

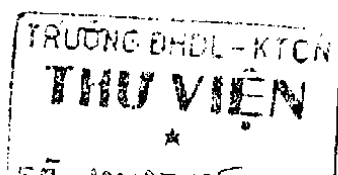
VS.GS. TRẦN ĐÌNH LONG

BẢO VỆ CÁC HỆ THỐNG ĐIỆN

In lần thứ 4 có sửa chữa



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI -2007



MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
LỜI NÓI ĐẦU	
PHẦN MỞ ĐẦU	1
M-1 Khái niệm chung	3
M-2 Những yêu cầu đối với thiết bị bảo vệ hệ thống điện	4
M-3 Cơ cấu của các hệ thống bảo vệ	7
M-4 Những thông tin cần thiết phục vụ việc lựa chọn và tính toán bảo vệ hệ thống điện	9
PHẦN I NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG VỀ BẢO VỆ CÁC HỆ THỐNG ĐIỆN	11
Chương 1 TÍNH TOÁN CÁC CHẾ ĐỘ HƯ HỎNG VÀ LÀM VIỆC KHÔNG BÌNH THƯỜNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN	13
1.1. Ngắn mạch	13
1.2. Chạm đất trong lưới điện có trung điểm không nối đất hoặc nối qua cuộn dập hồ quang	22
1.3. Đứt dây (hoặc hở mạch) một pha	24
1.4. Các vòng dây trong máy điện chạm nhau	27
1.5. Quá tải	30
1.6. Mất cân bằng công suất tác dụng trong hệ thống điện	31
1.7. Dao động điện và mất ổn định của hệ thống	33
1.8. Các dạng hư hỏng và chế độ làm việc không bình thường khác	40
Chương 2 CÁC PHẦN TỬ CHÍNH TRONG HỆ THỐNG BẢO VỆ RƠ LE	43
2.1. Máy biến dòng điện	43
2.2. Máy biến điện áp	62
2.3. Các bộ lọc thành phần đối xứng	70
2.4. Các bộ lọc sóng hài	76
2.5. Nguồn điện thao tác	78
2.6. Role	83
2.7. Kênh truyền tín hiệu	88

Chương 3	CÁC NGUYÊN LÝ ĐO LƯỜNG VÀ PHÁT HIỆN HƯ HỎNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN	99
3.1.	Các nguyên lý đo lường dùng cho mục đích bảo vệ	99
3.2.	Quá dòng điện	102
3.3.	Sơ lệch dòng điện	105
3.4.	Sơ sánh pha của dòng điện	108
3.5.	Quá dòng điện và thiếu điện áp	109
3.6.	Hướng công suất	110
3.7.	Các thành phần đối xứng của dòng và áp	113
3.8.	Tổng trở	113
3.9.	Tần số	116
3.10.	Các nguyên lý khác để phát hiện sự cố và chế độ làm việc không bình thường	117
PHẦN II	BẢO VỆ CÁC PHẦN TỬ CHÍNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN	119
Chương 4	BẢO VỆ CÁC ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI VÀ PHÂN PHỐI ĐIỆN	121
4.1.	Những vấn đề chung	121
4.2.	Bảo vệ quá dòng điện	122
4.3.	Bảo vệ sơ lệch dòng điện	132
4.4.	Bảo vệ khoảng cách	140
4.5.	Bảo vệ sơ sánh hướng	156
4.6.	Bảo vệ chống chạm đất trong lưới điện có dòng chạm đất bé	158
4.7.	Tự động đóng lại	164
4.8.	Bảo vệ các đường dây phân phối điện	176
Chương 5	BẢO VỆ CÁC MÁY ĐIỆN VÀ TRANG BỊ ĐIỆN	187
5.1.	Bảo vệ máy phát điện đồng bộ	187
5.2.	Bảo vệ máy biến áp và máy biến áp tự ngẫu	229
5.3.	Bảo vệ bộ máy phát điện và máy biến áp	239
5.4.	Bảo vệ các hệ thống thanh góp và bảo vệ dự phòng máy cắt hỏng	248
5.5.	Bảo vệ các động cơ điện ba pha điện áp cao	260

PHẦN III	SỬ DỤNG KỸ THUẬT SỐ VÀ MÁY TÍNH TRONG BẢO VỆ VÀ ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG ĐIỆN	269
Chương 6	NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG VỀ ỨNG DỤNG KỸ THUẬT SỐ TRONG BẢO VỆ VÀ ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG ĐIỆN	271
6.1.	Giới thiệu chung	271
6.2.	Nguyên lý làm việc của rơ le số	272
6.3.	Phân cấp mạng lưới bảo vệ và điều khiển điều độ hệ thống điện	274
6.4.	Những định hướng phát triển của hệ thống điều khiển và thông tin điện lực	276
Chương 7	CHUYỂN ĐỔI TƯƠNG TỰ - SỐ CỦA CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẦU VÀO VÀ LỌC TÍN HIỆU SỐ	287
7.1.	Khái niệm cơ bản	287
7.2.	Bộ lọc tín hiệu tương tự	288
7.3.	Chuyển đổi tín hiệu tương tự - số (A/D)	289
7.4.	Hiệu chỉnh	291
7.5.	Xử lý tín hiệu số	294
7.6.	Tổng hợp các bộ lọc với xung đáp ứng vô hạn	297
7.7.	Tổng hợp các bộ lọc với xung đáp ứng hữu hạn	301
7.8.	Biểu diễn biến đầu vào bằng các thành phần trực giao của nó	315
7.9.	Tương quan số	318
7.10.	Các bộ lọc thành phần đối xứng	319
Chương 8	CÁC THUẬT TOÁN BẢO VỆ SỐ	323
8.1.	Giới thiệu chung	323
8.2.	Phép đo biên độ của tín hiệu hình sin	324
8.3.	Đo các thành phần tác dụng và phản kháng	333
8.4.	Phép đo công suất	338
8.5.	Đo khoảng cách theo phương pháp số	341
8.6.	Đo tần số bằng phương pháp số	354
8.7.	Cấu trúc lô gích của rơ le số	359
PHỤ LỤC		369
TÀI LIỆU THAM KHẢO		421

Phần mở đầu

LỜI NÓI ĐẦU

Hiểu biết về những hư hỏng và hiện tượng không bình thường có thể xảy ra trong hệ thống điện cùng với những phương pháp và thiết bị bảo vệ nhằm phát hiện đúng và nhanh chóng cách ly phần tử hư hỏng ra khỏi hệ thống, cảnh báo và xử lý khắc phục chế độ không bình thường là mảng kiến thức quan trọng của kỹ sư ngành hệ thống điện.

So với giáo trình " Bảo vệ rơle trong hệ thống điện " của cùng tác giả đã được xuất bản và tái bản nhiều lần trước đây, cuốn sách " **Bảo vệ các hệ thống điện** " được giới thiệu với bạn đọc lần này có nội dung và bố cục thay đổi cơ bản.

Ngoài phần mở đầu, sách gồm ba phần lớn:

Phần thứ nhất: Giới thiệu những vấn đề chung về bảo vệ các hệ thống điện, trong đó tóm tắt phương pháp tính toán các chế độ hư hỏng và làm việc không bình thường của hệ thống, mô tả nguyên lý làm việc và chức năng các phần tử chính trong sơ đồ bảo vệ, nguyên lý đo lường và phát hiện hư hỏng trong hệ thống điện.

Phần thứ hai: Xem xét việc bảo vệ các phần tử chính trong hệ thống điện bao gồm: Máy phát điện đồng bộ, máy biến áp và máy biến áp tự ngẫu, bộ máy phát điện - máy biến áp, thanh góp, động cơ điện cao áp, các đường dây truyền tải và phân phối điện.

Phần thứ ba: Giới thiệu việc sử dụng kỹ thuật số trong bảo vệ và điều khiển hệ thống điện, trong đó xem xét vấn đề chuyển đổi tương tự - số các đại lượng đầu vào, lọc tín hiệu số và các thuật toán bảo vệ số.

Sách có thể được sử dụng như tài liệu giáo khoa cho sinh viên ngành Hệ thống điện và tài liệu tham khảo cho đông đảo kỹ sư, cán bộ nghiên cứu, thiết kế và vận hành các thiết bị bảo vệ trong hệ thống điện.

Lần đầu tiên sách được giới thiệu cùng bạn đọc với nội dung và bố cục hoàn toàn đổi mới chắc không tránh khỏi thiếu sót. Tác giả và Nhà xuất bản chờ mong và hoan nghênh những ý kiến đóng góp của bạn đọc. Nhận xét và góp ý xin gửi về: Bộ môn Hệ thống điện, Trường đại học Bách Khoa Hà Nội, 49 đường Đại Cồ Việt - Hà Nội.

Tác giả

M.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Những thành tựu đạt được trong lịch sử phát triển ngành công nghiệp điện lực, đặc biệt trong những năm gần đây, cho phép thiết kế và xây dựng các hệ thống điện tin cậy và kinh tế nhằm đáp ứng một cách tốt nhất nhu cầu điện năng ngày càng tăng của xã hội. Trong sự phát triển của các hệ thống điện lực, các thiết bị và hệ thống bảo vệ đóng một vai trò cực kỳ quan trọng, nó đảm bảo cho các thiết bị điện chủ yếu như máy phát điện, máy biến áp, đường dây dẫn điện trên không và cáp ngầm, thanh góp và các động cơ cỡ lớn...và toàn bộ hệ thống điện làm việc an toàn, phát triển liên tục và bền vững.

Các thiết bị bảo vệ có nhiệm vụ phát hiện và loại trừ càng nhanh càng tốt phần tử bị sự cố ra khỏi hệ thống. Nguyên nhân gây hư hỏng, sự cố đối với các phần tử trong hệ thống điện rất đa dạng: Do các hiện tượng thiên nhiên như biến đổi thời tiết, giông bão, động đất, lũ lụt, do máy móc thiết bị bị hao mòn, già cỗi, do các tai nạn ngẫu nhiên, do nhầm lẫn trong thao tác của nhân viên vận hành v.v...

Nhanh chóng phát hiện và cách ly phần tử hư hỏng khỏi hệ thống có thể ngăn chặn và hạn chế đến mức thấp nhất những hậu quả tai hại của sự cố, trong đó phần lớn là các dạng ngắn mạch. Dòng điện tăng cao tại chỗ sự cố và trong các phần tử trên đường từ nguồn đến điểm ngắn mạch có thể gây những tác động nhiệt và cơ nguy hiểm cho các phần tử nó chạy qua. Hồ quang tại chỗ ngắn mạch nếu để tồn tại lâu có thể đốt cháy thiết bị và gây hoả hoạn. Ngắn mạch làm cho điện áp tại chỗ sự cố và khu vực lưới điện lân cận bị giảm thấp, ảnh hưởng đến sự làm việc bình thường của các hộ dùng điện. Tồi tệ hơn, ngắn mạch có thể dẫn đến mất ổn định và tan rã hệ thống.

Thiết bị bảo vệ đơn giản nhất được sử dụng sớm nhất trong hệ thống điện là các loại cầu chì hay gọi đúng hơn : cầu chảy. Cầu chảy là một “chỗ yếu” được tạo ra một cách có chủ định trong mạch điện để ngắt mạch bằng dây chảy khi có dòng điện sự cố chạy qua. Cho đến ngày nay cầu chảy vẫn còn được sử dụng rộng rãi trong lưới điện phân phối (đến 110 kV) do kết cấu đơn giản, rẻ tiền và làm việc khá chắc chắn.

Tuy nhiên trong các lưới điện hiện đại, đối với các phần tử quan trọng như các máy phát điện, máy biến áp công suất lớn, các hệ thống thanh góp và đường dây tải điện cao áp và siêu cao áp không thể dùng cầu chảy để bảo vệ được vì những nhược điểm rất cơ bản của nó : Dòng tác động (chảy) không chính xác,

phụ thuộc vào vật liệu và công nghệ chế tạo dây chảy; khó phối hợp tác động trong lưới điện có cấu hình phức tạp; chỉ tác động một lần; thời gian thay dây chảy gây mất điện kéo dài cho hộ tiêu thụ; không thể thực hiện việc ghép nối và liên động với các thiết bị bảo vệ và tự động khác trong hệ thống.

Thiết bị tự động được dùng phổ biến nhất để bảo vệ các hệ thống điện hiện đại là các role. Role là phiên âm từ tiếng nước ngoài (RELAIS - Pháp, RELAY - Anh, РЕЛЕ - Nga) với nghĩa ban đầu của nó là phần tử làm nhiệm vụ tự động chuyển (đóng, cắt) mạch điện. Role được dùng rất phổ biến trong nhiều lĩnh vực và thiết bị khác nhau: trong bảo vệ các thiết bị điện, trong bưu chính viễn thông, trên phương tiện giao thông và hệ thống điều khiển đèn đường, trong rôbot và hầu như tất cả các thiết bị tự động, thiết bị điện và điện tử gia dụng, trong các dây chuyền công nghệ liên hoàn v.v...

Ngày nay, khái niệm role thường dùng để chỉ một tổ hợp thiết bị thực hiện một hoặc một nhóm chức năng bảo vệ và tự động hóa hệ thống điện, thỏa mãn những yêu cầu kỹ thuật đề ra đối với nhiệm vụ bảo vệ cho từng phần tử cụ thể cũng như cho toàn bộ hệ thống.

M.2. NHỮNG YÊU CẦU ĐỐI VỚI THIẾT BỊ BẢO VỆ HỆ THỐNG ĐIỆN

Để thực hiện được các chức năng và nhiệm vụ quan trọng đã đề cập ở trên, thiết bị bảo vệ phải thỏa mãn những yêu cầu cơ bản sau đây: tin cậy, chọn lọc, tác động nhanh, nhạy và kinh tế.

1. Tin cậy: là tính năng đảm bảo cho thiết bị bảo vệ làm việc đúng, chắc chắn. Người ta phân biệt:

- Độ tin cậy khi tác động: (dependability) được định nghĩa như “ mức độ chắc chắn rằng role hoặc hệ thống role sẽ tác động đúng” (theo định nghĩa của Hiệp hội kỹ sư điện và điện tử - IEEE C 37. 2 - 1979) và
- Độ tin cậy không tác động: (security) “ mức độ chắc chắn rằng role hoặc hệ thống role sẽ không làm việc sai” (IEEE C 37. 2 - 1979).

Nói cách khác, độ tin cậy khi tác động là khả năng bảo vệ làm việc đúng khi có sự cố xảy ra trong phạm vi đã được xác định trong nhiệm vụ bảo vệ, còn độ tin cậy không tác động là khả năng tránh làm việc nhầm ở chế độ vận hành bình thường hoặc sự cố xảy ra ngoài phạm vi bảo vệ đã được quy định.

Trên thực tế độ tin cậy tác động có thể kiểm tra tương đối dễ dàng bằng tính toán và thực nghiệm, còn độ tin cậy không tác động rất khó kiểm tra vì tập hợp những trạng thái vận hành và tình huống bất thường có thể dẫn đến tác động sai của bảo vệ không thể lường trước hết được.

Để nâng cao độ tin cậy nên sử dụng các rơle và hệ thống rơle có kết cấu đơn giản, chắc chắn, đã được thử thách qua thực tế sử dụng cũng như tăng cường mức độ dự phòng trong hệ thống bảo vệ. Số liệu thống kê về vận hành cho thấy, hệ thống bảo vệ trong các hệ thống điện hiện đại có xác suất làm việc tin cậy khoảng 95 - 99%.

2. Chọn lọc: là khả năng của bảo vệ có thể phát hiện và loại trừ đúng phần tử bị sự cố ra khỏi hệ thống. Cấu hình của hệ thống điện càng phức tạp việc đảm bảo tính chọn lọc của bảo vệ càng khó khăn.

Theo nguyên lý làm việc, các bảo vệ được phân ra: bảo vệ có độ chọn lọc tuyệt đối và bảo vệ có độ chọn lọc tương đối. Bảo vệ có độ chọn lọc tuyệt đối là những bảo vệ chỉ làm việc khi sự cố xảy ra trong một phạm vi hoàn toàn xác định, không làm nhiệm vụ dự phòng cho bảo vệ đặt ở các phần tử lân cận.

Bảo vệ có độ chọn lọc tương đối ngoài nhiệm vụ bảo vệ chính cho đối tượng được bảo vệ còn có thể thực hiện chức năng dự phòng cho bảo vệ đặt ở các phần tử lân cận.

Để thực hiện yêu cầu về chọn lọc đối với các bảo vệ có độ chọn lọc tương đối, phải có sự phối hợp giữa đặc tính làm việc của các bảo vệ lân cận nhau trong toàn hệ thống nhằm đảm bảo mức độ liên tục cung cấp điện cao nhất, hạn chế đến mức thấp nhất thời gian ngừng cung cấp điện.

3. Tác động nhanh: Hiện nhiên bảo vệ phát hiện và cách ly phần tử bị sự cố càng nhanh càng tốt. Tuy nhiên khi kết hợp với yêu cầu chọn lọc để thỏa mãn yêu cầu tác động nhanh cần phải sử dụng những loại bảo vệ phức tạp và đắt tiền.

Rơle hay bảo vệ được gọi là tác động nhanh (hay còn gọi là có tốc độ cao) nếu thời gian tác động không vượt quá 50 ms (2,5 chu kỳ của dòng công nghiệp 50 Hz). Rơle hay bảo vệ được gọi là tác động tức thời nếu không thông qua khâu trễ (tạo thời gian) trong tác động của rơle. Thông thường hai khái niệm tác động nhanh và tác động tức thời được dùng thay thế lẫn nhau để chỉ các rơle hoặc bảo vệ có thời gian tác động không quá 50 ms.

Ngoài thời gian tác động của rơle hay bảo vệ, việc loại nhanh phần tử bị sự cố còn phụ thuộc vào tốc độ thao tác của máy cắt điện. Các máy cắt điện tốc độ cao hiện đại có thời gian thao tác từ 20 đến 60 ms (từ 1 đến 3 chu kỳ 50 Hz); những máy cắt thông thường cũng có thời gian thao tác không quá 5 chu kỳ (khoảng 100 ms ở 50 Hz). Như vậy thời gian loại trừ sự cố (thời gian làm việc

của bảo vệ cộng với thời gian thao tác máy cắt) khoảng từ 2 đến 8 chu kỳ (khoảng 4 đến 160 ms ở 50 Hz) đối với các bảo vệ tác động nhanh.

Đối với lưới điện phân phối thường sử dụng các bảo vệ có độ chọn lọc tương đối và phải phối hợp thời gian tác động giữa các bảo vệ. Bảo vệ chính thông thường có thời gian khoảng 0,2 đến 1,5 giây, bảo vệ dự phòng - khoảng 1,5 đến 2 giây.

4 . Độ nhạy: Độ nhạy đặc trưng cho khả năng “ cảm nhận” sự cố của rơle hoặc hệ thống bảo vệ, nó được biểu diễn bằng hệ số độ nhạy, tức tỉ số giữa trị số của đại lượng vật lý đặt vào rơle khi có sự cố với ngưỡng tác động của nó. Sự sai khác giữa trị số của đại lượng vật lý đặt vào rơle và ngưỡng khởi động của nó càng lớn, rơle càng dễ cảm nhận sự xuất hiện của sự cố, hay như thường nói rơle tác động càng nhạy.

Độ nhạy thực tế của bảo vệ phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó quan trọng nhất phải kể đến : Chế độ làm việc của hệ thống (mức độ huy động nguồn), cấu hình của lưới điện, dạng ngắn mạch và vị trí điểm ngắn mạch, nguyên lý làm việc của rơle, đặc tính của quá trình quá độ trong hệ thống điện v.v...

Tuỳ theo vai trò của bảo vệ mà yêu cầu về độ nhạy đối với nó cũng khác nhau. Các bảo vệ chính thường yêu cầu phải có hệ số độ nhạy trong khoảng từ 1,5 đến 2, còn các bảo vệ dự phòng - từ 1,2 đến 1,5.

5. Tính kinh tế: Các thiết bị bảo vệ được thiết kế và lắp đặt trong hệ thống điện, khác với các máy móc và thiết bị khác, không phải để làm việc thường xuyên trong chế độ vận hành bình thường. Nhiệm vụ chủ yếu của chúng là phải luôn luôn sẵn sàng chờ đón những bất thường và sự cố có thể xảy ra bất kỳ lúc nào và có những tác động chuẩn xác. Đối với các trang thiết bị điện cao áp và siêu cao áp, chi phí để mua sắm và lắp đặt thiết bị bảo vệ thường chỉ chiếm một vài phần trăm giá trị của công trình, vì vậy thông thường giá cả thiết bị bảo vệ không phải là yếu tố quyết định trong lựa chọn chủng loại hoặc nhà cấp hàng cho thiết bị bảo vệ. Ở đây bốn yêu cầu kỹ thuật đã nêu trên đây đóng vai trò quyết định, vì nếu không thoả mãn được các yêu cầu này sẽ dẫn đến hậu quả rất tai hại cho hệ thống điện.

Đối với lưới điện trung, hạ áp, vì số lượng các phân tử cần được bảo vệ rất lớn, vả lại yêu cầu đối với thiết bị bảo vệ không cao bằng thiết bị bảo vệ ở các nhà máy điện lớn hoặc lưới truyền tải cao áp và siêu cao áp do vậy cần cần nhắc đến tính kinh tế trong lựa chọn thiết bị bảo vệ sao cho có thể đảm bảo được các yêu cầu về kỹ thuật với chi phí thấp nhất.

Cuối cùng cũng cần nói thêm rằng, năm yêu cầu đề ra trên đây trong nhiều trường hợp mâu thuẫn nhau, chẳng hạn muốn có được tính chọn lọc và độ nhạy

cao cần phải sử dụng những loại bảo vệ phức tạp, bảo vệ càng phức tạp càng khó thỏa mãn yêu cầu về độ tin cậy; hoặc những yêu cầu cao về kỹ thuật sẽ làm tăng chi phí cho thiết bị bảo vệ. Vì vậy trong thực tế cần dung hòa ở mức tốt nhất các yêu cầu nêu trên trong quá trình lựa chọn các thiết bị riêng lẻ cũng như tổ hợp toàn bộ các thiết bị bảo vệ, điều khiển và tự động trong hệ thống điện.

M.3. CƠ CẤU CỦA CÁC HỆ THỐNG BẢO VỆ

Rôle làm việc theo tín hiệu điện thường được nối với hệ thống điện thông qua các máy biến dòng điện (BI) và máy biến điện áp (BU). Chúng còn được gọi là các máy biến đổi đại lượng đầu vào hoặc các máy biến đổi đo lường, có nhiệm vụ cách ly mạch bảo vệ khỏi điện áp cao phía hệ thống và giảm biên độ của điện áp và dòng điện của hệ thống xuống đến những trị số chuẩn ở phía thứ cấp, thuận tiện cho việc chế tạo và sử dụng các thiết bị bảo vệ, đo lường và điều khiển.

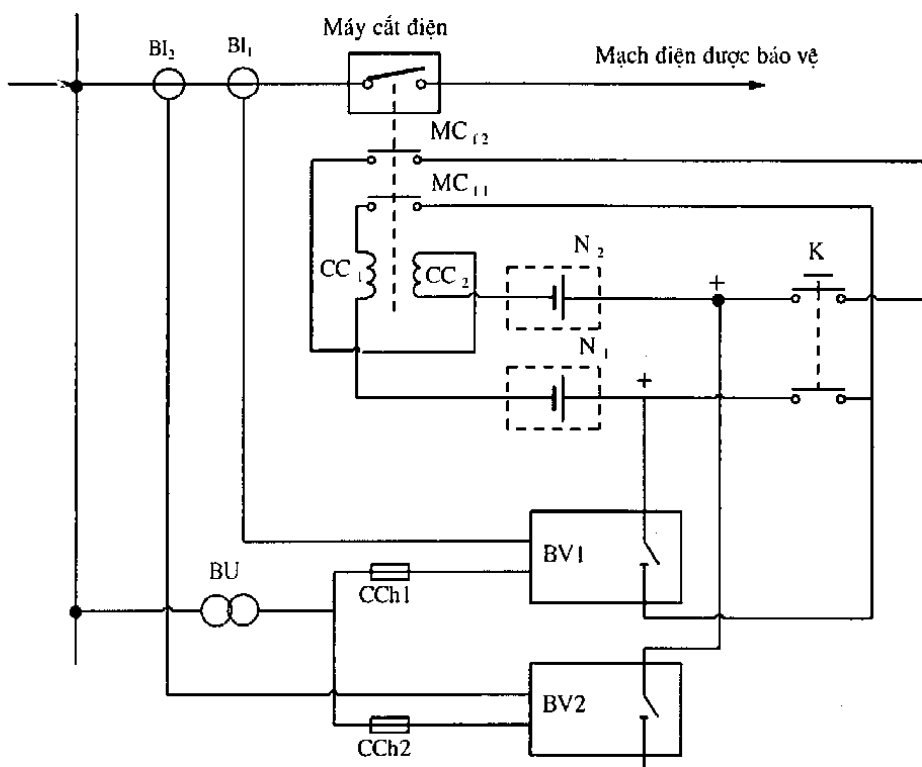
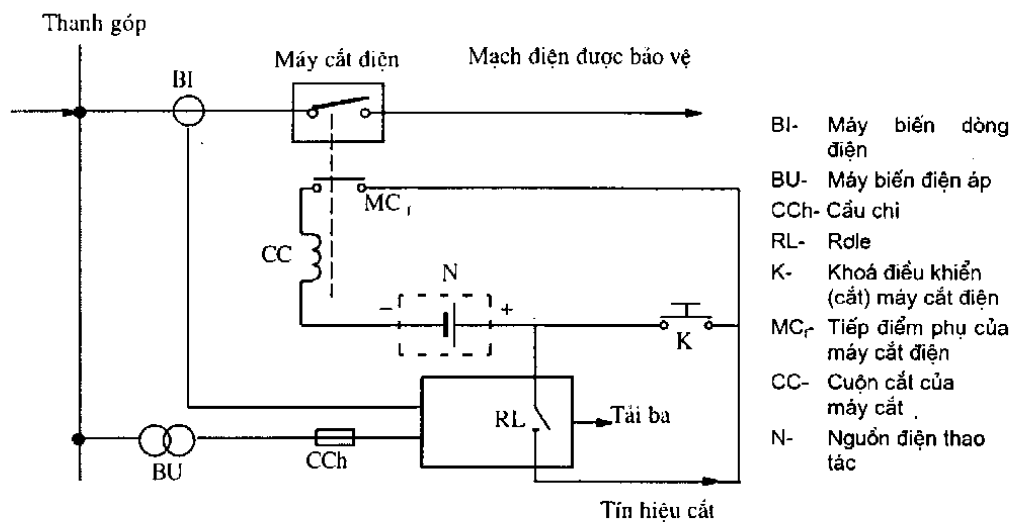
Tín hiệu dòng và áp đưa vào rôle sẽ được so sánh với ngưỡng tác động của nó và nếu vượt quá ngưỡng này rôle sẽ tác động “ tức thời ” hoặc có thời gian gửi tín hiệu đi cắt máy cắt điện của phần tử được bảo vệ. Để cung cấp năng lượng cho việc thao tác máy cắt điện, cho rôle và các thiết bị phụ trợ khác, người ta thường sử dụng nguồn điện thao tác riêng độc lập với phần tử được bảo vệ. Cấu trúc tổng thể của một hệ thống bảo vệ được trình bày trên hình M.1. Tiếp điểm phụ MC_p của máy cắt điện (hoặc của rôle phản ánh vị trí của máy cắt) có khả năng cắt dòng lớn sẽ ngắt mạch dòng điện cấp cho cuộn cắt trước khi tiếp điểm của rôle trở về, đảm bảo cho tiếp điểm của rôle khỏi bị cháy vì phải ngắt dòng điện lớn (có thể đến hàng chục ampe).

Nguyên lý làm việc, chức năng, nhiệm vụ cũng như yêu cầu và các thông số kỹ thuật của từng loại phần tử và thiết bị trong hệ thống như máy biến dòng điện, máy biến điện áp, các bộ lọc thành phần đối xứng của dòng và áp, rôle và các thiết bị phụ trợ, kênh truyền thông tin và nguồn điện thao tác sẽ được đề cập đến trong chương 2.

Những năm trước đây hệ thống hay sơ đồ bảo vệ rôle thường được tổ hợp từ nhiều rôle và thiết bị riêng lẻ, mỗi phần tử hoặc nhóm phần tử thực hiện một chức năng nhất định trong sơ đồ bảo vệ.

Ngày nay nhiều nhà chế tạo rôle theo đuổi mục tiêu “ mỗi đối tượng cần được bảo vệ chỉ cần dùng một bộ bảo vệ”. Để tăng cường độ tin cậy có thể đặt thêm một bộ thứ hai với tính năng tương đương nhưng hoạt động theo một nguyên lý khác hoặc do một nhà sản xuất khác chế tạo.

Nguyên lý dự phòng này còn được áp dụng cho mạch máy biến dòng điện và điện áp, cho nguồn điện thao tác và cho cuộn cắt của máy cắt điện (H. M. 2).



M.4. NHỮNG THÔNG TIN CẦN THIẾT PHỤC VỤ VIỆC LỰA CHỌN VÀ TÍNH TOÁN BẢO VỆ HỆ THỐNG ĐIỆN

Để có thể lựa chọn, tính toán thiết kế, lắp đặt và vận hành đúng hệ thống bảo vệ, các kỹ sư thiết kế, các nhà chế tạo thiết bị, các nhà tư vấn cũng như kỹ sư vận hành cần biết những thông tin tối thiểu sau đây:

1. Cấu hình của hệ thống. Thường dùng sơ đồ một sợi để diễn giải cấu trúc và nguyên lý làm việc của thiết bị bảo vệ và sơ đồ 3 (hoặc 4) sợi trong các chỉ dẫn lắp ráp, đấu dây ở thiết bị và bảng điện. Ở sơ đồ lắp ráp, vị trí của máy cắt điện, máy biến dòng điện và điện áp, bảng điều khiển và vị trí của từng rơle phải được chỉ rõ và đánh số. Chế độ nối đất của trung điểm hệ thống cũng phải được xác định.

2. Sơ đồ đấu nối các thiết bị sơ cấp và tổng trở của chúng, điện áp, tần số và thứ tự pha thường được chỉ dẫn ngay trên các bản vẽ về cấu hình hệ thống và các bản vẽ lắp ráp. Những thông tin này phục vụ cho việc tính toán các chế độ sự cố của hệ thống cũng như trị số đặt của rơle.

3. Tổ đấu dây của máy biến áp lực, máy biến dòng điện và điện áp cùng với tỷ số biến đổi của chúng cần biết để tính các trị số thứ cấp của dòng, áp, tổng trở khởi động của rơle.

