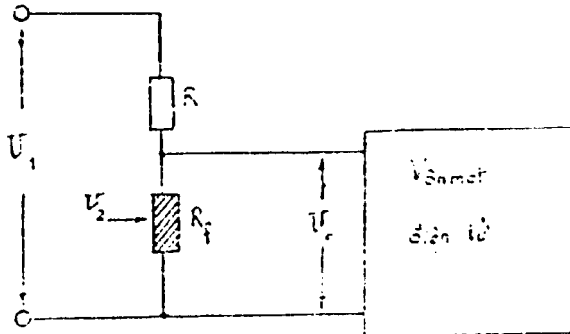
Biến đổi tỷ số biên độ thành di pha rồi dùng pha mét để đo

Dùng khâu biến đổi thời gian- xung để chia

Dùng bộ tùy động đồng hồ

Logarit hoá và trừ ( $\lg \frac{u_1}{u_2} = \lg u_1 - \lg u_2$ )

Ta hãy xem phương pháp thực hiện chia trực tiếp thông qua sau đây: dùng bộ phân áp gồm một điện trở tuyến tính  $R$  và một điện trở phi tuyến  $R_f$  để đo tỷ số hai điện áp biến đổi  $\frac{U_1}{U_2}$  (hình 10-2)



Hình 10-2

Từ số đó có thể thấy ngay điện áp  $U_0$  đo bằng vôn-mét điện tử sẽ là:

$$U_0 = U_1 \frac{R_f}{R + R_f} \quad (1)$$

khi  $R > R_f$  thì :

$$U_0 = U_1 \frac{R_f}{R} \quad (2)$$

Nếu như chọn điện trở phi tuyến  $R_f$  sao cho trị giá của nó phụ thuộc điện áp  $U_2$  theo quy luật

hyperbol:

$$R_f = \frac{a}{U_2}$$

thì (2) sẽ trở thành :

$$U_0 \approx k \frac{U_1}{U_2} \quad (3)$$

trong đó:

$$k = \frac{a}{R} \text{ là hệ số tỷ lệ}$$

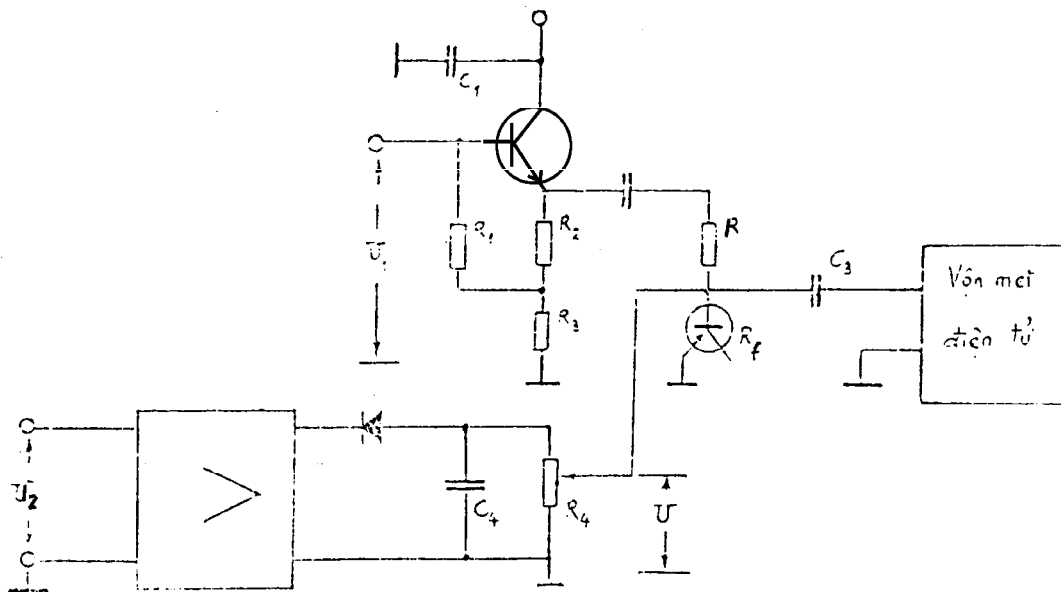
Điện trở phi tuyến có thể dùng điện trở của mặt ghép emito-bazơ của tranzixto tiếp mặt. Như ta đã biết, khi điện áp bé, đặc tuyến vôn-ampe của mặt ghép này có thể biểu diễn gần đúng một cách khá chính xác bằng quan hệ:

$$I = \beta U^2$$

Do đó ở đoạn mạch này của đặc tuyến, điện trở mặt ghép sẽ là một điện trở phi tuyến:

$$R_{be} = \frac{U}{I} = \frac{1}{\beta U} \quad (4)$$

Xem hình 10-3, điện áp  $U_1$  trước khi đặt vào bộ phận áp được đưa qua một tầng khuếch đại phụ tải catốt để giảm ảnh hưởng ngược đến nguồn tín hiệu. Còn điện áp  $U_2$  ta không đặt trực tiếp vào  $R_1$  (mặt ghép bazơ-emitơ) vì như vậy, vôn-mét sẽ đo  $U_2$  chứ



Hình 10-3

không phải tỷ số  $\frac{U_1}{U_2}$ . Để tránh hiện tượng đó, ta thực hiện như sau. Điện áp  $U_2$  sau khi khuếch đại được chỉnh lưu lấy thành phần trung bình rồi đưa đến điều khiển trị giá của điện trở  $R_f$ . Trong công thức (4) thành phần trung bình này là  $U$  ở mẫu số vế phải và  $R_f$  là  $R_{be}$  ở vế trái. Thành phần trung bình (một chiều) này của  $U_2$  được ngăn lại bằng tụ  $C_3$  mắc trước vôn-mét điện tử. Khi đó vôn-mét sẽ chỉ đo tỷ số  $\frac{U_1}{U_2}$ .

Điện áp đặt vào  $R_f$  (trong sơ đồ hình 10-3)

$$U = mU_2 \quad (5)$$

Thay vào (4) và chú ý rằng  $R_{be}$  chính là  $R_f$  ta có:

$$R_f = \frac{1}{\beta m U_2} = \frac{a}{U_2} \quad (6)$$

Công thức (6) cho thấy yêu cầu đề ra đã được thực hiện.

Những máy đo theo kiểu biến đổi tỷ số biên độ thành dịch pha đảm bảo độ chính xác cao hơn và dải động cũng lớn hơn nhưng sơ đồ của nó khá phức tạp nên không xét đến ở đây.

Nhìn chung những máy đo này cho phép đo theo phương pháp trực tiếp như vậy đều bao gồm những bộ phận thực hiện được một vài phép toán đơn giản. Ngoài đo tỷ số, phương pháp này đề cập tới cả việc đo một số quan hệ khác nữa.

## **2. Máy đo nhiều chức năng**

Tác dụng của loại máy đo này có thể thấy rõ vị trí các thí nghiệm trong kỹ thuật điện tử, trong vật lý thường yêu cầu xác định nhiều thông số: điện áp, dòng điện, tần số, dải thông tần, đặc tuyến tần số... Và các máy đo nhiều chức năng thông thường nhất có thể gặp ở bất kỳ phòng thí nghiệm vô tuyến, điện tử nào: ampe-vôn-mét, ampe-mét, ôm-mét... Máy đo nhiều chức năng cho phép rút ngắn thời gian thực nghiệm, đơn giản hoá thao tác đo lường, thu gọn kích thước các thiết bị chọn dùng trong mỗi phòng thí nghiệm.

Ta hãy xem sơ đồ khối của một máy đo nhiều chức năng tương đối phức tạp, một máy để đo thử như hình 10-4. Nó có thể thực hiện được những chức năng sau đây: phát tín hiệu chuẩn; đo công suất; đo tần số; phân tích phổ; đo đặc tuyến tần số; xem dạng sóng (như một ôxilô). Ngoài khả năng đo trực tiếp, còn có thể dùng nó để đo bằng phương pháp so sánh hệ số tạp âm của máy thu và do đó cả độ nhạy; dải thông tần của bộ khuếch đại trung gian. Dải tần số làm việc của thiết bị này có thể bao gồm cả dải sóng dm và nửa dải sóng cm. Khi đó nó sẽ là tổ hợp của một khối đo lường cơ bản của một vài khối siêu cao tần thay thế.

Dưới đây ta lần lượt xem sơ đồ khối các phần cơ bản của máy đo lấy làm ví dụ này.

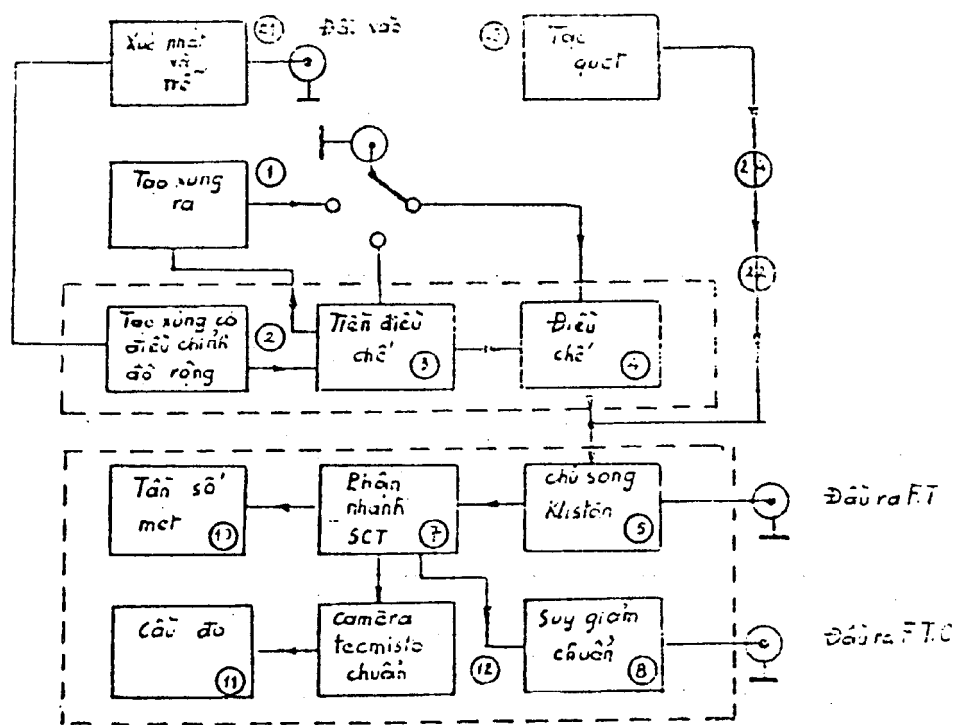
Phát tín hiệu: tạo ra tín hiệu và tín hiệu chuẩn. Chủ sóng là bộ tạo dao động dùng đèn Klistrôn 5 (xem hình 10-5). Dao động tạo ra đưa vào bộ phân nhánh siêu cao tần 7 đây là một mạng có một lối vào và bốn lối ra (hình 10-4).

Để nhận được tín hiệu chuẩn, ta đo mức công suất ban đầu ở đầu ra chủ sóng bằng camera tecmitsto 12 và cầu đo 11, còn tín hiệu lấy ra cho thông qua bộ suy giảm chuẩn 8. Căn cứ vào kết quả đo ở 11 và giá trị từng nấc suy giảm của 8, biết được mức tín hiệu ra. Rõ ràng ở đây nói tín hiệu chuẩn chỉ là chuẩn về biên độ.

Phân phát tín hiệu có thể làm việc ở ba chế độ: phát liên tục, điều tần và điều chế xung.

Ở chế độ phát liên tục, lấy điện áp âm từ nguồn cung cấp (khối 20 trên hình 10-4) đưa vào cực phản xạ của Klistrôn.





Hình 10-5

Chế độ điều tần: tín hiệu điều chế là điện áp răng cưa lấy từ 23 đưa đến cực phản xạ của Klistrôn. Lúc đó tầng chủ sóng Klistrôn trở thành một bộ tạo sóng có tần số thay đổi theo qui luật tăng và giảm tuyến tính dùng với dạng răng cưa.

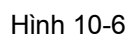
*Phân đo tần số:* gồm ba khối 8, 7 và 10. Tần số mét 10 có thể dùng để đo tần số của dao động tạo ra từ 5 hoặc đo tần số của tín hiệu bất kỳ từ ngoài đưa vào qua đầu T.C. Tần số mét dùng đồng hồ micro ampe-mét để chỉ thị. Tùy độ lớn và tính chất của tín hiệu mà đồng hồ có thể nối trực tiếp vào bộ tách sóng qua khuếch đại. Nếu tín hiệu cần đo là liên tục, yếu và có tần số thấp, có thể đưa qua bộ rung (vibrator) rồi mới khuếch đại.

*Phân đo công suất:* gồm khối 10 và 13 (hình 10-4) Để mở rộng dải đo, có mắc thêm một bộ suy giảm.

*Phân phân tích phổ:* xem hình 10-6. Về nguyên tắc không khác gì máy phân tích phổ đã nói đến ở chương 8 trừ một vài đặc điểm nhỏ. Tín hiệu và dao động ngoại sai (do Klistrôn tạo ra) được đưa vào bộ trộn 6 qua bộ phân nhánh 7. Các vạch dấu tần số do tần số mét 10 tạo ra (ta sẽ xét đến ở mục 3 của tiết này). Tín hiệu cần được phân tích phổ đưa vào qua đầu R.T.C.

Phân đo đặc tuyến tần số: dùng phối hợp ôtxilô với phân phát tín hiệu chuẩn. Khi đó, phát tín hiệu chuẩn làm việc ở chế độ điều tần. Dạng đặc tuyến tần số quan sát được trên màn ôtxilô. Nguyên lý làm việc của phần này sẽ xét kỹ hơn ở mục dưới đây.

Đây là một phương pháp đo lường đặc biệt, nhằm xây dựng những bức tranh toàn cảnh về quy luật biến thiên của một hoặc một vài thông số nào đó trong khoảng một phạm vi biến số biến thiên khá rộng. Biến số thường gặp hơn cả là tần số. Kết quả nhận được (dưới dạng các đồ thị) có thể trực tiếp quan sát trên màn ống tia điện tử hoặc ghi trên băng giấy. Phương pháp đo lường như vậy rất nhanh chóng và chính xác.



426

*a. Tự động vẽ đặc tuyến tần số mạng bốn cực*

Như ta đã biết khi nghiên cứu khai thác và điều chỉnh mạng bốn cực phải vẽ đặc tuyến tần số của nó, tức là tìm quan hệ giữa hệ số truyền đạt của mạng với tần số trong suốt dải tần số công tác:

$$\frac{U_2}{U_1} = K(f) \quad \text{với } f_{\min} \leq f \leq f_{\max}$$

Thông thường người ta làm như sau: Đầu vào mạng bốn cực cần nghiên cứu đặt một nguồn tín hiệu chuẩn  $U_1$ , giữ cho biên độ  $U_1$  không đổi và thay đổi tần số của nguồn này theo một quy luật đã chọn (tăng hoặc giảm) trong phạm vi  $f_{\min} \div f_{\max}$ . Đo biên độ của đáp ứng ở đầu ra tại một số điểm trong dải tần số đó, ta sẽ có một số trị giá  $U_2(f)$  (hình 10-7a). Nếu  $U_1 = \text{const}$ , thì  $K(f)$  tỷ lệ với  $U_2(f)$ . Quá trình vừa mô tả tốn nhiều thời gian và gặp nhiều khó khăn trong việc bảo đảm chính xác. Thứ nhất, vì khi thay đổi tần số, các thông số của mạng bốn cực cũng thay đổi theo ảnh hưởng tại nguồn tín hiệu buộc ta phải luôn luôn điều chỉnh để giữ cho  $U_1$  không đổi. Thứ hai, dù cho kết quả đó là chính xác nhưng vì chỉ thực hiện đo  $U_2$  ở một số hữu hạn điểm nên đường cong vẽ được chỉ là gần đúng.

Bằng phương pháp sau đây, người ta giải quyết được phần lớn những thiếu sót ấy. Xem hình 10-7.

Đầu vào mạng bốn cực cần vẽ đặc tuyến là tín hiệu lấy từ bộ phát điều tần số có biên độ không đổi và tần số biến đổi theo qui luật đường thẳng một cách có chu kỳ. Sở dĩ như vậy vì tín hiệu điều chế ở đây chính là tín hiệu răng cưa lấy từ bộ tạo quét.