4. Yêu cầu về tính toán ngắn mạch. Để bảo vệ chống sự cố nhiều pha cần tính toán ngắn mạch ba pha, để chống ngắn mạch chạm đất cần tính toán ngắn mạch một pha. Ngoài ra đối với các bảo vệ phản ứng theo các thành phần đối xứng cần tính toán các thành phần dòng và áp thứ tự nghịch và thứ tự không tại chỗ bị sự cố và chỗ đặt rơle bảo vệ. Tính toán ngắn mạch được thực hiện cho cả hai chế độ cực đại và cực tiểu của hệ thống.

5. Xác định thời gian tác động tối đa cho phép của bảo vệ theo điều kiện ổn định của hệ thống, theo khả năng phát nóng cho phép của trang thiết bị. Thời gian này phụ thuộc vào trị số của dòng điện sự cố trong tính toán ngắn mạch.

6. Yêu cầu kỹ thuật đối với bảo vệ: Mức độ dự phòng cần thiết để đảm bảo độ tin cậy của hệ thống bảo vệ, độ nhạy tối thiểu cần đạt được đối với từng loại bảo vệ cho từng tình huống sự cố khác nhau.

7. Thông tin về hệ thống bảo vệ hiện hữu và yêu cầu nâng cấp, mở rộng. Thông thường các công trình điện lực (nhà máy điện, trạm biến áp, thiết bị phân phối...) được phát triển, mở rộng và nâng cấp theo sự tăng trưởng của nhu cầu sử dụng điện và hệ thống bảo vệ cũng được mở rộng và nâng cấp theo, để thiết kế nâng cấp và mở rộng phải có thông tin đầy đủ về hệ thống bảo vệ hiện hữu và những yêu cầu phải đạt được sau khi nâng cấp và mở rộng.

Phần 1

NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG VỀ BẢO VỆ CÁC HỆ THỐNG ĐIỆN

Tính toán các chế độ hư hỏng và làm việc không bình thường của hệ thống điện

Những hư hỏng và chế độ làm việc không bình thường thường gặp trong hệ thống điện là ngắn mạch, chạm đất hoặc chạm vỏ (trong hệ thống có trung điểm không nối đất trực tiếp), đứt dây (hở mạch), các vòng dây trong máy điện chập nhau, quá tải, quá điện áp, mất cân bằng công suất tác dụng, dao động điện, mất kích từ máy phát điện, các hư hỏng về cơ khí trong máy phát v.v...

1.1. NGẮN MẠCH

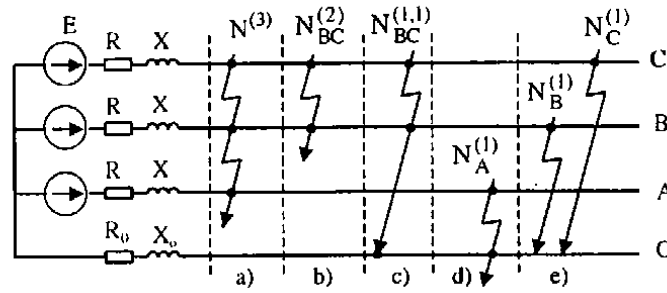
Các dạng ngắn mạch thường gặp là (H.1.1):

- Ngắn mạch 3 pha, chiếm khoảng 2% số trường hợp ngắn mạch trong hệ thống;
- Ngắn mạch 2 pha, khoảng 5%;
- Ngắn mạch 2 pha nối đất;
- Ngắn mạch 1 pha, khoảng 90%;
- Chạm đất 2 pha tại 2 điểm khác nhau.

Phân theo dạng thiết bị trong hệ thống điện, tỷ lệ hư hỏng như sau:

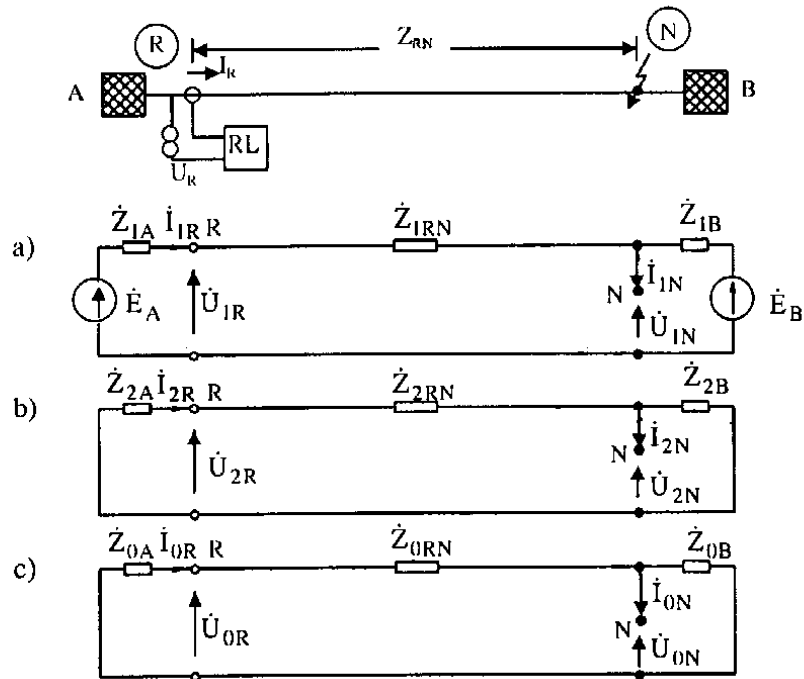
- Đường dây tải điện trên không chiếm khoảng 50% số trường hợp hư hỏng trong hệ thống;
- Đường dây cáp : 10%;
- Máy cắt điện : 15%;
- Máy biến áp : 12%;
- Máy biến dòng điện, biến điện áp : 2%;
- Thiết bị đo lường, điều khiển, bảo vệ : 3%;
- Các loại khác : 8%.

Trị số ban đầu (siêu quá độ) của dòng ngắn mạch (I_N'''') đối với các dạng ngắn mạch khác nhau cho trong bảng 1.1.



Hình 1.1. Các dạng ngắn mạch thường gặp :

a. Ngắn mạch 3 pha - $N^{(3)}$; b. Ngắn mạch 2 pha (B, C) - $N_{BC}^{(2)}$; c. Ngắn mạch 2 pha chạm đất (B, C) - $N_{BC}^{(1,1)}$; d. Ngắn mạch 1 pha (A) - $N_A^{(1)}$; e. Ngắn mạch 2 pha chạm đất tại 2 điểm khác nhau.



Hình 1.2. Sơ đồ đẳng trị thứ tự thuận (a), nghịch (b), và không (c) để xác định các thành phần đối xứng của dòng và áp tại chỗ ngắn mạch (N) và chỗ đặt rơle (R).

Bảng 1.1. Công thức tính dòng ngắn mạch ban đầu đối với các dạng ngắn mạch khác nhau

Dạng ngắn mạch	Công thức tính
Ba pha	$I^{(3)} = \frac{1,1 U_{dd}}{\sqrt{3} Z_1}$
Hai pha	$I^{(2)} = \frac{1,1 U_{dd}}{ \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 }$
Hai pha chạm đất (dòng qua đất)	$I_D^{(1,1)} = \frac{\sqrt{3} (1,1 U_{dd})}{ \dot{Z}_1 + \dot{Z}_0 + \frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_0}{\dot{Z}_2} }$
Một pha (dòng qua đất)	$I_D^{(1)} = \frac{\sqrt{3} (1,1 U_{dd})}{ \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0 }$

Để phục vụ cho tính toán bảo vệ rơle cần biết các thành phần dòng điện và điện áp tại chỗ đặt bảo vệ (R) khi xảy ra ngắn mạch trong hệ thống (H. 1. 2).

Các thành phần đối xứng (thuận -1, nghịch -2, không -0) của dòng điện tại chỗ đặt rơle (R) so với dòng điện tại chỗ ngắn mạch (N) được xác định theo công thức sau:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{1R} &= \dot{I}_{1N} \frac{\dot{Z}_{1B}}{\dot{Z}_{1A} + \dot{Z}_{1RN} + \dot{Z}_{1B}} + \dot{I}_{pt}, \\ \dot{I}_{2R} &= \dot{I}_{2N} \frac{\dot{Z}_{2B}}{\dot{Z}_{2A} + \dot{Z}_{2RN} + \dot{Z}_{2B}}, \\ \dot{I}_{0R} &= \dot{I}_{0N} \frac{\dot{Z}_{0B}}{\dot{Z}_{0A} + \dot{Z}_{0RN} + \dot{Z}_{0B}}, \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

trong đó: $\dot{Z}_A, \dot{Z}_B$ - tương ứng là tổng trở đẳng trị của các hệ thống A và B;

$\dot{Z}_{RN}$ - tổng trở đoạn đường dây từ chỗ đặt rơle đến chỗ ngắn mạch;

$\dot{I}_{pt}$ - dòng điện phụ tải chạy qua chỗ đặt rơle trước khi bị ngắn mạch.

Các thành phần đối xứng của điện áp tại chỗ đặt rơle được xác định theo các công thức sau:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{IR} &= \dot{U}_R - \dot{I}_{IN} \frac{\dot{Z}_{IB}}{\dot{Z}_{IA} + \dot{Z}_{IRN} + \dot{Z}_{IB}} , \\ \dot{U}_{IR} &= -\dot{I}_{2N} \frac{\dot{Z}_{2B}}{\dot{Z}_{2A} + \dot{Z}_{2RN} + \dot{Z}_{2B}} , \\ \dot{U}_{OR} &= -\dot{I}_{ON} \frac{\dot{Z}_{OB}}{\dot{Z}_{OA} + \dot{Z}_{ORN} + \dot{Z}_{OB}} , \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

trong đó: $\dot{U}_R$ - điện áp tại chỗ đặt role trước khi xảy ra ngắn mạch.

Thành phần dòng điện thứ tự thuận ($\dot{I}_{IN}$), nghịch ($\dot{I}_{2N}$), và không ($\dot{I}_{ON}$) tại chỗ ngắn mạch được tính toán theo các công thức trong bảng 1. 2.

Bảng 1.2. Thành phần đối xứng của dòng điện tại chỗ ngắn mạch đối với các dạng sự cố khác nhau

Dạng ngắn mạch	Thứ tự thuận $\dot{I}_{IN}$	Thứ tự nghịch $\dot{I}_{2N}$	Thứ tự không $\dot{I}_{ON}$
Ba pha	$\frac{\dot{E}}{\dot{Z}_1}$	0	0
Hai pha (BC)	$\frac{\dot{E}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$	$-\frac{\dot{E}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$	0
Hai pha chạm đất (BC)	$\frac{\dot{E}(\dot{Z}_0 + \dot{Z}_2)}{\dot{Z}_1\dot{Z}_2 + \dot{Z}_2\dot{Z}_0 + \dot{Z}_0\dot{Z}_1}$	$-\frac{\dot{E}\dot{Z}_0}{\dot{Z}_1\dot{Z}_2 + \dot{Z}_2\dot{Z}_0 + \dot{Z}_0\dot{Z}_1}$	$-\frac{\dot{E}\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1\dot{Z}_2 + \dot{Z}_2\dot{Z}_0 + \dot{Z}_0\dot{Z}_1}$
Một pha (A)	$\frac{\dot{E}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0}$	$\frac{\dot{E}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0}$	$\frac{\dot{E}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0}$
Ở đây: $\dot{Z}_1 = \frac{(\dot{Z}_{IA} + \dot{Z}_{IRN})\dot{Z}_{IB}}{\dot{Z}_{IA} + \dot{Z}_{IRN} + \dot{Z}_{IB}} ; \quad \dot{Z}_2 = \frac{(\dot{Z}_{2A} + \dot{Z}_{2RN})\dot{Z}_{2B}}{\dot{Z}_{2A} + \dot{Z}_{2RN} + \dot{Z}_{2B}} ; \quad \dot{Z}_0 = \frac{(\dot{Z}_{0A} + \dot{Z}_{ORN})\dot{Z}_{OB}}{\dot{Z}_{0A} + \dot{Z}_{ORN} + \dot{Z}_{OB}}$			

Chú ý : Quan hệ của các thành phần đối xứng trong các công thức (1-1) (1-2) và bảng 1.2 viết cho pha đặc biệt (A), nghĩa là pha nằm trong điều kiện khác với hai pha kia; chẳng hạn nếu ngắn mạch một pha thì pha A là pha bị ngắn mạch, nếu ngắn mạch hai pha hoặc hai pha chạm đất thì pha A là pha không bị ngắn mạch.

Dòng và áp toàn phần của các pha tại chỗ đặt role được xác định qua các thành phần đối xứng của nó như sau:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{AR} &= \dot{I}_{1R} + \dot{I}_{2R} + \dot{I}_{0R}; \\ \dot{I}_{BR} &= a^2 \dot{I}_{1R} + a \dot{I}_{2R} + \dot{I}_{0R}; \\ \dot{I}_{CR} &= a \dot{I}_{1R} + a^2 \dot{I}_{2R} + \dot{I}_{0R}; \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{AR} &= \dot{U}_{1R} + \dot{U}_{2R} + \dot{U}_{0R}; \\ \dot{U}_{BR} &= a^2 \dot{U}_{1R} + a \dot{U}_{2R} + \dot{U}_{0R}; \\ \dot{U}_{CR} &= a \dot{U}_{1R} + a^2 \dot{U}_{2R} + \dot{U}_{0R}, \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

trong đó: $a = e^{j120^\circ}$ và $a^2 = e^{j240^\circ}$.

Đối với trường hợp ngắn mạch ba pha trực tiếp (H.1.3) ta có quan hệ thời gian của dòng và áp tại chỗ đặt role như sau:

Sức điện động của nguồn :

$$e(t) = E_m \cos(\omega t + \beta) \quad (1-5)$$

trong đó: β - góc pha của sức điện động nguồn tại thời điểm ngắn mạch.

Dòng điện tại chỗ ngắn mạch :

$$i_N(t) = I_m \left[e^{-\frac{t}{T_N}} \cos \alpha - \cos(\omega t + \alpha) \right] \quad (1-6)$$

$$\text{trong đó: } I_m = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

Với R, L là điện trở và điện cảm của mạch vòng ngắn mạch :

$$R = R_H + R_{RN}$$

$$L = L_H + L_{RN}$$

$$T_N \text{ - hằng số thời gian của hệ thống: } T_N = \frac{L}{R}$$

$$\alpha = \beta - \arctan\left(\frac{\omega L}{R}\right)$$

$I_m e^{-\frac{t}{T_N}} \cos \alpha$ - thành phần một chiều của dòng ngắn mạch; khi $\alpha = 0$ thành phần này đạt trị số cực đại.

$I_m \cos(\omega t + \alpha)$ - thành phần xoay chiều của dòng ngắn mạch.

Khi $\alpha = 0$, giá trị tức thời của dòng ngắn mạch bằng:

$$i_N(t) = I_m \left(e^{-\frac{t}{T_N}} - \cos \omega t \right) \quad (1-7)$$

Tùy theo cấp điện áp, tổng trở của mạch vòng ngắn mạch mà hằng số thời gian tắt dần T_N của thành phần một chiều có thể nhanh hay chậm. Đối với lưới trung áp, T_N thường khoảng vài chục mili giây. Sự có mặt của điện trở tại chỗ sự cố (của hồ quang điện, điện trở tiếp xúc giữa các dây dẫn với nhau và dây dẫn với đất) làm giảm đáng kể T_N và tăng nhanh tốc độ tắt của thành phần một chiều trong dòng điện ngắn mạch.

Điện áp đặt tại chỗ ngắn mạch:

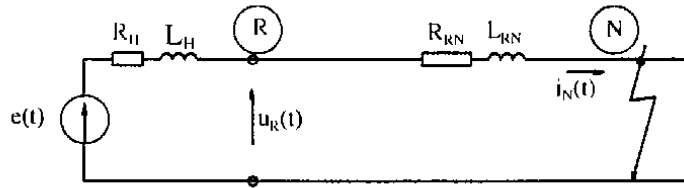
$$u_N(t) = U_m \left[K_U \cdot e^{-\frac{t}{T_N}} \cos \alpha - \cos(\omega t + \alpha + \varphi) \right] \quad (1-8)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{trong đó: } U_m &= E_m \sqrt{\frac{R_{RN}^2 + (\omega L_{RN})^2}{R^2 + (\omega L)^2}}; \\ K_U &= \frac{R_{RN} \left(1 - \frac{RL_{RN}}{L \cdot R_{RN}}\right)}{\sqrt{R_{RN}^2 + (\omega L_{RN})^2}}; \\ \varphi &= \arctan \left(\frac{\omega L_{RN}}{R_{RN}} \right). \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

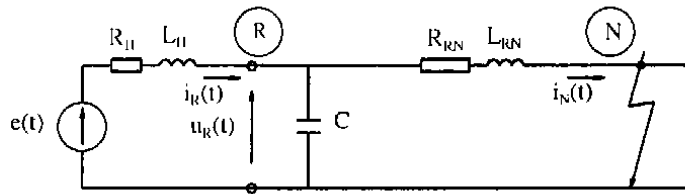
$U_m \cdot K_U \cdot e^{-\frac{t}{T_N}} \cos \alpha$ - thành phần một chiều trong điện áp ngắn mạch. Thành phần này phụ thuộc vào hệ số K_U . Khi $\frac{L_H}{R_H} = \frac{L_{RN}}{R_{RN}}$, $K_U = 0$ và thành phần một chiều sẽ bị triệt tiêu. Trên thực tế thành phần một chiều trong điện áp ngắn mạch chỉ chiếm một tỷ lệ rất nhỏ.

$U_m \cdot \cos(\omega t + \alpha + \varphi)$ - thành phần xoay chiều trong điện áp ngắn mạch.

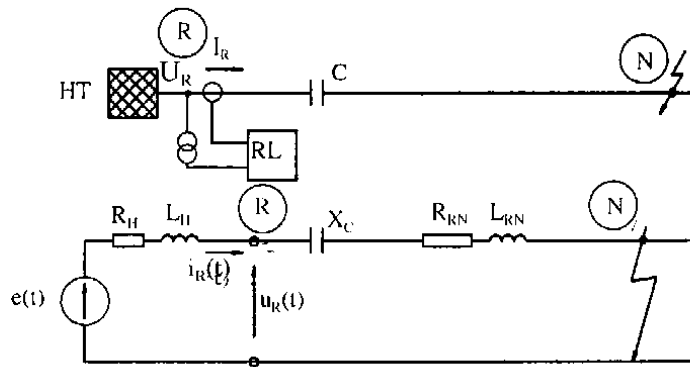
Trên thực tế do sự có mặt của điện dung đường dây (H.1.4) nên trong thành phần xoay chiều của áp và dòng chạy qua role, ngoài thành phần xoay chiều sóng cơ bản còn xuất hiện các hài xoay chiều bậc cao do mạch dao động RLC tạo nên.



Hình 1.3. Sơ đồ đẳng trị cho trường hợp ngắn mạch ba pha trực tiếp.



Hình 1.4. Sơ đồ đẳng trị cho trường hợp ngắn mạch ba pha trực tiếp có xét đến điện dung của đường dây đối với đất.



Hình 1.5. Sơ đồ đẳng trị cho trường hợp ngắn mạch ba pha trực tiếp trên đường dây có đặt tụ điện bù dọc.

Giả thiết $\frac{L_H}{R_H} = \frac{L_{RN}}{R_{RN}}$; $K_U = 0$ và nguồn điện áp có dạng (1-5), điện áp quá độ tại chỗ đặt rơle có dạng:

$$u_R(t) = E_m \left[\frac{L_{RN}}{L_H + L_{RN}} \cos(\omega t + \beta) + \frac{L_H}{L_H + L_{RN}} \cdot e^{-\frac{t}{T_p}} \cos \beta \cos(\omega_p t) \right] \quad (1-10)$$

trong đó: $\frac{L_{RN}}{L_H + L_{RN}} E_m \cos(\omega t + \beta)$ - thành phần sóng cơ bản trong điện áp tại chỗ đặt rơle;

$\frac{L_H}{L_H + L_{RN}} E_m e^{-\frac{1}{T_p}} \cos \beta \cdot \cos(\omega_p t)$ - thành phần hài bậc cao trong
điện áp tại chỗ đặt role;

$$T_p = 2 \frac{L_{RN}}{R_{RN}} ;$$

$$\omega_p = \sqrt{\frac{L_H + L_{RN}}{C \cdot L_H \cdot L_{RN}}} .$$

Giả thiết thành phần dòng điện phụ tải trước khi ngắn mạch rất bé có thể bỏ qua, cũng như ảnh hưởng của điện trở quá độ tại chỗ ngắn mạch lên thành phần xoay chiều của dòng sự cố là không đáng kể, ta có thể xác định dòng điện quá độ chạy qua role có dạng:

$$i_R(t) = I_m \left[e^{-\frac{t}{T_n}} \cos \alpha - \cos(\omega t + \alpha) - h \cdot e^{-\frac{t}{T_p}} \sin \alpha \sin(\omega_p t) \right] \quad (1-11)$$

trong đó: $I_m = \frac{E_m}{\omega(L_H + L_{RN})}$

$I_m \cdot e^{-\frac{t}{T_n}} \cos \alpha$ - thành phần một chiều trong dòng điện quá độ chạy qua chỗ đặt role.

$I_m \cdot \cos(\omega t + \alpha)$ - thành phần sóng cơ bản trong dòng điện chạy qua chỗ đặt role.

$I_m \cdot h \cdot e^{-\frac{t}{T_p}} \sin \alpha \cdot \sin(\omega_p t)$ - thành phần hài bậc cao trong dòng điện quá độ chạy qua chỗ đặt role, với $h = \frac{\omega}{\omega_p}$.

Từ (1-10) có thể nhận thấy rằng, trong trường hợp cực hạn khi $\beta = 0$, biên độ của hài bậc cao tắt dần theo hàm mũ có thể bằng biên độ của sóng cơ bản trong điện áp quá độ $u_R(t)$.

Đối với dòng điện quá độ $i_R(t)$ vì $\omega < \omega_p$ nên biên độ các hài bậc cao luôn bé hơn biên độ của sóng cơ bản.

Như trên đã nói, khi $\alpha = 0$ trị số ban đầu của thành phần một chiều trong dòng điện sự cố đạt cực đại còn biên độ của các hài bậc cao sẽ tiến đến không.

Khi $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ta có trường hợp ngược lại, thành phần một chiều bằng không và các hài bậc cao có trị số rất đáng kể.

Tùy thuộc vào tương quan giữa điện cảm L và điện trở R của mạch vòng ngắn mạch mà tần số của các thành phần dao động tắt dần có thể khác nhau. Đối với lưới cao áp và siêu cao áp tần số này có thể thay đổi từ vài trăm Hz đến vài chục kHz.

Đối với các đường dây có đặt tụ điện bù dọc (H.1.5), thay cho thành phần một chiều trong dòng điện quá độ chạy qua chỗ đặt rơle sẽ có các hài bậc cao tắt dần theo hàm mũ :

$$i_N(t) = I_m \left[\cos(\omega t + \alpha) - N \cos(\lambda t + \varphi) e^{-\frac{t}{T_N'}} \right] \quad (1-12)$$

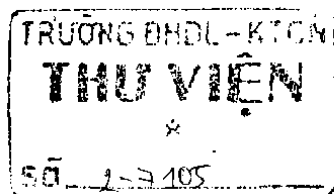
$$\left. \begin{aligned} \text{trong đó: } \quad & \varphi = \arctan\left(\frac{X_I}{R_I}\right); \\ & T_N' = \frac{2X_I}{\omega R_I}; \\ & X_I = X_H + X_C + X_{RN}; \\ & R_I = R_{II} + R_{RN}; \\ & N = \sqrt{\cos^2 \alpha + \left(\frac{\lambda}{\omega}\right)^2 \sin^2 \alpha}; \\ & \lambda = \omega \sqrt{\frac{X_C}{X_I}} \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

Dễ dàng nhận thấy rằng, khi $\alpha = 0$; $N = 1$ và khi $\alpha = 90^\circ$; $N = \lambda/\omega$.

Tùy theo thông số của hệ thống truyền tải (mức độ bù dọc, vị trí điểm ngắn mạch, điện kháng đẳng trị của hệ thống (X_H), tần số của các dao động tắt dần bậc cao có thể biến đổi trong khoảng từ 15 Hz đến 150 Hz (cho hệ thống có tần số danh định 50 Hz).

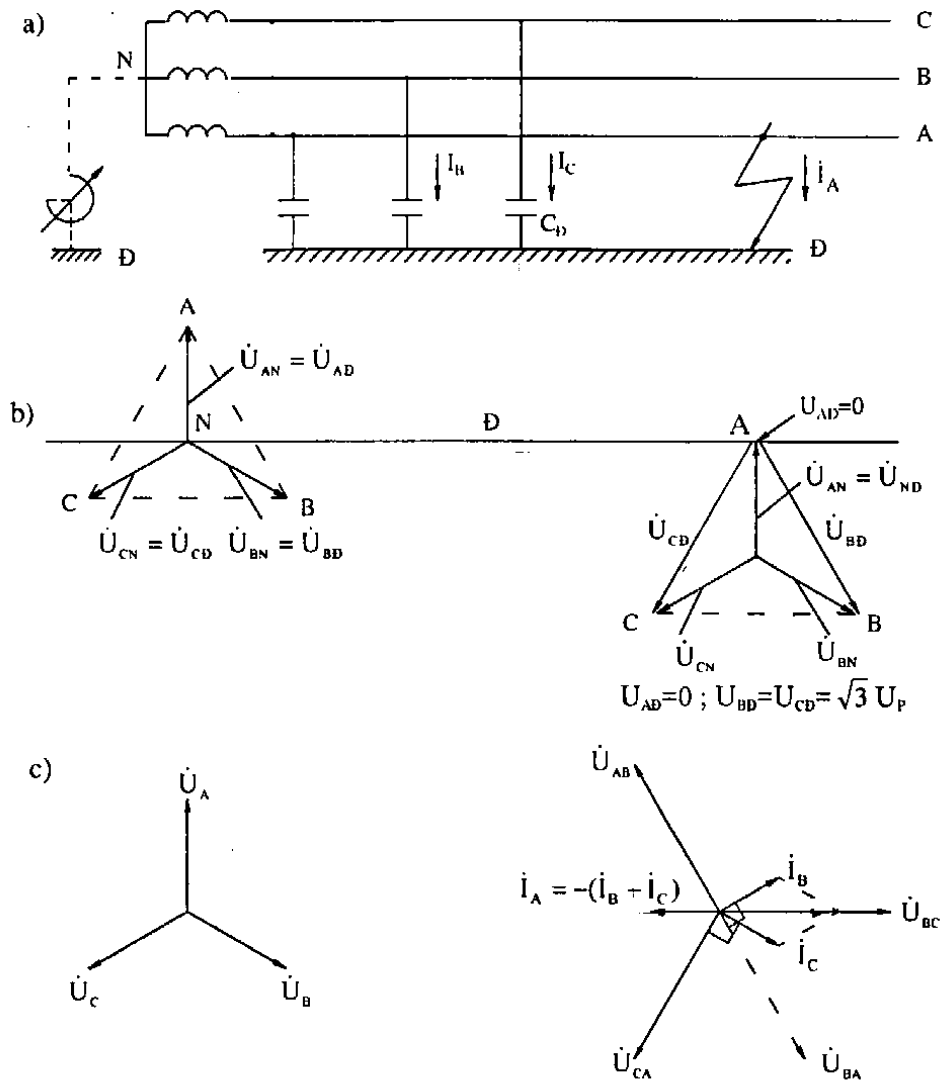
Hằng số thời gian T_N' thường có trị số trong khoảng từ 100 đến 400 mili giây cho trường hợp ngắn mạch ba pha trực tiếp.

Đối với các dạng ngắn mạch chạm đất, tần số dao động và hằng số thời gian T_N' có trị số bé hơn trường hợp ngắn mạch ba pha trực tiếp.

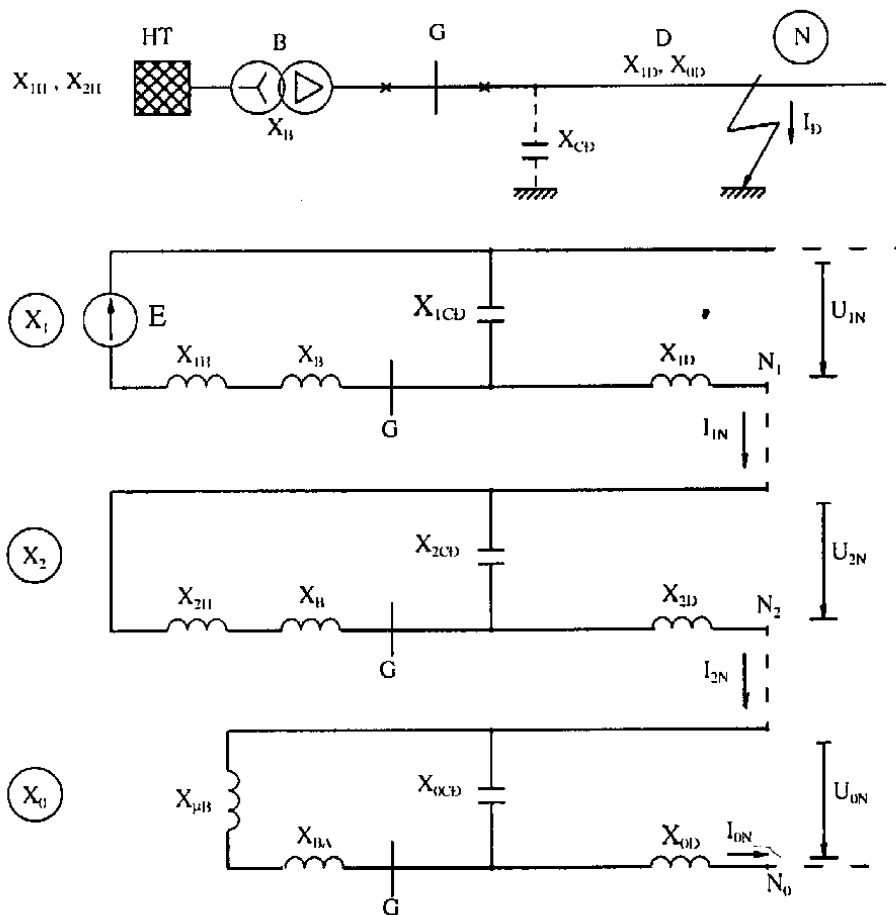


1.2. CHẠM ĐẤT TRONG LƯỚI ĐIỆN CÓ TRUNG ĐIỂM KHÔNG NỐI ĐẤT HOẶC NỐI ĐẤT QUA CUỘN DÂY DẠP HỒ QUANG

Chạm đất trong lưới điện có trung điểm không nối đất hoặc nối qua cuộn dập hồ quang (hoặc điện trở lớn) (H.1.6,a) hầu như không làm thay đổi hệ thống điện áp dây của lưới điện (H.1.6, b).



Hình 1.6. Chạm đất 1 pha trong lưới điện có trung tính không nối đất hoặc nối qua cuộn dập hồ quang. a) Sơ đồ nguyên lý; b) Hệ thống điện áp khi 1 pha chạm đất; c) Dòng điện khi 1 pha chạm đất.



Hình 1.7. Mạng phức hợp dùng để tính toán dòng sự cố khi chạm đất một pha.

Khi chạm đất một pha, trung điểm (N) của lưới điện sẽ mang điện áp pha so với đất (Đ), các pha không bị chạm sẽ mang điện áp dây so với đất.

Dòng điện sự cố chủ yếu phụ thuộc vào điện dung của các phần tử dẫn điện so với đất X_{CD} (H.1.6 và 1.7). Giá trị xác lập của dòng điện chạm đất bằng:

$$I_D = I_A = 3I_{0N} = \sqrt{3}j\omega C_D U_{dd} \quad (1-14)$$

trong đó: C_D - điện dung của các phần tử dẫn điện so với đất.

Dòng điện chạm đất quá độ có thể chứa các thành phần dao động với tần số khác nhau. Thành phần có tần số thấp hơn (với hằng số thời gian khoảng 10^{-2} giây

và tần số không vượt quá 1 kHz) đặc trưng cho quá trình nạp của điện dung các pha không hư hỏng thông qua cảm kháng của nguồn điện. Thành phần có tần số cao hơn (với hằng số thời gian khoảng 10^{-3} giây và tần số trong khoảng từ vài kHz đến hàng chục kHz) đặc trưng cho quá trình phóng điện của điện dung pha bị chạm đất. Biên độ của các thành phần dao động này có thể cao hơn một vài lần so với biên độ của thành phần cơ bản trong chế độ xác lập.

Dao động của dòng điện chạm đất có thể gây quá điện áp quá độ trên các pha không bị chạm (có thể đạt đến $3,5U_{pha}$) làm phóng điện trên các pha này và dẫn đến ngắn mạch nhiều pha.

Đối với lưới điện có trung điểm nối đất qua cuộn dập hồ quang (Petersen) thông thường người ta chỉnh cho điện cảm của kháng điện L_K ở chế độ cộng hưởng, nghĩa là:

$$L_K = \frac{1}{3\omega^2 C_D} . \quad (1-15)$$

Khi ấy dòng điện chạy qua chỗ sự cố chỉ còn lại thành phần tác dụng:

$$I_{RD} = 3\dot{E}_a \omega^2 C_D^2 , \quad (1-16)$$

trong đó: R_a - điện trở tác dụng của cuộn Petersen.

Thường thì:

$$I_{RD} \approx (0,03 \div 0,1) I_{CB} \quad (1-17)$$

và dòng điện chạy qua chỗ chạm đất bé hơn trị số tự dập tắt của hồ quang nên hồ quang không phát sinh tại nơi bị chạm đất. Vì vậy cuộn Petersen được nhiều nước sử dụng trong lưới trung áp để hạn chế hậu quả của chạm đất một pha. Với các lưới trung áp có tổng chiều dài đường dây lớn hoặc lưới cao áp, trị số dòng điện theo (1-17) có thể vượt quá ngưỡng tự dập tắt của hồ quang (khoảng chừng 30 A) nên việc sử dụng cuộn Petersen không còn phát huy được tác dụng.

1.3. ĐỨT DÂY (HOẶC HỖ MẠCH) MỘT PHA

Thực tế vận hành hệ thống điện cho thấy, có thể xảy ra trường hợp hở mạch một hoặc hai pha do đứt dây (tụt lều) hoặc đầu tiếp xúc của máy cắt điện bị hở, gây nên chế độ vận hành không toàn pha trong hệ thống. Thường gặp nhất là chế độ đứt dây một pha.

Ở chế độ vận hành không đủ cả ba pha sẽ xuất hiện chế độ không cân bằng và thành phần dòng điện thứ tự nghịch chạy vào các máy điện quay, tạo nên từ

thông thứ tự nghịch quay ngược chiều với rôto với tốc độ tương đối bằng 2 lần tốc độ đồng bộ. Vận tốc cắt rôto rất lớn này làm xuất hiện trong thân rôto và cuộn dây rôto dòng điện cảm ứng rất lớn đốt nóng rôto và stato của máy điện quay.

Biên độ của thành phần thứ tự nghịch trong dòng điện stato của máy phát điện đồng bộ phụ thuộc vào cấu hình của hệ thống điện. Với trường hợp đường dây truyền tải đơn trên hình 1.8,a, thành phần dòng thứ tự nghịch có thể xác định theo sơ đồ phức hợp trên hình 1.8,b. Khi đứt pha A và máy biến áp có tổ đấu dây Y/Δ-11, ta có:

$$\dot{I}' = -\dot{I} \frac{(\dot{Z}'_1 + \dot{Z}''_1)(\dot{Z}'_0 + \dot{Z}''_0)e^{-j30^\circ}}{(\dot{Z}'_1 + \dot{Z}''_1)(\dot{Z}'_2 + \dot{Z}''_2 + \dot{Z}'_0 + \dot{Z}''_0) + (\dot{Z}'_2 + \dot{Z}''_2)(\dot{Z}'_0 + \dot{Z}''_0)}, \quad (1-19)$$

trong đó :

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}' - \dot{E}''}{\dot{Z}'_1 + \dot{Z}''_1}; \quad (1-20)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}'_1 &= \dot{Z}_{1P} + \dot{Z}_{1B} + \dot{Z}'_{1D}; \\ \dot{Z}'_2 &= \dot{Z}_{2P} + \dot{Z}_{2B} + \dot{Z}'_{2D}; \\ \dot{Z}'_0 &= \dot{Z}_{0B} + \dot{Z}'_{0D}. \end{aligned} \right\} \quad (1-21)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}''_1 &= \dot{Z}''_{1D} + a\dot{Z}_{1H}; \\ \dot{Z}''_2 &= \dot{Z}''_{2D} + a\dot{Z}_{2H}; \\ \dot{Z}''_0 &= \dot{Z}''_{0D} + a\dot{Z}_{0H}. \end{aligned} \right\} \quad (1-22)$$

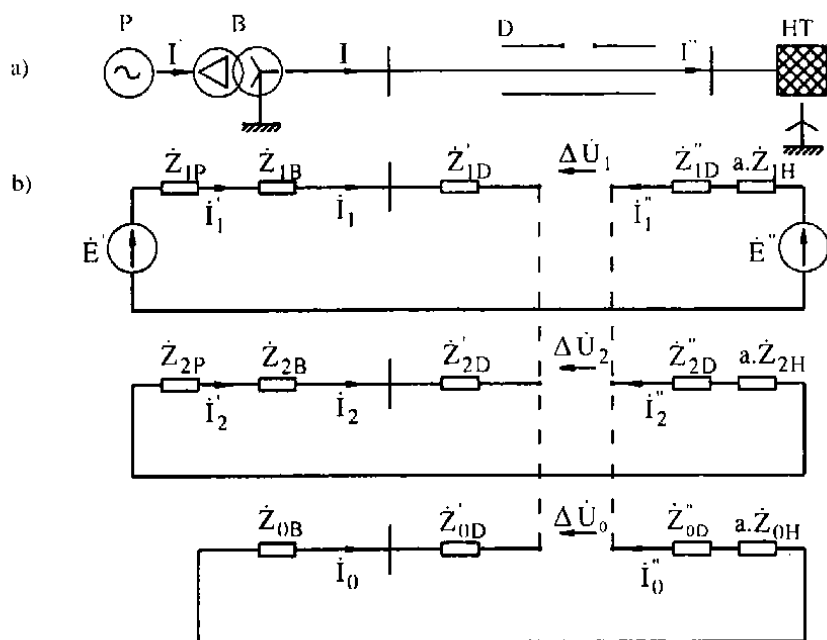
Thành phần dòng thứ tự nghịch $\dot{I}'_2$ chạy vào máy phát điện (H.1.8,b) bằng:

$$\dot{I}'_2 = \frac{\dot{E}' \dot{Z}'_0 e^{-j30^\circ}}{\dot{Z}'_1 \dot{Z}'_2 + \dot{Z}'_1 \dot{Z}'_0 + \dot{Z}'_2 \dot{Z}'_0} \quad (1-23)$$

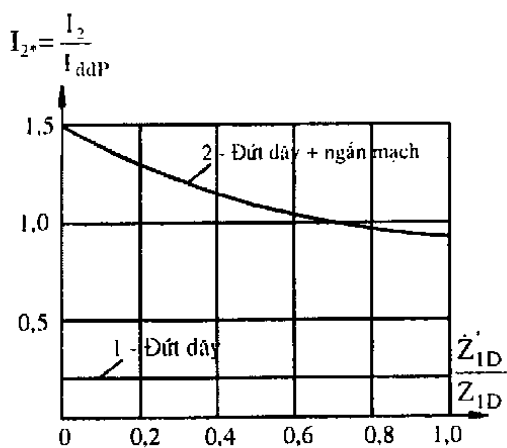
Một số trường hợp đứt dây, đầu dây dẫn bị đứt rơi xuống đất gây nên sự cố phức hợp: vừa đứt dây vừa chạm đất. Sơ đồ phức hợp để tìm dòng sự cố được kết hợp từ các sơ đồ dùng để tính ngắn mạch và dùng để tính đứt dây.

Để làm ví dụ, trên (H.1.9) trình bày quan hệ giữa thành phần dòng thứ tự nghịch (trong hệ đơn vị tương đối $I_2 = I_2 / I_{dtp}$) chạy qua máy phát điện với vị trí điểm sự cố trên đường dây (qua tỷ số $\dot{Z}'_{1D} / \dot{Z}'_{1D}$ - trong đó $\dot{Z}'_{1D}$ - tổng trở thứ tự thuận từ đầu đường dây đến điểm sự cố).

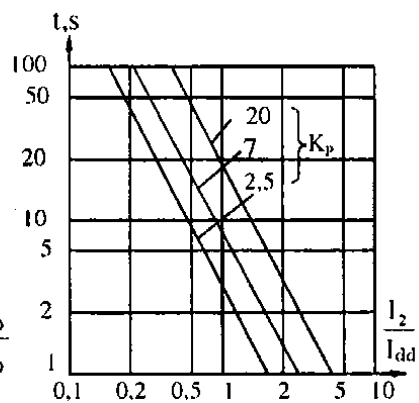
Thông số của các phần tử cho ví dụ trên H.1.9: Máy phát điện có công suất 400 MW, đường dây 400 kV có chiều dài 100 km. Xét 2 trường hợp sự cố:



Hình 1.8. Đứt một pha trên đường dây truyền tải (a) và sơ đồ đẳng trị phức hợp (b).



Hình 1.9. Dòng thứ tự nghịch chạy vào máy phát điện:
1) Khi đứt 1 pha; 2) Khi vừa đứt dây vừa ngắn mạch 1 pha ;



Hình 1.10. Thời gian quá tải cho phép theo dòng thứ tự nghịch và hằng số quá tải K_p .

1) Đứt dây 1 pha;

2) Vừa đứt dây 1 pha vừa ngắn mạch 1 pha.

Trong trường hợp đứt dây 1 pha, trị số dòng điện thứ tự nghịch không phụ thuộc vào điểm sự cố và bé hơn nhiều so với dòng điện danh định của máy phát điện. Trong trường hợp này thông số của đường dây tải điện không ảnh hưởng đáng kể đến trị số của dòng điện sự cố thứ tự nghịch.

Ngược lại, đối với trường hợp vừa đứt dây, vừa ngắn mạch, thông số của đường dây tải điện và vị trí sự cố có ảnh hưởng lớn đến trị số của dòng điện thứ tự nghịch (đường 2 trên H.1.9).

Thời gian quá tải cho phép theo dòng điện thứ tự nghịch đối với máy phát điện được xác định theo biểu thức:

$$\left(\frac{I_2}{I_{ddP}} \right)^2 t = K_p ; \quad (1-24)$$

trong đó: K_p là một hằng được xác định theo các thông số thiết kế và hệ thống làm mát của máy phát điện. Thông thường K_p có trị số trong khoảng từ 2,5 đến 60 giây; giới hạn dưới áp dụng đối với các máy phát điện có công suất lớn (600 - 1500 MW).

Trên H.1.10 trình bày quan hệ giữa thời gian quá tải cho phép (t, s) theo trị số (tương đối) của dòng thứ tự nghịch (I_2 / I_{ddP}) đối với máy phát nhiệt điện có hằng số K_p khác nhau (2,5 - 7 và 20). Thường thì khi đang phát công suất danh định, nếu bị hở mạch một pha, dòng thứ tự nghịch trong hai pha còn lại có thể tăng đến 57% dòng điện danh định.

1.4. CÁC VÒNG DÂY TRONG MÁY ĐIỆN CHẬP NHAU

Các vòng dây trong máy điện (máy phát điện, máy biến áp, động cơ điện...) có thể bị chập nhau ở một pha nào đó hoặc ở các cuộn dây song song trong cùng một pha. Nguyên nhân làm cho các vòng dây chập nhau là cách điện bị hỏng do tác động cơ giới từ bên ngoài hoặc sét đánh.

1.4.1. Đối với máy phát điện đồng bộ

Hư hỏng cách điện thường làm cho các vòng dây chạm nhau hoặc chạm ra thân máy. Dòng điện trong các vòng dây bị chập có thể đạt trị số rất lớn làm hỏng cuộn dây. Trong máy phát điện với cuộn dây stato có hai nhánh song song trong một cuộn dây kép, khi có một số vòng dây chập nhau, sức điện động cảm ứng trong hai nhánh sẽ khác nhau tạo nên dòng điện cân bằng chạy qua trong các mạch vòng sự cố, đốt nóng cuộn dây và có thể gây hư hỏng nghiêm trọng

(H.1.11,b). Các vòng dây chập nhau trong rãnh thân stato của máy phát điện thường chỉ xảy ra đối với các máy phát có công suất vừa và nhỏ, ở các máy phát này trong một rãnh người ta có thể đặt nhiều thanh dẫn thuộc các vòng dây khác nhau. Ở những máy phát điện công suất lớn trong mỗi rãnh thường chỉ đặt một thanh dẫn (rỗng, làm mát từ bên trong) vì vậy khả năng các vòng dây bị chập nhau chỉ xảy ra khi cách điện bị hỏng ở hai rãnh khác nhau hoặc các vòng dây ở phần ngoài thân stato bị chập nhau (ở vành nối giữa các thanh dẫn với nhau).

Về lý thuyết cũng có thể xảy ra ngắn mạch nhiều pha trong cuộn dây stato của máy phát điện đồng bộ, tuy nhiên thống kê thực tế cho thấy rất ít xảy ra trường hợp này. Tính toán dòng điện sự cố cho trường hợp các vòng dây chập nhau hoặc ngắn mạch nhiều pha trong cuộn dây stato rất phức tạp.

Ở cuộn dây rôto (cuộn kích từ) của máy phát điện đồng bộ có thể xảy ra trường hợp chạm đất một điểm hoặc hai điểm (H.1.12). Hệ thống kích từ của máy phát điện đồng bộ thường không có điểm nối đất nên khi có một điểm chạm đất (chạm thân rôto) (H.1.12,a) máy phát điện vẫn có thể tiếp tục làm việc. Tuy nhiên khi xảy ra chạm đất điểm thứ hai (H.1.12,b) một phần cuộn dây kích từ bị nối tắt, dòng điện qua chỗ cách điện bị đánh thủng có thể rất lớn làm hỏng cuộn dây và phần thân rôto chỗ bị sự cố. Ngoài ra có thể dẫn đến một số hậu quả xấu khác như:

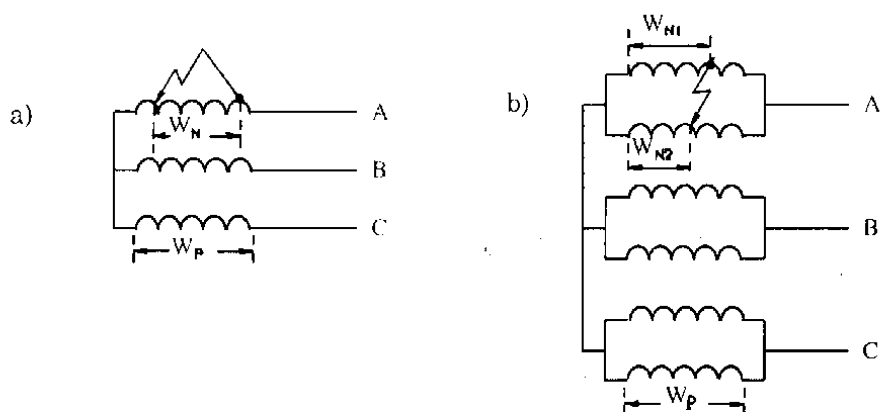
- Dòng điện trong mạch kích thích tăng cao (do một phần cuộn dây rôto bị ngắn mạch);
- Từ trường của rôto sẽ bị méo làm cho sóng điện áp do máy phát tạo nên không còn dạng hình sin và máy bị rung;
- Từ thông không đối xứng làm cho trục máy bị từ hoá;
- Dòng điện chạy trong thân rôto có thể khép mạch qua ổ trục và gối đỡ có thể làm hỏng các bộ phận này và trong một số trường hợp có thể ảnh hưởng đến cả tuabin.

1.4.2. Đối với máy biến áp

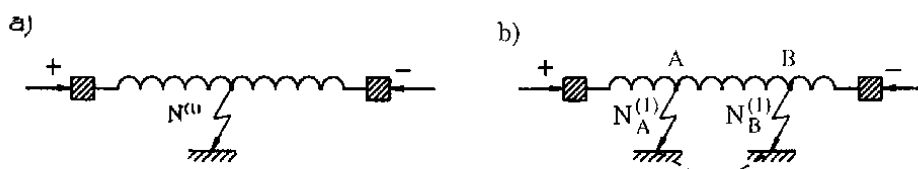
Chạm chập các vòng dây trong máy biến áp có thể xảy ra do quá điện áp khí quyển hoặc cách điện bị già cỗi. Dòng điện sự cố chạy trong mạch vòng bị chập có thể lớn gấp nhiều lần dòng điện danh định của máy biến áp tùy theo số vòng bị chập (H.1.13). Dòng điện này tạo ra những xung lực lớn xô đẩy các vòng dây của máy biến áp và trong nhiều trường hợp có thể làm hỏng cuộn dây. Bảo vệ quá dòng điện đặt ở máy biến áp thường khó phát hiện sự cố chập các vòng dây, vì theo quan hệ cân bằng sức từ động, dòng điện pha sự cố có thể tăng lên không đáng kể so với trị số danh định. Tuy nhiên sự cố các vòng dây chập

nhau có liên quan đến thay đổi áp suất của dầu (do lực điện động khi các vòng dây bị xô đẩy tạo nên, do hồ quang tại chỗ chạm chập làm dầu bốc hơi...) hoặc làm cho nhiệt độ dầu tăng cao, khi ấy rò rỉ khí hoặc rò rỉ quá nhiệt có thể tác động cắt máy biến áp ra khỏi hệ thống.

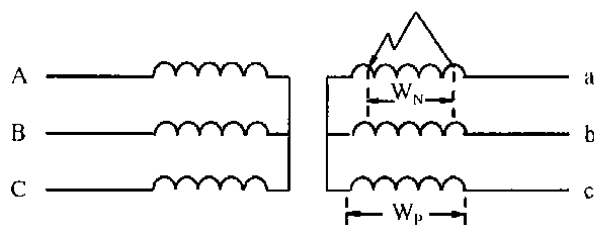
Cũng tương tự như vậy đối với các sự cố chạm chập vòng dây của kháng điện cao áp công suất lớn ngâm trong dầu.



Hình 1.11. Chạm chập các vòng dây trong mạch stato máy phát điện đồng bộ với cuộn dây đơn (a) và cuộn dây kép (b).



Hình 1.12. Chạm đất 1 điểm (a) và 2 điểm (b) trong cuộn dây rôto máy phát điện đồng bộ.



Hình 1.13. Các vòng dây chập nhau trong máy biến áp.

1.5. QUÁ TẢI

Các thiết bị điện thường bị phát nóng quá mức cho phép do dòng điện tăng cao lâu dài quá giới hạn quy định, hoặc hệ thống làm mát kém hiệu quả hoặc không hoạt động. Đối với các máy điện quay, cần đặc biệt quan tâm đến hiện tượng quá nhiệt độ do ảnh hưởng của dòng điện thứ tự nghịch xuất hiện trong các chế độ tải không đối xứng, ngắn mạch không đối xứng hoặc vận hành không toàn pha (đứt dây, xem mục 1-3).

Máy điện quay có công suất càng lớn khả năng chịu quá tải theo dòng điện thứ tự nghịch (tính trong hệ đơn vị tương đối) càng thấp.

Độ tăng nhiệt θ của một vật thể đồng nhất gây nên bởi nguồn nhiệt Q có thể biểu diễn bằng phương trình cân bằng nhiệt sau đây:

$$Q \cdot dt = C_1 d\theta + C_2 \theta dt; \quad (1-25)$$

trong đó: $Q \cdot dt$ - nhiệt lượng phát ra bởi nguồn nhiệt; $C_1 d\theta$ - nhiệt lượng tích tụ trong vật thể; $C_2 \theta dt$ - nhiệt lượng tiêu tán ra môi trường.

Từ (1-25) nhận được lời giải:

$$\theta = \theta_{\max} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_t}} \right) \quad (1-26)$$

trong đó: $\theta_{\max} = \frac{Q}{C_2}$ - nhiệt độ giới hạn lớn nhất;

$T_t = \frac{C_1}{C_2}$ - hằng số thời gian về nhiệt của vật thể;

C_1, C_2 - các hệ số tính đến khả năng tích tụ nhiệt và toả nhiệt của vật thể.

Độ tăng nhiệt θ do dòng điện tải I gây ra bằng:

$$\theta = \theta_{cp} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_t}} \right) \left(\frac{I}{I_{cp}} \right)^2 \quad (1-27)$$

trong đó: θ_{cp} - nhiệt độ làm việc lâu dài cho phép của vật thể;

I_{cp} - dòng điện tải lâu dài cho phép.

Nhiệt độ làm việc lâu dài cho phép θ_{cp} sẽ đạt được sau khoảng thời gian giới hạn t_{gh} :

$$t_{gh} = T_i \cdot \ell_n \frac{1}{1 - \left(\frac{I_{cp}}{I} \right)^2} \quad (1-28)$$

Độ tăng nhiệt tổng cho phép khi có xét đến nhiệt độ môi trường θ_0 :

$$\theta_{cp} = \theta_0 + \theta_{max} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_i}} \right) \quad (1-29)$$

Thời gian giới hạn t_{gh} để đạt đến nhiệt độ cho phép θ_{cp} :

$$t_{gh} = T_i \cdot \ell_n \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{\theta_0}{\theta_{cp}} \right) \left(\frac{I_{cp}}{I} \right)^2} \quad (1-30)$$

So sánh độ tăng nhiệt của vật thể dẫn điện khi không xét và có xét đến nhiệt độ của môi trường xung quanh θ_0 trên H.1.14 ta thấy, thời gian giới hạn trong trường hợp có xét đến θ_0 bé hơn. Nhiệt độ môi trường θ_0 càng cao, thời gian cho phép quá tải càng thấp.

1.6. MẮT CÂN BẰNG CÔNG SUẤT TÁC DỤNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

Trong chế độ vận hành bình thường, nếu bỏ qua tổn thất công suất trong truyền tải và phân phối bao giờ ta cũng có cân bằng công suất tác dụng giữa nguồn điện và phụ tải, trong đó công suất của nguồn bao gồm các nguồn nội tại và nguồn từ ngoài hệ thống vào (hoặc tải ra khỏi hệ thống).

Chẳng hạn đối với lưới điện trên hình 1.15 ta có:

- Với HTĐ A: $P_A - P_T = P_{ptA}$

- Với HTĐ B: $P_B + P_T = P_{ptB}$

trong đó: P_A, P_B - tương ứng là công suất phát của các nguồn nội tại tương ứng;

P_T - công suất truyền tải từ hệ thống A đến hệ thống B;

P_{ptA}, P_{ptB} - tương ứng là công suất phụ tải của hệ thống A và hệ thống B.

Khi sự cố đường dây truyền tải, mất liên hệ giữa 2 hệ thống A và B, ta có:

$P_T = 0$

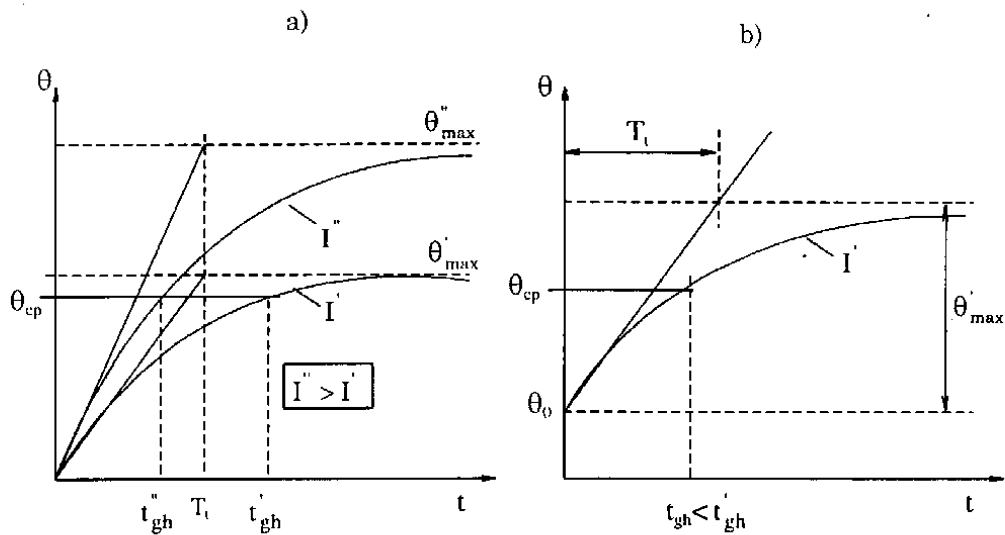
$P_A > P_{ptA}$: hệ thống A thừa công suất tác dụng.

$P_A < P_{ptA}$: hệ thống A thiếu công suất tác dụng.

Đối với hệ thống thừa công suất tác dụng, tốc độ quay của tuabin và rôto máy phát điện sẽ tăng lên kéo theo việc tăng tần số của hệ thống, cần tiến hành các biện pháp chống vượt tốc của tuabin hoặc cắt bớt các máy phát điện ra khỏi hệ thống.

Đối với hệ thống thiếu công suất tác dụng, tốc độ quay của tuabin và rôto máy phát điện sẽ giảm xuống kéo theo việc giảm tần số của hệ thống. Mức độ giảm tần số phụ thuộc vào nhiều yếu tố:

1) Lượng thiếu hụt công suất $\Delta P = P_{pt} - P$ so với công suất tổng P của các nguồn còn đang hoạt động trong hệ thống;



Hình 1.14. Độ tăng nhiệt của vật thể dẫn điện khi không xét (a) và có xét (b) đến nhiệt độ của môi trường xung quanh θ_0 .



Hình 1.15. Cân bằng công suất tác dụng trong hệ thống điện (bỏ qua tổn thất):

$$\begin{aligned} P_A - P_T &= P_{ptA} \\ P_B + P_T &= P_{ptB} \end{aligned}$$

2) Tổng mômen quán tính của tất cả các máy điện quay của hệ thống vừa bị tách ra, mômen này được đặc trưng bằng hằng số quán tính H biểu thị mối tương quan giữa động năng và công suất biểu kiến của các máy điện quay. Trị số thường gặp của H :

- Với máy phát thủy điện $H = 1,5 - 5,5$ giây;
- Với máy phát nhiệt điện $H = 2 - 10$ giây;
- Với máy phát nhỏ (nhiệt điện) dùng trong công nghiệp $H = 3 - 4$ giây.

Giới hạn trên của H áp dụng cho các máy phát có công suất bé.

3) Hệ số giảm phụ tải K_0 đặc trưng cho hiệu ứng tự giảm công suất tiêu thụ của phụ tải khi giảm tần số dòng điện, thường xảy ra đối với các loại động cơ kéo bơm, quạt v.v...

4) Lượng dự phòng quay (nóng) của công suất nguồn trong hệ thống và tác động của máy điều chỉnh tốc độ quay của tuabin.

Hai yếu tố đầu tiên xác định mức độ suy giảm ban đầu của tần số (hay thường gọi là gradient của tần số tại $t = 0$):

$$\frac{df_{(0)}}{dt} = -\frac{\Delta P}{2H} f_{dd} \quad (1-31)$$

trong đó: f_{dd} - tần số danh định của hệ thống.

Các yếu tố còn lại (hệ số giảm phụ tải K_0 , dự phòng quay và ảnh hưởng của máy điều tốc) xác định mức độ (khả năng) duy trì tần số, tức diễn biến tiếp theo của tần số. Nếu hệ thống không còn dự phòng quay và mức độ thiếu hụt công suất lớn có thể dẫn đến hiện tượng *thác tần số* (tần số bị sụp đổ do phản ứng dây chuyền của các động cơ trong hệ thống điện tự dùng làm suy giảm năng lực phát của các nguồn điện còn đang làm việc trong hệ thống, gây thiếu công suất tác dụng trầm trọng thêm, làm cho quá trình giảm tần số không thể ngăn chặn được).

Hiện tượng thác tần số và tan rã hệ thống chỉ có thể được ngăn chặn bằng giải pháp *sa thải phụ tải theo tần số* để lập lại cân bằng công suất ở mức thấp hơn trong hệ thống.

1.7. DAO ĐỘNG ĐIỆN VÀ MẤT ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG

1.7.1. Vấn đề ổn định của hệ thống điện

Ổn định là khả năng của hệ thống khi có những nhiễu loạn nhỏ hoặc lớn có thể giữ được những thông số bình thường tại các nút của hệ thống. Phân biệt *ổn định tĩnh* và *ổn định động*.

- Ổn định tĩnh là khả năng của hệ thống có thể trở về lại chế độ với các thông số ban đầu khi xảy ra những nhiễu loạn bé trong hệ thống. Với các hệ thống điện phức tạp, việc đánh giá khả năng đảm bảo ổn định tĩnh chỉ có thể được thực hiện trên các mô hình tính toán: mô hình số hoặc mô hình ghép (số + tương tự).

Giới hạn ổn định tĩnh của các đường dây truyền tải hoặc của cả hệ thống khu vực được đánh giá tương ứng với chế độ tải công suất cực đại với các điều kiện bất lợi về thành phần thiết bị, cấu hình của hệ thống, điều kiện vận hành của nhà máy điện v.v... Giới hạn ổn định tĩnh được xác định bằng phương pháp làm nặng dần chế độ làm việc của hệ thống đến những giới hạn có thể xảy ra trong điều kiện vận hành thực tế bằng cách:

- Tăng phụ tải chung của hệ thống tại các nút lưới điện.
- Phân bố lại công suất phát giữa các nguồn điện.
- Giảm thấp điện áp ở các nút của lưới điện.