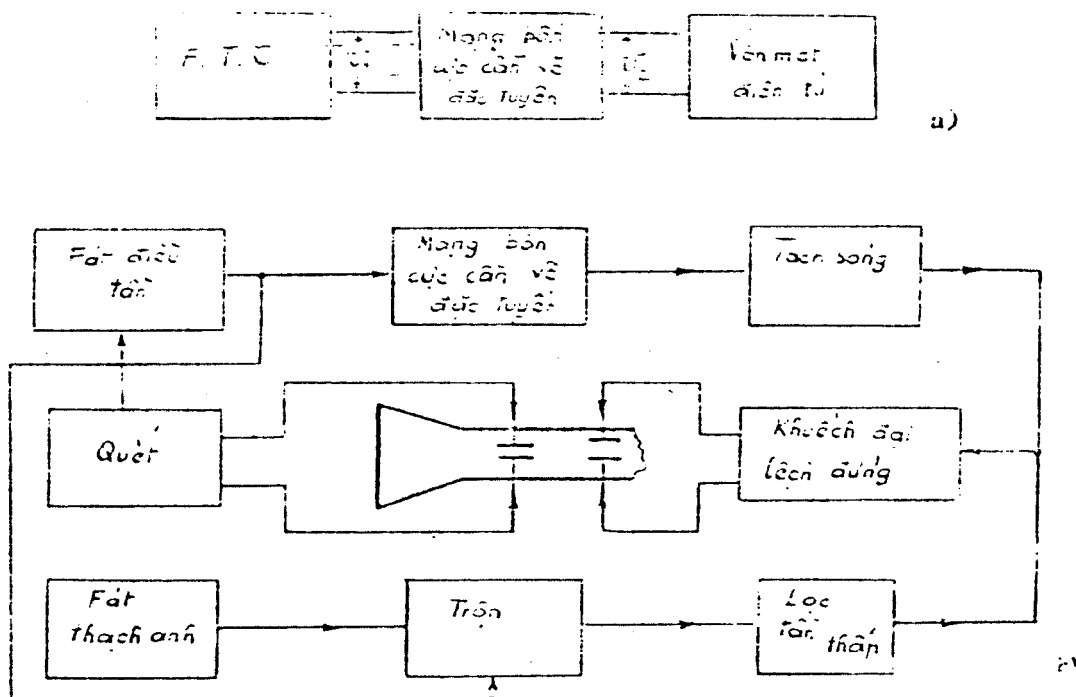
Tần số trung tâm của bộ tạo dao động qui định bằng tần số trung bình của dải thông mạng bốn cực. Tín hiệu ra của mạng bốn cực được tách sóng biên độ, khuếch đại rồi đưa vào cặp phiến lệch đứng của ống tia. Trên màn hiện sóng sẽ nhận được hình ảnh của đường bao này.

Vì tín hiệu dùng để biến đổi tần số của dao động đưa vào mạng bốn cực cũng chính là tín hiệu đưa vào cặp phiến lệch ngang của ống tia nên hình ảnh đường bao của phản ứng ở đầu ra cũng được trải ra theo sự thay đổi tuyến tính của tần số. Nếu như giữ được biên độ của dao động ở đầu vào không đổi thì đây chính là đặc tuyến tần số cần vẽ.

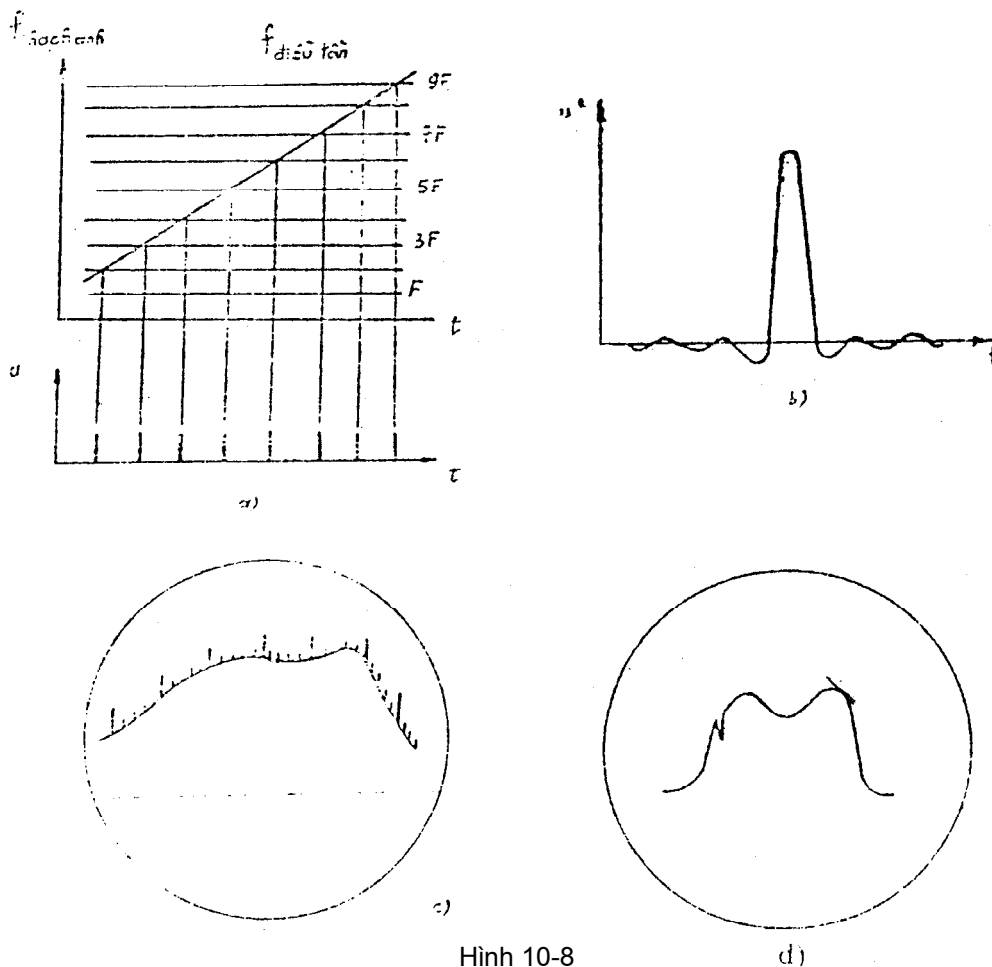
Để đọc được giá trị tần số tại những điểm cần thiết trên đặc tuyến hoặc xác định dải thông của đặc tuyến này, người ta dùng bộ khắc độ tần số, tạo những vạch dấu tương tự như những vạch đầu thời gian trong các ôxilo xung thông thường. Ở đây phần khắc độ tần số bao gồm các khối phát thạch anh, trộn và lọc tần thấp.

Bộ trộn có hai đầu vào, một đầu ra, thực tế là một bộ so sánh theo kiểu phách. Đầu vào thứ nhất là tín hiệu lấy ra từ bộ dao động thạch anh có tần số cơ bản  $F$ . Vì phát thạch

Rõ ràng, đặc tuyến tần số nhận được theo phương pháp này rất chính xác và nhanh chóng hầu như ngay lập tức. Nhất là khi phải điều chỉnh một mạch bốn cực nào đó để có được đặc tuyến tần số dạng mong muốn, phương pháp này càng tỏ ra tính ưu việt vì có thể vừa điều chỉnh vừa theo dõi kết quả một cách liên tục cho tới khi đạt được mục đích.



Hình 10-7



Hình 10-8

*b. Máy đo hệ số phản xạ và hệ số sóng đứng toàn cảnh*

Các máy đo theo phương pháp toàn cảnh này khác những máy đo hệ số phản xạ và hệ số sóng đứng thông thường ở chỗ chúng có độ chính xác cao, ở đặc điểm sử dụng thuận lợi ở khả năng đo được trở kháng toàn phần biến đổi nhanh theo thời gian và là một hàm của tần số.

Môđun của hệ số phản xạ thì bằng:

$$p^2 = \frac{P_{\text{th}}}{P_t}$$

$P_{\text{ph}}$  và  $P_t$  là công suất sóng phản xạ và công suất sóng tới.

Bây giờ nếu giữ cho công suất sóng tới không đổi trong toàn dải tần thì môđun của hệ số phản xạ sẽ là một hàm đơn trị của công suất phản xạ từ đối tượng cần đo.

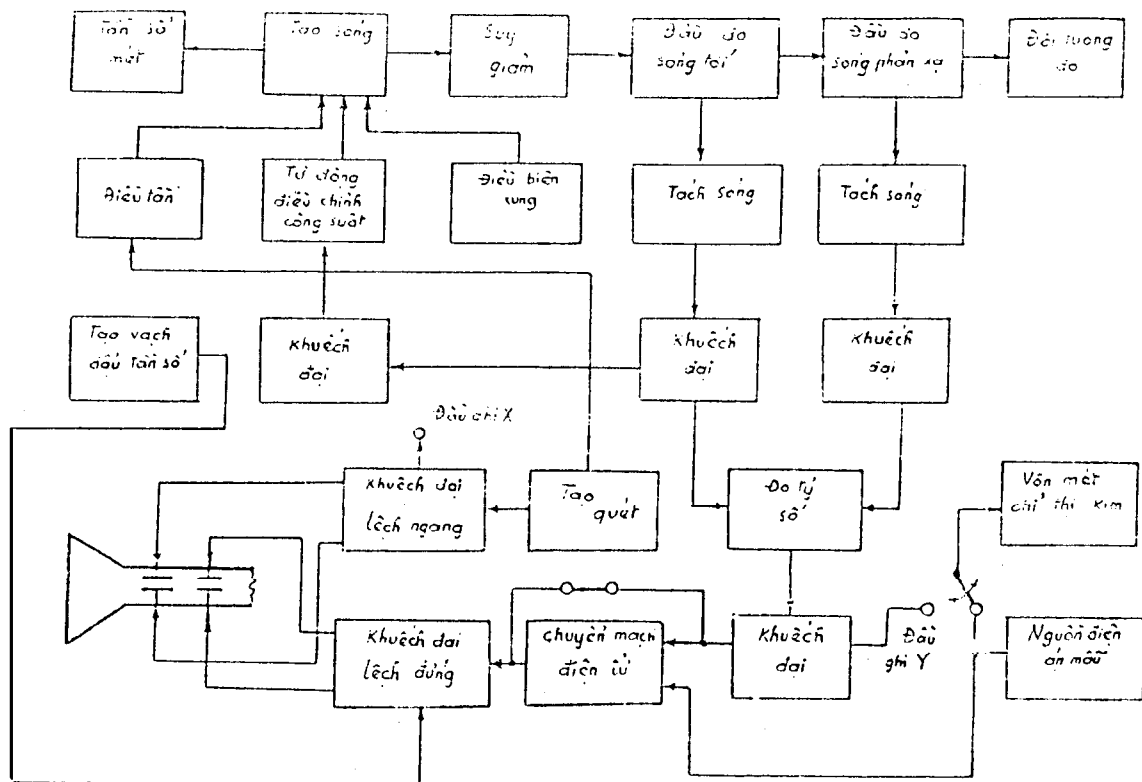
$$p(f) = c\sqrt{P_{ph}(f)}$$

Từ biểu thức này, xây dựng nguyên tắc của máy đo hệ số phản xạ và hệ số sóng đứng toàn cảnh. Dùng một máy phát tần số thay đổi qua lại (theo kiểu quét của ôxilô, tức là tăng dần từ  $f_{\min}$  đến  $f_{\max}$  rồi lập tức trở về  $f_{\min}$  để lại hiện một chu kỳ khác) trong một dải rộng và có độ ổn định công suất rất cao. Thường phải đảm bảo duy trì công suất với độ chính xác  $1 \div 2\%$ .

Sơ đồ khối của máy đo toàn cảnh biểu diễn ở hình 10-9. Nó cho phép quan sát trên màn hiện sóng toàn cảnh sự thay đổi của hệ số sóng đứng trong suốt dải tần và cho phép xác định trị giá của hệ số sóng đứng ở bất kỳ tần số nào thuộc dải này.

Bộ tạo sóng siêu cao tần dùng đèn sóng ngược. Dao động siêu cao tần ra được điều tần bởi điện áp răng cưa (quét) và được điều biên bởi một dãy xung vuông có chu kỳ lặp lại bằng hai lần độ rộng xung. Trên đường truyền từ máy phát đến tải (đối tượng cần đo), có đặt bộ phận mạch định hướng để thu sóng tới và sóng phản xạ.

Các sóng nhận được đưa vào tách sóng (tách sóng bình phương), khuếch đại rồi đưa vào bộ đo tỷ số. Điện áp ra bộ đo tỷ số này tỷ lệ với bình phương hệ số phản xạ của tải và do đó, chính là tỷ lệ với hệ số sóng đứng. Sau khi khuếch đại, kết quả này được đưa vào kênh lệch đứng của ống tia.



Hình 10-9

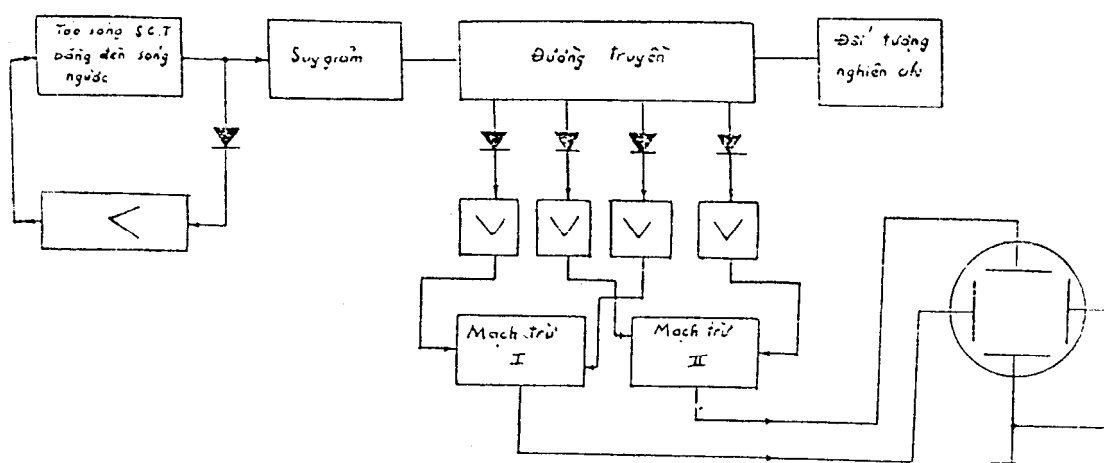
Cũng như đối với máy vẽ đặc tuyến tần số ở đây điện áp quét biến thiên đồng đều với điện áp dùng để điều chế tần số của máy phát siêu cao, do đó trên màn hiện sóng, ta nhận được toàn cảnh về sự phụ thuộc của hệ số sóng đứng vào tần số.

Để định lượng được trị số hệ số sóng đứng tại những điểm bất kỳ với độ chính xác cao, người ta thực hiện so sánh điện áp của bộ đo tỷ số đã khuếch đại với một điện áp mẫu của máy ngay trên màn hiện sóng. Hai điện áp này đưa qua một bộ chuyển mạch điện tử. Kết quả là trên màn huỳnh quang, ngoài đường biểu diễn phản xạ, còn có một đường sáng, vị trí của nó phụ thuộc trị giá điện áp mẫu. Điều chỉnh bằng tay biên độ điện áp mẫu để đường sáng này chạy qua điểm ta quan tâm trên đường cong. Trị giá hệ số sóng đứng tại điểm đo dọc theo đồng hồ chỉ thị trị giá điện áp mẫu. Để thuận tiện, đồng hồ này khắc độ theo tỷ lệ xích hệ số sóng đứng.

Trị giá tần số tại điểm đo (hay một điểm bất kỳ) xác định dựa vào điểm sáng đánh dấu tần số trên màn ống tia. Bộ tạo mẫu tần số và tần số mét tạo ra điểm sáng này. Có thể dịch chuyển điểm sáng đánh dấu tần số này bằng cách điều chỉnh tần số mét. Như ta thấy trên sơ đồ hình 10-9 có thể sóng đứng cả khi điều chỉnh tần số bằng tay và đọc trị giá theo đồng hồ chỉ thị kim.

Nếu mắc vào hai đầu ghi X và Y một bộ ghi hai tọa độ có thể vẽ được đường cong cần nghiên cứu trên bằng giấy.

Máy đo vừa xét có thể đo được cả suy giảm của các bộ suy giảm và đặc tính biên độ - tần số của mạng bốn cực không nguồn.



Hình 10-10

Có thể xếp vào loại này cả máy đo trở kháng toàn phần toàn cảnh, sơ đồ của nó ở hình 10-10. Nó cho phép quan sát trên màn hiện sóng đặc tính của đối tượng cần nghiên cứu trên nền đồ thị vòng là trở kháng toàn phần. Trên nền đồ thị vòng này, còn đo được cả hệ số sóng đứng, môđun và pha của hệ số phản xạ nữa. Nguyên tắc của nó như sau.

Trên đường từ bộ tạo dao động siêu cao tần đến tải (đối tượng cần nghiên cứu) đặt bốn đầu đo bố trí cách nhau sao cho mức điện động có được ở các đầu đo cách nhau chênh nhau  $90^\circ$  về pha.

Điện áp ra ở đo điốt tách sóng thứ nhất là:

$$U_1^2 = \alpha U_{\text{tối}}^2 \left[ (1 + p \cos \theta)^2 + p^2 \sin^2 \theta \right]$$

trong đó  $p$  là môđun hệ số phản xạ.

$$\theta = \psi - \varphi$$

$\psi$  là pha hệ số phản xạ.

$\varphi$  là góc pha kể đến sự chênh lệch nhau giữa mặt phẳng đặt các đầu đo và mặt phẳng đầu nối tải.