Các giải pháp chính để nâng cao giới hạn ổn định tĩnh của hệ thống bao gồm: sử dụng các bộ tự động điều chỉnh điện áp tác động nhanh ở các máy phát điện đồng bộ; hạn chế khả năng tụt điện áp tại các nút chính của hệ thống; hạn chế góc lệch pha giữa rôto các máy phát điện làm việc song song; bù dọc điện kháng của các đường dây truyền tải; sử dụng thiết bị tự động sa thải phụ tải theo tần số; đảm bảo đủ lượng dự phòng công suất phản kháng trong hệ thống; xây dựng các trạm cắt trung gian trên những đường dây dài có hai hoặc nhiều mạch...

- Ổn định động của chế độ hệ thống điện là khả năng của hệ thống khi chịu tác động của các nhiễu loạn ngắn hạn, xảy ra đột ngột với biên độ lớn có thể trở về lại chế độ xác lập với những thông số chế độ ở các nút gần với các trị số bình thường. Phân biệt hai loại ổn định động: *ổn định động đồng bộ* và *ổn định động tổng hợp*.

Khi hệ thống giữ được *ổn định động đồng bộ*, rôto của các máy phát điện sẽ có những dao động tắt dần, biên độ của góc lệch tương đối giữa các trục rôto không vượt quá $120^\circ - 150^\circ$ điện, điện áp tại các nút phụ tải có thể khôi phục lại trị số bình thường hoặc gần bình thường.

Khi hệ thống giữ được *ổn định động tổng hợp* có thể xảy ra chế độ dao động không đồng bộ (dao động điện) trong thời gian ngắn sau đó hệ thống lại tái đồng bộ trở lại.

Trong quá trình dao động điện, các phụ tải chủ yếu không bị mất ổn định, sau khi tái đồng bộ điện áp trên phụ tải khôi phục lại trị số gần bình thường.

Hệ thống tự động điều chỉnh kích từ của máy phát điện và điều chỉnh tốc độ của tuabin có ảnh hưởng quan trọng đến ổn định động của hệ thống.

Độ dự trữ về ổn định động được xác định đối với những loại sự cố mà hệ thống còn có thể chịu đựng được và không làm mất ổn định của hệ thống. Trong các loại ngắn mạch thì ngắn mạch ba pha gần nhà máy điện lớn, hoặc các trung tâm phụ tải lớn chứa nhiều loại động cơ đồng bộ hoặc không đồng bộ được xem là loại sự cố nguy hiểm nhất, kể đến là các loại ngắn mạch hai pha chạm đất.

Để tính toán ổn định động, người ta thường dùng *phương pháp diện tích* hay *phương pháp các khoảng thời gian nối tiếp*.

Trong *phương pháp diện tích* người ta cân bằng diện tích gia tốc S_1 (H.1.16,b) (khi mô men cơ của tuabin lớn hơn mô men hãm của công suất điện) với diện tích hãm tốc S_2 (khi ngược lại: mô men cơ bé hơn mô men điện), từ đó xác định *góc cắt giới hạn* $\delta_{c,gh}$ và qua đó xác định *thời gian cắt giới hạn* đối với phân tử sự cố (H.1.16).

Góc cắt giới hạn $\delta_{c,gh}$ và thời gian $t_{c,gh}$ được xác định theo các biểu thức sau:

$$\cos \delta_{c,gh} = \frac{P_0 (\delta_{\max} - \delta_0) + P_m^{II} \cos \delta_{\max} - P_m^{III} \cos \delta_0}{P_m^{II} - P_m^{III}} \quad (1-32)$$

$$t_{c,gh} = \sqrt{\frac{2T_J(\delta_{c,gh} - \delta_0)}{1800 \cdot P_0}}, \quad (1-33)$$

trong đó: P_0 - công suất truyền tải;

P_m^{II}, P_m^{III} - công suất cực đại xác định cho chế độ sự cố và sau sự cố theo biểu thức:

$$P = \frac{E_A \cdot E_B}{X_\Sigma} \sin \delta, \quad (1-34)$$

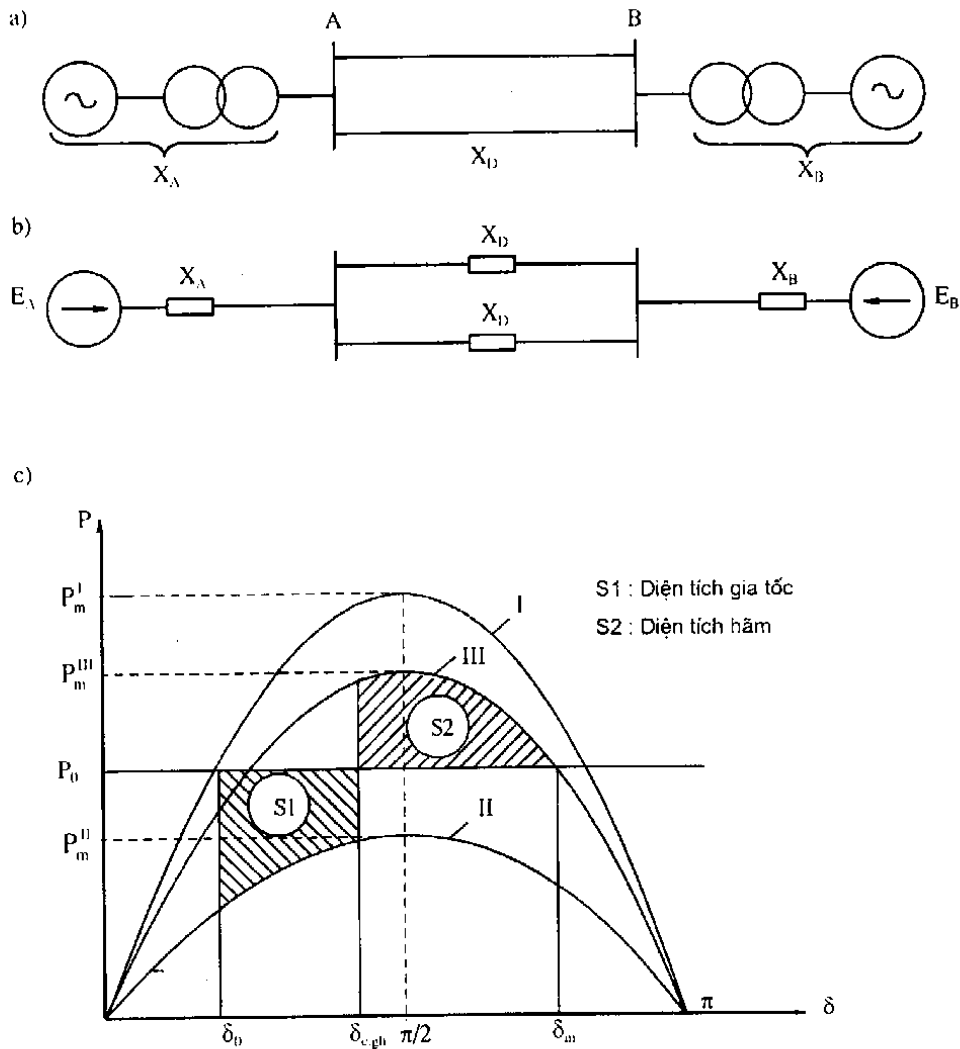
với E_A, E_B - tương ứng là sức điện động đẳng trị của các nguồn điện;

δ - góc lệch pha giữa các vectơ E_A và E_B ;

X_Σ - tổng trở giữa các nguồn.

Công suất điện cực đại được xác định ứng với trường hợp $\delta = 90^\circ$ ($\sin \delta = 1$).

$$P_m = \frac{E_A \cdot E_B}{X_\Sigma}. \quad (1-35)$$



Hình 1.16. Tính toán ổn định động bằng phương pháp diện tích:

- a. Sơ đồ mạch tải điện; b. Sơ đồ thay thế; c. Đặc tính truyền tải khi thay đổi chế độ;
I. Bình thường; II. Sự cố (ngắn mạch trên một đường dây); III. Sau sự cố (cắt một đường dây)

Trong biểu thức (1- 32) đơn vị của các đại lượng được tính trong hệ có tên: P (MW), δ (radian); còn trong (1-33) các đại lượng T_j ; t và δ trong hệ đơn vị có tên: T_j và t (giây); δ (radian điện) còn công suất tính trong hệ đơn vị tương đối:

$P_{0*} = P_0 \text{ (MW)} / S_{cb} \text{ (MVA)}$. Hằng số quán tính T_j cũng được quy đổi về công suất cơ bản S_{cb} :

$$T_j = T_j^{dd} \frac{S_{dd}}{S_{cb}}.$$

Trong phương pháp các *khoảng thời gian nối tiếp*, toàn bộ quá trình quá độ làm thay đổi góc lệch pha δ được chia ra thành nhiều khoảng thời gian Δt , trong đó lượng thay đổi công suất ΔP được xem như không thay đổi.

Với từng khoảng thời gian Δt , tính độ thay đổi của góc lệch pha rôto $\Delta\delta$ và xây dựng quan hệ $\delta(t)$. Khoảng thời gian Δt thường chọn khoảng 0,02 - 0,1 giây. Nếu $\delta(t)$ có xu hướng giảm dần (hoặc dao động rồi tắt dần) thì hệ thống sẽ ổn định động. Nếu $\delta(t)$ tăng vượt quá giới hạn 360° điện (thành nhiều chu kỳ 360° điện) chứng tỏ hệ thống mất ổn định động.

Đối với các hệ thống điện phức tạp, việc nghiên cứu ổn định động cũng như ổn định tĩnh đã nói trên, thường được tiến hành trên mô hình số hoặc mô hình ghép.

Để tăng khả năng ổn định động của hệ thống có thể dùng nhiều biện pháp như thay đổi chế độ vận hành hệ thống (tăng Q ở các nhà máy điện xa hệ thống, giảm P ở các nhà máy điện xa hệ thống ...); tăng nhanh tốc độ loại trừ ngắn mạch; tự động đóng nhanh trở lại các nguồn điện (TDL nhanh); tăng quán tính cơ của các tổ máy, sa thải nhanh phụ tải, hãm điện...

1.7.2. Dao động điện

Khi xảy ra những biến động lớn về công suất trong hệ thống, các vectơ sức điện động có thể có tốc độ quay khác nhau và khác với tốc độ đồng bộ gây nên hiện tượng dao động của dòng điện và điện áp trong hệ thống, hiện tượng này được gọi là dao động điện (Power Swings hay System Swings)

Đối với ví dụ trên hình 1.16,a, giả sử $|\dot{E}_A| = |\dot{E}_B| = E$.

Khi xảy ra dao động $\omega_A \neq \omega_B \neq \omega_{db}$; góc lệch pha $\delta = (\widehat{\dot{E}_A, \dot{E}_B})$ sẽ biến đổi theo thời gian, khi $\delta > 120^\circ$ thường không còn khả năng giữ đồng bộ (out-of-step system swing), δ sẽ thay đổi thành nhiều chu kỳ 360° .

Nếu đứng trên vectơ $\dot{E}_A$ nhìn sự chuyển động tương đối của vectơ $\dot{E}_B$ so với $\dot{E}_A$ ta thấy, mút vectơ $\dot{E}_B$ sẽ vẽ nên quỹ đạo hình tròn với tâm ở gốc vectơ $\dot{E}_B$ và bán kính $|\dot{E}_B|$ (H.1.17a).

Sự lệch pha của $\dot{E}_A$ và $\dot{E}_B$ tạo nên độ lệch sức điện động $\Delta \dot{E}$

$$|\Delta \dot{E}| = |\dot{E}_A - \dot{E}_B| = 2E \sin \frac{\delta}{2}, \quad (1-35)$$

trong đó: $\delta = (\omega_A - \omega_B)t = \omega_S t$ (1-36)

với $\omega_S = (\omega_A - \omega_B)$ - tốc độ trượt.

Điện áp tại một điểm R bất kỳ trên đường dây AB nếu nhìn từ $\dot{E}_A$ sẽ bằng (H.1.17,b):

$$\dot{U}_R = \dot{E}_A - j\dot{I}_{cb}(X_A + X_{AR}), \quad (1-37)$$

trong đó: $\dot{I}_{cb}$ - dòng điện cân bằng (hay dòng điện dao động) được xác định:

$$|\dot{I}_{cb}| = \left| \frac{\Delta \dot{E}}{X_\Sigma} \right| = \frac{2E}{X_\Sigma} \quad (1-38)$$

Dòng cân bằng sẽ đạt được trị số cực đại khi $\delta = 180^\circ$ và bằng 0 khi $\delta = 0^\circ$.

Trị số của dòng cân bằng cực đại $\left(I_{cb\max} = \frac{2E}{X_\Sigma} \right)$ có thể vượt quá trị số dòng ngắn mạch ba pha khi có sự cố trên đường dây.

Ở điểm giữa tổng trở của hệ thống khi $\delta = 180^\circ$ điện áp sẽ bằng 0, ta gọi là *tâm dao động* T hoặc *tâm điện* của hệ thống (H.1.17).

Trị số cực tiểu $U_{\min R}$ của điện áp tại một điểm bất kỳ trên đường dây nằm trên đường chéo nối hai mút vectơ $\dot{E}_A$ và $\dot{E}_B$ khi $\delta = 180^\circ$.

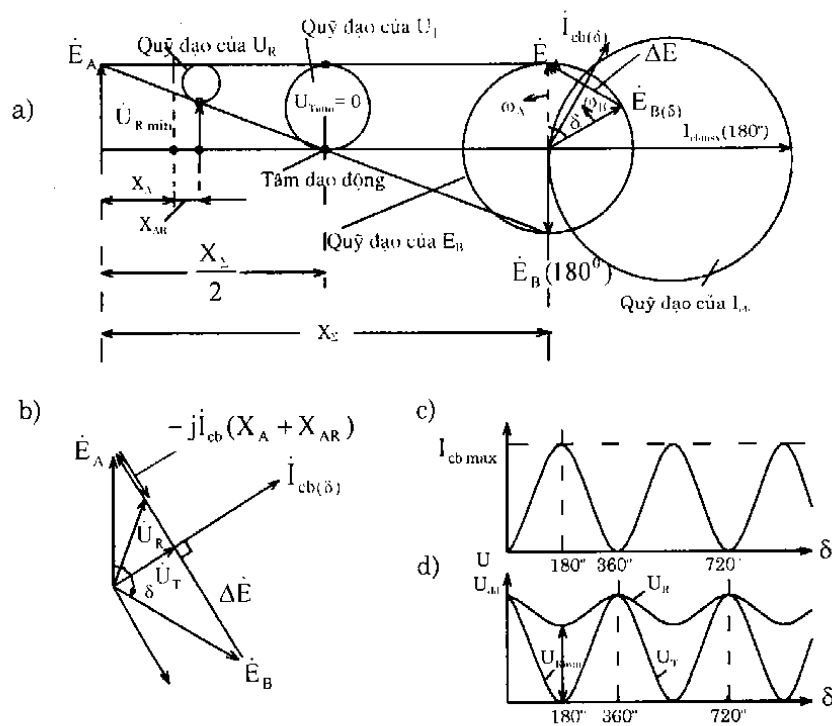
Từ các đồ thị trên hình 1.17 ta nhận thấy:

- Khi xảy ra dao động trên đường dây xuất hiện dòng cân bằng xung động. Trị số cực đại xuất hiện khi góc lệch pha giữa hai vectơ sức điện động $\delta = 180^\circ$ và có thể lớn hơn cả dòng ngắn mạch ba pha.
- Điện áp trên đường dây khi có dao động điện cũng xung động. Mức độ dao động của điện áp tùy thuộc vào vị trí của điểm quan sát trên đường dây. Càng gần tâm dao động mức xung động càng lớn. Tại tâm dao động khi $\delta = 180^\circ$ điện áp tụt đến trị số 0.
- Khi xảy ra dao động hoặc làm việc không đồng bộ các bộ phận định hướng công suất ở hai đầu A, B của đường dây có thể tác động nhầm (H. 1.18).

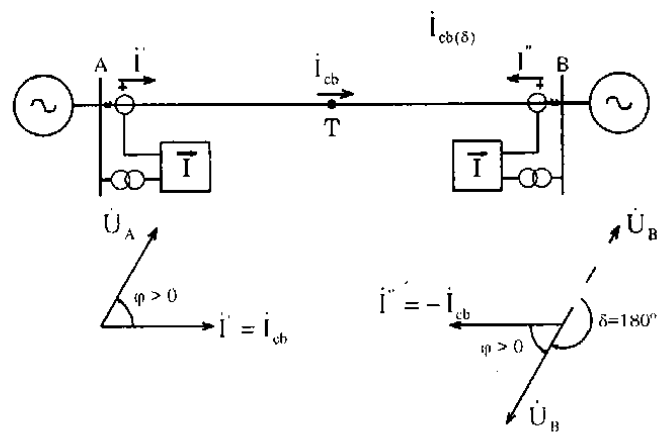
Xét trường hợp khi $\delta = 180^\circ$, ta có:

$$\text{Đầu A: } \dot{U}_A = \dot{U}_T + \dot{I} X_1 L' = \dot{I} X_1 L' \quad (\text{vì } \dot{U}_T = 0)$$

$$\text{Đầu B: } \dot{U}_B = \dot{U}_T + \dot{I} X_1 L'' = \dot{I} X_1 L''$$



Hình 1.17. a) Dao động điện trong hệ thống ; b) Đồ thị véc tơ ; c) Biến thiên của dòng điện ; d) Điện áp trong quá trình dao động (theo góc lệch pha δ) ;



Hình 1.18. Hành vi của bảo vệ có hướng (công suất) khi có dao động điện.

trong đó: $\dot{U}_T$ - điện áp tại tâm dao động, $\dot{U}_T = 0$;
 X_l - điện kháng của một đơn vị dài đường dây;
 L - khoảng cách từ tâm điện đến đầu A.
 L'' - khoảng cách từ tâm điện đến đầu B.

Ta thấy $\dot{U}_A$ vượt trước $\dot{I}'$, công suất đầu A có hướng dương so với chiều quy ước.

Ở đầu B, $\dot{U}_B$ ngược pha với $\dot{U}_A$ nhưng $\dot{I}''$ cũng ngược pha với $\dot{I}'$ (vì $\dot{I}' = -\dot{I}'' = \dot{I}_{cb}$).
 Kết quả là $\dot{U}_B$ cũng vượt trước $\dot{I}''$ và công suất cũng có hướng dương so với chiều quy ước.

Như vậy các bảo vệ có hướng có thể tác động cắt đường dây, cắt như vậy không đúng vì dao động điện không phải là trường hợp sự cố, không được cắt các đường dây có dòng dao động chạy qua mà phải xử lý bằng các giải pháp vận hành khác để loại trừ dao động.

Cắt các đường dây trong trường hợp này làm cho sự cố trầm trọng thêm, có thể dẫn đến mất đồng bộ và tan rã hệ thống.

- Tương tự như vậy, bảo vệ khoảng cách cũng có thể phản ứng sai khi có dao động điện, đặc biệt là các bảo vệ đặt gần tâm dao động. Tại đây khi $\delta = 180^\circ$ dòng điện qua bảo vệ tăng cao đạt giá trị có thể lớn hơn dòng ngắn mạch như trên đã nói, còn điện áp có thể giảm xuống rất thấp, bảo vệ có thể cảm nhận như có xảy ra ngắn mạch gần chỗ đặt bảo vệ và tác động cắt đường dây.

Để ngăn chặn không cho bảo vệ khoảng cách tác động nhầm khi có dao động điện, người ta dùng phương pháp khoá bảo vệ chống dao động (xem chương 4, mục 4.4.3).

1.8. CÁC DẠNG HƯ HỎNG VÀ CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC KHÔNG BÌNH THƯỜNG KHÁC

Ngoài các dạng hư hỏng và chế độ làm việc không bình thường kể trên còn có thể gặp những hư hỏng và hiện tượng không bình thường sau đây trong quá trình vận hành hệ thống điện:

- 1) Thiếu hoặc mất kích từ ở các máy phát điện đồng bộ.
- 2) Quá bão hòa ở các máy biến áp lực.
- 3) Các động cơ đồng bộ làm việc ở chế độ không đồng bộ.
- 4) Các hư hỏng về cơ khí khác: hư hỏng về cơ ở các bộ phận quay của tuabin và máy phát, hư hỏng bộ điều áp dưới tải ở máy biến áp, chảy dầu máy biến áp ... Các hư hỏng này sẽ được xem xét khi thực hiện bảo vệ cho từng đối tượng cụ thể.

CÂU HỎI ÔN TẬP

- 1.1. Tính dòng ngắn mạch ban đầu của các dạng ngắn mạch ba pha, hai pha, hai pha chạm đất và một pha.
- 1.2. Tính thành phần đối xứng của dòng điện tại chỗ ngắn mạch khi ngắn mạch ba pha, hai pha, hai pha chạm đất và một pha.
- 1.3. Dòng và áp khi chạm đất một pha trong lưới điện có trung điểm cách điện.
- 1.4. Dòng điện khi đứt dây một pha và vừa đứt dây vừa chạm đất một pha.
- 1.5. Các vòng dây trong máy điện chập nhau và hậu quả của nó.
- 1.6. Tính độ tăng nhiệt khi quá tải.
- 1.7. Thay đổi tần số của hệ thống khi xảy ra mất cân bằng công suất tác dụng.
- 1.8. Xác định thời gian cắt giới hạn theo điều kiện ổn định động bằng phương pháp diện tích.
- 1.9. Biến thiên của dòng và áp khi có dao động điện.

1

2

3

4

5

6

7

Chương 2

Các phần tử chính trong hệ thống bảo vệ rơle

2.1. MÁY BIẾN DÒNG ĐIỆN (BI)

2.1.1. Giới thiệu chung

Dòng điện cũng như điện áp của các phần tử trong hệ thống điện thường có trị số rất lớn, không thể đưa trực tiếp vào dụng cụ đo hoặc rơle và các thiết bị tự động khác, vì vậy các dụng cụ và thiết bị này thường được đấu nối qua máy biến dòng và máy biến điện áp.

Máy biến dòng điện có cuộn dây sơ cấp đấu nối tiếp vào mạch sơ cấp. Tổng trở của máy biến dòng, kể cả tổng trở của phụ tải ở phía thứ cấp, rất bé so với tổng trở phía sơ cấp của mạch điện. Điều này có thể minh họa trên ví dụ sau đây (H.2.1).

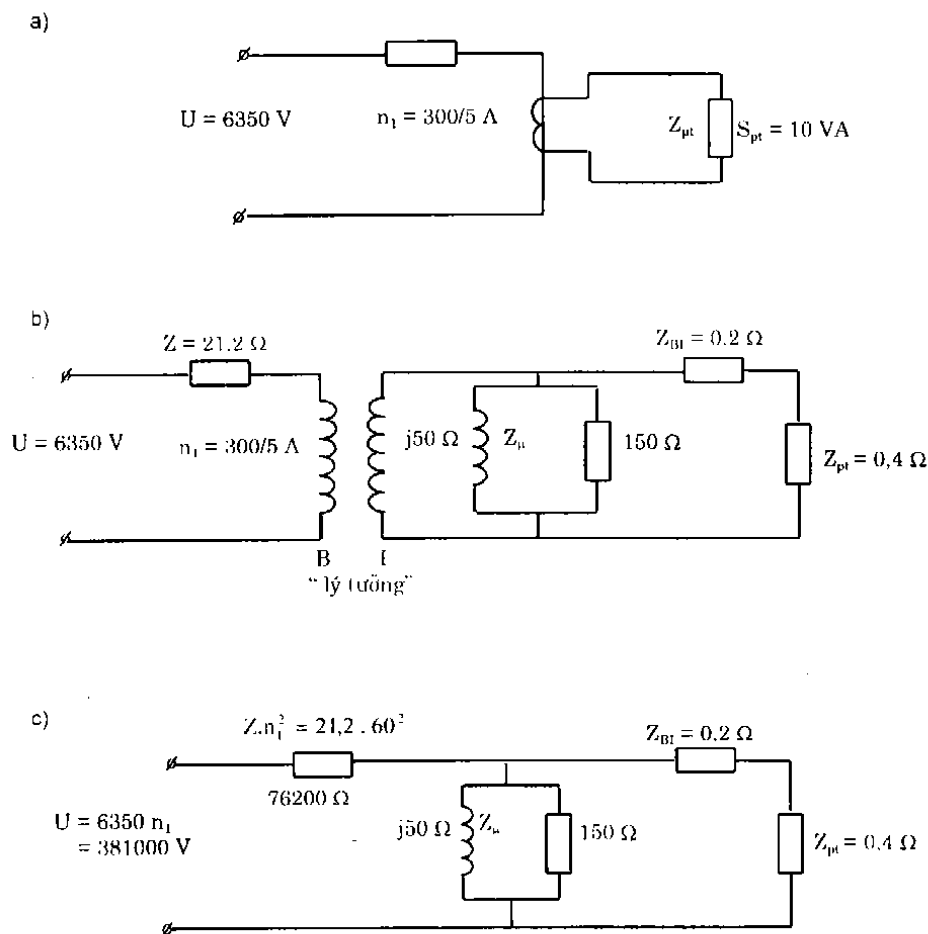
Đường dây tải điện 11 kV với tổng trở mạch sơ cấp $Z = 21,1 \, \Omega$ tương ứng với dòng điện sơ cấp 300 A.

Máy biến dòng có tỷ số 300/5 A được sử dụng để cấp điện cho phụ tải thứ cấp 10 VA (H. 2.1,a).

Trên hình 2.1,b trình bày sơ đồ đẳng trị của mạch điện với máy biến dòng “lý tưởng”, nghĩa là một máy biến dòng không có tổn hao kích từ và tổn hao trong cuộn dây, nó chỉ làm nhiệm vụ chuyển đổi trị số dòng điện từ 300 A xuống 5 A, các tổn hao kích từ và tổn hao cuộn dây được đặc trưng bằng tổn hao trên các tổng trở Z_{μ} và Z_m . Trên hình 2.1,c trình bày sơ đồ đẳng trị của mạch điện đã tính đối về phía thứ cấp của BI, trong đó điện áp phía sơ cấp được nhân với tỷ số $n_1 = (300/5) = 60$, còn tổng trở phía sơ cấp được nhân với tỷ số $n_1^2 = 3600$. Từ sơ đồ hình 2.1,c ta thấy tổng trở phía sơ cấp rất lớn so với phía thứ cấp, và cho

dù có thay đổi phụ tải phía thứ cấp trong một giới hạn rất rộng, (thậm chí để hở mạch thứ cấp với $Z_{pt} = \infty$) cũng không ảnh hưởng gì đến trị số của dòng điện bên sơ cấp. Vì vậy máy biến dòng có thể được xem như một nguồn dòng điện.

Máy biến dòng làm nhiệm vụ cách ly mạch thứ cấp khỏi điện áp cao phía sơ cấp và đảm bảo dòng điện thứ cấp tiêu chuẩn (5 hay 1 A) khi dòng điện sơ cấp danh định có thể rất khác nhau. Đối với một số thiết bị đo lường và bảo vệ làm việc theo góc pha của dòng điện cần phải nối đúng đầu các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp của máy biến dòng.



Hình 2.1. Mạch đẳng trị của máy biến dòng.

Các đầu dây của cuộn sơ cấp được ký hiệu S_1 và S_2 , còn các đầu của cuộn thứ cấp T_1 và T_2 . Các đầu dây được xác định theo qui tắc sau: Chọn đầu S_1 của cuộn sơ cấp với qui ước là khi giá trị tức thời của dòng điện sơ cấp I_s đi từ đầu S_1 đến S_2 dòng điện thứ cấp I_T sẽ đi từ T_2 đến T_1 (H.2.2,a).

Các đầu cùng tên (thường là S_1 và T_1) đôi khi người ta đánh dấu sao (*) hoặc nếu trên hình vẽ không ghi ký hiệu thì được hiểu là đầu cùng tên (S_1 và T_1 hoặc S_2 và T_2) nằm cạnh nhau.

Các đầu dây của máy biến dòng có thể được kiểm tra bằng thực nghiệm theo sơ đồ đơn giản gồm một miliampemét có thang đo về hai phía và bộ pin (hoặc ắc quy) trên hình 2.2, b.

Nếu các đầu dây đấu đúng như hình vẽ thì khi ấn nút bấm kim của mA lệch về phía cực dương (+), còn khi nhả nút ra kim sẽ lệch về phía cực âm (-).

Từ sơ đồ đẳng trị của mạch máy biến dòng trên hình 2.1,c ta có thể nêu các nhận xét sau:

- Tổng trở của phụ tải mạch thứ cấp của máy biến dòng hầu như không ảnh hưởng đến trị số của dòng điện thứ cấp;
- Khi phía sơ cấp có dòng điện, không được để hở mạch thứ cấp của BI vì khi ấy toàn bộ dòng điện sơ cấp sẽ chạy qua mạch kích từ với tổng trở Z_μ khá lớn, có thể gây nguy hiểm cho người và thiết bị bên phía thứ cấp;
- Nếu biết được trị số của tổng trở mạch kích từ Z_μ và tổng trở phụ tải Z_{pt} thì có thể xác định được sai số về giá trị cũng như góc pha của dòng điện phía thứ cấp của máy biến dòng;
- Sơ đồ thay thế đẳng trị của máy biến dòng có thể vẽ như trên hình 2.3.

2.1.2. Sai số của máy biến dòng

Từ sơ đồ thay thế đẳng trị của BI trên hình 2.3 ta có thể xây dựng đồ thị véc tơ đơn giản hoá trên hình 2.4. Từ đồ thị véc tơ này ta thấy:

$$\dot{I}_T = \dot{I}_s - \dot{I}_\mu \quad (2-1)$$

Chính sự có mặt của dòng điện từ hoá I_μ đã làm cho dòng điện thứ cấp I_T sai khác với dòng điện sơ cấp sau khi tính đổi ($\dot{I}_T = \dot{I}_s / n_1$). Dòng điện từ hoá I_μ càng lớn sai số của máy biến dòng càng cao. Người ta phân biệt: sai số về trị số dòng điện, sai số góc và sai số phức hợp.

- a) *Sai số về trị số dòng điện f_i* : Bằng hiệu số giữa biên độ dòng điện sơ cấp sau khi tính đổi (I_s) với dòng điện thứ cấp (I_T), về trị số, sai số này gần bằng thành phần I_{pr} của dòng điện từ hoá chiếu lên trục (trùng pha) của dòng điện thứ cấp I_T .
- b) *Sai số góc θ_i* : Bằng góc lệch pha θ giữa các vectơ dòng điện sơ cấp và thứ cấp. Về trị số, sai số góc θ_i tỷ lệ với thành phần I_{pr} của dòng điện từ hoá thẳng góc với trục của dòng điện thứ cấp I_T .
- c) *Sai số phức hợp F_i* : Sai số phức hợp của máy biến dòng được định nghĩa như trị số hiệu dụng của dòng điện thứ cấp lý tưởng với dòng điện thứ cấp thực tế, nó bao gồm cả sai số về trị số lẫn sai số về góc có xét đến ảnh hưởng của các hài bậc cao trong dòng điện từ hoá:

$$F_i = 100 \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (n_1 i_T - i_s)^2 dt}}{I_s}, \% \quad (2-2)$$

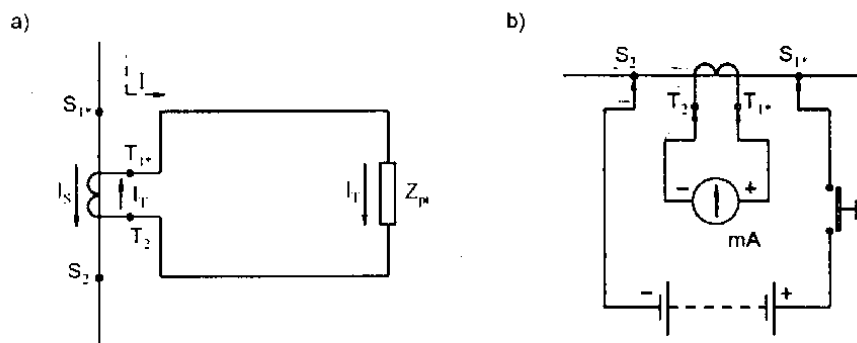
trong đó: F_i - sai số phức hợp tính bằng %;

T - chu kỳ của dòng điện xoay chiều, s;

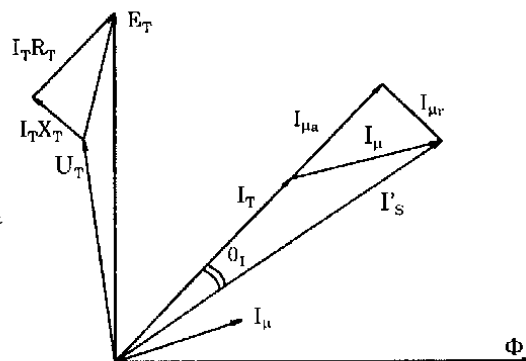
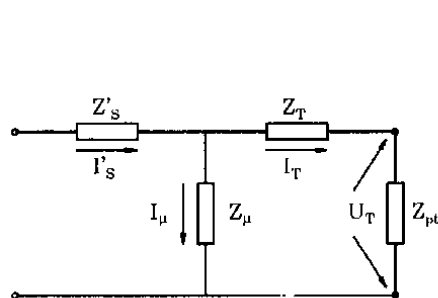
n_1 - tỷ số biến đổi của máy biến dòng;

i_T - giá trị tức thời của dòng điện thứ cấp;

i_s và I_s - tương ứng là giá trị tức thời và giá trị hiệu dụng của dòng điện sơ cấp.



Hình 2.2. Đánh dấu đầu các cuộn dây của máy biến dòng :
a) Sơ đồ nguyên lý ; b) Bảng thực nghiệm.



Hình 2.3. Sơ đồ thay thế của máy biến dòng.

Hình 2.4. Đồ thị véc tơ của máy biến dòng.

Ghi chú :

E_T : Sức điện động thứ cấp.

U_T : Điện áp thứ cấp.

I_T : Dòng điện thứ cấp.

I'_T : Dòng điện sơ cấp (đã tính đổi).

I_μ : Dòng điện từ hoá.

R_T, X_T : Điện trở tác dụng và điện kháng của cuộn thứ cấp.

Φ : Từ thông.

θ_I : Sai số góc.

Cấp chính xác của máy biến dòng (và cả máy biến điện áp) theo các tiêu chuẩn khác nhau cho trong bảng 2.1.

Bảng 2.1. Cấp chính xác của máy biến dòng điện và máy biến điện áp áp dụng cho các dụng cụ đo lường và thiết bị bảo vệ

Lĩnh vực áp dụng	Theo tiêu chuẩn		
	IEC (Châu Âu)	VDC (Đức)	ANSI (Mỹ).
• Lấy chuẩn dụng cụ đo và đồng hồ mẫu	0,1	0,1	0,3
• Đo chính xác	0,2	0,2	0,3
• Đo đếm điện năng	0,5	0,5	0,6
• Đo lường công nghiệp các đại lượng U, I, P, Q ...	1	1	1,2
• Mạch ampemet, vônmet, rơle quá dòng, quá áp ...	3,5	3	1,2
• Lỗi từ dùng cho bảo vệ.	5P, 10P	5P, 10P	C, T

2.1.3. Hiệu chỉnh (bù) sai số bằng cách thay đổi số vòng dây thứ cấp của máy biến dòng

Thường để bù sai số của máy biến dòng do dòng điện từ hoá I_μ gây nên, người ta có thể giảm bớt một vài vòng dây của cuộn thứ cấp, khi ấy dòng điện thứ cấp sẽ được tăng cao đôi chút nhờ vậy sai số về dòng điện có thể được giảm thấp.

Chẳng hạn, ở ví dụ hình 2.1, sai số sẽ lớn nhất khi phụ tải là thuần điện cảm (khoảng 1,2 %), nếu số vòng danh định là 2: 120 ($n_1 = 60$) thì khi giảm bớt 2 vòng thứ cấp sẽ làm tăng dòng điện thứ cấp lên 0,83% và sai số dòng điện sẽ giảm xuống - 0,37%.

2.1.4. Giới hạn sai số đối với máy biến dòng

Với các máy biến dòng dùng cho đo lường có cấp chính xác từ 0,1 đến 1; giới hạn sai số cho phép về trị số (f_1 , %) và góc (θ , phút) cho ở bảng 2.2.

Bảng 2.2. Giới hạn sai số của BI có cấp chính xác 0,1 ÷ 1

Cấp chính xác	f_1 (%) theo dòng sơ cấp				θ_1 (phút) theo dòng sơ cấp			
	0,05 $I_{dđ}$	0,2 $I_{dđ}$	$I_{dđ}$	1,2 $I_{dđ}$	0,05 $I_{dđ}$	0,2 $I_{dđ}$	$I_{dđ}$	1,2 $I_{dđ}$
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60

Các trị số cho trong bảng 2.2 tương ứng với điều kiện tần số danh định và phụ tải phía thứ cấp của máy biến dòng thay đổi trong giới hạn từ 25 % đến 100 % phụ tải danh định.

Với các máy biến dòng có cấp chính xác 3 và 5, sai số cho phép về trị số dòng điện (f_1 , %) cho trong bảng 2.3 tương ứng với điều kiện tần số danh định và phụ tải phía thứ cấp của BI thay đổi trong giới hạn từ 50 ÷ 100 % phụ tải danh định.

Phụ tải thứ cấp dùng để kiểm tra độ chính xác của máy biến dòng thường có $\cos\varphi=0,8$ (cảm kháng), nếu phụ tải bé hơn 5 VA có thể sử dụng $\cos\varphi = 1$, không nên sử dụng phụ tải bé hơn 1 VA để kiểm tra độ chính xác của BI.

Bảng 2.3. Giới hạn sai số của BI có cấp chính xác 3 và 5

Cấp chính xác	f_i (%) theo dòng sơ cấp	
	0,5 I_{dd}	1,2 I_{dd}
3	3	3
5	5	5

Đối với BI có cấp chính xác 3 và 5 không quy định giới hạn sai số về góc θ_1 .

2.1.5. Yêu cầu về độ chính xác của máy biến dòng dùng cho mục đích bảo vệ rơle

Các thiết bị bảo vệ phải làm việc trong điều kiện sự cố với dòng điện sơ cấp vượt quá nhiều lần so với dòng điện danh định, tuy vậy vẫn phải đảm bảo độ chính xác cần thiết. Trị số dòng điện sơ cấp ở đó BI còn đảm bảo được độ chính xác yêu cầu được gọi là dòng điện giới hạn theo độ chính xác. Tỷ số dòng điện giới hạn theo độ chính xác và dòng điện danh định gọi là hệ số giới hạn theo độ chính xác.

Với các máy biến dòng dùng cho thiết bị bảo vệ có cấp chính xác 5P và 10P, sai số cho phép về trị số (f_i , %) góc pha θ_1 , phút) và sai số phức hợp (F_i , %) cho trong bảng 2.4. Tương ứng với điều kiện phụ tải thứ cấp của BI bằng 100 % phụ tải danh định, hệ số giới hạn tiêu chuẩn theo độ chính xác bằng 5, 10, 15, 20, và 30.

Để kiểm tra máy biến dòng khi sai số về dòng điện và góc pha đã được xác định, phụ tải BI phải có $\cos\varphi = 0,8$ (cảm kháng). Khi phụ tải bé hơn 5 VA có thể cho phép $\cos\varphi = 1$. Khi hệ số giới hạn theo độ chính xác càng lớn, công suất đầu ra của BI càng cao. Chẳng hạn phụ tải ở chế độ danh định là 10 VA, với hệ số giới hạn theo độ chính xác bằng 30, ở chế độ ngắn mạch công suất đầu ra phía thứ cấp của BI có thể đạt 9000 VA.

Máy biến dòng điện thường được sử dụng chung cho các dụng cụ đo lường và thiết bị bảo vệ, vì vậy cấp chính xác của nó cần được chọn phối hợp theo các bảng 2.3 và 2.4.

Bảng 2.4. Giới hạn sai số của BI có cấp chính xác 5P và 10P

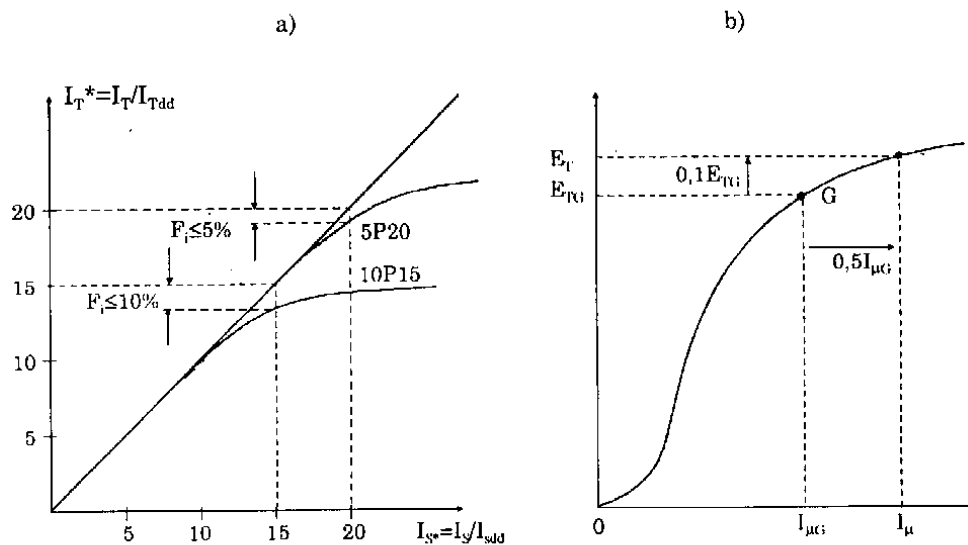
Cấp chính xác	f_i , %	θ_1 , phút	F_i , %
5P	± 1	± 60	5
10P	± 3		10
Hệ số giới hạn theo độ chính xác: 5, 10, 15, 20 và 30.			

Thông số của BI dùng cho đo lường thường được ký hiệu theo phụ tải danh định và cấp chính xác, chẳng hạn 15 VA, cấp 0,5 ; còn BI dùng cho bảo vệ được ký hiệu theo phụ tải danh định, cấp chính xác và hệ số giới hạn theo độ chính xác, chẳng hạn 10 VA, cấp 10P10 (số 10 sau cùng là hệ số giới hạn theo độ chính xác). Trên hình 2.5, a minh hoạ bằng đồ thị cách ký hiệu BI dùng cho bảo vệ theo cấp chính xác và hệ số giới hạn theo độ chính xác.

2.1.6. Máy biến dòng cấp X

Giới hạn sai số của BI cho trong bảng 2.4 thường được dùng cho bảo vệ quá dòng điện. Đối với bảo vệ chống chạm đất và nhiều loại bảo vệ khác người ta thường quan tâm đến sức điện động E_T trong cuộn thứ cấp của máy biến dòng trong quan hệ với dòng điện từ hoá I_μ và điểm gập (Knee - point) trên đường cong từ hoá (H.2.5,b). Điểm gập (E_{TG} , $I_{\mu G}$) là một điểm đặc trưng trên đường cong từ hoá, từ đó nếu muốn tăng sức từ động thứ cấp của máy biến dòng lên 10 % phải tăng dòng điện từ hoá lên 50 %.

Máy biến dòng được thiết kế và chế tạo với đặc tính từ hoá có điểm gập thoả mãn điều kiện vừa nêu có tên gọi là máy biến dòng cấp X.



Hình 2.5. Minh hoạ bằng đồ thị ký hiệu của BI dùng cho bảo vệ (a) và xác định điểm gập G trên đường cong từ hoá của máy biến dòng (b).

2.1.7. Xác định phụ tải của máy biến dòng

Phụ tải của máy biến dòng có thể được đặc trưng bằng công suất đầu ra phía thứ cấp S_{pt} (VA) hoặc tổng trở phía thứ cấp Z_{pt} (Ω). Công suất đầu ra phía thứ cấp thường được tính ứng với dòng điện danh định phía thứ cấp của BI.

Tổng trở phía thứ cấp của máy biến dòng phụ thuộc vào công suất và dòng điện danh định của BI. Chẳng hạn, nếu công suất là 5 VA với máy biến dòng có dòng điện thứ cấp 1 A, tổng trở của phụ tải máy biến dòng:

$$Z_{pt} = \frac{U_T}{I_T} = \frac{S_{pt}}{I_T^2} = \frac{5}{1^2} = 5 \Omega.$$

Với máy biến dòng có dòng điện thứ cấp 5 A, tổng trở của phụ tải BI bằng:

$$Z_{pt} = 5/5^2 = 0,2 \Omega.$$

Tổng trở phụ tải của máy biến dòng bao gồm tổng trở của các dụng cụ đo lường, thiết bị bảo vệ được mắc nối tiếp nhau cộng với tổng trở của các dây dẫn phụ. Tổng trở phụ tải càng lớn công suất tiêu thụ ở phía thứ cấp càng cao và sai số của máy biến dòng càng lớn.

Trong một số trường hợp, để giảm sai số của máy biến dòng người ta giảm điện áp ở đầu ra cuộn thứ cấp bằng cách đấu nối tiếp hai cuộn thứ cấp của máy biến dòng lại với nhau (H.2.6,a).

Khi các cuộn thứ cấp được mắc nối tiếp, điện áp ở đầu ra mỗi cuộn thứ cấp sẽ giảm xuống 2 lần so với điện áp đặt trên phụ tải Z:

$$U_T = \frac{U_{pt}}{2} = \frac{I_T \cdot Z}{2},$$

và phụ tải tính toán đối với mỗi biến dòng :

$$Z_{pt} = \frac{U_T}{I_T} = \frac{I_T \cdot Z}{2} \cdot \frac{1}{I_T} = \frac{Z}{2},$$

nghĩa là giảm xuống 2 lần so với trường hợp chỉ dùng một BI.

Trong hệ thống 3 pha, đôi khi người ta dùng sơ đồ đấu nối các cuộn thứ cấp của BI theo hình tam giác còn role lại đấu theo hình sao (H.2.6, b) khi ấy phụ tải tính toán của máy biến dòng sẽ tăng lên 3 lần. Chẳng hạn với máy biến dòng pha A:

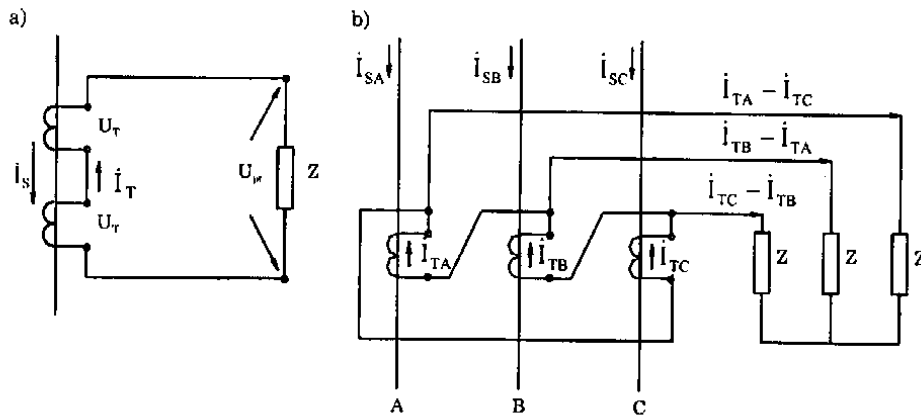
$$U_{TA} = (I_{TA} - I_{TC})Z - (I_{TB} - I_{TA})Z$$

trị số của điện áp thứ cấp :

$$U_{TA} = 3 I_{TA} \cdot Z$$

và phụ tải tính toán của biến dòng :

$$Z_{pt} = \frac{U_{TA}}{I_{TA}} = \frac{3 \cdot I_{TA} \cdot Z}{I_{TA}} = 3Z.$$



Hình 2.6. Xác định phụ tải tính toán của máy biến dòng :

a) Đấu nối tiếp 2 cuộn thứ cấp của máy biến dòng ; b) Cuộn thứ cấp 3 máy biến dòng đấu hình tam giác – Phụ tải 3 pha đấu hình sao.

Máy biến dòng điện thường được chế tạo với phụ tải danh định phía thứ cấp bằng 2,5 - 5 - 7,5 - 10 - 15 và 30 VA.

Máy biến dòng với dòng điện danh định phía thứ cấp 1 A có nhiều ưu điểm hơn loại 5 A vì tổn hao công suất trên dây dẫn phụ sẽ bé hơn nhiều, do đó công suất đòi hỏi ở đầu ra phía thứ cấp của BI cũng sẽ bé hơn nên có thể chế tạo với kích thước gọn nhẹ hơn.

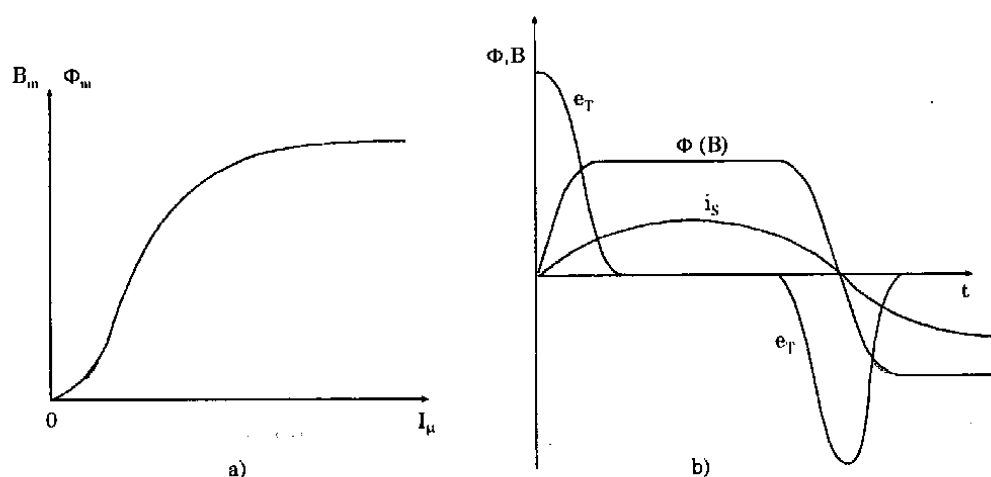
Ví dụ, thông thường khoảng cách từ sân phân phối cao áp đến phòng điều khiển chừng 200 m, cáp điều khiển được chế tạo với tiết diện tiêu chuẩn, với khoảng cách như trên, tổng trở của mạch vòng dây dẫn phụ khoảng 3 Ω. Với máy biến dòng có dòng thứ cấp danh định 5 A công suất tiêu tổn trên mạch vòng dây dẫn phụ là $5^2 \cdot 3 = 75$ VA cộng với công suất hữu ích tiêu thụ trên dụng cụ đo hoặc thiết bị bảo vệ là 10 VA đòi hỏi BI phải có công suất danh định phía thứ cấp là 85 VA. Một máy biến dòng với công suất danh định phía thứ cấp lớn như vậy sẽ rất cồng kềnh và đắt tiền.

Nếu dùng BI với dòng điện danh định thứ cấp 1 A thì công suất tiêu tổn trên mạch vòng dây dẫn phụ là $1^2 \cdot 3 = 3$ VA và công suất đòi hỏi ở phía thứ cấp trong trường hợp này chỉ bằng 13 VA, máy biến dòng sẽ có kích thước bé hơn và giá rẻ hơn nhiều.

Quan hệ L_N/R_N càng lớn, hằng số thời gian tắt dần của thành phần một chiều trong dòng điện quá độ càng chậm có thể gần bằng hằng số thời gian tắt dần

2.1.8. Chế độ hở mạch thứ cấp của máy biến dòng

Khi mạch thứ cấp của máy biến dòng để hở, nếu phía sơ cấp có dòng điện thì toàn bộ dòng điện sơ cấp ấy sẽ làm nhiệm vụ từ hoá, từ cảm B_m tăng lên đột ngột gây bão hoà cho mạch từ nên các đường cong biến thiên theo thời gian của độ từ cảm B và từ thông Φ có dạng bằng đầu. Khi dòng điện sơ cấp qua trị số không, sức điện động cảm ứng trong cuộn thứ cấp của máy biến dòng có dạng đỉnh nhọn với biên độ rất lớn (H.2.7), đặc biệt trong chế độ sự cố khi dòng điện sơ cấp đạt bội số lớn, sức điện động cảm ứng phía thứ cấp có thể đến hàng chục kilôvôn, rất nguy hiểm cho người và thiết bị bên phía thứ cấp. Vì vậy không được làm hở mạch thứ cấp của BI trong khi phía sơ cấp có dòng điện chạy qua. Trường hợp cần thực hiện đổi nối ở phía thứ cấp khi có dòng điện chạy qua cuộn sơ cấp thì việc đầu tiên là phải nối tắt các cực thứ cấp của BI trước khi tiến hành đổi nối. Chế độ làm việc với cuộn thứ cấp bị nối ngắn mạch được xem là chế độ bình thường của máy biến dòng.



Hình 2.7. Đường cong từ hoá (a) và quan hệ của dòng điện sơ cấp i_s , từ thông Φ , từ cảm B và sức điện động thứ cấp e_T theo thời gian (b).

2.1.9. Quá trình quá độ trong máy biến dòng

Trong hệ thống điện, đặc biệt là trong lưới chuyên tải cao áp và siêu cao áp, các phần tử có tổng trở với tương quan L_N/R_N càng lớn (L_N , R_N tương ứng là điện cảm và điện trở tác dụng của mạch vòng ngắn mạch) cần phải xét đến ảnh hưởng của quá trình quá độ trong máy biến dòng lên sự làm việc của các bảo vệ.

Quan hệ L_N/R_N càng lớn, hằng số thời gian tắt dần của thành phần một chiều trong dòng điện quá độ càng chậm có thể gần bằng hằng số thời gian tắt dần của các máy phát điện lớn (khoảng 400 ms).

Thành phần một chiều của dòng điện quá độ có thể làm cho lõi từ của BI bị bão hoà ngay cả trong trường hợp dòng sơ cấp có biên độ không lớn lắm, vì hầu như toàn bộ thành phần một chiều không chuyển sang được phía thứ cấp, nó làm tăng từ thông và gây bão hoà cho mạch từ.

Dòng sơ cấp của BI trong chế độ sự cố:

$$i_s = I_{mSN} \left(e^{-\frac{t}{T_N}} - \cos \omega t \right), \quad (2-3)$$

trong đó: I_{mSN} - biên độ của dòng ngắn mạch phía sơ cấp,

$T_N = L_N/R_N$ - hằng số thời gian của mạch vòng ngắn mạch.

Từ sơ đồ thay thế của máy biến dòng trên hình 2-3 ta có phương trình vi phân sau đây:

$$L_\mu \frac{di_\mu}{dt} = (R_T + R_{pt}) i_2 + (L_T + L_{pt}) \frac{di_2}{dt} \quad (2-4)$$

vì $i_2 = i_1 - i_\mu$ nên ta có:

$$\frac{di_\mu}{dt} + \frac{1}{T} i_\mu = q \frac{di_1}{dt} + \frac{1}{T} i_1 \quad (2-5)$$

trong đó: $T = \frac{L_\mu + L_T + L_{pt}}{R_T + R_{pt}}$ - hằng số thời gian của BI có kể đến phụ tải,

$$q = \frac{L_T + L_{pt}}{L_\mu + L_T + L_{pt}}$$

Vì $L_{pt} + L_T \approx 0$; $(\omega T)^2 \gg 1$ và $\omega T_N \gg 1/(\omega T_N)$ nên từ (2-3) và (2-5) ta có:

$$i_\mu = I_{mSN} \left[\frac{T_N}{T_N - T} \left(e^{-\frac{t}{T_N}} - e^{-\frac{t}{T}} \right) - \frac{1}{\omega T} \sin \omega T \right] \quad (2-6)$$

trong đó:

$$I_{mSN} \left[\frac{T_N}{T_N - T} \left(e^{-\frac{t}{T_N}} - e^{-\frac{t}{T}} \right) \right] - \text{thành phần một chiều của dòng điện quá độ;}$$

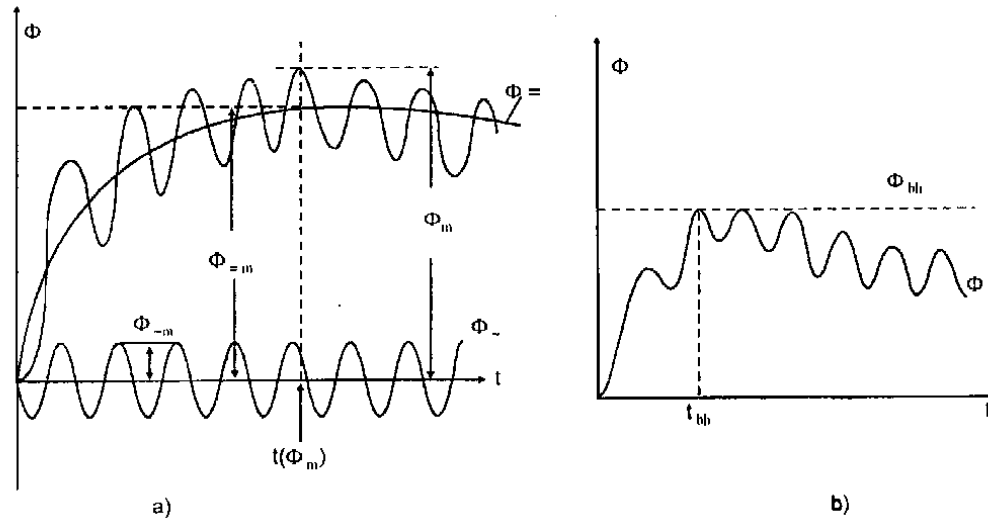
$$I_{mSN} \left[\frac{1}{\omega T} \sin \omega T \right] - \text{thành phần xoay chiều của dòng điện quá độ.}$$

Mặt khác từ thông trong mạch từ của biến dòng lại tỷ lệ với dòng điện từ hoá i_μ nên từ thông Φ cũng có qui luật biến thiên tương tự như biểu thức (2-6).

Trên hình 2.8 trình bày sự biến thiên của các thành phần của từ thông Φ cho trường hợp mạch từ của BI không bị bão hoà (a) và bão hoà (b). Từ các đường cong trên hình 2.8 có thể nhận thấy rằng, thành phần một chiều Φ_+ lớn hơn nhiều so với thành phần xoay chiều Φ_- , trong điều kiện bão hoà từ thông tổng có trị số bé hơn trị số bão hoà Φ_{bh} .

Hằng số thời gian của mạch vòng ngắn mạch của hệ thống TN khoảng 50 đến 300 ms và trong trường hợp cực hạn, như trên đã nói, có thể đạt đến 400 ms.

Với phụ tải danh định, hằng số thời gian T của máy biến dòng có thể đạt đến một vài giây.



Hình 2.8. Biến thiên của từ thông Φ trong quá trình quá độ khi mạch từ của BI không bão hoà (a) và bão hoà (b).

Từ hình 2.8,a ta thấy từ thông tổng đạt trị số cực đại tại t_{Φ_m} khi thành phần một chiều đạt trị số cực đại, thời gian t_{Φ_m} có thể được xác định với biểu thức sau (từ 2-6):

$$t_{\Phi_m} = \frac{T_N \cdot T}{T - T_N} \ln \frac{T}{T_N} \quad (2-7)$$

Trong điều kiện $\omega T \gg 1$ phương trình (2-6) có thể dùng để tính từ thông cực đại Φ_m tại thời điểm t_{Φ_m} . Tương quan giữa từ thông cực đại Φ_m và biên độ của thành phần xoay chiều Φ_- cho ta hệ số:

$$K = \frac{\Phi_m}{\Phi_m} = \omega T_N F + 1 \quad (2-8)$$

trong đó:

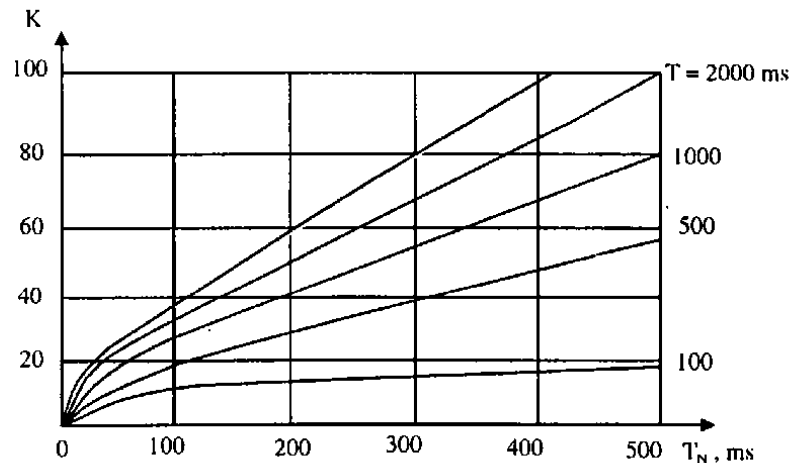
$$F = \left(\frac{T_N}{T} \right)^{T_N}$$

K được gọi là *hệ số quá độ* hoặc *hệ số tăng kích thước* của máy biến dòng để khỏi bị bão hoà.