Do cách bố trí các đầu dò như vậy, điện áp ra của điốt tách sóng thứ ba là:

$$U_3^2 = \alpha U_{\text{tối}}^2 \left[ (1 - p \cos \theta)^2 + p^2 \sin^2 \theta \right]$$

tương tự, đối với đầu đo thứ hai và thứ tư:

$$U_2^2 = \alpha U_{\text{tối}}^2 \left[ (1 - p \sin \theta)^2 + p^2 \cos^2 \theta \right]$$

$$U_4^2 = \alpha U_{\text{tối}}^2 \left[ (1 + p \cos \theta)^2 + p^2 \sin^2 \theta \right]$$

Hiệu từng cặp điện áp 1 và 3; 2 và 4 được khuếch đại lên rồi đưa vào hai cặp phiên lệch ngang và lệch đứng của ôxilô.

Vào cặp phiên làm lệch ngang:

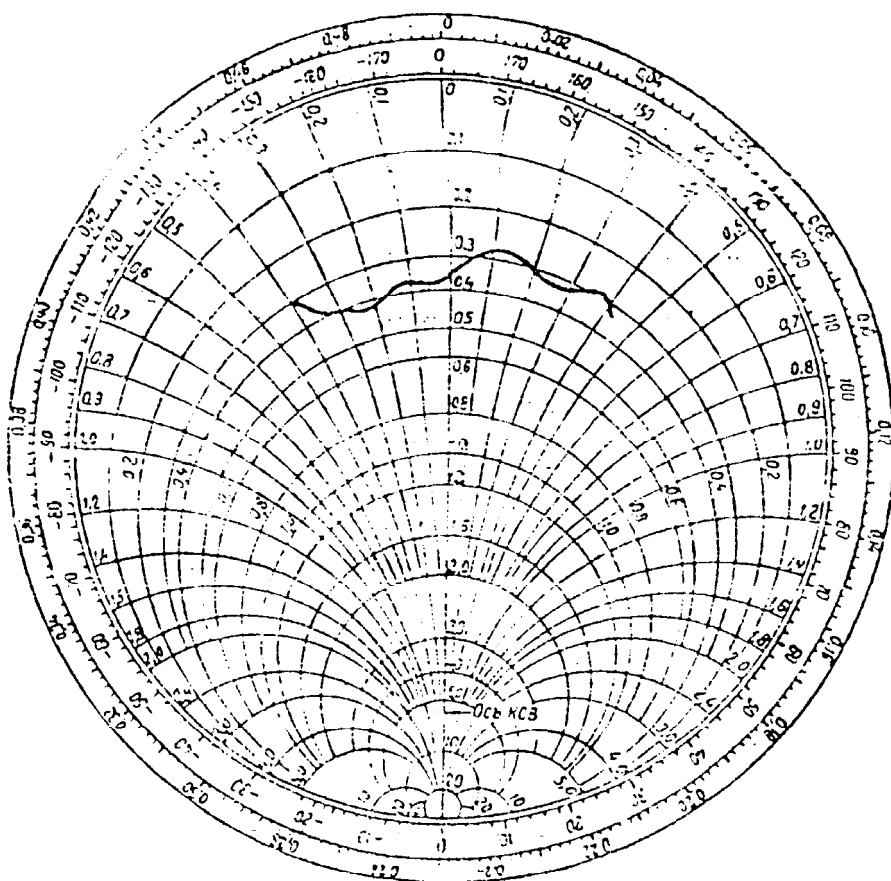
$$KU_1^2 - KU_3^2 = 4\alpha KU_{\text{tối}}^2 p \cos \theta$$

Vào cặp phiên làm lệch đứng:

$$K'U_4^2 - K'U_2^2 = 4\alpha K'U_{\text{tối}}^2 p \sin \theta$$

Như vậy, điện áp đưa vào hai cặp phiên chênh nhau  $90^\circ$ . Nếu bây giờ chỉnh cho biên độ hai điện áp này bằng nhau thì tia điện tử bị lệch cả hai phía như nhau. Biến đổi từ từ pha của hệ số phản xạ từ 0 đến  $360^\circ$  và giữ nguyên môđun thì tia điện tử sẽ vẽ nên một vòng tròn trên màn huỳnh quang, bán kính vòng tròn này tỷ lệ với  $\beta$ .

Khi tần số máy phát thay đổi qua lại, hệ số phản xạ phức của đối tượng đo sẽ biến thiên, vẽ nên đặc tuyến  $p=\Phi(f)$ . Vì vậy, có thể xác định cả môđun cả pha của hệ số phản



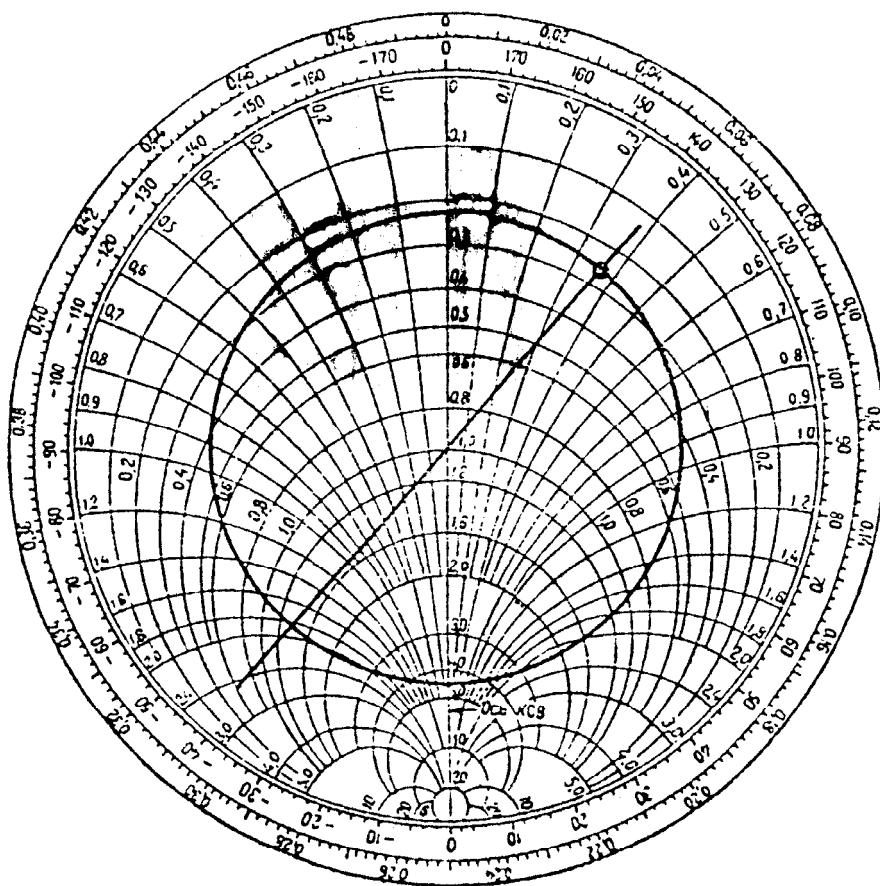
Hình 10-11a

xạ  $p=p(f)$  và  $\psi=\psi(f)$ . Độ lệch tính từ tâm của tia điện tử tại mỗi điểm tỷ lệ với  $p$  còn phương vị tương ứng với  $\psi$ .

Trên mặt màn hiện sóng đặt một đĩa trong suốt, trên đó vẽ đồ thị vòng. Đường cong  $p = \Phi(f)$  quan sát được trên nền đồ thị vòng đó chính là toàn cảnh của hệ số phản xạ (hình 10-11a)

Để có thể đọc trực tiếp trị giá môđun và pha của hệ số phản xạ một cách chính xác, người ta tạo ra trên màn hiện sóng một vòng tròn sáng tâm ở giữa màn, bán kính thay đổi được và một đường thẳng sáng chạy qua tâm của màn. Vòng tròn sáng có được nhờ một bộ chia pha tạo ra hai điện áp hình sin lệch nhau  $90^\circ$  về pha, đưa vào hai cặp phiến lệch làm cho tia điện tử bị quay tròn. Bằng cách điều chỉnh biên độ điện áp cung cấp cho bộ chia pha, ta thay đổi được bán kính vòng tròn sáng này. Cơ cấu điều chỉnh đặt ngay trên mặt máy gắn với thước khắc độ theo môđun hệ số phản xạ. Còn vết sáng qua tâm được tạo nên bằng biến áp xenxin (biến áp quay). Khi quay rôto biến áp, vết

sáng này sẽ xoay tròn, lấy tâm của màn làm tâm quay. Cả hai điện áp tạo nên vòng sáng và vết sáng trên đây được đưa vào các cặp phiến làm lệch thông qua bộ chuyển mạch.



Hình 10-11b

Cách đo như sau: điều chỉnh tần số bộ tạo sóng siêu cao tần đến tần số cần xác định trở kháng toàn phần của đối tượng cần đo. Lúc đó trên màn huỳnh quang có một điểm sáng, vị trí của nó phụ thuộc giá trị của  $p$  và  $\psi$ . Điều chỉnh bán kính vòng sáng sao cho vòng này đi qua điểm sáng ấy, trên thang khắc độ của bán kính lúc này có thể đọc được giá trị của  $p$ . Sau đó quay rôto xenxin đến khi vết sáng qua tâm cũng đi qua điểm sáng này, ta sẽ đọc được giá trị của  $\psi$  ngay trên thang khắc độ của cơ cấu điều chỉnh rôto. Xem hình 10-11b trên đó vẽ màn hiện sóng có gắn đồ thị vòng, khi quá trình điều chỉnh vừa nói đã kết thúc.

### 10.1.2 Tự động hoá hoàn toàn quá trình đo lường

Như đã nói ở đầu chương này, muốn thực hiện tự động hoá hoàn toàn quá trình đo, các thiết bị chọn lọc dùng phải là những hệ thống theo nguyên tắc vòng kín. Một mặt, các hệ thống này khá phức tạp, mặt khác nguyên lý chung của loại này thuộc lĩnh vực lý thuyết tự động điều khiển. Vì hai lý do, ở đây ta chỉ lấy một vài ví dụ về thiết bị cụ thể để minh hoạ có tính chất giới thiệu đôi nét những thành tựu đã đạt được trong kỹ thuật đo tự động hiện nay.

Ở tiết trước ta đã xem con đường tiến tới hoàn thiện việc đo lường nhằm giảm bớt khó khăn và thời gian đo. Tuy nhiên, con đường đó chưa hoàn thành một cách trọn vẹn việc giải phóng con người khỏi những thao tác như điều chỉnh, chuyển đổi băng, lấy kết quả. Vì vậy, người ta không dừng lại ở đó.

Cho đến nay, những cố gắng để tự động hoá hoàn toàn quá trình đo lường có thể chia một cách đại thể thành hai nhóm: đo lường tự động ghi giữ và đo lường phục vụ trực tiếp cho điều khiển tự động. Trong phạm vi cuốn sách này, ta chỉ xét tới vấn đề thứ nhất.

Đo lường tự động ghi giữ được đặc trưng bởi những nét cơ bản sau đây:

Hoàn toàn không điều chỉnh và điều chỉnh cộng hưởng bằng tay. Những thiết bị đo lường này hoặc là không yêu cầu điều chỉnh hoặc là việc điều chỉnh được thực hiện một cách tự động nhờ những cơ cấu đặc biệt sẵn có trong nó.

Những kết quả đo lường được ghi lại thành tài liệu. Một trong những dạng ghi kết quả thông thường và thuận lợi nhất là in kết quả đo thành chữ, số và dấu hiệu. Khi đó yêu cầu tốc độ in phải đủ lớn.

Nhờ được in lại nên những kết quả đo được lưu trữ lâu bao nhiêu tùy ý và muốn lấy lúc nào cũng được. Trong nhiều trường hợp, những số liệu này có thể đưa trực tiếp vào máy vi tính. Một bộ nhớ như vậy là lý tưởng.

Xử lý bằng máy tính điện tử: Điều đó cho phép giải quyết nhiều nhiệm vụ quan trọng trong tự động hoá đo lường như:

- Xác định đại lượng cần đo theo những số liệu đo khác. Nhờ có máy tính điện tử mà đo gián tiếp như vậy cũng không khác gì đo trực tiếp.
- Giải những phép toán logic
- Phối hợp nhiều nhóm thiết bị đo lường thành một bộ thống nhất.
- Tạo thành một hệ thống kiểm tra các thông số của nhiều đối tượng. Việc kiểm tra như thế có thể tiến hành đồng thời hoặc theo thứ tự tùy ý.

- Gia công nhanh nhiều số liệu đo lường để rút ra những kết luận dưới dạng cô đọng, tổng quát và tách ra những tin tức cần thiết.

- Gia công những số liệu đo đạc ở hàng loạt đối tượng, hệ thống hoá những kết quả này và tích lũy thống kê theo từng đối tượng

- Phân tích kết quả đo lường và chỉ ra phương hướng hợp lý nhất để tiếp tục nghiên cứu.

Những ví dụ xét dưới đây nhằm làm sáng tỏ hai đặc điểm đầu tiên:

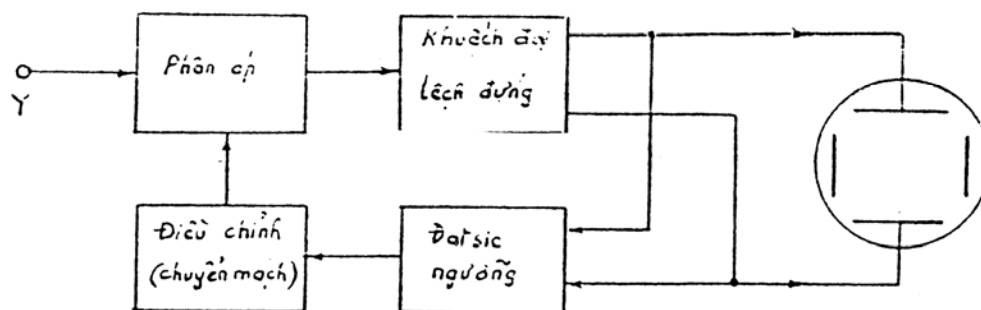
#### *Tự động hoá thao tác điều chỉnh*

Trong các máy đo một thao tác thông thường và tốn nhiều công sức, thời gian nhất là điều chỉnh trước khi đo, chọn lượng trình đo thích hợp với đại lượng cần đo, chọn cực tính của các đầu vào...

Giải phóng con người khỏi những thao tác này được coi là một bước ngoặt quan trọng việc tự động hoá đo lường. Nguyên tắc giải quyết vấn đề đó cũng không vượt ra ngoài nguyên lý chung của lý thuyết tự động điều chỉnh, nghĩa là phải xây dựng những vòng phản hồi.

Các đại lượng đưa vào đo được biến đổi để có thể so sánh được với những đại lượng mẫu do máy đo tạo ra. Kết quả so sánh (sai khác) dùng để thực hiện một cách tự động những thao tác đã nói ở trên.

Ví dụ điển hình là hệ thống điều chỉnh tự động độ nhạy và tần số quét của ôxilô. Sơ đồ khối tổng quát của hệ thống điều chỉnh độ nhạy vẽ ở hình 10-12.



Hình 10-12

Tín hiệu cần nghiên cứu đưa vào cặp phiến lệch đứng và được trích một phần đưa vào đất-sic ngưỡng. Khi biến đổi tín hiệu vượt ra ngoài giới hạn đã qui định thì đất-sic ngưỡng cho ra tín hiệu tác động vào bộ điều chỉnh. Bộ điều chỉnh thực hiện việc chuyển mạch, thay đổi hệ số suy giảm của bộ phận áp đầu vào nhằm duy trì ảnh tín hiệu trên màn huỳnh quang trong một phạm vi nhất định.

Có thể khảo sát kỹ hơn nguyên tắc này bằng sơ đồ kênh lệch đứng của ôxilô C1-43 (hình 10-13). Nó thực hiện tự động điều chỉnh độ nhảy của ôxilô và khôi phục thành phần một chiều của tín hiệu, bảo đảm trục đối xứng của tín hiệu luôn luôn trùng với đường kính ngang của màn huỳnh quang.