Trên hình 2.9 trình bày tương quan của hệ số tăng kích thước của biến dòng K theo hằng số thời gian T_N của mạch vòng ngắn mạch của hệ thống và hằng số thời gian T của máy biến dòng. Có thể nhận thấy rằng, ngay cả với những trị số T_N bé, hệ số tăng kích thước K của BI có thể đạt trị số đáng kể. Chẳng hạn khi $T_N = 100$ ms và $T = 1$ s, $K \approx 25$, nghĩa là để cho mạch từ của BI không bị bão hoà trong quá trình quá độ phải chế tạo với kích thước 25 lần lớn hơn so với yêu cầu làm việc trong chế độ bình thường, điều này làm tăng chi phí chế tạo BI.

Chi phí chế tạo còn cao hơn nếu kể thêm đến hệ số dư của từ thông. $K_r = \Phi_r / \Phi_{bh}$ (trong đó Φ_r là từ thông dư) - thông thường với BI có mạch từ bằng tôn khép kín $K_r = 0,8$, vậy hệ số tăng kích thước thực tế để tránh bão hoà cho mạch từ sẽ là:

$$K' = \frac{K}{1 - K_r} = \frac{\omega T_N F + 1}{1 - K_r} \approx 5K \quad (2-9)$$



Hình 2.9. Hệ số tăng kích thước K của máy biến dòng theo hằng số thời gian của hệ thống T_N và của máy biến dòng T.

Thực tế không thể thoả mãn được hệ số tăng kích thước quá lớn như vậy. Vì vậy thường máy biến dòng được thiết kế sao cho với thời gian làm việc thực tế của bảo vệ t_{bv} , BI chưa kịp bão hoà, nghĩa là:

$$t_{bh} = \frac{1}{3} t_{\Phi m} \ln \left[1 - \frac{0,8n_1(1-1,5K_r)}{K-1} \frac{I_{dd}}{I_s} \right] > t_{bv} \quad (2-10)$$

trong đó: t_{bh} - thời gian từ lúc bắt đầu ngắn mạch đến thời điểm bắt đầu bão hoà của mạch từ (hình 2-8);

n_1 - hệ số quá dòng thực tế của BI.

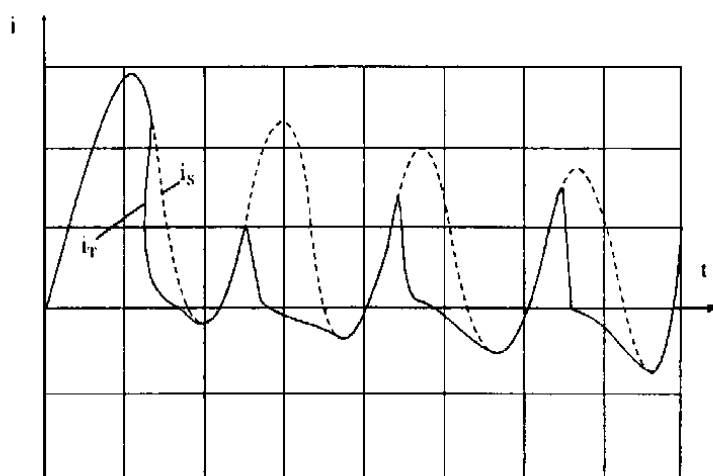
Từ các biểu thức (2-9), (2-10) có thể nhận thấy, loại máy biến dòng với lõi thép khép kín thông thường khó đảm bảo được điều kiện tránh bão hoà, đặc biệt trong các hệ thống có dòng ngắn mạch lớn và với các bảo vệ làm việc có thời gian dài (thường là các bảo vệ dự phòng). Khi xảy ra bão hoà, dòng điện thứ cấp của BI sẽ biến dạng so với dòng sơ cấp, sai số về biên độ góc pha của dòng thứ cấp có thể vượt quá giới hạn cho phép, có thể dẫn đến các bảo vệ làm việc mất chọn lọc. Khi bão hoà do dòng thứ cấp bị biến dạng sẽ xuất hiện các hài bậc cao làm ảnh hưởng đến sự làm việc đúng đắn của bảo vệ.

Trong các loại rơle số hiện đại, người ta áp dụng những giải pháp để bảo vệ có thể làm việc đúng khi xuất hiện các hài bậc cao trong dòng điện thứ cấp của BI do bão hoà. Ngoài ra người ta cũng chế tạo những biến dòng với mạch từ có khe hở không khí để sử dụng cho mục đích bảo vệ.

2.1.10. Máy biến dòng điện với mạch từ có khe hở không khí

Máy biến dòng điện với mạch từ có khe hở không khí trong mạch từ làm giảm điện cảm của mạch từ hoá L_μ do đó làm giảm hằng số thời gian T của BI, vì vậy cho phép giảm được hệ số tăng kích thước K (H.2.9), do đó tiết diện của lõi thép mạch từ sẽ được giảm nhỏ so với BI thông thường với mạch từ khép kín.

Hiện nay người ta chế tạo loại biến dòng có khe hở bé (thường có 2 khe hở nhỏ với tổng chiều rộng của khe khoảng 0,12 mm) và loại có khe hở lớn (nhiều khe với tổng chiều rộng khoảng 7,5 ÷ 10 mm). Máy biến dòng có khe hở để giảm từ thông dư Φ_r trong mạch từ của BI sau khi dòng điện sự cố đã bị cắt. Trong máy biến dòng thông thường với lõi từ khép kín, sau khi cắt dòng điện sơ cấp, từ thông dư có thể tồn tại “ hàng giờ ” thậm chí hàng ngày và tùy theo dấu của từ thông khi đóng lại dòng điện sơ cấp của BI mà mạch từ có thể xảy ra bão hoà hay không. Trong trường hợp từ thông ở nửa chu kỳ đầu sau khi đóng lại, dòng điện cùng dấu với từ thông dư thì mạch từ của BI có thể bị bão hoà ngay lập tức.



Hình 2.10. Sự biến dạng của dòng thứ cấp i_r của máy biến dòng đo bảo hoà.

Máy biến dòng có khe hở có thể giảm hệ số từ dư K_r xuống còn khoảng 0,1 (thay vì 0,8 với BI thông thường) và hằng số thời gian của BI xuống còn $0,1 \div 1$ s. Như vậy kích thước của BI sẽ giảm rất đáng kể.

Để cải thiện hơn nữa đặc tính làm việc của BI trong quá trình quá độ người ta còn chế tạo loại biến dòng với mạch từ có khe hở lớn. Máy biến dòng có khe hở lớn đôi khi còn được gọi là *máy biến dòng tuyến tính*.

Loại biến dòng tuyến tính này có tiết diện lõi thép bé hơn nhiều so với BI thông thường và có khe hở bé. Từ thông dư trong lõi thép BI tuyến tính có thể giảm xuống gần đến trị số không với hằng số thời gian bé hơn 60 ms. Không nên giảm hằng số thời gian xuống quá trị số này vì khi ấy sai số góc sẽ vượt quá 3° . Nhược điểm chính của loại biến dòng tuyến tính là việc truyền thành phần một chiều trong dòng điện sự cố không chính xác và thành phần một chiều trong dòng điện thứ cấp có thể còn được duy trì sau khi đã cắt dòng sơ cấp, nhược điểm này có thể ảnh hưởng đến đặc tính làm việc của một số loại bảo vệ. Vì vậy *không nên dùng loại BI tuyến tính cho các bảo vệ dự phòng chống sự cố máy cắt*.

Các máy biến dòng có khe hở nên dùng cho các sơ đồ bảo vệ các phần tử trong hệ thống điện có công suất lớn, vì nếu dùng BI thông thường khả năng mạch từ bị bão hoà sẽ rất cao làm cho các bảo vệ tác động có thời gian có thể hoạt động sai.

Máy biến dòng tuyến tính thường được sử dụng cho bảo vệ so lệch các phần tử có công suất lớn và cho một số sơ đồ bảo vệ so lệch thanh góp.

Các máy biến dòng đôi khi còn được phân loại theo khả năng đáp ứng đối với quá trình quá độ (Transient Performance : TP). Theo khả năng này BI được phân thành 3 loại:

TPX - bao gồm các biến dòng thông thường có mạch từ kín được thiết kế tăng cường hệ số quá độ ;

TPY - bao gồm các biến dòng có khe hở không khí bé;

TPZ - gồm các biến dòng có khe hở lớn hay còn gọi là biến dòng tuyến tính.

Một số thông số quan trọng của 3 loại BI: TPX, TPY, TPZ cho trong bảng 2.5.

Bảng 2.5. Một số thông số và đặc tính quan trọng của các máy biến dòng dùng cho mục đích bảo vệ loại TPX, TPY, TPZ

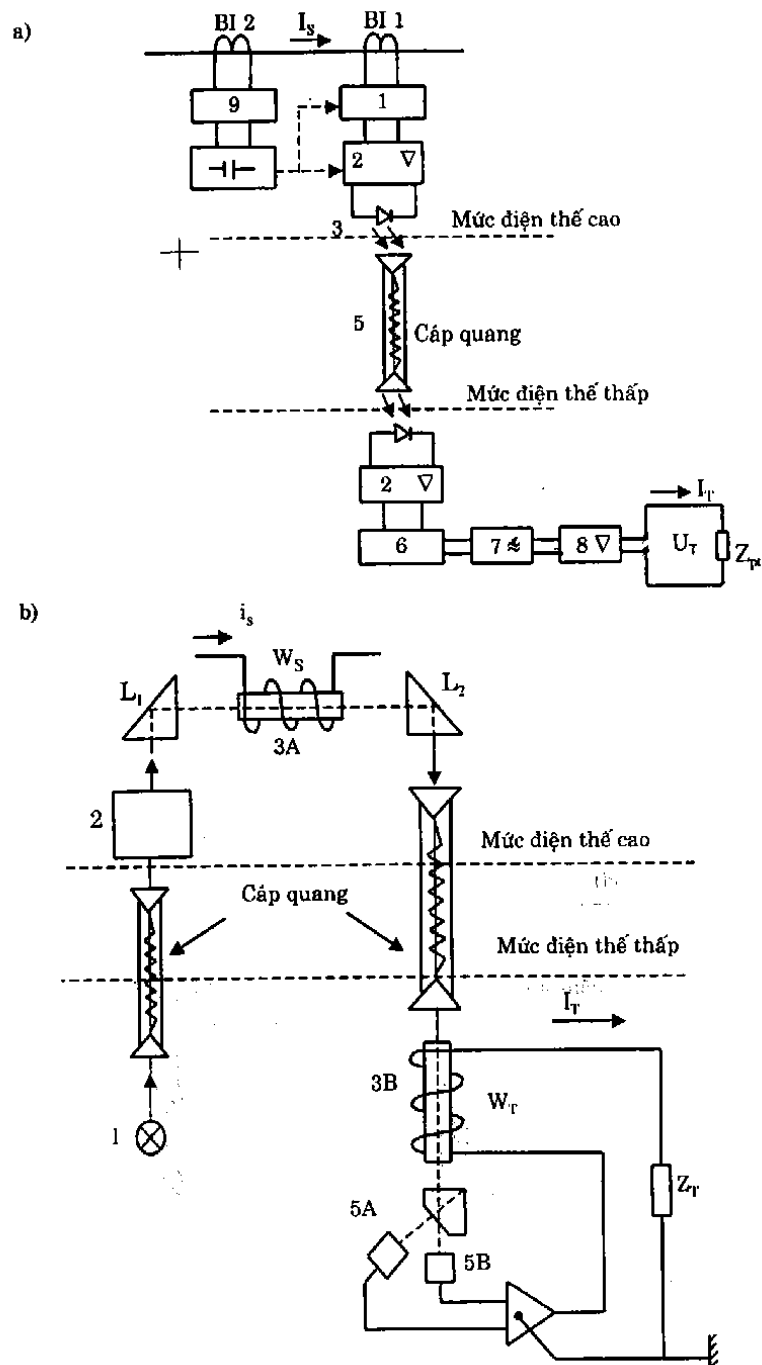
Thông số và đặc tính	Loại BI		
	TPX	TPY	TPZ
Sai số về biên độ f_i	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$
Sai số về góc pha θ_i	$\pm 60'$	$\pm 60'$	$180' \pm 20'$
Hệ số từ dư K_r	$\approx 0,8$	$\approx 0,1$	≈ 0
Hằng số thời gian T	vài giây	$0,1 \div 1s$	$60 \pm 6s$
Chuyển đổi thành phần một chiều	Chính xác	Tương đối chính xác	Kém

2.1.11. Máy biến dòng “kiểu mới”

Những máy biến dòng có nguyên lý hoạt động khác với nguyên lý đã trình bày trên đây được gọi là máy biến dòng “kiểu mới”. Những máy biến dòng kiểu mới này thường được chế tạo và áp dụng cho các lưới điện siêu cao áp nhằm giảm phần chi phí cho cách điện đối với các máy biến dòng thông thường đã trình bày trên đây. Cho đến nay, trong số những nguyên lý để chế tạo các BI kiểu mới này đáng chú ý đến hai nguyên lý sau đây: nguyên lý chuyển đổi điện quang và nguyên lý từ - quang Faraday.

Trên hình 2.11,a trình bày sơ đồ nguyên lý của máy biến dòng làm việc trên cơ sở chuyển đổi điện - quang. Dòng điện sơ cấp i_s được đo qua một BI thông thường (BI1) và đưa qua bộ điều biến (1) chuyển thành đại lượng điện áp tỷ lệ.

Điện áp này sau đó được biến thành các xung rời rạc có độ dài xung thay đổi (Pulse Width Modulation - PWM) hoặc các tín hiệu xung có tần số thay đổi (Pulse Frequency Modulation - PFM). Độ dài xung hoặc tần số xung của tín hiệu tổng tỷ lệ với trị số tức thời của dòng sơ cấp. Qua bộ khuếch đại (2), tín hiệu điều khiển điốt phát quang (3) để phát các tín hiệu quang tương ứng. Điốt phát quang (3) cùng với cáp quang (5) và điốt quang điện (4) hợp thành hệ thống



Hình 2.11. Nguyên lý các máy biến dòng " kiểu mới ".

a) Nguyên lý của máy biến dòng điện - quang; b) Nguyên lý của máy biến dòng từ - quang Faraday.

ghép nối quang điện để truyền tín hiệu quang từ các phần tử mang điện thế cao đến các phần tử mang điện thế thấp. Tín hiệu quang thường có chiều dài bước sóng khoảng 900 nm được truyền qua cáp quang đến điốt quang điện (4) để chuyển lại thành tín hiệu áp hình sin. Quá trình chuyển đổi tín hiệu tạo nên nhiều tần số cao, vì vậy từ bộ biến đổi (6) các xung áp được đưa qua bộ lọc tần số thấp (7) để có thể tạo nên các tín hiệu áp có dạng sin và biên độ tỷ lệ với dòng điện sơ cấp, các tín hiệu này sau khi qua khuếch đại (8) có đủ công suất để cung cấp cho các thiết bị đo lường và bảo vệ. Bộ biến dòng điện BI (2) cùng với thiết bị phụ (9) để nạp điện cho ắc quy làm nguồn nuôi cho hệ thống biến dòng điện quang.

Trên hình 2.11,b trình bày sơ đồ nguyên lý của máy biến dòng làm việc trên cơ sở chuyển đổi từ - quang Faraday. Một chùm ánh sáng phát ra từ nguồn sáng (1) được cáp quang dẫn đến bộ phân cực (2), ở đầu ra của bộ phân cực chùm ánh sáng đã được phân cực được đưa qua lăng kính để dẫn tới tinh thể quartz (3A), tại đó dưới tác dụng của từ trường do dòng điện sơ cấp I_s tạo ra, chùm ánh sáng sẽ bị phân cực quay, góc quay được xác định:

$$\delta = V.H.L, \quad (2.11)$$

trong đó: V - hằng số Verdet, với tinh thể quartz $V = 5,23.10^{-6}$ rad/Am;

H - cường độ từ trường trong tinh thể quartz, A;

L - chiều dài của thanh tinh thể, m.

Chùm ánh sáng sau đó lại được đưa qua tinh thể quartz (3B) ở mức điện thế thấp, từ trường trong tinh thể quartz 3B này được tạo nên bởi dòng điện thứ cấp I_T , hướng của từ trường được chọn sao cho bù lại được góc quay phân cực để cho $I_s W_s = I_T W_T$ trong đó W_s và W_T là số vòng của các cuộn dây bao quanh tinh thể quartz 3A và 3B. Kết quả là góc quay δ_1 trong quartz 3A được bù lại bằng góc quay $\delta_2 = -\delta_1$ trong quartz 3B. Mức ánh sáng nhận được bởi các bộ phận quang cảm biến (5A) và (5B) giống nhau nên hiệu tín hiệu vào của bộ khuếch đại vi sai bằng không. Khi mặt phẳng phân cực bị quay, mức ánh sáng nhận được của các bộ cảm biến (5A) và (5B) sẽ khác nhau làm xuất hiện tín hiệu đầu vào của bộ khuếch đại vi sai làm xuất hiện dòng điện I_T ở đầu ra, dòng điện này phản ánh đúng dòng sơ cấp I_s .

Dòng điện thứ cấp chỉ xuất hiện khi các bộ quang cảm biến cho tín hiệu vi sai, nghĩa là chỉ khi $I_s W_s \neq I_T W_T$.

Ưu điểm của nguyên lý biến dòng này là không cần nguồn cung cấp ở phía siêu cao thế. Nhược điểm là loại biến dòng này nhạy cảm với các chấn động cơ và đòi hỏi công nghệ chế tạo với độ chính xác rất cao.

2.2. MÁY BIẾN ĐIỆN ÁP (BU)

2.2.1. Giới thiệu chung

Máy biến điện áp làm nhiệm vụ giảm điện áp cao phía sơ cấp xuống điện áp thứ cấp tiêu chuẩn 100 hoặc 110 V và cách ly mạch thứ cấp khỏi điện áp cao phía sơ cấp. Máy biến điện áp làm việc giống như các máy biến áp lực có công suất bé, chỉ khác ở chỗ là được thiết kế sao cho đảm bảo được độ chính xác cần thiết khi phụ tải phía thứ cấp của BU có thể thay đổi trong giới hạn rộng. Dòng điện kích từ trong BU tính ở đơn vị tương đối danh định có thể lớn hơn nhiều dòng điện kích từ trong máy biến áp thông thường.

Phụ tải của BU cũng như phụ tải của biến áp thông thường được mắc song song nhau, tổng trở của dây nối nếu quá lớn sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác của BU. Đầu các cuộn dây của máy biến điện áp cũng được đánh dấu tương tự như đã xét đối với máy biến dòng, đầu đúng đầu cuộn dây với các dụng cụ đo và thiết bị bảo vệ có ý nghĩa quan trọng khi cần xét đến góc lệch pha của các đại lượng điện.

2.2.2. Sai số của máy biến điện áp

Sai số về trị số điện áp được tính theo công thức sau:

$$f_U = \frac{n_U U_T - U_S}{U_S} \times 100\% \quad (2-12)$$

trong đó: n_U - hệ số biến đổi danh định của BU, $n_U = U_{sdd}/U_{tdđ}$ với U_S và U_T tương ứng là trị số của điện áp đo được trên cực của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp BU.

Nếu $f_U > 0$, điện áp trên cuộn thứ cấp cao hơn điện áp danh định. Đôi khi người ta dùng biện pháp thay đổi số vòng dây để điều chỉnh sai số của BU sao cho đạt được sai số dương ở phụ tải thấp và âm ở phụ tải cao.

Sai số góc θ_U là góc lệch pha giữa điện áp sơ cấp và điện áp thứ cấp. $\theta_U > 0$ nếu vectơ U_T được đảo chiều vượt trước vectơ U_S .

Máy biến điện áp được phân loại theo cấp chính xác, BU dùng cho đo lường cho trong bảng 2.6; BU dùng cho bảo vệ cho trong bảng 2.7.

Bảng 2.6. Giới hạn sai số của máy biến điện áp đo lường

Cấp chính xác	f_U (%)	θ_U (phút)
0,1	$\pm 0,1$	± 5
0,2	$\pm 0,2$	± 10
0,5	$\pm 0,5$	± 20
1,0	$\pm 1,0$	± 40
3,0	$\pm 3,0$	Không qui định

Ghi chú: Điện áp thay đổi trong giới hạn $0,8 + 1,2 U_{dd}$; phụ tải thay đổi trong giới hạn $0,25 + 1 S_{pldd}$ với $\cos\varphi = 0,8$.

Bảng 2.7. Giới hạn sai số của máy biến điện áp dùng cho bảo vệ

Cấp chính xác	f_U (%)	θ_U (phút)
3P	± 3	± 120
6P	± 6	± 240

Ghi chú: Điện áp thay đổi trong giới hạn $0,05 U_{mcp} + 1 U_{mcp}$ (quá áp lớn nhất cho phép); phụ tải thay đổi trong giới hạn $0,25 + 1 S_{pldd}$ với $\cos\varphi = 0,8$.

Quá điện áp lớn nhất cho phép U_{mcp} đối với BU lấy bằng $1,5 U_{dd}$ trong mạng có trung điểm nối đất trực tiếp hoặc nối qua điện trở bé, và bằng $1,9 U_{dd}$ trong các mạng còn lại.

2.2.3. Bảo vệ cho máy biến điện áp

Phía sơ cấp của máy biến điện áp có $U_{scp} \leq 66$ kV thường được bảo vệ bằng cầu chảy. Ở cấp điện áp cao cầu chảy không đảm bảo được dung lượng cắt ngắn mạch, vì vậy BU được nối trực tiếp vào điện áp sơ cấp. Phía thứ cấp của BU thường được bảo vệ bằng cầu chảy hoặc ô tô mát đặt sát phía đầu ra của BU. Khi ngắn mạch ở phía phụ tải thứ cấp, dòng ngắn mạch có thể vượt gấp nhiều lần dòng thứ cấp danh định và nếu ở mạch thứ cấp của BU không đặt thiết bị bảo vệ BU có thể bị hỏng. Ngay cả trong trường hợp phía sơ cấp có đặt cầu chảy bảo vệ thì cũng không thể cắt BU ra khỏi lưới, vì khi ngắn mạch có thể dòng điện phía sơ cấp không đủ làm nổ cầu chảy.

2.2.4. Các loại máy biến điện áp

Trong hệ thống điện hiện nay có thể gặp 3 loại máy biến áp: loại cảm ứng điện từ, loại tụ điện phân áp và các BU kiểu mới.

a) Máy biến điện áp kiểu cảm ứng điện từ

BU có thể được chế tạo 3 pha (thường cho cấp điện áp $U \leq 35$ kV) hoặc 1 pha (cho $U \geq 66$ kV), với 1 hoặc 2 cuộn dây thứ cấp. Tùy theo điện áp cần thiết ở phía thứ cấp ta có thể sử dụng các loại BU khác nhau, đấu nối theo những sơ đồ khác nhau (hình 2.12).

Sơ đồ hình 2.12, a sử dụng 3 BU 1 pha, 2 cuộn dây đầu Y/Y_0 , ở phía thứ cấp lấy được U_{pha} và $U_{dây}$.

Sơ đồ hình 2.12, b sử dụng 2 BU 1 pha, mỗi BU được nối vào điện áp dây theo hình V, phía thứ cấp nối đất ở pha giữa và có thể lấy được $U_{dây}$.

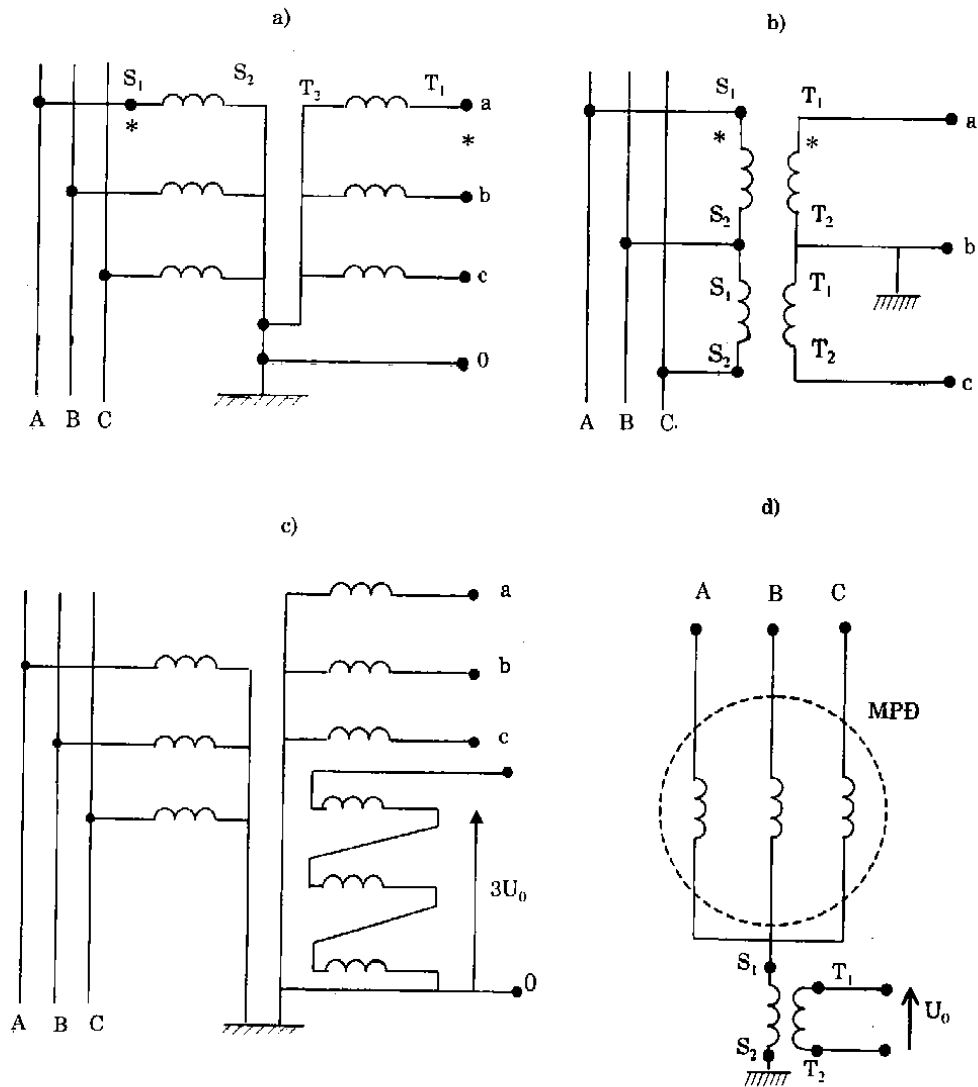
Sơ đồ hình 2.12, c sử dụng 3 BU 1 pha hoặc 1 BU 3 pha với lõi từ có 5 trụ (2 trụ ngoài cùng không quấn dây), 3 cuộn đầu $Y_0 Y/\Delta$, ở phía thứ cấp có thể lấy được U_{pha} , $U_{dây}$ và U_0 (ở đầu cuộn dây nối tam giác hở Δ). Lõi từ với 5 trụ để đảm bảo đường khép kín cho từ thông thứ tự không $3\Phi_0$ qua các trụ không được quấn dây. Phía cuộn sơ cấp BU trung điểm phải được nối đất tạo đường đi cho dòng điện thứ tự không I_0 để tạo nên từ thông Φ_0 khi có chạm đất. Khi phía sơ cấp không nối đất, phía thứ cấp ở đầu cuộn tam giác hở sẽ nhận được điện áp tỷ lệ với hài bậc 3.

Sơ đồ ở hình 2.12, d thường được sử dụng để phát hiện chạm đất trong mạng có dòng chạm đất bé, sơ đồ sử dụng một BU, cuộn sơ cấp đấu vào giữa trung điểm của máy phát điện hoặc máy biến áp, ở phía thứ cấp có thể lấy được U_0 khi có chạm đất ở phía sơ cấp.

Công suất danh định phía thứ cấp của BU thường bằng 25, 30, 50, 75, 100 và 200 VA.

Quá trình quá độ trong máy biến điện áp kiểu cảm ứng điện từ thông thường không có ảnh hưởng gì lớn đến sự làm việc của thiết bị bảo vệ.

Thành phần một chiều của điện áp quá độ cũng được phản ánh dễ dàng sang phía thứ cấp, hài bậc cao cũng vậy. Trong một số trường hợp có thể xảy ra cộng hưởng nếu tần số của hài bậc cao trùng với tần số cộng hưởng của máy biến điện áp. Khả năng cộng hưởng sẽ được giảm thấp nếu phụ tải phía thứ cấp là điện trở tác dụng hoặc tổn thất công suất ở phía thứ cấp khá lớn.



Hình 2.12. Các loại sơ đồ đấu nối máy biến điện áp.

b). Máy biến điện áp ghép tầng (Cascade VT)

Khi điện áp của lưới điện lớn hơn 110 kV, cách điện cho cuộn sơ cấp của máy biến điện áp loại cảm ứng điện từ với lõi thép sẽ gặp khó khăn. Để giải quyết vấn đề này người ta chia cuộn dây sơ cấp của BU ra nhiều tầng với nhiều lõi thép. Trên mỗi lõi thép cuộn sơ cấp được chia thành hai phần quấn trên hai

trụ đối diện nhau sao cho từ thông chúng tạo nên được cộng với nhau trong mạch từ. Cuộn thứ cấp được quấn trên lõi thép cuối cùng (phía nối đất của BU). Cuộn liên kết (LK) làm nhiệm vụ liên hệ giữa từng cặp lõi từ, đảm bảo mạch liên hệ có tổng trở thấp giữa các tầng và đảm bảo phân phối đều điện áp trên các phân cuộn dây sơ cấp. Cách điện của các cuộn dây trên từng lõi thép được tính toán để chịu được phần điện áp sơ cấp đặt trên cuộn dây đó. Số tầng càng nhiều, điện áp này càng thấp (H.2.13).

c) Máy biến điện áp kiểu tụ phân áp

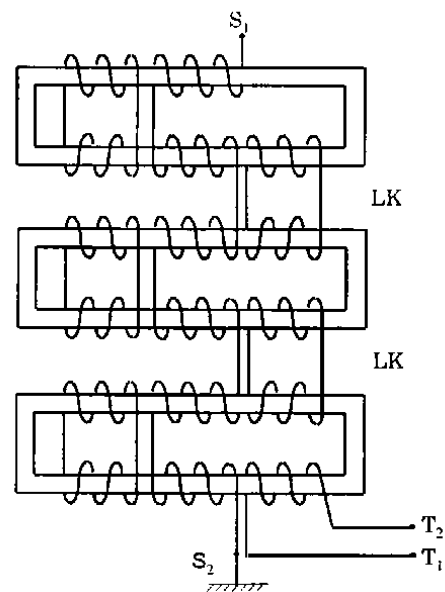
Kích thước của máy biến điện áp kiểu điện tử tỷ lệ với điện áp sơ cấp của BU. Chi phí để chế tạo BU loại này tăng nhanh theo trị số của điện áp danh định. Về mặt này, máy biến điện áp kiểu tụ phân áp có tính kinh tế tốt hơn.