Nếu gọi độ cao của ảnh là  $h$  thì hệ thống này phải thực hiện bất đẳng thức :

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max} \quad (7)$$

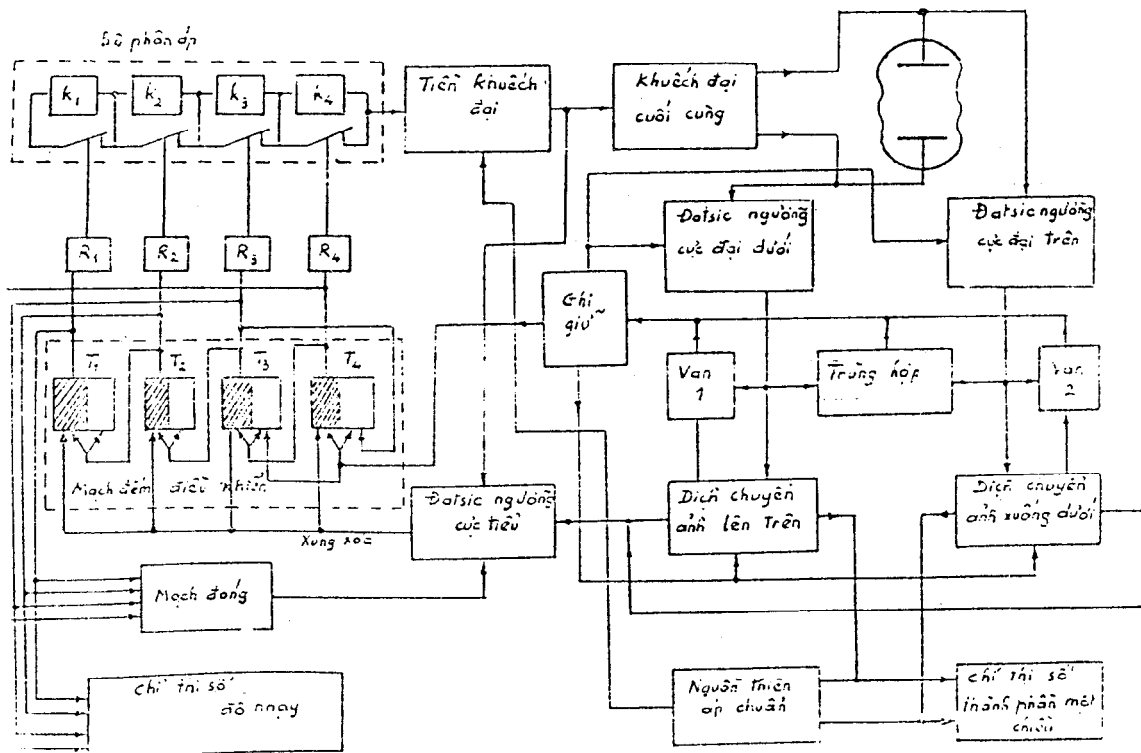
( với C1-43  $h_{\min} = 2\text{cm}$  và  $h_{\max} = 6\text{cm}$  )

Khi  $h > h_{\max}$  và  $h < h_{\min}$ , hệ thống thực hiện chuyển đổi cách nối các điện trở phân áp của bộ suy giảm. Bốn vị trí của bộ phân áp tương ứng với bốn hệ số suy giảm.

$$k_1 = \frac{1}{100}, \quad k_2 = \frac{1}{10}, \quad k_3 = \frac{1}{4}, \quad \text{và} \quad k_4 = \frac{1}{2}.$$

Cơ cấu trực tiếp thực hiện đổi nối bộ

phân áp là rơ-le điện từ có tiếp điểm thường đóng  $R_1 \div R_4$ . Vị trí tiếp điểm của các rơ-le này xác định độ nhảy của kênh đứng: là cực đại ( $k=1$ ) khi cả bốn tiếp điểm cùng đóng và là cực tiểu ( $k=k_1, k_2, k_3, k_4$ ) khi cả bốn tiếp điểm cùng mở.



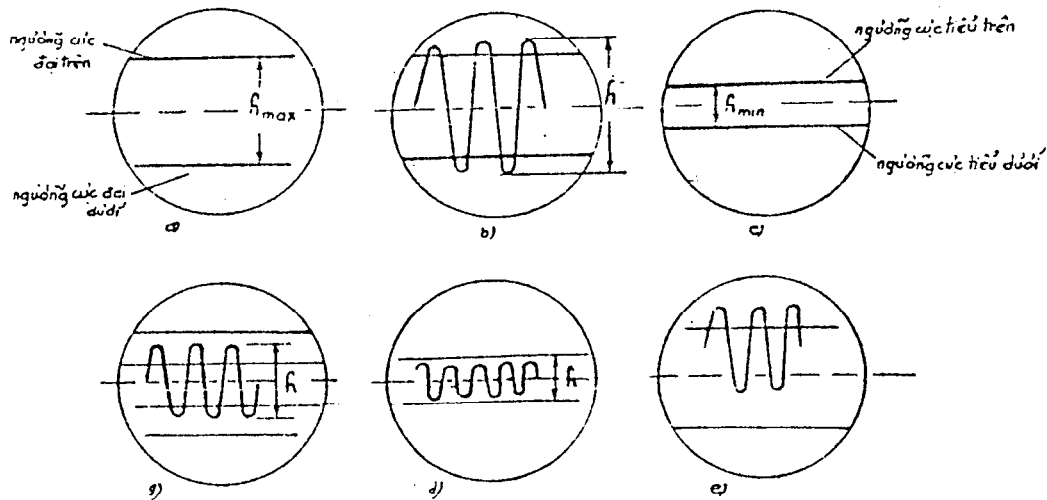
Hình 10-13

Mạch điều khiển các rơ-le này là bốn tri-gơ  $T_1 - T_4$ ; tạo thành một mạch đếm xung. Khi tri-gơ ở trạng thái "0" thì tiếp điểm của rơ-le đóng lại và tri-gơ ở trạng thái "1", tiếp

điểm rơle mở ra ( hình 10-13 vẽ các trigơ ở trạng thái “0”) Tổ hợp trạng thái của bốn trigơ xác định trị giá hệ giá hệ số suy giảm k ( độ nhảy) và trạng thái các tri-gơ này lại phụ thuộc vào số xung đưa vào bộ đếm.

Dưới đây là nguyên tắc tạo xung khi điều kiện (7) bị vi phạm. Đầu tiên, ta giả thiết rằng thành phần một chiều của tín hiệu là không có.

Độ cao cực đại của ảnh trên màn  $h_{max}$  được qui định bởi hai mức ngưỡng cực đại trên và dưới ( hình 10-14a) và tương ứng với chúng là hai điện áp ngưỡng của hai ắc-sic ngưỡng cực đại trên và dưới ( xem hình sơ đồ khối hình 10-13)



Hình 10-14

Khi đó độ cao ảnh lớn hơn giới hạn quy định (hình 10-14b), hai ắc-sic này cũng bắt đầu cho ra xung đưa vào đầu 1 và đầu 2 của bộ trùng hợp. Trong khoảng thời gian các xung từ hai đầu vào trùng nhau, bộ trùng hợp sẽ cho ra xung đưa vào bộ ghi giữ. Khi có xung vào, bộ ghi giữ sẽ cho xung ra theo hai đường: một đường vào bộ đếm điều khiển rơ-le và một đường phản hồi để ngắt hai ắc-sic trong thời gian các rơ-le và chuyển mạch thực hiện đổi nối (quán tính của rơ-le và của cơ cấu chuyển mạch khá lớn so với chu kỳ lặp lại của xung). Đầu tiên, chuyển mạch thực hiện ngắt tiếp điểm của  $R_4$ .

Khi đó hệ số phân áp là  $k_4 = \frac{1}{2}$ .

Nếu như  $h$  vẫn lớn hơn  $h_{max}$  thì sau khi hết tín hiệu ngắt ắc-sic, các ắc-sic này lại cho ra xung đưa vào bộ trùng hợp và lại có thêm một xung nữa vào bộ đếm điều khiển làm trạng thái  $T_4$  trở lại “0” và  $T_3$  sang “1”, tiếp điểm của  $R_4$  đóng lại, cửa  $R_3$  mở ra. Hệ số phân áp lúc này là  $k_3 = \frac{1}{4}$ . Việc đổi nối bộ suy giảm cứ thực hiện theo số xung vào

bộ đếm và sẽ ngừng lại khi mà điều kiện  $h \leq h_{\max}$  được thoả mãn. (Bộ đếm điều khiển ở hình 10-13 có 12 trạng thái, đếm được 11 xung)

Bây giờ xét trường hợp  $h < h_{\min}$ .

Độ cao cực tiểu  $h_{\min}$  được qui định bởi hai ngưỡng cực tiểu trên và dưới (hình 10-14c). Khác với trước, đất-sic tương ứng với hai ngưỡng này tạo thành từ một bộ tách sóng và một bộ đa hài tự kích. Tín hiệu sau khi khuếch đại sơ bộ được lấy một phần, tách sóng và biến đổi thành những xung âm làm tắt bộ đa hài.

Khi  $h < h_{\min}$  (hình 10-14d), xung âm tạo ra không đủ lớn để tắt bộ dao động đa hài nữa và bộ đa hài bắt đầu tạo xung xoáy, khôi phục lại trạng thái “0” cho cả 4 tri-gơ. Khi đó  $k=1$  nghĩa là độ nhảy của dao động kỳ là cực đại. Độ cao  $h$  của ảnh tăng lên. Nếu  $h$  tăng lên quá mức qui định thì các đất-sic ngưỡng cực đại lại làm việc, giảm từ từ độ nhảy này xuống, bảo đảm thoả mãn điều kiện (7).

Khi độ nhảy là cực đại, nếu  $h$  vẫn nhỏ hơn  $h_{\min}$  nghĩa là tín hiệu âm từ bộ tách sóng vẫn không đủ để đóng đa hài, mạch đóng sẽ đảm bảo tạo ra mức điện áp làm nhiệm vụ đó.

Nếu như tín hiệu vào có thành phần một chiều khác 0, kênh lệch đứng của ôxilô C1-43 còn thực hiện tự động bù khi mức một chiều này thay đổi, bảo đảm ảnh của tín hiệu luôn luôn nằm giữa màn. Nguyên tắc tự động cũng được giải thích trên sơ đồ khối hình 10-13.

Giả thiết mức một chiều tăng, nâng ảnh tín hiệu vượt quá ngưỡng cực đại trên (hình 10-14e). Khi đó đất-sic ngưỡng cực đại trên bắt đầu làm việc, gửi xung vào bộ dịch chuyển ảnh xuống. Đây cũng là một bộ đếm xung, gồm bốn trigơ dùng để điều khiển nguồn thiên áp chuẩn cung cấp cho bộ khuếch đại. Mỗi một xung được gửi vào bộ đếm là một lần trạng thái các trigơ thay đổi và thiên áp bị giảm một mức.

Kết quả là mỗi lần như vậy ảnh tín hiệu được hạ xuống một khoảng  $\Delta h=1\text{cm}$ .

Bộ đếm dịch chuyển ảnh có bốn tri-gơ nên có thể có 12 trạng thái, tức là đếm được 11 xung (xung thứ 12 làm cho nó trở lại trạng thái ban đầu). Đất-sic ngưỡng cực đại trên sẽ tiếp tục tạo xung gửi vào bộ đếm này chừng nào điểm cao nhất của ảnh còn nằm cao hơn mức ngưỡng cực đại trên. Nếu như sau 11 xung, ảnh tín hiệu chưa hạ xuống giới hạn qui định (do thành phần một chiều của tín hiệu quá hơn) thì sau xung thứ 12, từ bộ đếm dịch chuyển ảnh có 1 xung ra, mở van 2 tạo điều kiện cho xung từ đất-sic ngưỡng cực đại trên đến được bộ ghi giữ. Bộ ghi giữ gửi xung vào bộ đếm điều khiển hệ số suy giảm của bộ phân áp, giảm độ nhảy của ôxilô xuống. Đồng thời, bộ ghi giữ cho ra 1 xung xoáy, khôi phục lại trạng thái ban đầu của bộ đếm dịch chuyển ảnh. Quá trình trên được lặp lại đến khi nào ảnh của tín hiệu trở về giữa màn.

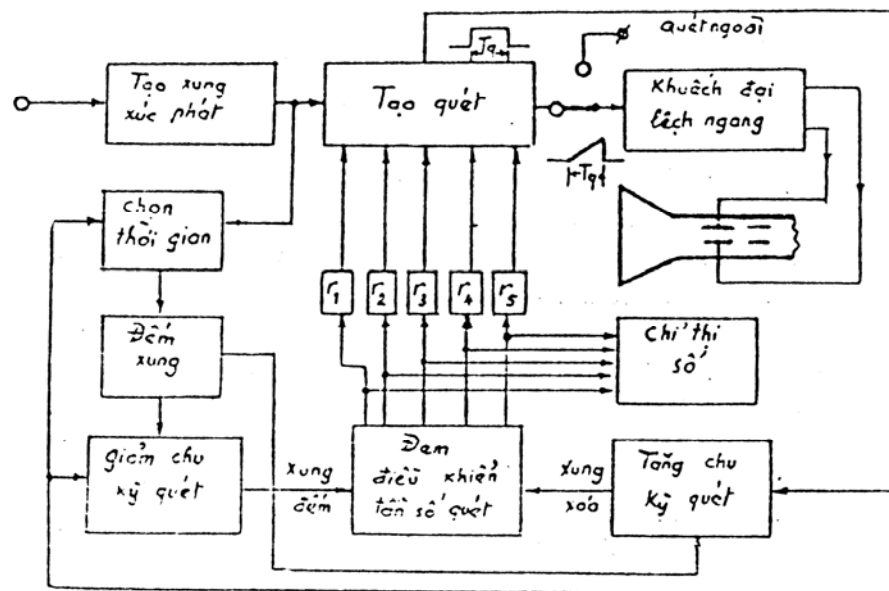
Nếu như thành phần một chiều của tín hiệu có cực tính âm (ảnh bị dịch xuống dưới) quá trình tự động điều chỉnh cũng tương tự như trên. Đất-sic ngưỡng cực đại dưới và bộ đếm dịch chuyển ảnh lên trên (và có thể cả van 1 nữa) sẽ làm việc, nâng mức thiên áp chuẩn của bộ tiền khuếch đại lên.

Trong sơ đồ khối (hình 10-13) còn có một bộ chỉ thị số. Nó cho biết cực tính và giá trị của thành phần một chiều của tín hiệu.

Trong ôxilô C1-43 còn có một hệ số tự động điều chỉnh nữa: tự động điều chỉnh thời hạn hành trình quét thuận với mục đích nhận được hình ảnh của một số xác định chu kỳ của tín hiệu trên màn hiện sóng. Gọi số đó là A (hệ thống này cho phép thay đổi A trong khoảng từ  $A_{\min}=2$  đến  $A_{\max}=6$ )

Điều kiện đặt ra cho hệ tự động điều chỉnh là:

$$A_{\min} \leq A \leq A_{\max}$$



Hình 10-15

Người ta đã giải quyết nhiệm vụ này bằng sơ đồ khối hình 10-15. Thông thường, chu kỳ quét phụ thuộc vào trị giá của R và C trong bộ tạo quét. Giữ nguyên R còn điện dung C có trị giá thay đổi tùy thuộc vào trị giá và số lượng các tụ nối song song với nhau. Các role  $r_1 \div r_5$  thực hiện việc đổi nối này. Điều khiển các rơ-le này cũng là bộ đếm dùng tri-gơ. Chẳng hạn khi các trigơ ở trạng thái "0", các role đóng lại, tức là tất cả các tụ điện được mắc song song với nhau, khi đó chu kỳ quét có thời hạn cực đại. Mỗi một xung đến bộ đếm lại làm thay đổi trạng thái của tổ hợp các tri-gơ một lần và cũng là một lần đổi mắc lại các tụ điện và giảm dần chu kỳ quét xuống. Như vậy, số xung vào

bộ đếm phải phản ánh được tin tức về giá trị của A. Các khối còn lại nhằm thực hiện nhiệm vụ này.

Khối tạo dạng xung xúc phát lấy thẳng tín hiệu cần nghiên cứu từ kênh lệch đứng biến nó thành một dãy xung dãy xung vì phân một cực tính. Do đó, chu kỳ của dãy xung này bằng chu kỳ của tín hiệu vào. Từ đầu ra của bộ tạo dạng xung, xung xuất phát được đưa đến bộ tạo quét và bộ chọn xung theo thời gian. Xung thứ nhất của dãy xung này xúc phát cho bộ quét. Bộ quét có hai đầu ra, một đầu cho ra điện áp răng cưa chu kỳ  $T_q$ , đầu kia cho ra xung theo thời gian, khối tăng chu kỳ quét và khối giảm chu kỳ quét, với chức năng của xung cửa. Trong dãy xung vì phân tử đầu ra bộ tạo dạng, chỉ có những xung nào nằm trong thời gian có xung và cửa là lọt được vào bộ đếm. Số xung này bằng tỷ số giữa độ rộng của xung cửa và chu kỳ lặp lại của dãy xung vì phân, cũng tức là bằng tỷ số giữa chu kỳ quét  $T_q$  và chu kỳ của tín hiệu vào hay nói cách khác số này chính là A.

Nếu  $A < A_{\min}$  thì khối tăng chu kỳ quét làm việc, còn nếu  $A > A_{\max}$  thì khối giảm chu kỳ quét làm việc. Bộ đếm xung động đóng vai trò quyết định cho khối nào làm việc.

Khi  $A > A_{\max}$ , khối giảm chu kỳ quét tạo ra một dãy xung gửi vào bộ đếm điều khiển rơ le, thực hiện giảm A xuống. Dãy xung này chấm dứt khi điều kiện  $A \leq A_{\max}$  được thoả mãn. Lúc đó các rơ-le không nối tụ điện nữa và  $T_q$  cũng không giảm nữa.

Khi  $A < A_{\min}$  sườn sau của xung cửa sẽ xúc phát bộ tăng chu kỳ quét, tạo ra một xung xoá khôi phục trạng thái ban đầu của bộ đếm điều khiển, do đó chu kỳ quét cực đại. Nếu như vì thế mà A trở nên lớn hơn  $A_{\max}$  thì khối giảm chu kỳ quét lại làm việc gửi xung vào bộ đếm như trước đây.