Phân áp kiểu tụ cũng giống như phân áp kiểu điện tử, điện áp lấy ra ở một vị trí phân áp nào đó phụ thuộc vào vị trí phân áp và tổng trở của phụ tải (H.2.14, a) .

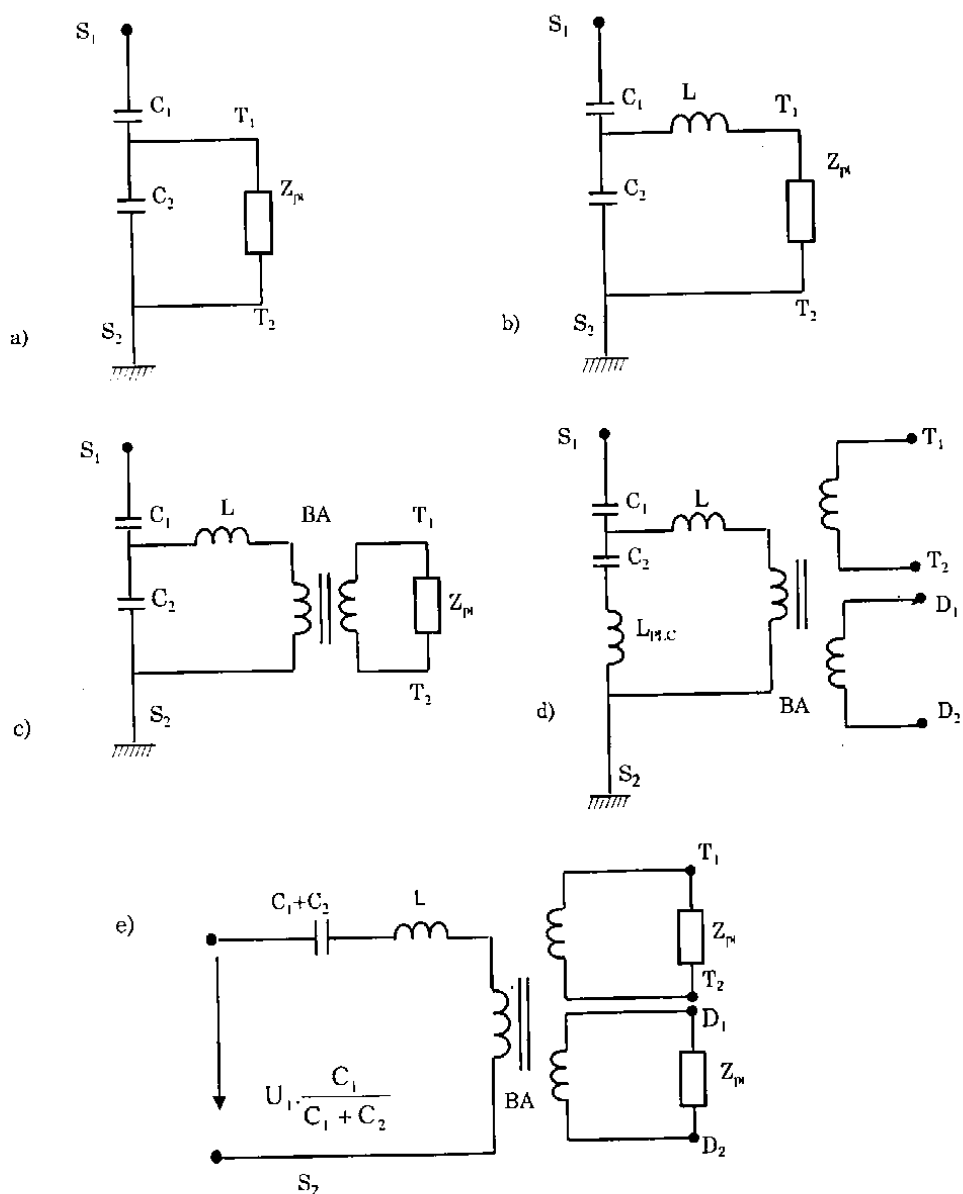
Trong bộ phân áp kiểu tụ, tổng trở của nguồn mang tính dung kháng vì vậy có thể được bù bằng

một cảm kháng (H.2.14,b) đấu nối tiếp vào mạch phân áp. Nếu tụ điện và cuộn điện kháng không chứa thành phần điện trở tác dụng thì về nguyên lý có thể bù hoàn toàn tổng trở nguồn và lấy ra công suất tùy ý ở phía thứ cấp.

Thực tế các cuộn kháng đều chứa thành phần điện trở tác dụng nên công suất đầu ra của bộ phân áp bị hạn chế. Nếu muốn lấy trực tiếp điện áp thứ cấp bằng điện áp thứ cấp danh định của BU, chẳng hạn bằng 100 V, thì để đạt được công suất phụ tải danh định, trị số của tụ phân áp phải rất lớn. Để giảm dung lượng của tụ phân áp và đảm bảo được công suất đầu ra của BU, người ta sử dụng sơ đồ có máy biến điện áp điện tử trung gian (H.2.14,c). Máy biến áp trung gian này có cuộn sơ cấp được đấu vào mức điện áp cao hơn ở bộ phân áp, nhờ vậy mà có thể lấy ra công suất cần thiết ở phía thứ cấp với dung lượng đòi hỏi tụ phân áp thấp hơn và mức cách điện ở cuộn sơ cấp không cao lắm.



Hình 2.13. Máy biến điện áp ghép tầng.



Hình 2.14. Máy biến điện áp kiểu tụ phân áp.

Trên hình 2.14,d trình bày sơ đồ nguyên lý của của máy biến điện áp kiểu tụ phân áp kết hợp trong thiết bị tải ba (PLC) dùng cho mục đích truyền tín trong hệ thống điện. Điện kháng L_{PLC} là một phần của thiết bị PLC. Trong BU

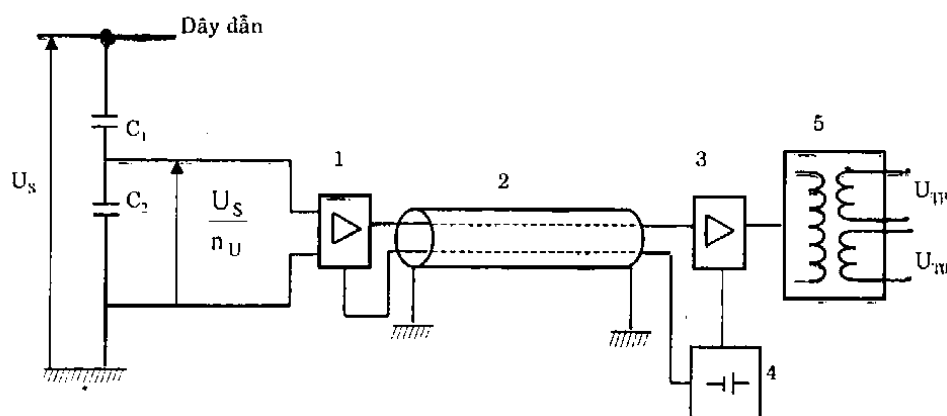
loại này phía thứ cấp thường có hai cuộn dây, một cuộn để cung cấp điện áp thứ cấp danh định cho thiết bị đo lường và bảo vệ (đầu T_1, T_2) và một cuộn làm nhiệm vụ cản dộ (Damping - đầu D_1, D_2) để chống cộng hưởng sắt từ và ảnh hưởng của quá trình quá độ. Mạch đẳng trị của BU loại này (H.2.14,e) cho thấy tụ phân áp cùng với điện cảm L_1 và điện cảm của máy biến áp điện từ có thể tạo nên mạch vòng cộng hưởng sắt từ. Hiện tượng cộng hưởng có thể xảy ra chẳng hạn khi mạch thứ cấp của BU bị nổ cầu chì. Khi xảy ra cộng hưởng, điện áp thứ cấp sẽ bị biến dạng vì xuất hiện các sóng hài bậc thấp. Để ngăn ngừa cộng hưởng người ta có thể nối một điện trở tác dụng vào cuộn cản dộ. Điện trở này được tính toán sao cho công suất tiêu thụ tổng ở mạch thứ cấp không vượt quá công suất danh định của BU.

Các hài bậc cao có thể lọc được dễ dàng, còn các hài bậc thấp với tần số từ $10 \div 25\text{Hz}$ thì rất khó lọc hết, cho dù có sử dụng những bộ lọc đặc biệt.

2.2.5. Máy biến điện áp kiểu mới

a) Phân áp kiểu tụ có dùng khuếch đại

Có thể tránh hiện tượng cộng hưởng từ trong máy biến áp điện từ bằng cách không sử dụng biến áp điện từ sau khi phân áp mà cho qua một bộ khuếch đại (H.2.15) để khuếch đại điện áp và công suất nhận được từ bộ tụ phân áp. Bộ tụ phân áp với các phần tử đồng nhất có góc lệch pha giống nhau sẽ chuyển đổi trung thành tín hiệu điện áp từ phía sơ cấp sang phía thứ cấp. Kết cấu của máy biến điện áp loại này khá đơn giản và sự làm việc của BU trong quá trình quá độ tương đối tốt. Tuy nhiên công suất danh định ở đầu ra phía thứ cấp thấp hơn



Hình 2.15. Máy biến điện áp kiểu tụ phân áp có dùng khuếch đại.

loại BU điện tử thông thường, vì thế BU kiểu tụ phân áp có dùng khuếch đại được sử dụng chủ yếu cho các hệ thống bảo vệ với role số hoặc role tĩnh vì chúng có công suất tiêu thụ bé hơn (role điện cơ thường tiêu thụ khoảng $5 \div 10$ VA, role tĩnh khoảng trên dưới 1 VA, role số khoảng 0,1 VA).

Trong sơ đồ nguyên lý trên hình 2.15, điện áp sơ cấp U_s được bộ tụ phân áp giảm thấp đến trị số U_s/n_U (n_U là tỷ số phân áp) và đặt vào đầu vào của bộ tiền khuếch đại 1. Điện áp đầu ra U_A của bộ tiền khuếch đại được dẫn theo cáp đồng trục 2 đến bộ khuếch đại công suất 3. Điện áp đầu ra của bộ khuếch đại công suất 3 được đặt vào cuộn sơ cấp của máy biến áp cách ly 5. Máy biến áp cách ly thường là loại biến áp điện tử với hai cuộn thứ cấp để có thể nhận được U_T và U_{T0} (tương ứng bằng $100/\sqrt{3}$ và $100/3$ V).

Công suất danh định đầu ra của BU loại này thường bằng vài chục VA, các hài bậc thấp và cao hơn tần số công nghiệp (từ vài Hz đến vài trăm kHz) ở phía sơ cấp có thể phản ánh dễ dàng sang phía thứ cấp. Khi ngắn mạch gần chỗ đặt BU, điện áp thứ cấp trong vòng khoảng 1 ms có thể giảm xuống còn khoảng 1% trị số danh định, đặc tính này thích hợp với các loại bảo vệ tác động nhanh.

BU kiểu tụ phân áp có dùng khuếch đại đã được chế tạo và lắp đặt vận hành nhiều năm trong lưới điện cao áp.

b) Máy biến điện áp làm việc theo hiệu ứng POCKELS

Khi cho hai sóng ánh sáng chạy qua một tinh thể khúc xạ kép đặt dưới tác dụng của điện trường E, ta có thể đo được góc lệch pha δ giữa hai sóng này theo hiệu ứng điện quang tuyến tính POCKELS:

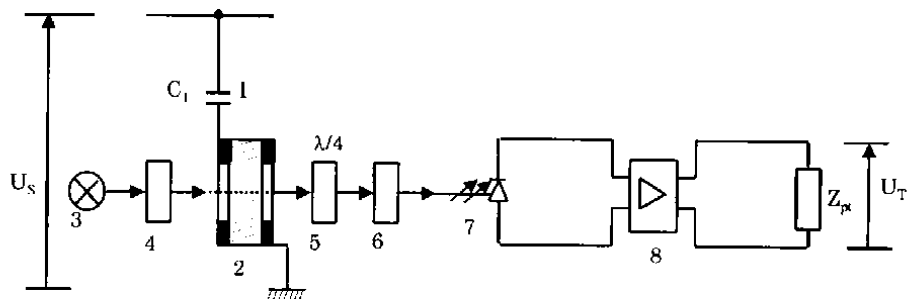
$$\delta = K_{dq} \cdot E \cdot L, \quad (2-12)$$

trong đó: K_{dq} - hệ số điện quang, đối với tinh thể quartz $K_{dq} = 8,12 \cdot 10^{-6}$ rad/V.m;

E - cường độ điện trường trong tinh thể, V;

L - chiều dài đường đi của ánh sáng trong tinh thể, m.

Trên hình 2.16 trình bày sơ đồ nguyên lý của máy biến điện áp dựa trên hiệu ứng POCKELS. Bộ phân áp bao gồm tụ C_1 và phần tử POCKELS với điện dung C_2 được đấu vào điện áp cần đo. Điện áp đặt lên phần tử POCKELS tạo nên trong tinh thể một điện trường E tỷ lệ với điện áp cần đo.



Hình 2.16. Máy biến điện áp kiểu mới dựa trên hiệu ứng POCKELS.

Chùm ánh sáng từ nguồn 3 được đưa qua bộ phân cực 4 để phân thành hai sóng quang lệch pha nhau $\pi/2$. Hai sóng quang này được chiếu qua phần tử POCKELS 2, dưới tác động của điện trường E_2 sóng sẽ có tốc độ lan truyền khác nhau làm tăng góc lệch pha δ như đã nói ở trên. Các sóng quang sau đó được đưa qua bản cực 5 có bề dày bằng $1/4$ bước sóng ($\lambda/4$) để tiếp tục làm lệch pha thêm trước khi đưa đến bộ phận phân tích 6.

Độ sáng ở đầu ra của bộ phân tích tỷ lệ với góc lệch pha δ và vì vậy nó cũng tỷ lệ với điện áp được đo. Điốt quang 7 làm nhiệm vụ biến đổi cường độ ánh sáng nhận được thành tín hiệu điện áp. Tín hiệu điện áp này qua bộ khuếch đại 8 trở thành điện áp thứ cấp U_T .

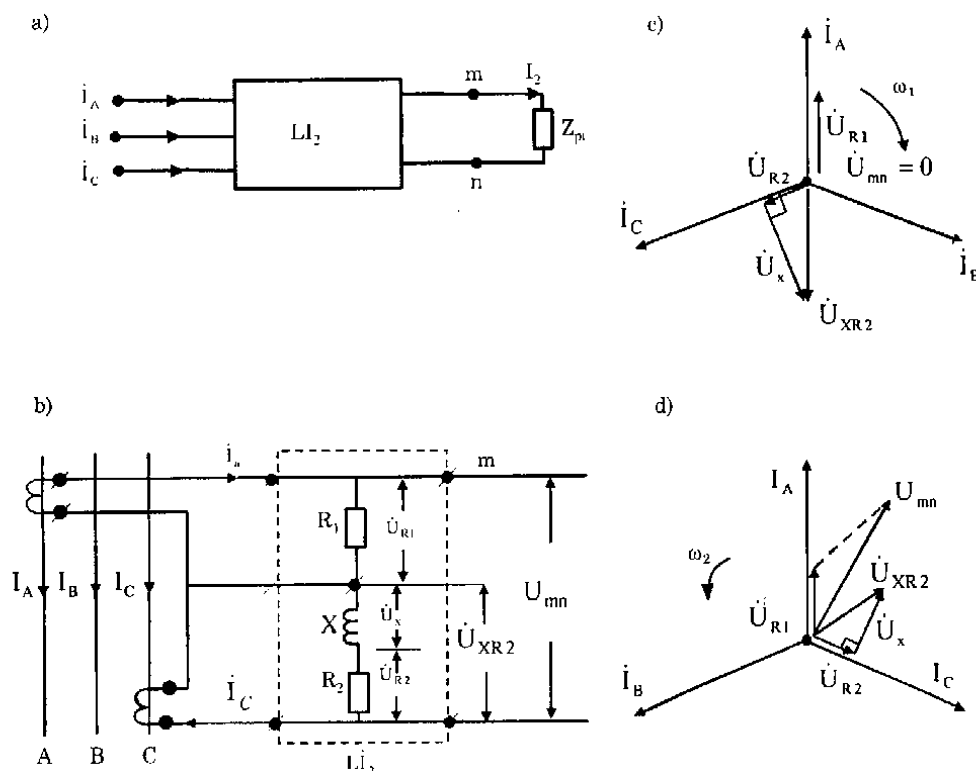
Loại máy biến điện áp sử dụng hiệu ứng POCKELS này chưa được sản xuất hàng loạt và ứng dụng thực tế trong hệ thống điện vì cấu trúc tương đối phức tạp.

2.3. CÁC BỘ LỌC THÀNH PHẦN ĐỐI XỨNG

Ở các chế độ sự cố và làm việc không bình thường không đối xứng trong các đại lượng điện như công suất, dòng điện, điện áp, ngoài thành phần thứ tự thuận có thể xuất hiện các thành phần đối xứng thứ tự nghịch và thứ tự không. Các bảo vệ phản ứng theo các thành phần chỉ xuất hiện trong chế độ sự cố và làm việc không bình thường này thường có độ nhạy và độ chọn lọc cao hơn những bảo vệ phản ứng theo đại lượng toàn phần hoặc theo thành phần thứ tự thuận. Các bảo vệ làm việc theo thành phần đối xứng được nối với hệ thống 3 pha thông qua các bộ lọc thành phần đối xứng.

2.3.1. Bộ lọc dòng điện thứ tự nghịch (LI_2)

Bảo vệ quá dòng thứ tự nghịch thường được sử dụng để bảo vệ các máy phát điện đồng bộ có trung điểm không nối đất.



Hình 2.17. Bộ lọc dòng điện thứ tự nghịch LI_2

a, Sơ đồ cấu trúc; b) Mạch điện; c) Đồ thị véc tơ đối với thành phần thứ tự thuận; d) Đồ thị véc tơ đối với thành phần thứ tự nghịch.

Trên hình 2.17 trình bày sơ đồ nguyên lý của bộ lọc dòng điện thứ tự nghịch (LI_2) đầu vào phía thứ cấp của hai máy biến dòng điện đặt trên hai pha A và C của hệ thống 3 pha. Sơ đồ gồm hai điện trở tác dụng R_1 , R_2 và cảm kháng X . Dòng điện thứ cấp của BI pha A là I_{TA} chạy qua R_1 , dòng điện thứ cấp của BI pha C là I_{TC} chạy qua R_2 và X mắc nối tiếp nhau. Các dòng điện này gây

nên các thành phần điện áp giáng tương ứng là U_{R1} , U_{R2} và U_X . Ở đầu ra của bộ lọc LU_2 ta có (H.2.17,b):

$$\dot{U}_{mn} = \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{XR2}, \quad (2-13)$$

trong đó $\dot{U}_{XR2} = \dot{U}_{R2} + \dot{U}_X$

Trị số của các điện trở R_1 , R_2 và cảm kháng X được chọn sao cho trong chế độ đối xứng ta có $|U_{R1}| = |U_{XR2}|$ và $|U_{mn}| = 0$ (hình 2.17,c). Khi xuất hiện thành phần dòng điện thứ tự nghịch, điện áp ở đầu ra của bộ lọc U_{mn} có trị số lớn (H. 2.17,d).

2.3.2. Bộ lọc điện áp thứ tự nghịch (LU_2)

Bảo vệ quá dòng điện có khoá điện áp thấp ở một số chế độ sự cố, đặc biệt khi ngắn mạch không đối xứng, xa nơi đặt bảo vệ có thể không đủ độ nhạy về điện áp. Để tăng độ nhạy của phần khoá điện áp, thay vì việc sử dụng role điện áp cực tiểu nối trực tiếp vào điện áp phía thứ cấp của BU, có thể sử dụng role điện áp cực đại nối ở đầu ra của bộ lọc điện áp thứ tự nghịch LU_2 .

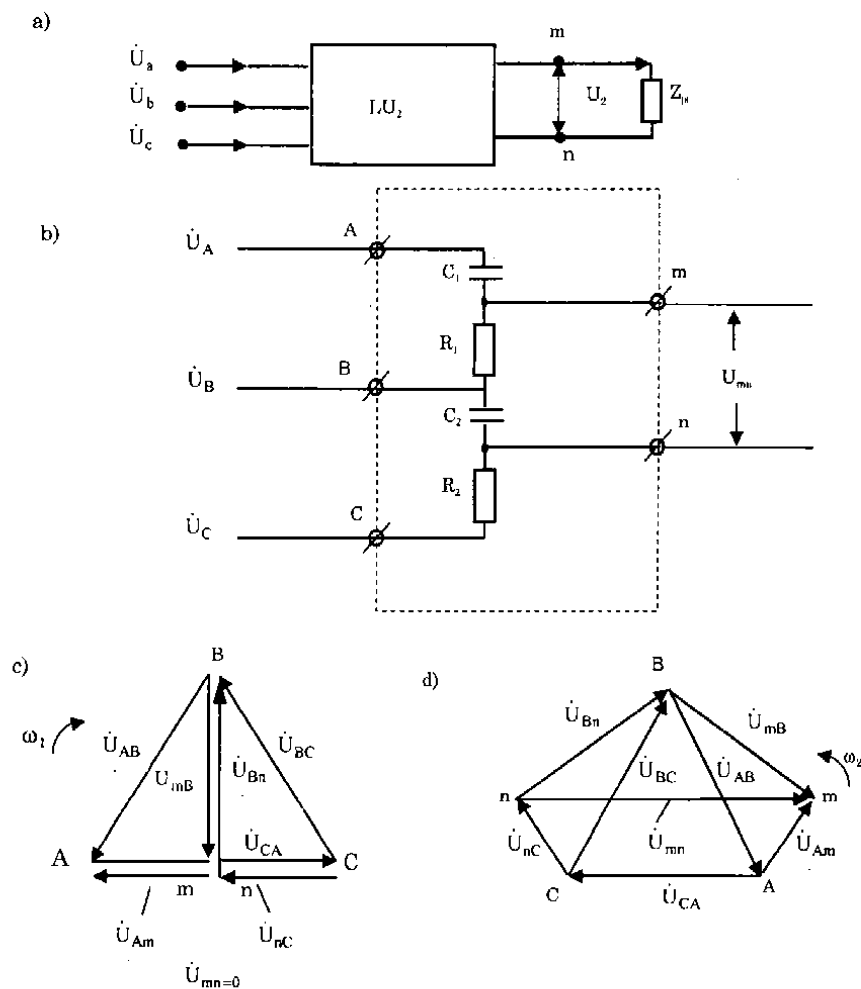
Trên hình 2.18,b trình bày sơ đồ nguyên lý của bộ lọc điện áp thứ tự nghịch sử dụng các điện trở tác dụng R_1 , R_2 và tụ C_1 , C_2 đấu vào hệ thống điện áp dây ở phía thứ cấp của máy biến điện áp. Thông số của tụ điện và điện trở được chọn theo quan hệ sau:

$$\left. \begin{aligned} \omega C_1 &= \frac{\sqrt{3}}{R_1} \\ \omega C_2 &= \frac{1}{\sqrt{3}R_2} \end{aligned} \right\} \quad (2-14)$$

Điện áp ở đầu ra của bộ lọc $U_{mn} = 0$ đối với chế độ điện áp đối xứng bình thường (chỉ có thành phần điện áp thứ tự thuận U_1 , hình 2.18,c). Đối với hệ thống điện áp 3 pha thứ tự nghịch U_2 (hình 2.18,d) điện áp đầu ra của LU_2 bằng:

$$U_{mn} = \sqrt{3}U_T, \quad (2-15)$$

trong đó U_T là điện áp dây phía thứ cấp của BU.

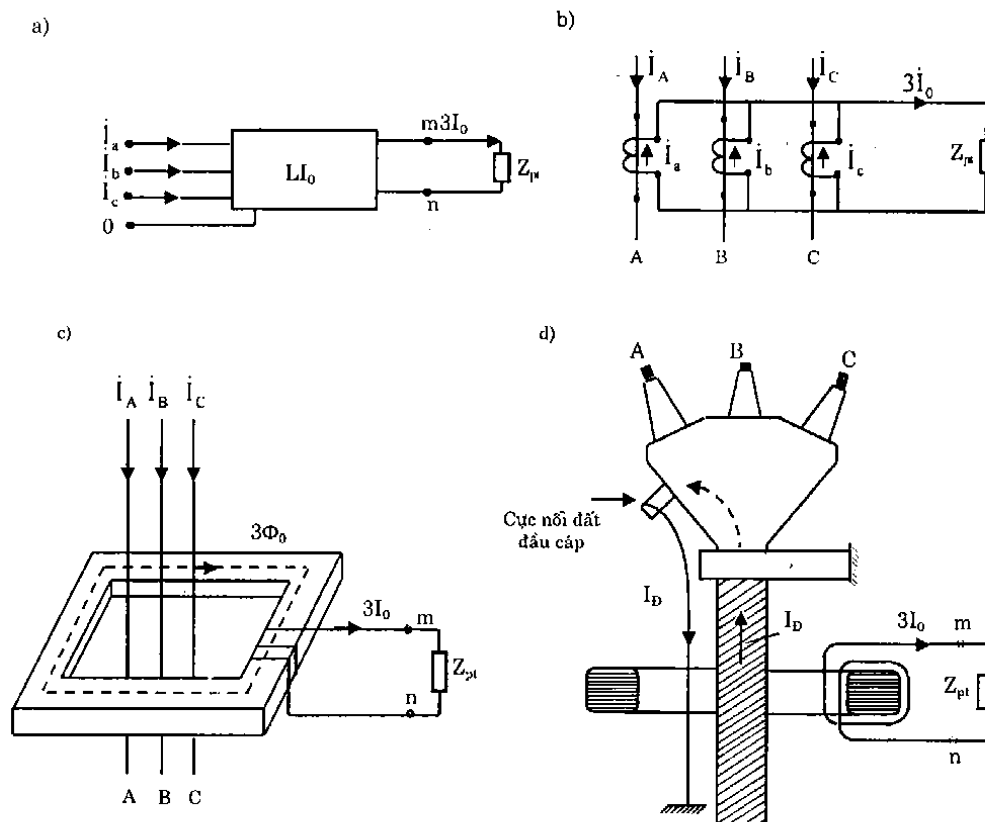


Hình 2.18. Bộ lọc điện áp thứ tự nghịch LU_2

a) Sơ đồ cấu trúc; b) Mạch điện; c) Đồ thị vectơ đối với thành phần thứ tự thuận; d) Đồ thị vectơ đối với thành phần thứ tự nghịch.

2.3.3. Bộ lọc dòng điện thứ tự không (LI_0)

Để lọc dòng điện thứ tự không, người ta có thể cộng trực tiếp dòng điện thứ cấp của ba pha (sơ đồ dùng ba máy biến dòng điện hình 2.19,b) hoặc cộng từ thông của ba pha dòng điện xoay chiều (sơ đồ dùng máy biến dòng thứ tự không hình 2.19,c và 2.19,d).



Hình 2.19. Bộ lọc dòng thứ tự không Ll_0 .

- a) Sơ đồ cấu trúc; b) Bộ lọc dùng 3 máy biến dòng (còn gọi là mạch HOLMGREN); c) Bộ lọc một máy biến dòng dùng cho đường dây trên không; d) Bộ lọc một máy biến dòng dùng cho đường dây cáp.

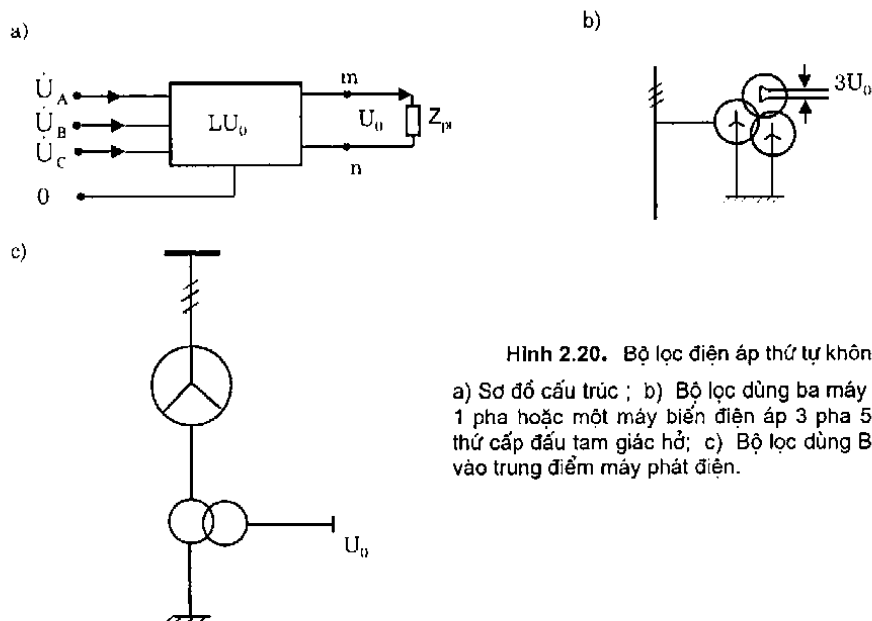
Sơ đồ lọc dòng điện thứ tự không dùng ba máy biến dòng điện thường được dùng trong lưới điện có dòng chạm đất lớn. Các BI có thể sử dụng kết hợp cho nhiều mục đích đo lường và bảo vệ khác nhau. Nhược điểm của sơ đồ này là dòng không cân bằng ở đầu ra của bộ lọc trong chế độ làm việc bình thường khá lớn do đặc tính của các BI sử dụng làm bộ lọc có thể khác nhau.

Vì thế để dùng vào mục đích bảo vệ chống chạm đất trong lưới điện có dòng chạm đất bé (lưới có trung điểm không nối đất trực tiếp hoặc nối đất qua điện kháng hoặc điện trở lớn), người ta dùng các biến dòng thứ tự không làm việc theo nguyên lý cộng từ thông của 3 pha dòng điện sơ cấp (H.3.19,c). Đối với lưới cáp, loại máy biến dòng thứ tự không này được lắp đặt rất tiện lợi (H.3.19,d).

Khi lắp đặt biến dòng thứ tự không ở đầu cáp, cần chú ý là dây nối đất vỏ cáp phải cho xuyên qua bên trong vòng xuyên của mạch từ để khử thành phần từ thông do dòng điện phân bố trong đất có thể chạy qua vỏ cáp và dây nối đất gây nên.

2.3.4 . Bộ lọc điện áp thứ tự không (LU_0)

Để lọc điện áp thứ tự không U_0 , thường người ta dùng ba máy biến điện áp 1 pha hoặc một máy biến điện áp 3 pha 5 trụ với các cuộn thứ cấp được đấu thành hình tam giác hở (H.2.12,c và H.2.20,b). Đôi khi người ta dùng một máy biến điện áp một pha có cuộn sơ cấp nối vào trung điểm của cuộn dây biến áp lực hoặc máy phát điện trong hệ thống có trung điểm không nối đất trực tiếp (H.2.12,d và H.2.20,c).