Ngoài ví dụ về hệ tự động điều chỉnh độ nhạy và tần số quét của ôxilô, ta xét thêm một ví dụ nữa: hệ tự động chọn lượng trình đo và cực tính của vôn-mét chỉ thị số. Thông thường vôn-mét này có bộ phân áp với hệ số suy giảm điều chỉnh được. Sau khi thông qua bộ phân áp này, tín hiệu cần đo được so sánh với điện áp mẫu của vôn-mét. Sai số nhận được khi so sánh được dùng làm tín hiệu điều khiển bộ chuyển mạch, tự động tăng hoặc giảm hệ số phân áp.

Để làm sáng tỏ vấn đề này, ta xét một hệ thống cụ thể: hệ tự động chọn lượng trình đo và cực tính của vôn-mét chỉ thị số loại biến đổi thời gian-xung đã xét trong chương đo điện áp, và nêu ra đây những số liệu cụ thể. Nguyên lý của vôn-mét chỉ thị số biến đổi thời gian-xung không nhắc lại ở đây.

Cho một vôn-mét, đo được điện áp trong dải từ 0.001V đến 990V, chia làm bốn thang cách nhau 10 lần.

Chuyển mạch P1-A làm nhiệm vụ đổi thang đo và cực tính (hình 10-16a). Các vị trí từ 1-5 để đo điện áp âm và từ 6-11 để đo điện áp dương. Khi chuyển mạch ở vị trí 1

và 11, hệ số suy giảm  $k = \frac{1}{1000}$  (để đo điện áp từ 100V ÷ 990V); ở vị trí 2, 9 và 10 có

$k = \frac{1}{100}$  (để đo điện áp 10V ÷ 99.9V). Ở vị trí 3, 4 và 7, 8, có  $k = \frac{1}{10}$  (để đo điện áp 1 ÷ 9,99V) và ở vị trí 5 và 6, có  $k=1$  (để đo điện áp 0.001V ÷ 0.999V) ở thang này ứng với 0.999V là 999 xung đếm.

Khi lượng trình đo không phù hợp với đại lượng cần đo, trong bộ so sánh sẽ xuất hiện tín hiệu sai số, tác động vào bộ điều khiển đổi nối, thay đổi vị trí của chuyển mạch đến khi chọn được thang đo thích hợp.

Xem hình 10-16 b, vì vôn-mét thực sự đo được điện áp đến 0.999V và trị giá các thang đo cách nhau 10 lần nên khi đã chọn đúng lượng trình đo, bộ đếm phải cho ra từ 100 đến 999 xung (trở kháng từ 0.001 đến 0.999 V ta sẽ nói sau). Như vậy nếu lượng trình đo đã được chọn đúng, bộ đếm hàng trăm phải cho ra ít nhất 1 xung, nhiều nhất là 9 xung trong một chu trình đo và do đó, bộ đếm hàng nghìn phải không cho ra xung nào.

Đầu ra các bộ đếm hàng trăm và hàng nghìn nối vào bộ tự động chuyển mạch. Bộ này gồm một rơ-le điện từ kiểu tìm bước, cuộn dây  $R_1$  của nó nằm mạch anốt của đèn tiratron; hai trigơ  $T_1$  và  $T_2$  điều khiển tiratron. Xung ra của hai bộ đếm hàng trăm và hàng nghìn chính là đưa vào hai tri-gơ này.

Hãy nhớ lại nguyên tắc đo của vôn-mét này có dùng xung nhịp để đồng bộ chu kỳ của xung nhịp chỉnh là chu kỳ đo. Đầu mỗi chu trình đo, xung nhịp dương được đưa đến cả lưới một của tiratron (với một thời gian trễ nào đó).

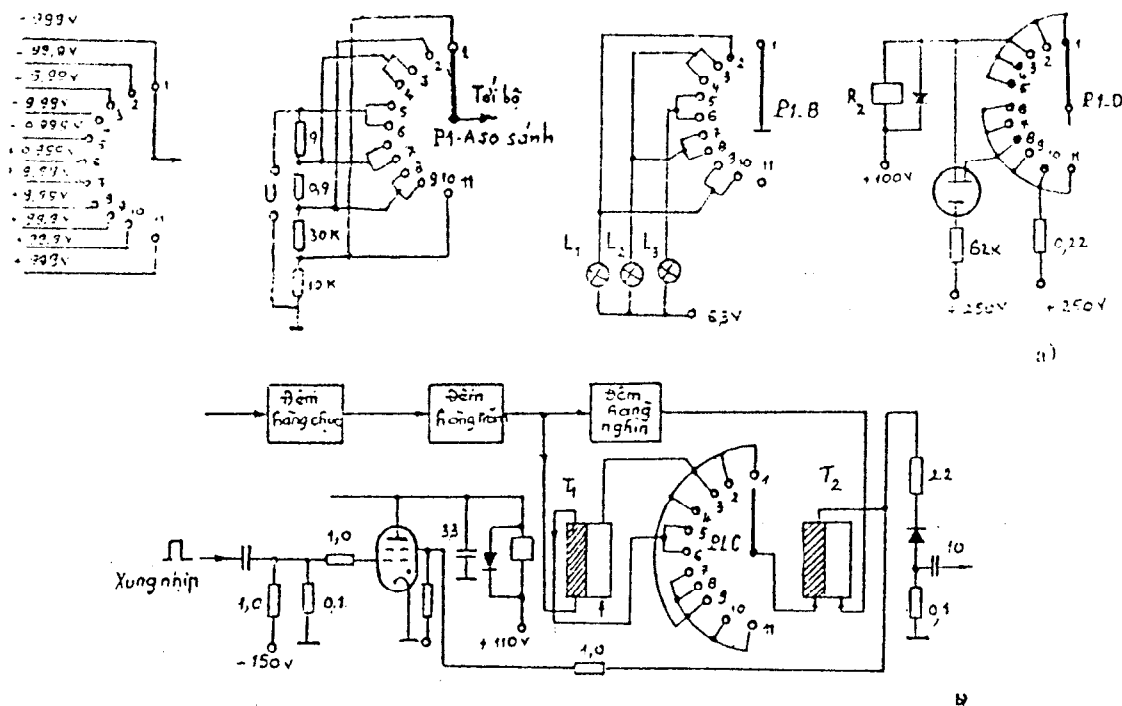
Nếu như cùng lúc đó có xung dương đến lưới hai thì tiratron sẽ thông và có xung dòng điện chảy qua cuộn  $R_1$ , tiếp điểm của chuyển mạch P1-A (đồng thời cả của P1-B, P1-C, P1-D) sẽ nhảy sang vị trí bên cạnh. Đèn Tiratron làm nhiệm vụ của một mạch “và”, vị trí tiếp điểm các chuyển mạch chỉ thay đổi khi đồng thời có cả hai loại xung trên.

Xung nhịp được tạo ra một cách đều đặn, không phụ thuộc vào điều kiện chọn đúng lượng trình đo và cực tính. Ở đây, tín hiệu quyết định công tác của chuyển mạch là xung ra của trigơ  $T_2$ , xuất hiện khi lượng trình đo và cực tính chọn không đúng. Ta hãy xem nguyên tắc làm việc của bộ chuyển mạch này thông qua ví dụ bằng số.

Giả sử điện áp cần đo là 5V và ở thời điểm bắt đầu đo các trigơ ở trạng thái “1”.

P1-A ở vị trí 1 tức là  $k = \frac{1}{1000}$ . Sau bộ phân áp, điện áp vào bộ so sánh sẽ là 0.008V và

do đó có 8 xung đưa vào bộ đếm. Khi đó đầu ra bộ đếm hàng trăm sẽ không có xung (do



Hình 10-16

đó tất nhiên đầu ra bộ đếm hàng nghìn cũng không có xung), hai trigơ  $T_1$  và  $T_2$  giữ nguyên trạng thái “1”, khiến cho trên lưới hai của tiratrôn có sẵn một mức điện áp dương. Vì vậy, khi có xung nhịp vào lưới một, tiratrôn sẽ thông, dòng xung chảy qua  $R_1$  làm chuyển mạch nhảy sang vị trí 2 ứng với  $k = \frac{1}{100}$ .

Đến chu kỳ đo tiếp theo, bộ đếm cho ra 80 xung, đầu ra bộ đếm hàng trăm vẫn chưa có xung,  $T_1$  và  $T_2$  vẫn giữ nguyên trạng thái “1”, duy trì một mức điện áp dương trên lưới hai tiratrôn. Xung nhịp tới lưới một, thấp sáng tiratrôn, chuyển mạch nhảy sang 3 có  $k = \frac{1}{10}$ , điện áp vào bộ so sánh là 0.8V. Chu trình tiếp theo sẽ có 800 xung vào bộ đếm. Sau 100 xung đầu tiên, bộ đếm hàng trăm cho ra một xung chuyển lật  $T_1$  về trạng thái “0”. Bước nhảy xuống của  $T_1$  thực hiện chuyển lật  $T_2$  cũng về trạng thái “0” vào lưới tiratrôn bây giờ là mức điện áp thấp, loại trừ khả năng thông tiratrôn ngay cả khi có xung nhịp dương vào lưới một. Chuyển mạch được giữ ở vị trí 3.

Chuyển mạch P1-B cũng ở vị trí 3, lúc đó đèn  $L_2$  sẽ chiếu sáng mặt máy ở thang độ có giới hạn là 9.99V.

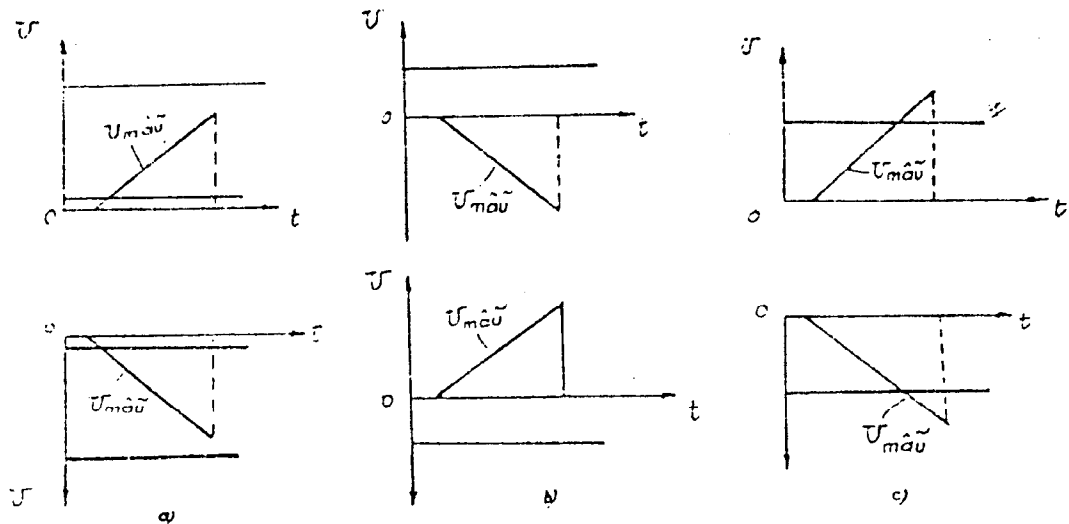
Nếu như lượng trình đo đầu tiên không phải là lớn hơn đại lượng cần đo mà là nhỏ hơn thì quá trình chuyển đổi sẽ xảy ra như sau:

Giả thiết lúc bắt đầu đo, P1-A ở vị trí 7 cho phép đo đến 9,99V và điện áp cần đo là 500V. Vì ở thang đo này  $k = \frac{1}{10}$  và 9.99V tương ứng với 999 xung nên 500V sẽ tương ứng với số xung >900 xung. Cũng giả thiết đầu tiên hai trigơ  $T_1$  và  $T_2$  ở trạng thái “1”. Sau 100 xung đầu tiên, bộ đếm hàng trăm cho ra một kích vào  $T_1$ ,  $T_1$  lại kích  $T_2$ , chuyển nó về trạng thái “0”. Đèn tiratron sẽ thông khi có xung nhịp, chuyển mạch nhảy sang vị trí 8. Ở đây lượng trình đo cũng chưa đúng. Quá trình trên sẽ lặp lại ở những chu trình đo sau, tới khi chuyển mạch nhảy đến vị trí 11, ứng với giới hạn đo là 999V.

Để ý đến vai trò của chuyển mạch P1-C mắc giữa  $T_1$  và  $T_2$  và chuyển đổi đồng bộ với P1-A. Ở vị trí 5 và 6 tương ứng với  $k=1$  tức là giới hạn đo là 0.999V chuyển mạch này nối đầu vào  $T_2$  với đèn bên trái của  $T_1$ , tương ứng với mức 0 làm cho  $T_2$  cũng chuyển sang trạng thái “0”. Do đó, nếu điện áp vào nhỏ hơn 0.1V (lượng trình đo thích hợp) thì mặc dù số xung đưa vào bộ đếm nhỏ hơn 100 tiratron cũng không thông và chuyển mạch được duy trì ở vị trí này. Nếu không có P1-C thì tất cả các chuyển mạch sẽ nhảy liên tục mặc dù lượng trình đo đã chọn đúng.

Chuyển mạch P1-D làm nhiệm vụ chỉ thị cực tính của điện áp mẫu trong vôn-mét (và cũng là dấu của điện áp cần đo sau khi đã chọn đúng cực tính), đèn ion đặc biệt hai catốt mắc trong mạch này lần lượt cho cháy sáng catốt “+” hoặc catốt “-” tùy theo vị trí của P1-D. Đèn này để ở ngoài mặt máy.

Để tìm hiểu nguyên lý của việc chuyển đổi cực tính, ta cần nhớ tại rằng bộ so sánh thực hiện so sánh điện áp cần đo với một điện áp răng cưa (tăng hoặc giảm) lấy làm điện áp mẫu của vôn-mét. Tại thời điểm hai điện áp này bằng nhau, bộ so sánh cho ra một xung, tạm dừng công tác của bộ tạo xung đếm. Điện áp răng cưa đưa vào bộ so sánh là



Hình 10-17

tăng hoặc là giảm tùy thuộc vào rơ-le  $R_2$ . Cuộn dây nó mắc trong mạch P1-D. Khi có dòng chảy qua  $R_2$  thì điện áp mẫu là giảm tuyến tính và khi không có dòng chảy qua  $R_2$  điện áp mẫu là tăng tuyến tính.

Nếu điện áp vào và điện áp mẫu có cực tính ngược nhau, tất nhiên chúng không thể đạt tới điểm bằng nhau, bộ so sánh không cho xung ra, quá trình tiếp theo thực hiện chuyển cực tính, ta sẽ xét bằng ví dụ cụ thể.

Giả sử P1 ở vị trí 4 (giới hạn đo là -9.99 V, trên mặt máy, dấu “-“ sẽ sáng lên) còn ở đầu vào có điện áp cần đo là +6V. Như vậy, lượng trình đo thích hợp nhưng dấu không phù hợp. Vì bộ so sánh không cho xung ra nên xung đếm được tạo ra liên tục, không bị giới hạn. Khi số xung này vượt quá 1000, bộ đếm hàng nghìn cho ra một xung chuyển trigơ  $T_2$  về “1” tạo điều kiện để xung nhịp thông tiratron, chuyển mạch P1 nhảy sang vị trí 5. Ở chu trình đo sau, nó nhảy sang vị trí 6, bắt đầu đo được điện áp dương. Trên mặt máy dấu “+” sáng lên, trong mạch của P1-D không có dòng qua  $R_2$ , điện áp răng cưa đưa vào bộ so sánh bây giờ sẽ tăng tuyến tính. Do đó, điện áp cần đo và điện áp mẫu có khả năng bằng nhau, bộ so sánh sẽ tạo ra xung hạn chế việc đưa xung vào bộ đếm. Nhưng bây giờ, lượng trình đo lại nhỏ hơn yêu cầu (giới hạn đo ở vị trí 6 là 0.999V). Quá trình tự động tăng lượng trình đo lại lặp lại như đã nói ở trên. Vị trí 7 của chuyển mạch P1 thoả mãn điều kiện phù hợp hoàn toàn cả về dấu cả về giới hạn đo giữa điện áp cần đo và thang đo của vôn-mét. Hình 10-17 vẽ các trường hợp có thể xảy ra.

Hệ thống tự động chuyển mạch vừa xét có ưu điểm là tương đối đơn giản và vạn năng. Thiếu sót của nó là có cả phần cơ điện nên quán tính khá lớn. Vì vậy quá trình tự động điều chỉnh tương đối dài.

Ngoài loại tự động chuyển đổi có phối hợp với cơ điện như trên, người ta cũng hay sử dụng loại tự động tìm kiếm toàn dải, có tính chất chủ động hơn. Đại lượng mẫu của máy đo tự động biến thiên theo qui luật xác định trong suốt dải thay đổi của đại lượng cần đo. Tại thời điểm hai đại lượng này bằng nhau, bộ so sánh sẽ cho ra tín hiệu chấm dứt sự thay đổi đại lượng mẫu và tín hiệu này cũng đồng thời dùng để xúc phát các bộ phận khác, bắt đầu quá trình đo lường. Đôi khi, để nâng cao độ chính xác, trong các máy đo này cũng gồm cả những vòng phản hồi cho phép các đại lượng mẫu bám sát được các đại lượng cần đo khi nó thay đổi. Chẳng hạn, máy đếm tần số đã nói ở phần máy đếm tần số có thể tự động điều chỉnh liên tục tần số ngoại sai (dao động nội) khi tần số tín hiệu cần đo thay đổi. Trong thiết bị này, việc tìm kiếm lượng trình đo thích hợp được thực hiện bằng cách tự động thay đổi một cách tuần hoàn tần số ngoại sai luôn bám sát tần số tín hiệu khi nó biến thiên. Trong máy đếm tần số này còn dùng cả bộ tinh chỉnh pha, nâng cao một cách cơ bản độ chính xác, giảm sai số so sánh và sai số gây nên do sự không ổn định của ngoại sai. Ngoài ra thiết bị này còn tự động xác định

bậc các hài của ngoại sai. Tất nhiên, sơ đồ thực hiện đầy đủ những chức năng trên là rất phức tạp.

Trên đây là vài ví dụ về sự tự động hoá thao tác điều chỉnh, tức một phần của tự động hoá hoàn toàn quá trình đo.

### *Tự động ghi kết quả đo*

Nếu như các máy đo tự động điều chỉnh vừa xét có khả năng tự động ghi kết quả thì việc đo lường được xem là được tự động hoá hoàn toàn.

Trong kỹ thuật đo lường hiện đại, phần lớn các thiết bị tự động ghi kết quả đo dựa trên nguyên tắc các thiết bị ra của máy tính. Ngoài ra, một loại nữa cũng khá phổ biến là thiết bị tự động ghi kết quả đo trên băng giấy mực trên giấy hoá học đặc biệt bằng cách đánh tia lửa điện (chỗ bị đánh lửa sẽ để lại vết đen), trên phim ảnh bằng ánh sáng, trong thiết bị lưu từ ... Loại này thường dùng cho những máy đo các đại lượng điện và phi điện mà trị giá của chúng biến thiên liên tục (điện tâm đồ, điện não đồ, ...).

Để ghi được quan hệ giữa hai đại lượng nào đó dưới dạng hàm số, người ta cũng sử dụng những thiết bị tự ghi hai toạ độ có hai kênh lệch đứng và lệch ngang.

Các thiết bị tự ghi về nguyên tắc rất đơn giản, hầu hết là điện từ, do đó ta không xét ở đây.

Sau khi đo lường, một quá trình quan trọng nữa là gia công các kết quả đo được. Thay cho con người trong quá trình này thông thường nhất là máy tính điện tử. Nó có độ chính xác về lý thuyết là vô hạn và tốc độ gia công rất nhanh. Tuy nhiên không dùng máy tính, kết quả đo các đại lượng liên tục phải được mã hoá dưới dạng số. Trong đa số các trường hợp, nhiệm vụ này được giải quyết ngay trong máy đo chỉ thị số. Ngoài ra, một số máy đo có trang bị thêm bộ biến đổi từ dạng liên tục sang dạng rời rạc, một số khác thực hiện biến đổi từ dạng liên tục này sang dạng liên tục khác thuận lợi hơn để tiếp tục biến đổi thành những đại lượng rời rạc.

Rất ít khi người ta đưa trực tiếp kết quả đo (đã mã hoá) vào máy tính. Thông thường, người ta dùng thiết bị nhớ trung gian, ghi giữ những kết quả nhận được trong quá trình đo lường (đã được mã hoá), khi cần mới lấy từ đây đưa vào máy tính. Kết quả đo được "nhớ" lại như vậy không bị méo đi và thời gian ghi giữ có thể là vô hạn.

Thiết bị nhớ có nhiều dạng, thông thường nhất là băng giấy, băng từ, đĩa từ ...

Sau cùng phải kể đến một hệ thống đo lường đặc biệt: hệ thống đo lường tin tức. Khi tự động điều khiển một đối tượng phức tạp nào đó hoặc một quá trình sản xuất với sự tham gia của nhiều thiết bị khác nhau, khối lượng tin tức cần đo lường và gia công rất

lớn. Vì vậy, trong những năm gần đây, người ta đã xây dựng những hệ thống tự động cho phép thực hiện những chức năng chọn lựa và gia công một khối lượng tin tức khổng lồ đo được. Đó là các hệ thống đo lường tin tức.

Có thể kể cả ở đây những đặc điểm của hệ thống này.

1. Tự động thực hiện các thao tác đo lường, thực hiện những biến đổi nhất thiết phải có: lượng tử hoá theo mức, rời rạc hoá theo thời gian, mã hoá...

2. Gia công các kết quả đo lường, tự động tính toán khi đo gián tiếp hoặc khi phải tổ hợp nhiều phép đo, cũng như khi cần, có thể phân tích và thống kê.

3. Lưu trữ và lấy ra tin tức đo được ở dạng cần thiết.

4. Ở đầu ra của hệ thống có tin tức về những thông số của đối tượng nghiên cứu.

5. Lấy trị giá của các đại lượng cần đo trực tiếp từ đối tượng nghiên cứu.

Các đặc điểm thứ nhất, thứ tư và thứ năm vốn chỉ có ở hệ thống đo lường tin tức và chính đó là những đặc điểm phân biệt nó với những hệ thống điều khiển.

Hệ thống đo lường tin tức gồm những khối chức năng sau đây:

1. Thiết bị cảm thụ, gồm những phần tử nhạy cảm (đát-sic) dành cho nhiều đại lượng cần đo khác nhau. Thiết bị này là cầu nối liên hệ hệ thống đo lường tin tức với đối tượng nghiên cứu.

2. Thiết bị tự động, hoàn thành các thao tác đo lường.

3. Thiết bị gia công kết quả đo và chọn thuật toán thích hợp để thực hiện các phép toán và phép logic.

4. Thiết bị lưu trữ tin tức, trong đó bao gồm các bộ nhớ, các bộ biến đổi tin tức về dạng thích hợp để tiếp tục gia công (ví dụ: để đưa vào máy tính hoặc vào các đường thông tin).

5. Thiết bị mã hoá, giải mã, chỉ thị, cho phép con người nhận biết và theo dõi được tin tức một cách hiệu quả và thuận lợi nhất.

Ngoài ra còn có các thiết bị phải đảm bảo những chức năng thông thường như nguồn cung cấp, tự động kiểm tra, ...

Sự phân tích chi tiết hệ thống này dành cho giáo trình chuyên môn, chúng tôi sẽ không tiếp tục trình bày ở đây.

## 10.2 HỆ THỐNG GIAO DIỆN SỐ TRONG ĐO LƯỜNG (INTERFACE FOR MEASUREMENT SYSTEM)

### 10.2.1 Giới thiệu chung

Cùng với sự phát triển của kỹ thuật điện tử số và kỹ thuật vi xử lý, các thiết bị đo lường điện tử như tần số-mét, vôn-mét điện tử, pha-mét, ôxylô,... đã có bước tiến có tính chất cách mạng bằng việc sử dụng các bộ vi xử lý (Microprocessor), nó cho phép xử lý phép đo và số liệu đo được nhanh chóng, tự động và chính xác hơn.

Kỹ thuật đo lường số đã sử dụng các hệ thống đo theo kiểu các modul tiêu chuẩn hợp thành, đã tạo nên tính mềm dẻo, linh hoạt cho phép các hệ thống đo số có nhiều khả năng, như mở rộng phạm vi đo, đo được nhiều loại tín hiệu khác nhau, kết quả đo đạt được độ chính xác cao và rút ngắn thời gian đo,... Tuy vậy, việc sử dụng các hệ thống đo số theo cấu trúc modul đã nảy sinh vấn đề phải quan tâm là ghép nối giữa các modul với nhau và với bộ xử lý trung tâm. Vấn đề này được thực hiện với bằng các mạch giao tiếp (Interfaces). Các mạch giao tiếp cho phép kết nối các modul tương thích với nhau về các phương diện: tín hiệu, cấu trúc vật lý, nguồn điện cung cấp, thang đo và dịch vụ đo lường.

Sự tiến bộ của kỹ thuật giao tiếp có ảnh hưởng nhiều tới nền tảng, cấu trúc của thiết bị đo, và đồng thời cũng đưa ra hướng phát triển cho hệ thống đo lường và các ứng dụng điều khiển thực tiễn; cho phép phát triển các hệ thống đo lường tự động.

Mục đích và khái niệm về giao diện đã được nêu, nhưng cũng cần có một cái nhìn riêng về giao diện, nó cần phải như thế nào và giải quyết được những việc gì trong thiết bị và hệ thống đo, cũng cần phải thảo luận thêm. Mục đích của chương này là cung cấp một số kiến thức cơ bản nhất, cần thiết để hiểu được sự làm việc của các thiết bị sử dụng giao diện, cũng như nêu lên các thông tin cần thiết về việc thiết kế một Card giao diện hoạt động với các tiêu chuẩn liên quan.

Hiện nay có nhiều tiêu chuẩn về mạch giao tiếp, nhưng thường được sử dụng trong các hệ thống đo lường là giao diện IEC (The International Electrotechnical Commission) của Ủy ban Điện tử quốc tế. Đây là loại giao diện kiểu Bus, cho phép ghép nối các thiết bị chung một hệ thống để có thể thực hiện được nhiều phép đo với kết quả đo chính xác.

### 10.2.2. Thiết kế mạch kiểu mảng khối modul

Một phương pháp hợp lý để xây dựng các hệ thống xử lý số liệu nói chung, và các hệ thống đo lường tự động nói riêng, là xây dựng từ các khối mảng modul, tức là các khối này về chức năng cũng như cấu trúc vật lý là chứa đựng tính riêng biệt, như là các mạch "khối cơ sở". Ví dụ như các khối chuyển đổi tương tự-số (ADC), chuyển đổi số-tương tự (DAC), bộ đếm tần số, bộ tạo tín hiệu, bộ giải mã ký tự,...

Bằng cách sử dụng tổ hợp các modul, người thiết kế có thể tạo ra nhiều hệ thống khác nhau. Đặc biệt các hệ thống cấu trúc kiểu modul có thể dễ dàng được mở rộng và nâng cấp trong tương lai theo yêu cầu. Đôi khi các khối được tổng hợp lại thành khối kín, được điều khiển bởi một bộ điều khiển có khả năng định vị và chia sẻ thời gian hoạt động đến các khối khác nhau.

Khi xây dựng các hệ thống đo có cấu trúc modul, thì người thiết kế phải đương đầu với hai vấn đề chính: Thứ nhất là vấn đề *Tương thích* và thứ hai là vấn đề *Phối ghép* (sự giao tiếp giữa các khối thành phần trong hệ thống và giữa hệ thống với các thiết bị ngoại vi).

Vấn đề *Tương thích* giữa các modul là một vấn đề quan trọng, mà khi thiết kế hệ thống có cấu trúc modul phải quan tâm. Nếu không, hệ thống sẽ làm việc kém hiệu quả, hỏng hóc trong các tình huống xấu nhất và khó có khả năng mở rộng trong tương lai.

Trong các hệ thống đo lường có 5 dạng tương thích giữa các modul, là tương thích về tín hiệu; về cấu trúc; về nguồn điện cung cấp; về đo lường và tương thích về dịch vụ phục vụ.

- ***Tương thích về tín hiệu:*** nhằm mục đích làm cho các modul phù hợp với nhau về kiểu, dải, các thông số và mức của tín hiệu vào và ra. Các dòng số liệu giữa các khối có một vài dạng tín hiệu: thông tin, điều khiển, chương trình, địa chỉ và mục đích đặc biệt.
- ***Tương thích về mặt cấu trúc:*** Điều này cho phép phù hợp với nhau về mặt cơ học bao gồm cả kiểu mẫu và tính cân bằng. Nó cho phép nối các modul khác nhau về mặt kích thước. Hệ thống và mỗi thành phần modul của nó phải giống như một khối vật lý duy nhất.
- ***Tương thích về Nguồn cung cấp:*** là sự phù hợp giữa các khối mà yêu cầu phải đưa ra các kết quả tương thích. Điều đó đòi hỏi các modul phải tạo ra các kết quả tương thích, vấn đề này có liên quan đến việc chọn lựa các đặc tính đo lường của modul.

- **Tương thích về dịch vụ phục vụ:** điều này là vấn đề nói lên rằng các modul trong hệ thống phải có cùng mức độ về độ tin cậy và độ ổn định và cho cùng một đáp ứng (hay độ nhạy) đối với các yếu tố bên ngoài. Là tương thích về phục vụ, sửa chữa, bảo trì.

Ưu điểm của thiết kế mạch kiểu mảng khối modul là tất cả các modul được ghép lại và làm việc một cách hoàn hảo mà không cần phải thiết kế lại các tiếp giáp liên kết, hàn nối giữa chúng. Các giao diện (Interfaces) là các mạch giao tiếp cho phép có được sự ghép nối thích hợp giữa tất cả các modul trong hệ thống. Chúng tạo cho các modul trong cùng hệ thống và giữa các hệ thống có sự tương thích về cả 5 dạng nêu trên.

Tất cả các giao diện có thể phân loại thành:

- Giao diện máy.
- Giao diện hệ thống - modul.
- Giao diện hệ thống - thiết bị.

**1. Giao diện máy (machine interface):** là việc gắn một bộ xử lý trung tâm của một máy tính với các khối thành phần khác, với các thiết bị ngoại vi hay với thế giới bên ngoài. Sự thiết kế của máy tính xác định hoàn toàn cấu trúc, nguyên lý hoạt động và các đặc tính điện của giao diện.

**2. Giao diện hệ thống - module:** là thực hiện sự kết nối đồng nhất giữa các khối của hệ thống. Một modul sử dụng giao diện này không thể hoạt động một mình mà nó chỉ có thể hoạt động được trong một hệ thống (System-modul interface).

**3. Giao diện hệ thống - thiết bị (System - device interface):** phục vụ việc kết nối các thiết bị, mà có thể hoạt động riêng lẻ trong một hệ thống. Thông thường chúng có khả năng khá lớn về chức năng (chúng có thể do một số lớn các đại lượng vật lý, điều kiện làm việc có thể thay đổi với các thực nghiệm, chúng có thể lập trình được,...). Về mặt cấu trúc các giao diện này chỉ cần các đặc tính về kích tác.

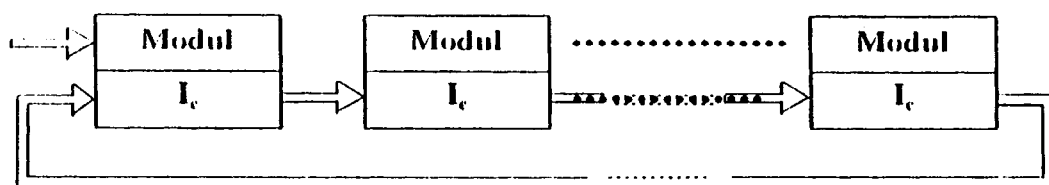
Các giao diện được sử dụng trong kỹ thuật đo lường thực tế thường được gọi là giao diện thiết bị đo. Các giao diện này có đầy đủ 5 dạng của tính tương thích, đảm bảo sự kết hợp một cách hoàn hảo giữa bộ vi xử lý với việc đo lường, cũng như với các thiết bị ngoại vi có tương tác với các thiết bị khác để lưu trữ, chứa đựng, ghi nhận và xử lý các số liệu thô ban đầu.

Các giao diện chuẩn có thể được phân loại tùy theo các phương pháp mà các modul của hệ thống được nối ghép với nhau và với bộ xử lý trung tâm. Nói chung có 3

dạng kết nối được thực hiện: loại nối tiếp (Cascade); loại phân bố xuyên tâm, hình sao (Radial) và loại tổ chức bus (Bus-organised)

### 1. Cấu hình nối tiếp (The cascade configuration)

Sơ đồ mạng như hình 10-16.



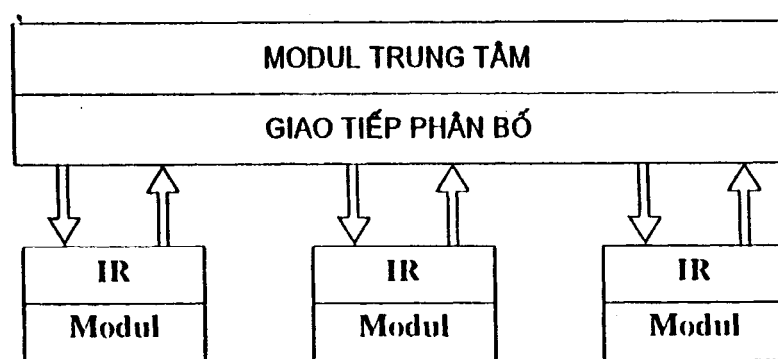
Hình 10-16

Sự bố trí này là hợp lý khi dòng thông tin chung tại bất kỳ thời điểm nào được nối với một đối tượng thử, một nguồn tín hiệu thử và một dụng cụ, thiết bị đo.  $I_c$  là Cascade Interface.

### 2. Cấu hình phân bố xuyên tâm, hình sao (The radial configuration)

Sơ đồ mạng cấu hình như hình 10-17.

Việc bố trí phân bố có thể ứng dụng được khi một vài khối được nối với khối trung tâm (Bộ vi xử lý trung tâm) một cách trực tiếp. Các khối modul được nối trực tiếp (không cần chuyển mạch chọn lựa) vì khối trung tâm có đủ số kênh cho việc truyền số liệu.



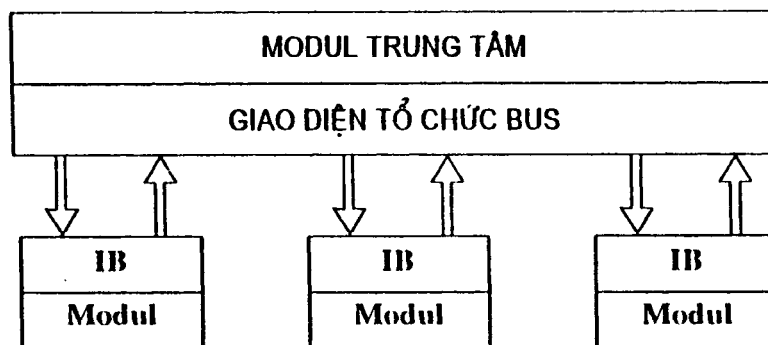
$I_R$  : Radial Interface

Hình 10-17

### 3. Cấu hình tổ chức bus (The bus-organized configuration)

Sơ đồ mạng cấu hình như hình 10-18.

Nếu khối modul trung tâm có số kênh truyền dữ liệu ít hơn thực tế yêu cầu, thì các modul riêng lẻ sẽ được nối với các modul trung tâm bằng một bus chung. Tại một thời điểm, chỉ có một khối mà có địa chỉ được gọi bởi chương trình là được nối tới khối trung tâm. Có thể sử dụng tổng hợp giữa các cấu hình cascade và radial hay giữa cascade và bus-organized.



**I<sub>B</sub> : Bus - Organized Interface**

Hình 10-18

Các modul thành phần hay các dụng cụ đo của hệ thống đo lường được liên kết bởi các đường dây giao diện.

Một nhóm các đường dây được dự định cho một vài chức năng đã xác định trong quá trình truyền số liệu có thể lập trình được, gọi là Bus.

#### 10.2.3 Giao diện IEC (The International Electrotechnical Commission)

Hiện nay có nhiều tiêu chuẩn về Interface, nhưng loại giao diện hay sử dụng trong thiết bị đo và trong các hệ thống truyền dữ liệu là Interface IEC.

Giao diện này còn được gọi là giao diện IEEE-488 (mà chữ IEEE là từ tên Institute of Electrical and Electronics Engineers), hay giao diện HP-IB (The Hewlett-Packard Interface Bus).

Hội đồng kỹ thuật điện tử quốc tế đã khuyến cáo là nên dùng giao diện này như một chuẩn quốc tế.

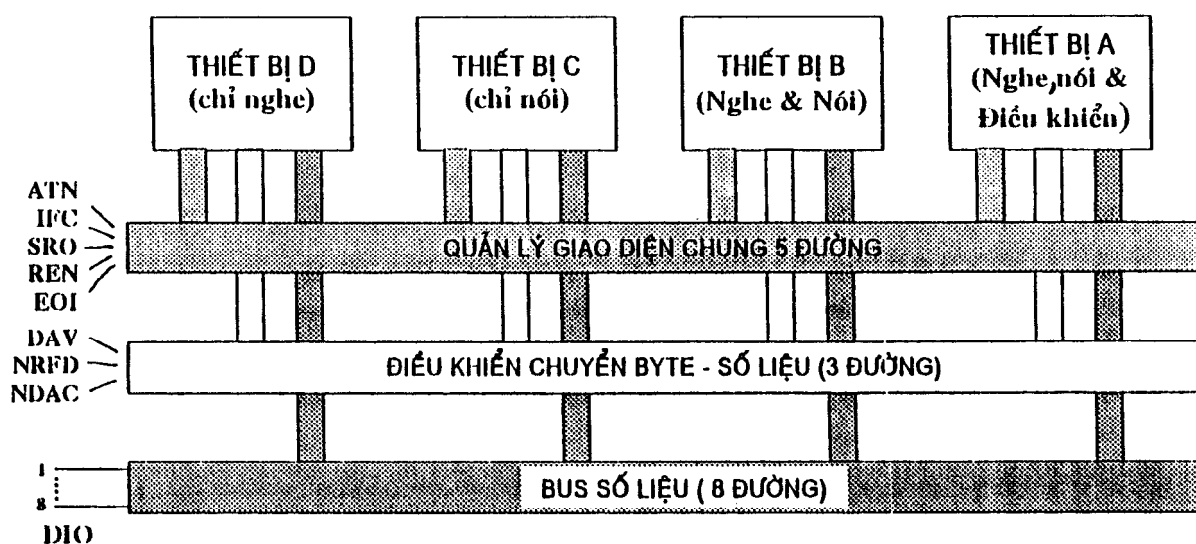
Giao diện IEC có thể phù hợp cho cả cá thiết bị lập trình được hay không lập trình được với khoảng cách lên tới 20m, giữa các phần. Nó cung cấp chuẩn bus trong các hệ thống modul giữa các khối thành phần mà các dụng cụ đo có thể độc lập về các nhà sản xuất. Giao diện IEC cho phép kết hợp các thiết bị một cách chặt chẽ trong một hệ thống biến đổi phức tạp cung cấp khả năng truyền số liệu trực tiếp giữa chúng cũng như cho phép điều khiển từ xa hay tại chỗ của thiết bị đo.

Đây là một giao diện tổ chức Bus.

### 1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động

Giao diện có thể kết nối một loạt các thiết bị mà chúng có thể hoạt động một trong bốn chế độ cơ bản: Chỉ nghe (The Listener Only Mode); Chỉ nói (The Talker Only Mode); Nghe/Nói (The Talker/Listener Mode) và chế độ Điều khiển (The Controller Mode).

Sơ đồ cấu trúc giao diện như IEC như hình 10-19.



Hình 10-19

Mỗi thiết bị trong hệ thống (một dụng cụ đo, một bộ điều khiển, một module ngoài) sẽ thực hiện một hay một vài chức năng nêu trên, chẳng hạn hoạt động như người nói (bộ phát), người nghe (bộ thu) hay cả nghe và nói, hay như bộ điều khiển. Một thiết bị trong chế độ chỉ nói gửi dữ liệu trên bus cho thiết bị hoạt động như người nghe. Một thiết bị trong chế độ người nghe, nhận dữ liệu từ bus. Một vài thiết bị có sự tổng hợp cả chức năng nói và nghe, ví dụ đồng hồ vạn năng có thể lập trình được nhận các lệnh như là một người nghe (bộ thu), và gửi kết quả (số liệu) như là một người nói (bộ phát). Một hệ thống dùng giao diện IEC có thể chứa một thiết bị có tổng hợp cả 3 chức năng (phát, thu và điều khiển), thiết bị này là Máy Vi tính.

Một bộ điều khiển, đảm nhận việc giám sát điều khiển bằng cách định địa chỉ các thiết bị khác hay cho phép các bộ phát sử dụng bus. Bộ điều khiển có sử dụng vi xử lý có các chức năng:

- Xác định chương trình mà một dụng cụ đo phải làm việc
- Chọn kỹ thuật đo và thủ tục cho mỗi thiết bị
- Hướng dẫn các thủ tục
- Dịch kết quả

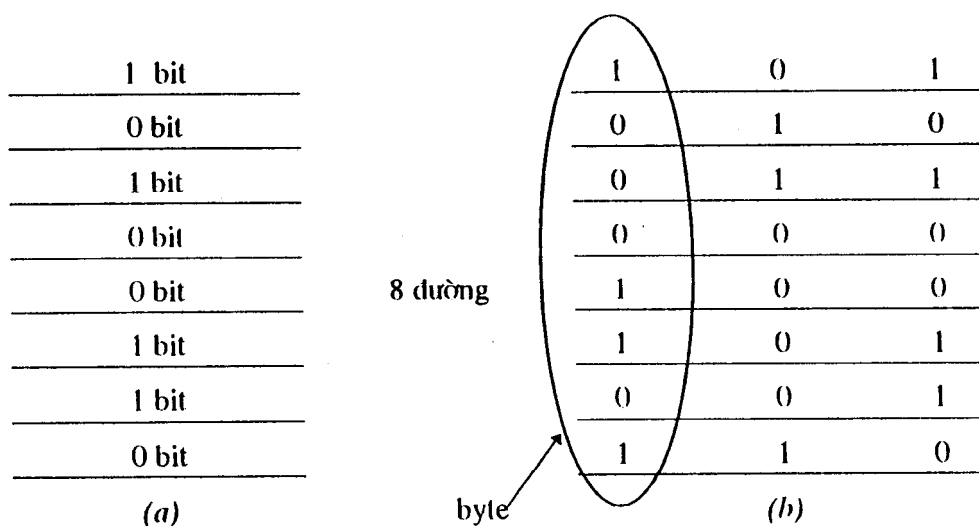
Cấu trúc của giao diện IEC như hình 10-19.

Giao diện IEC bao gồm bus thụ động 2 chiều, 16 đường dây cho phép tới 15 thiết bị có thể nối song song (bao gồm cả bộ điều khiển).

Về mặt chức năng, các đường truyền được chia thành các đường dữ liệu, các đường chuyển byte dữ liệu và các đường quản lý giao diện chung.

Về mặt vật lý, giao diện IEC được làm bằng một dây cáp điện, các đầu nối và các mảng mạch in. Dây cáp nối các thiết bị song song theo cách mà dữ liệu từ một vài thiết bị có thể được chuyển tới một hay một vài thiết bị khác. Bảng mạch in để truyền dữ liệu giữa hệ thống và các thiết bị bên ngoài, được gọi là các Card Giao diện (ICAR). Gần đây, mảng mạch này được làm như một chip LSI.

Tám đường dây dữ liệu được gọi là DIO (Data Input/Output) và được đánh số từ DIO<sub>1</sub> tới DIO<sub>8</sub>. Chúng có thể truyền dữ liệu theo kiểu byte nối tiếp và bit song song.



Hình 10-20

Điều này có nghĩa là số liệu được truyền dưới dạng các bit song song (hình 10-20a) và các byte nối tiếp (hình 10-20b). Các đường DIO truyền các số liệu các kết quả đo, địa chỉ, chương trình, điều khiển và số liệu trạng thái.

Ba dây điều khiển chuyển byte dữ liệu DATA-BYTE TRANSFER CONTROL như trên hình 10-19 là các đường:

- \* NRFD (Not Ready For Data, chưa sẵn sàng cho dữ liệu)
- \* DAV (Data valid, dữ liệu ổn định)
- \* NDAC (Not Data Accepted, không sẵn sàng nhận dữ liệu)

Các đường này mang các tín hiệu "móc nối" (hand-shaking), là các tín hiệu xác định nhận biết xem các thiết bị thu Listener (bộ nghe) đã sẵn sàng và cho phép nhận byte tiếp theo trên các đường số liệu từ bộ điều khiển, hoặc bộ phát (bộ nói, talker) chưa.

Việc truyền dữ liệu giữa các modul của hệ thống có thể được thực hiện đồng bộ hay không đồng bộ. Truyền đồng bộ đảm bảo tốc độ truyền dữ liệu cao, tạo cho tất cả các modul được nối bởi giao diện hoạt động trên cùng một tốc độ (trường hợp này rất ít khi xảy ra). Giao diện IEC được thiết kế cho truyền số liệu không đồng bộ.

Việc truyền số liệu không đồng bộ liên quan đến sự sử dụng móc nối, là chuyển mạch của các tín hiệu định trước khi sự kết nối được thực hiện trên giao diện. Nó được thực hiện để xác nhận là các thiết bị phát trong truyền số liệu đang ở trạng thái thích hợp, tránh cho việc mất mát số liệu. Thủ tục đối thoại móc nối có thể được thực hiện ở một trong hai dạng:

-Kiểu thứ nhất, bộ phát (nói) chuẩn bị số liệu để truyền sẽ lập cờ "dữ liệu sẵn sàng", và đợi cho bộ thu (nghe) đến khi sẵn sàng nhận dữ liệu.

- Ở kiểu thứ hai, thực hiện theo phương pháp bộ thu (nghe) lập cờ "sẵn sàng nhận dữ liệu" và báo đợi cho bộ phát gửi dữ liệu tới.

Giao diện IEC sử dụng thủ tục truyền móc nối (hand-shaking) kiểu thứ hai.

Đồng thời, đường DAV mang tín hiệu "dữ liệu sẵn sàng" (Data valid) xác nhận là các đường DIO đang mang các thông tin có giá trị ổn định. Tín hiệu này được gửi đi như bộ phát kéo đường dây DAV xuống mức thấp LOW, và do vậy lập chonó cờ "sẵn sàng".

Khi nhận biết trạng thái LOW của đường dây DAV, bộ thu (nghe) nhanh chóng đặt đường dây NRFD (Not Ready For Data, không sẵn sàng cho dữ liệu), về trạng thái LOW, do vậy mà đặt cờ để báo hiệu là nó bận với byte hiện thời. Đường dây này dùng chung cho tất cả các bộ thu (nghe) của hệ thống. Khi bộ thu còn chậm giải phóng đường

NDAC (Not Data Accepted) lên mức cao HIGH (nó là LOW trong lần truyền trước), thì tất cả các bộ thu (nghe) đã nhận xong được byte. Khi cảm nhận được đường dây NDAC ở mức cao HIGH, bộ phát (nói) chuyển thông báo và đặt dây DAV lên mức cao HIGH. Khi nhận được tín hiệu này, các bộ thu (nghe) chuẩn bị cho lần truyền dữ liệu tiếp theo. Chúng đặt đường dây NDAC xuống mức thấp LOW, để báo nhận rằng chúng đã sẵn sàng và có thể tiếp nhận một byte khác.

Năm đường dây quản lý giao diện chung (The general interface management) ở hình 10-19, mang các tín hiệu điều khiển được luân chuyển xoay vòng giữa bộ điều khiển và các thiết bị khác được nối với giao diện. Các đường dây này hoạt động như sau:

-Đường dây thông báo ATN (Attention): Khi bộ điều khiển đặt dây này xuống mức thấp LOW, là chỉ thị rằng các thông tin hiện thời trên các đường số liệu là một địa chỉ hay một lệnh của giao diện. Sự xuất hiện của tín hiệu này báo rằng tất cả các thiết bị khác đang ở chế độ đợi và chỉ có bộ điều khiển là ở chế độ phát (nói). Khi dây ATN ở trạng thái mức cao HIGH, thì tất cả các thiết bị mà có địa chỉ được gửi khi đường dây là LOW là ở chế độ thu (nghe) hay phát (nói).

-Đường dây xóa giao diện IFC (Interface Clear): Tín hiệu mang ở đường dây này sẽ khởi động lại (reset) giao diện và tất cả các thiết bị khác về trạng thái đặc biệt (thường là trạng thái khởi động). Tín hiệu này được sử dụng khi giao diện được bật mở và kéo dây xuống mức thấp LOW, làm giảm ngắt quãng không tiếp tục truyền dữ liệu qua các đường dây số liệu DIO.

-Đường dây yêu cầu phục vụ SRQ (Service Request): là đường dây chung cho tất cả các thiết bị và được kéo xuống mức thấp LOW, khi bất kỳ thiết bị nào được nối với giao diện có yêu cầu phục vụ. Nó yêu cầu gọi để ngắt sự truyền hiện thời trên bus giao diện và gọi sự chú ý ưu tiên từ bộ điều khiển.

-Đường dây cho phép điều khiển từ xa REN (Remote Enable): Khi đường dây này được đặt ở trạng thái thấp (LOW, sự điều khiển một thiết bị được chuyển từ điều khiển "cục bộ" (bên trong, local) sang "từ xa" (bên ngoài, remote); tức là chuyển sự điều khiển đến các phím ở panel phía trước, nếu thiết bị là một máy đo lường.

-Đường dây kết thúc hay xác định EOI (End Or Identify): Tín hiệu trên dây này sẽ được xác định bởi bộ phát (nói) (để báo kết thúc quá trình truyền nối tiếp thông điệp) hoặc như một lệnh từ bộ điều khiển (hỏi một thiết bị để nhận diện nó thông qua đáp ứng tới một SQR). Đường dây được đặt xuống mức thấp LOW đồng bộ với sự truyền byte dữ liệu cuối cùng, do vậy báo là không còn có dữ liệu nào được truyền nữa. Nếu dây này được kéo xuống mức thấp LOW (do bộ điều khiển thực hiện) trong quá trình đòi hỏi

luân chuyển vòng liên tiếp, tín hiệu được ghi nhận như một lệnh nhận diện. Thiết bị đáp ứng với lệnh nhận diện bằng cách đặt địa chỉ đã được gán cho nó trên bus.

## **2. Các chức năng của Giao diện (Interface Functions)**

Mỗi thiết bị trong một hệ thống kiểu modul sử dụng giao diện có thể thực hiện ba kiểu chức năng khác nhau: Chức năng thiết bị, Chức năng mã hoá và Chức năng giao diện. Các chức năng liên quan đến số lượng mà thiết bị đo được, dải đo của nó và điều kiện hoạt động,... Chúng được tạo bởi người thiết kế sau khi tính tất cả mối liên hệ với giao diện và chọn lựa các tín hiệu từ danh mục, tài nguyên của giao diện. Sự mã hoá dữ liệu phải phù hợp với các dạng lệnh và mã lệnh định trước. Các chức năng của giao diện đã thiết lập các thao tác tiêu chuẩn tiến hành trong khi truyền dữ liệu trong một hệ thống tổ chức giao diện. Mỗi chức năng giao diện được thực hiện ở một thiết bị, cho phép nó nhận và gửi các thông báo hoặc xử lý chúng theo phương thức đã định sẵn. Hệ thống các thiết bị được kết nối bus tương tác với nhau bằng cách thực hiện 10 chức năng giao tiếp.

Giao diện chuẩn IEC có chức năng như sau:

- 1) Thu (nghe) hoặc thu mở rộng: L hoặc LE (Listener or Extended Listener), cho phép thiết bị có thể nhận dữ liệu của thiết bị phụ thuộc qua giao diện. Khả năng này chỉ tồn tại khi chức năng giao diện thu được địa chỉ hoá bởi bộ điều khiển hoặc bởi một đầu vào chỉ thu (nghe) cục bộ LON (Listen Only).
- 2) Móc nối chấp nhận AH (Acceptor handshake), cho phép thiết bị đảm nhận sự thu nhập đúng các thông báo nhiều dòng (đường) từ xa.
- 3) Phát hoặc mở rộng: T hoặc TE (Talker or Extended Talker), cho phép thiết bị gửi các dữ liệu của thiết bị phụ thuộc qua giao diện tới các thiết bị khác. Khả năng này chỉ tồn tại khi chức năng giao diện phát được địa chỉ hoá để phát bởi bộ điều khiển hoặc đầu vào chỉ phát cục bộ TON (Talk Only).
- 4) Móc nối nguồn SH (Source Handshake), cho phép thiết bị đảm bảo sự truyền chính xác thông báo nhiều đường tới một hay nhiều chức năng móc nối nhận của giao diện.
- 5) Điều khiển C (Controller), cho phép thiết bị điều gửi các địa chỉ thiết bị, các lệnh tổng hợp và các lệnh địa chỉ tới các thiết bị khác qua giao diện. Bộ điều khiển chỉ có thể thực hiện chức năng của nó khi gửi các thông báo chú ý ATN (Attention Message).
- 6) Xoá thiết bị DC (Device Clear), cho phép thiết bị đặt lại (reset) về trạng thái khởi động bằng các thông báo từ xa. Thiết bị có thể được địa chỉ hoá riêng biệt hoặc như một thành phần của một nhóm thiết bị.

- 7) Khởi động thiết bị DT (Device Trigger), cho phép bộ điều khiển ra lệnh cho thiết bị để khởi động cơ sở của nó hay các hoạt động theo chương trình.
- 8) Thăm dò song song PP (Parallel Poll), cho phép thiết bị đưa ra một thông báo đáp ứng cho việc thăm dò song song PPR (Parallel Pol Response) tới bộ điều khiển mà không cần đặt địa chỉ trước để phát (nói). Trước khi thực hiện sự lần lượt hỏi thăm dò song song, một thiết bị phải được gán cho phép đáp ứng một đường vào/ra dữ liệu DIO nào đó, cả bằng thể hiện cục bộ hay bằng thông báo từ xa.
- 9) Chức năng từ xa/cục bộ (RL :Remote/Local), cho phép thiết bị chọn giữa các thông tin lập trình từ bảng điều khiển ở panel phía trước của thiết bị (cục bộ) và từ giao diện (từ xa)
- 10) Yêu cầu dịch vụ SR (Service Request), cho phép thiết bị yêu cầu hoạt động dịch vụ từ bộ điều khiển, ví dụ như hỏi vòng (polling)

Mười chức năng giao diện được nêu trên tạo ra sự điều khiển mềm dẻo và hoàn thiện cho bất kỳ hệ thống đo lường nào. Chúng cho phép các thiết bị tạo thành hệ thống thu nhận, xử lý và phân phối thông tin. Nhờ các chức năng này, một thiết bị có thể sử dụng cho các mục đích đã thiết kế của nó và được thao tác theo các thủ tục của giao diện.

### ***3. Các khả năng của giao diện IEC (Capabilities of the IEC Interface)***

Giao diện IEC có nhiều khả năng, ở đây chỉ nêu các khả năng quan trọng.

- 1) Chiều dài toàn bộ tới 20<sup>m</sup>.
- 2) Tổng số các modul được nối không quá 15.
- 3) Tổng số cá bộ thu dữ liệu (listeners) và các bộ phát dữ liệu (talkers) không quá 31 nếu dùng 1 byte địa chỉ hoá và không quá 961 nếu dùng 2 byte địa chỉ hoá.
- 4) Giao diện IEC cung cấp cho:
  - Hoạt động của các modul trong phạm vi 20m ở tốc độ truyền lớn nhất là 250.000 bytes/s, với một tải tiêu chuẩn tương đương cho mỗi đoạn 2m, và với bộ lái bởi mạch hở open - collector drive). Dòng điện vào nhỏ nhất là 48 mA.
  - Hoạt động của các modul ở tốc độ truyền lớn nhất là 500.000 bytes/s, với một tải tiêu chuẩn tương đương cho mỗi đoạn 2m, và với bộ lái bởi mạch 3 trạng thái (tristate drive); với dòng điện vào không nhỏ hơn 48 mA.

- Hoạt động của các modul ở tốc độ truyền lớn nhất là 1.000.000 bytes/s, sử dụng bộ lái dùng mạch tri-state với dòng vào không nhỏ hơn 48 mA. Khoảng cách lớn nhất giữa hai modul kề cận là 1m.

(Ví dụ, với 10 modul hoạt động ở khoảng cách 10m, có thể dùng tốc độ truyền là 1.000.000 bytes/s). ở tốc độ truyền lớn nhất, các khối modul phải sử dụng các thanh ghi đệm cho các byte thông báo.

- 5) Mức logic HIGH ở một đường dây tương ứng với mức điện áp lớn hơn hay bằng 2V. Mức logic LOW trên dây ứng với điện áp bằng hay nhỏ hơn 0,8V.
- 6) Khoảng thời gian truyền nhỏ nhất và lớn nhất giữa các chức năng giao diện biến thiên từ một chức năng tới chức năng tiếp theo. Ví dụ, khoảng thời gian ngắn nhất để một thông báo nhiều đường đạt tới trạng thái xác lập là ít nhất 2 $\mu$ s (chức năng C của giao diện). Khoảng thời gian hỏi thăm dò vòng song song ngắn nhất là 2  $\mu$ s (chức năng C của giao diện). Thời gian lớn nhất của một đáp ứng với tín hiệu trên dây ATN không quá 200 ms (các chức năng của giao diện SH, AH, TL).
- 7) Các đầu nối được thiết kế cho điện áp 150V và dòng 1A. Trở kháng cách điện thì lớn hơn 1G $\Omega$ . Dải tần số hoạt động tới 3 MHz.
- 8) Các đầu nối có 24 chân và sẽ chịu được 500 lần thao tác nối - không nối (điều này chỉ sự chống mài mòn). Tiết diện của dây là 0,2mm<sup>2</sup>.

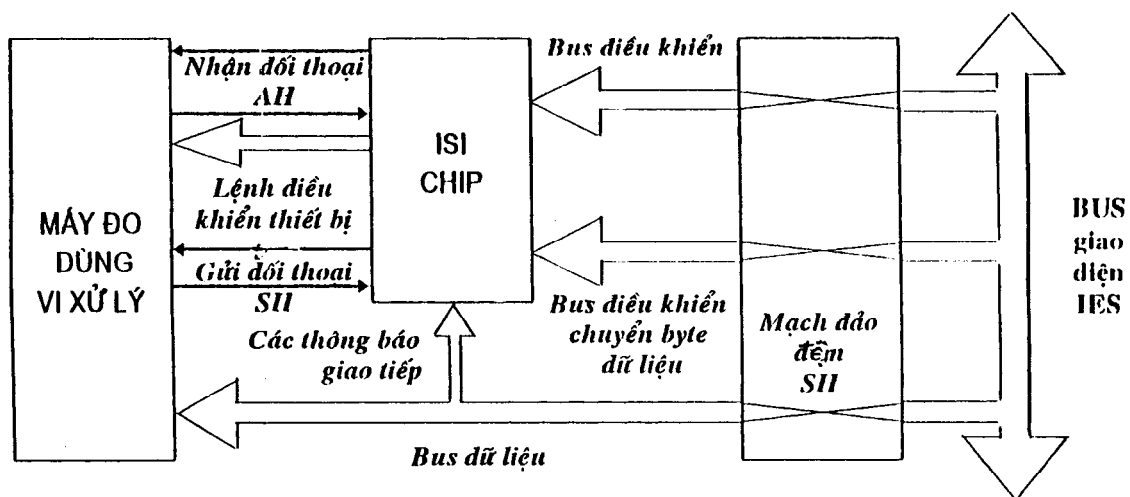
#### ***4. Giao diện của máy đo với bus tiêu chuẩn IEC (Instrument interface with the standard IEC bus)***

Khi các máy đo sử dụng bộ vi xử lý được dùng làm một phần của hệ thống đo lường có tổ chức giao diện, thì một điều rất quan trọng là phải hiểu mạch giao tiếp của các Bus mã hoá nội bộ của máy đo. Vấn đề này sẽ được thực hiện với các vi mạch SSI và MSI, (trong trường hợp này, phải cần có từ 40 đến 50 IC), do đó sẽ làm tăng độ phức tạp cũng như giá thành của thiết bị đo.

Một cách làm khác, dễ và rẻ hơn là tạo các thiết bị đo có tổ chức giao diện vào một bus tiêu chuẩn thông qua việc sử dụng một vi mạch ISI đặc biệt.

Sơ đồ khối của ISI như trong hình 10-21.

Như hình 10-21, máy đo có sử dụng vi xử lý và chip giao diện ISI trao đổi các tín hiệu móc nối đối thoại, với một móc nối giữa máy đo và ISI chip vào giữa ISI chip với Bus giao diện chuẩn bên ngoài. Nếu máy đo có thể phát hay nhận dữ liệu trong một khoảng thời gian không vượt quá một chu kỳ đồng hồ nhịp, thì sẽ không cần tín hiệu móc nối và các dữ liệu của các Bus truyền có thể nối trực tiếp. Các mạch đệm đảo được đưa vào giải thích lý do vi mạch ISI dùng logic dương và IEC Bus dùng logic âm.



(ISI chip là Instrument to Standard bus Interface chip)

Hình 10-21

### 5. Một ví dụ về hệ thống đo dùng giao diện tiêu chuẩn

Hình 10-22 đưa ra một ví dụ của hệ thống đo đơn giản, nó bao gồm các thiết bị và các mạch được thiết kế để thực hiện các chức năng khác nhau.

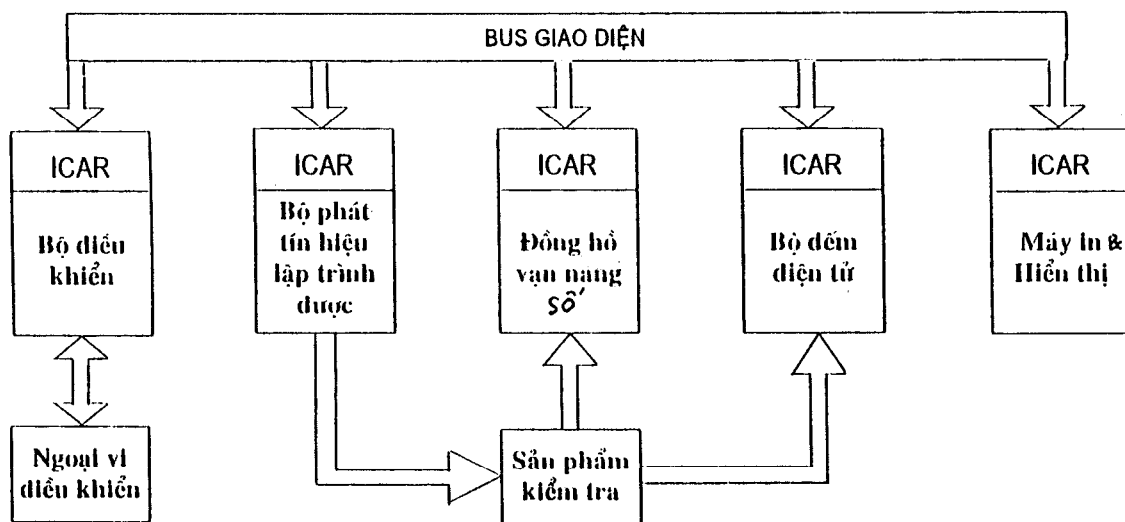
Máy phát tín hiệu lập trình được cũng có thể chỉ thu, nó chỉ nhận địa chỉ và các lệnh từ giao diện mà không gửi số liệu tới giao diện.

Máy in và bộ hiển thị chỉ dùng để nhận, chúng nhận địa chỉ, thông tin đo lường và lệnh.

Đồng hồ vạn năng số và bộ đếm tần số có thể thu và phát. Chúng nhận địa chỉ và lệnh từ giao diện và gửi kết quả đo về điện áp, dòng điện và điện trở (trong trường hợp là đồng hồ vạn năng số); tần số và thời gian (trong trường hợp là máy đếm) tới giao diện.

Hệ thống được điều khiển bởi một bộ điều khiển nối với ngoại vi, trong đó có bàn phím. Nó có thể xử lý số liệu từ thông tin đo lường.

Khi hệ thống bắt đầu hoạt động. Bộ điều khiển gửi tín hiệu IFC (Interface Clear) và tất cả các thiết bị của hệ thống sẽ được khởi động. Lệnh REN tiếp theo sẽ chuyển các thiết bị vào chế độ điều khiển từ xa. Bộ phận điều khiển gửi các tín hiệu địa chỉ và lệnh thích hợp (khi dây ATN bị đặt thành LOW). Bộ điều khiển được gọi khi địa chỉ của nó được chỉ ra bởi bộ phát và bộ thu, sau đó dữ liệu được chuyển đi giữa chúng. Sau khi phát ra các địa chỉ, bộ điều khiển giải phóng Bus khỏi bộ phát được chọn và gửi số liệu tới bộ thu (bằng cách đặt dây ATN lên HIGH); như vậy chức năng SH của thiết bị được thực hiện. Tại điểm cuối của sự truyền, bộ điều khiển bắt đầu lại chức năng của nó, nó có thể phát ra các lệnh và địa chỉ thiết bị tiếp theo. Bộ điều khiển cũng có thể hoạt động



Hình 10-22

trong quá trình truyền dữ liệu như một bộ phát (trong trường hợp nó gửi các dữ liệu chương trình), hoặc như một bộ thu (ở trường hợp nó nhận các dữ liệu đo).

Giao diện có khả năng kiểm tra tuần tự hệ thống sử dụng theo cách nối tiếp hoặc song song (hoàn toàn độc lập với sự hoạt động của nó). Mục đích của việc hỏi vòng là phát hiện ra trong hệ thống, trong hoàn cảnh nào có thể thực hiện các tác vụ SRQ (Service Request) và tạo lập các công việc phải làm. Đó có thể là lập trình vòng tạo ra bởi các thủ tục của bộ điều khiển. Trường hợp hỏi vòng song song là tiến hành cho bất cứ yêu cầu dịch vụ nào.

Tóm lại, các mạch giao tiếp (Interfaces) cho phép kết nối các khối (modun) trong hệ thống đo, cho phép các hệ thống này thực hiện được nhiều phép đo các đại lượng khác nhau, có độ chính xác và độ tin cậy cao. Mặt khác, sự chuẩn hoá các giao diện cũng cho phép phát triển các khối của hệ thống đo trong tương lai.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### 1. Vũ Quý Điềm

Cơ sở kỹ thuật Đo lường Vô tuyến điện

*Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp*

*Hà nội 1983*

### 2. G. Mirsky

Micropocessors and Instrumentation

*Mir Publishers*

*Moscow - 1987*

### 3. Clyde F. Cosmly, Jr.

Electronic Instrument HandBook

*Mc Graw-Hill, Inc.*

*Washington D.C. - 1995*

# CƠ SỞ KỸ THUẬT

## ĐO LƯỜNG ĐIỆN TỬ

Tác giả: PGS. Vũ Quý Điềm (Chủ biên)  
Phạm Văn Tuấn  
Đỗ Lê Phú

Chịu trách nhiệm xuất bản: PGS. TS. Tô Đăng Hải  
Biên tập: Nguyễn Đăng, Ngọc Khuê  
Vẽ bìa: Hương Lan

Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật  
70 Trần Hưng Đạo, Hà Nội.

---

In 1500 cuốn khổ 19x27 tại Xưởng in Đại học Quốc gia. Giấy phép xuất bản số 123-181-3/10/2001. In xong và nộp lưu chiểu tháng 10 năm 2001.