Hình 2.20. Bộ lọc điện áp thứ tự không LU_0 .

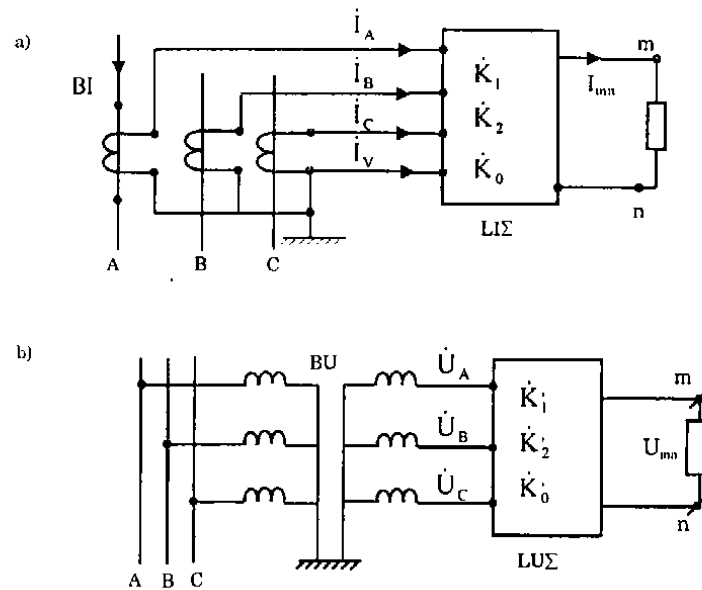
a) Sơ đồ cấu trúc ; b) Bộ lọc dùng ba máy biến điện áp 1 pha hoặc một máy biến điện áp 3 pha 5 trụ có cuộn thứ cấp đấu tam giác hở; c) Bộ lọc dùng BU 1 pha đấu vào trung điểm máy phát điện.

2.3.5. Bộ lọc tổng hợp các thành phần đối xứng

Một số loại bảo vệ có thể phản ứng theo tổ hợp một vài thành phần đối xứng của dòng và áp. Dòng điện và điện áp ở đầu ra của bộ lọc tổ hợp các thành phần đối xứng trong trường hợp chung bằng :

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{mn} &= K_1 \dot{I}_1 + K_2 \dot{I}_2 + K_0 \dot{I}_0, \\ \dot{U}_{mn} &= K'_1 \dot{U}_1 + K'_2 \dot{U}_2 + K'_0 \dot{U}_0, \end{aligned} \right\} \quad (2-17)$$

trong đó: $\dot{K}_1, \dot{K}_2, \dot{K}_0$ và $\dot{K}'_1, \dot{K}'_2, \dot{K}'_0$ tương ứng là các hệ số tỷ lệ của các thành phần thứ tự thuận, nghịch và không trong các bộ lọc tổ hợp dòng điện và điện áp (H.2.21,a và b).



Hình 2. 21. Bộ lọc tổ hợp các thành phần đối xứng

a) Dòng điện $LI\Sigma$; b) Điện áp $LU\Sigma$.

Các bộ lọc từng thành phần đối xứng có thể được xem là trường hợp riêng của bộ lọc tổ hợp khi hệ số tỷ lệ của các thành phần đối xứng khác được lấy bằng không.

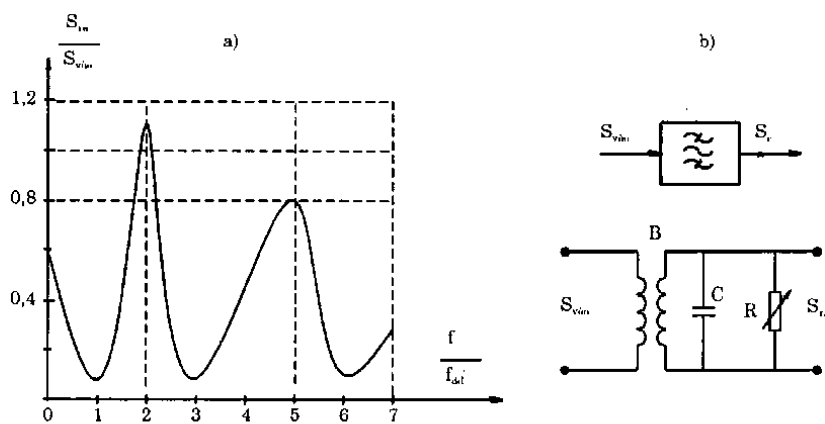
Để lọc các thành phần đối xứng có thể sử dụng kỹ thuật số, sẽ được trình bày trong chương 7.

2.4. CÁC BỘ LỌC SÓNG HÀI

Bộ lọc sóng hài làm nhiệm vụ tách một thành phần hài nào đó ra khỏi tín hiệu tương tự đầu vào để khuếch đại nó lên dùng vào mục đích bảo vệ hoặc dập tắt nó để khỏi ảnh hưởng đến sự làm việc của bảo vệ. Chẳng hạn trong bảo vệ so lệch có hãm dùng cho máy biến áp, người ta sử dụng hài bậc hai của dòng điện để đánh giá tác động của dòng điện từ hoá và dùng nó để hãm không cho bảo vệ tác động nhầm dưới ảnh hưởng của dòng từ hoá đột biến. Trong một số trường hợp người ta cũng sử dụng hài bậc 5 để hãm bảo vệ so lệch dưới tác động

của dòng từ hoá bão hoà có thể xảy ra đối với máy biến áp đặt ở cuối đường dây dài khi bị mất tải đột ngột.

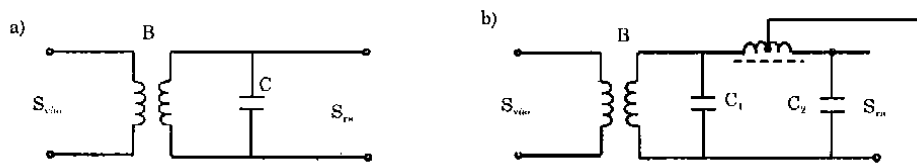
Đặc tính tần số và sơ đồ của bộ lọc để lấy ra hài bậc 2 và bậc 5 được trình bày trên hình 2.22. Cuộn thứ cấp của máy biến áp đầu vào B và tụ điện C tạo nên mạch lọc có tần số cộng hưởng ở 100 Hz (hài bậc 2) và 250 Hz (hài bậc 5). Biến trở R để hiệu chỉnh hệ số khuếch đại (tỷ số giữa tín hiệu đầu ra S_m với tín hiệu đầu vào $S_{vào}$.)



Hình 2.22. Bộ lọc hài bậc 2 và bậc 5 :

a) Đặc tính tần số ; b) Sơ đồ nguyên lý .

Loại lọc sóng hài thứ hai để loại trừ hoặc dập tắt tất cả các hài ngoài sóng cơ bản, hoặc loại trừ một số sóng hài nào đó được trình bày trên hình 2.23.



Hình 2.23. Bộ lọc để dập tắt tất cả các hài ngoài sóng

cơ bản (a) hoặc để dập một số hài cho trước (b).

Sơ đồ nguyên lý của bộ lọc chỉ cho qua tần số cơ bản (đôi khi còn gọi là bộ lọc cho qua tần số thấp) trên hình 2.23,a, cũng tương tự như sơ đồ hình 2.22,b, chỉ khác nhau ở chỗ điện cảm của cuộn thứ cấp máy biến áp đầu vào và điện dung của tụ C trên hình 2.23,a có tần số cộng hưởng ở 50 Hz (tần số cơ bản của dòng

xoay chiều). Trên hình 2.23,b trình bày sơ đồ nguyên lý của bộ lọc cho qua một sóng hài nào đó có chứa trong tín hiệu đầu vào.

Hiện nay tồn tại nhiều kiểu bộ lọc sóng hài khác nhau. Các bộ lọc tần số dùng kỹ thuật số sẽ được giới thiệu trong phần III, chương 7.

2.5. NGUỒN ĐIỆN THAO TÁC

Nguồn điện thao tác cung cấp năng lượng cho các thiết bị bảo vệ, điều khiển, điều chỉnh và báo hiệu ở nhà máy điện, trạm biến áp và các trung tâm điều độ hệ thống điện. Nguồn điện thao tác cần thoả mãn những yêu cầu kỹ thuật, kinh tế chủ yếu sau đây:

- Độc lập đối với chế độ làm việc của lưới điện xoay chiều;
- Có dung lượng đủ lớn, đảm bảo cho các thiết bị bảo vệ, điều khiển và tự động làm việc chắc chắn trong suốt quá trình thao tác;
- Mức điện áp của nguồn đảm bảo trong giới hạn dao động cho phép;
- An toàn, tin cậy và sử dụng thuận tiện;
- Giá cả hợp lý.

Nguồn điện thao tác có thể là xoay chiều hoặc một chiều. Nguồn xoay chiều dùng trực tiếp ở các trạm nhỏ để thao tác máy cắt điện với mạch bảo vệ và điều khiển đơn giản.

Nguồn một chiều thường dùng ắc quy, tụ điện được nạp điện sẵn hoặc các bộ nắn dòng xoay chiều lấy nguồn từ các hệ thống tự dùng, từ máy biến dòng điện hoặc điện áp.

Điện áp của nguồn thao tác một chiều thường là 220 V và 110 V dùng cho rơle và thiết bị điều khiển; 60 V, 48 V và 24 V đối với các mạch tín hiệu và thông tin xa. Trong một số hệ thống bảo vệ và điều khiển đôi khi người ta dùng các bộ đổi điện để đổi từ điện một chiều của ắc quy đã tích điện sẵn thành điện xoay chiều để cung cấp cho các phụ tải xoay chiều quan trọng (hệ máy tính, thiết bị thông tin ...).

2.5.1. Ắc quy

Điện áp và dung lượng của bộ ắc quy được xác định theo điện áp danh định của nguồn thao tác có xét đến mức dao động của điện áp trên từng bình ắc quy trong quá trình nạp - phóng cũng như điện áp làm việc tin cậy đối với từng loại thiết bị bảo vệ và tự động, công suất tiêu thụ của từng loại phụ tải, thời gian làm việc của từng loại thiết bị v.v...

Thường dùng hai loại ắc quy: ắc quy axit - chì và ắc quy niken – cadimi. Ắc quy axit - chì được sử dụng rộng rãi ở nhà máy điện, trạm biến áp và thiết bị phân phối với công suất lớn và thời gian sử dụng kéo dài. Trong nhiều trường hợp ắc quy còn được dùng làm nguồn chiếu sáng sự cố.

Ắc quy niken – cadimi thường được dùng cho các thiết bị phân phối có kích thước trung bình và nhỏ với không gian bị hạn chế. So với ắc quy axit - chì nó có những ưu, nhược điểm chính sau:

Ưu điểm: Độ bền cơ cao hơn, bảo quản và vận hành dễ dàng hơn, tuổi thọ dài hơn, kích thước và trọng lượng bé hơn.

Nhược điểm: Điện áp của mỗi bình thấp hơn (1,2 V thay vì 2 V của ắc quy axit- chì); trong quá trình nạp điện áp tăng cao hơn (đến 50%), trong quá trình phóng điện áp giảm nhiều hơn (đến 20%); hiệu suất khoảng 75% nếu tính theo ampe-giờ (Ah); và khoảng 50 ÷ 60% nếu tính theo oát-giờ (Wh); lượng nước cất tiêu thụ nhiều hơn, chất điện môi phải được thay sau 2 năm do đó tốn kém hơn; nhạy cảm với sự thay đổi nhiệt độ.

Khi lựa chọn ắc quy cần chú ý những điều kiện sau đây:

Điện áp danh định. Điện áp danh định của mỗi bình ắc quy là cố định (2 V với ắc quy axit - chì và 1,2 V đối với ắc quy niken - cadimi như trên đã nói) Điện áp danh định của bộ ắc quy bằng tích của số bình ắc quy mắc nối tiếp với điện áp danh định của mỗi bình.

Dung lượng danh định. Dung lượng danh định của bộ ắc quy C_{dd} là điện lượng mà ắc quy có thể phóng được trong khoảng thời gian xác định (thời gian phóng danh định t_{dd}) với dòng điện danh định I_{dd} . Trong điều kiện dung dịch điện giải có nồng độ và thể tích danh định ở nhiệt độ danh định và điện áp trên bộ ắc quy không giảm xuống thấp hơn giá trị cho trước U_{sdd} (U_{sdd} được gọi là điện áp phóng điện cuối cùng danh định).

$$C_{dd} = I_{dd} \cdot t_{dd} \quad (2-18)$$

Nếu dòng điện phóng khác với trị số trị số danh định, người ta dùng ký hiệu C_n để chỉ dung lượng phóng của ắc quy với n là số giờ phóng điện, chẳng hạn C_3 : dung lượng phóng của ắc quy trong 3 giờ .

Điện áp phóng điện cuối cùng là điện áp tối thiểu phải giữ trên cực của bộ ắc quy khi phóng điện với một dòng điện cho trước nào đó. Điện áp phóng điện cuối cùng danh định thường được sử dụng để tính toán dung lượng danh định của ắc quy C_{dd} khi phóng điện với dòng điện danh định $I_{dd} = C_{dd} / t_{dd}$.

Điện áp sủi bọt U_G là điện áp nạp lớn nhất cho ắc quy sao cho chưa xảy ra hiện tượng sủi bọt có thể nhìn thấy được trong bình ắc quy ; Đối với ắc quy axít - chì $U_G = 2,4 \div 2,45$ V; đối với ắc quy niken - cadimi $U_G = 1,55 \div 1,6$ V cho mỗi bình.

Hệ số nạp là tỷ số giữa điện lượng cần thiết để nạp ắc quy với điện lượng mà ắc quy đã phóng ra (hệ số nạp là số nghịch đảo của hiệu suất ắc quy).

Ưu điểm chính của nguồn ắc quy so với các nguồn thao tác khác là tính độc lập hoàn toàn so với trạng thái của lưới điện xoay chiều, dung lượng và mức điện áp có thể chọn tùy ý, làm việc tin cậy. Nhược điểm của ắc quy là phải bảo quản, chăm sóc phức tạp (phụ nạp, thay dung dịch ...), độc hại (đặc biệt với ắc quy axít - chì).

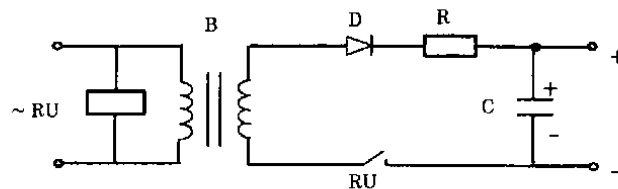
2.5.2. Dùng năng lượng tích sẵn trên tụ điện

Khi nạp điện cho một tụ điện C, năng lượng tích trên tụ điện bằng :

$$E = \frac{CU^2}{2} \quad (2-9)$$

trong đó: C - điện dung của tụ điện; U - điện áp nạp trên tụ.

Sơ đồ nạp trình bày trên hình 2.24. Nguồn điện xoay chiều qua máy biến áp B (hay biến điện áp BU) và diốt D nạp cho tụ C. Điện trở R để hạn chế dòng điện nạp và dòng phóng ngược khi diốt bị chọc thủng, tuy nhiên điện trở này làm tăng thời gian nạp của tụ điện và có thể gây trở ngại cho các thiết bị tự động tác động nhiều lần liên tiếp. Role điện áp RU với tiếp điểm thường hở có cuộn dây nối vào điện áp nguồn để ngăn ngừa dòng điện ngược qua diốt D khi điện áp nguồn bị giảm thấp.

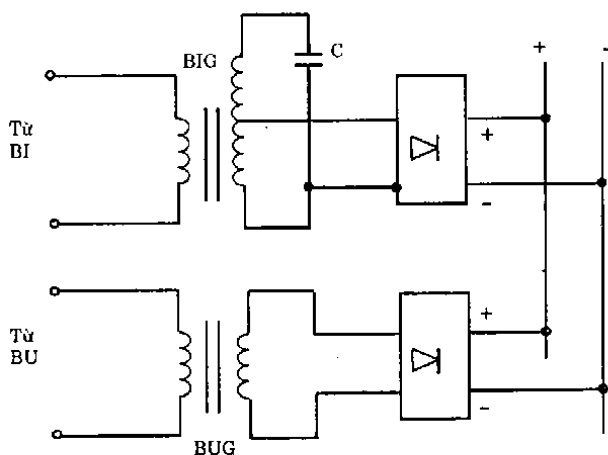


Hình 2.24. Nguồn thao tác dùng năng lượng tích sẵn trên tụ điện.

Điện dung C của tụ điện phải được tính toán sao cho năng lượng tích được ở điện áp U của nguồn thao tác có thể đủ cho các thiết bị bảo vệ và tự động làm việc. Thông thường những bộ tụ được nạp điện sẵn chỉ sử dụng cho những sơ đồ đơn giản với số ít thiết bị, tiêu thụ công suất và năng lượng không lớn và thời gian làm việc không kéo dài.

2.5.3. Các bộ nắn dòng

Điện áp một chiều của nguồn thao tác có thể được nắn từ điện áp xoay chiều phía thứ cấp của máy biến điện áp (BU), máy biến dòng điện (BI) hoặc máy biến áp tự dòng (BTD). Nguồn một chiều nắn từ điện áp thứ cấp của BU hoặc BI đặt ở phần tử được bảo vệ thường có công suất hạn chế (≤ 1000 VA) và điện áp đầu ra một chiều có thể phụ thuộc vào chế độ làm việc của phần tử được bảo vệ. Chẳng hạn điện áp đầu ra của bộ nắn đấu với BU khi có ngắn mạch gần chỗ đặt bảo vệ có thể bị giảm thấp hơn mức cho phép, ngược lại, trong chế độ non tải hoặc không tải, điện áp ở đầu ra của bộ nắn đấu với BI sẽ rất thấp hoặc bằng không. Để khắc phục nhược điểm này người ta thường sử dụng các bộ cung cấp liên hợp, kết hợp giữa nguồn áp với nguồn dòng (H.2.25).

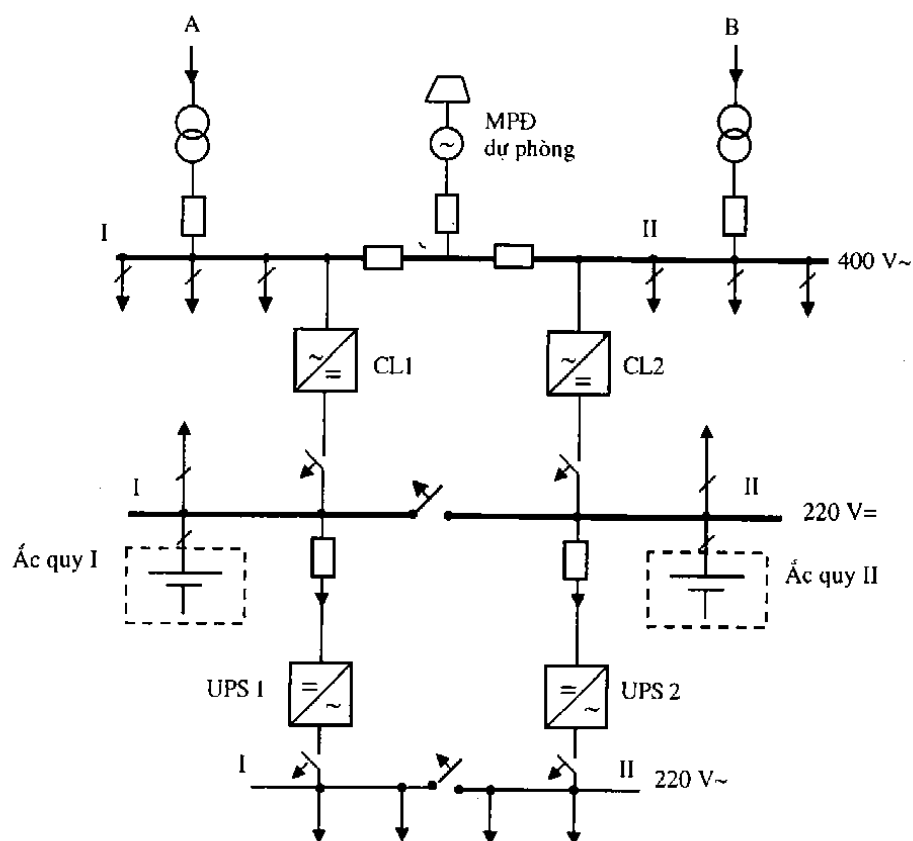


Hình 2.25. Nguồn cung cấp liên hợp từ biến dòng điện và biến điện áp.

Trong sơ đồ cung cấp liên hợp ở hình 2.25, các máy biến áp trung gian BUG và BIG làm nhiệm vụ phối hợp thông số để tạo điện áp xoay chiều đầu ra tương ứng với điện áp một chiều cần có cho nguồn thao tác, ngoài ra chúng còn làm nhiệm vụ cách ly giữa mạng điện một chiều với mạng xoay chiều. Tụ điện C nối với phía thứ cấp của BIG (thường với điện áp cao hơn điện áp xoay chiều được nắn) để phối hợp với thông số của BIG tạo nên mạch cộng hưởng sắt từ, đảm bảo cho điện áp nắn từ nguồn dòng điện được ổn định khi dòng điện phía sơ cấp của phần tử được bảo vệ có thể thay đổi trong giới hạn rộng (từ non tải đến ngắn mạch).

Đối với những hệ thống quan trọng cần nguồn thao tác có công suất lớn và độ tin cậy cao, điện áp một chiều có thể được nắn từ điện áp ở các phân đoạn tự dòng khác nhau, kể cả việc đặt máy phát điện dự phòng cho hệ thống tự dòng (H.2.26).

Trong các hệ thống này, đôi khi người ta còn sử dụng các thiết bị biến đổi từ điện một chiều của ắc quy đã được nạp thành điện xoay chiều (UPS) để cung cấp cho một số phụ tải xoay chiều quan trọng trong chế độ sự cố.

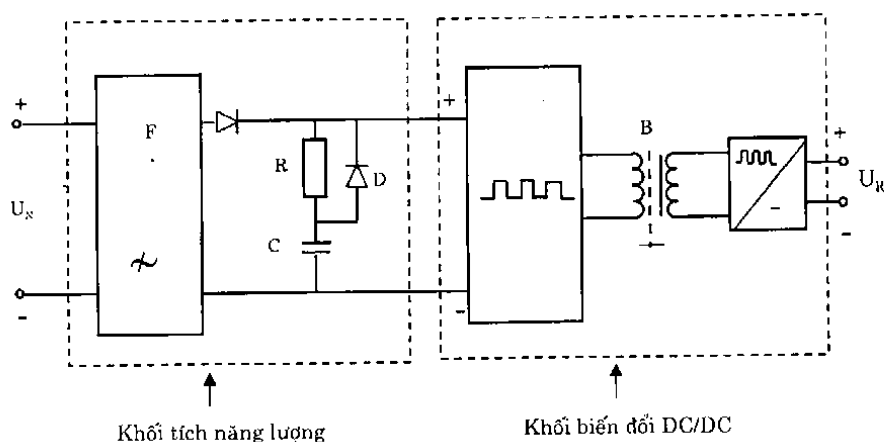


Hình 2.26. Liên hệ giữa hệ thống điện một chiều và hệ thống tự dùng ở các công trình quan trọng.

2.5.4. Các nguồn điện thao tác thứ cấp (Auxiliary Supply Units)

Những thiết bị bảo vệ hiện đại dùng kỹ thuật số đôi khi có những đòi hỏi riêng đối với nguồn cung cấp như: tính ổn định và liên tục của điện áp nguồn, chống nhiễu, nhiều mức điện áp khác nhau v.v... Những nguồn thứ cấp này nhận điện từ nguồn thao tác chính của nhà máy điện hoặc trạm biến áp và có thể được chế tạo sẵn trong thiết bị hoặc tủ bảng bảo vệ.

Trên hình 2.26,a trình bày sơ đồ nguyên lý của nguồn điện thao tác thứ cấp dùng cho thiết bị bảo vệ gồm 2 khối chính : Khối tích năng lượng (Res) và khối biến đổi điện một chiều DC/DC. Khối tích năng lượng có nhiệm vụ duy trì việc cấp điện liên tục cho bảo vệ trong khoảng thời gian khi điện áp của nguồn thao tác chung có thể bị dao động do thao tác máy cắt điện, ngắn mạch trong mạch một chiều v.v... Khoảng thời gian này có thể kéo dài đến vài chục mili giây. Khối biến đổi điện một chiều DC/DC làm nhiệm vụ cách ly các mạch điện tử khỏi nguồn thao tác một chiều của nhà máy điện hoặc trạm biến áp và tạo nên mức điện áp một chiều thứ cấp thích hợp với thiết bị điện tử cần sử dụng.



Hình 2.26,a. Sơ đồ nguyên lý của nguồn điện thao tác thứ cấp.

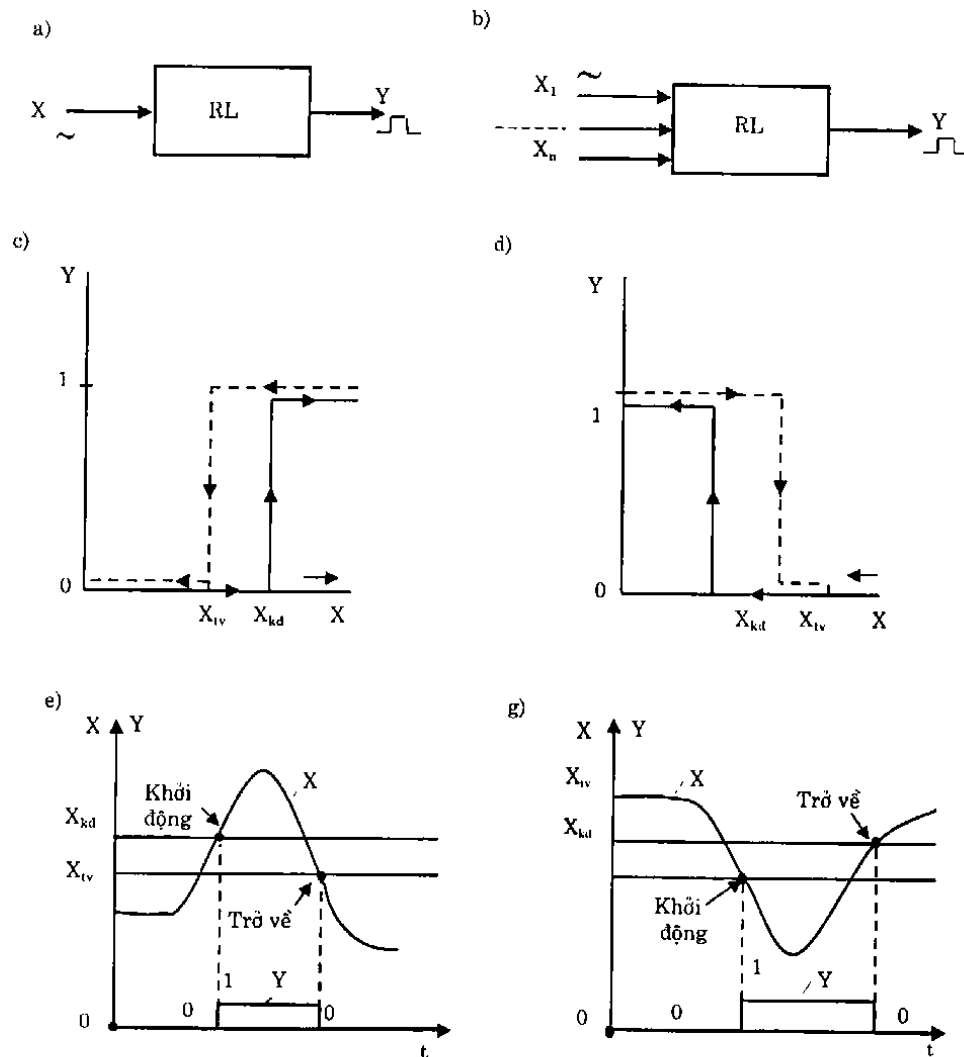
Khối tích năng lượng gồm bộ lọc \$F\$ để lọc các nhiễu của điện áp nguồn thao tác U_N . Tụ điện \$C\$ với dung lượng khá lớn để duy trì điện áp ổn định cho thiết bị bảo vệ trong khoảng thời gian dao động điện áp ngắn hạn của nguồn thao tác. Tụ \$C\$ được nạp qua điện trở \$R\$ và phóng điện qua diode \$D\$.

Điện áp đầu ra của khối tích năng lượng được đưa vào khối biến đổi một chiều DC/DC, ở đây điện áp một chiều được chuyển thành chuỗi các xung chữ nhật với tần số vài kHz và qua máy biến áp \$B\$ giảm xuống đến mức điện áp tương thích với thiết bị sử dụng. Điện áp này sau đó sẽ được nắn và lọc. Máy biến áp \$B\$ còn làm nhiệm vụ cách ly các thiết bị điện tử ở phía thứ cấp với mạch sơ cấp của nguồn thao tác. Trong các thiết bị bảo vệ hiện đại, nguồn điện thao tác thứ cấp có thể có cấu trúc phức tạp hơn nhằm bảo đảm nhiều cấp điện áp một chiều ở đầu ra với chất lượng điện áp tốt hơn.

2.6. ROLE

Role là phần tử chính trong hệ thống thiết bị bảo vệ. Thuật ngữ role theo ý nghĩa ban đầu của nó dùng để chỉ tác động chuyển mạch, chuyển trạng thái.

Phần tử rơle nhận một (X) hay một số ($X_1, X_2 \dots X_n$) tín hiệu đầu vào thường là những tín hiệu tương tự, biến đổi và so sánh tín hiệu này với ngưỡng tác động để cho tín hiệu đầu ra (Y) dưới dạng các xung rời rạc với hai trạng thái đối lập: Có xung (trạng thái 1) và không có xung (trạng thái 0) (hình 2.27).



Hình 2.27. Ký hiệu rơle làm việc với một đại lượng đầu vào (a) và nhiều đại lượng đầu vào (b). Đặc tính khởi động và trở về của rơle cực đại (c,e) và rơle cực tiểu (d,g) với một đại lượng đầu vào.

Những chiếc role đầu tiên được chế tạo dựa trên nguyên lý điện cơ và sử dụng cho điện báo vào những năm 30 của thế kỷ 19. Ngày nay thuật ngữ role dùng để chỉ tập hợp các thiết bị tự động để bảo vệ hệ thống điện, để điều khiển và điều chỉnh tự động, để làm nhiệm vụ chuyển mạch trong các hệ thống thông tin v.v...

Cuối thế kỷ 19 role được bắt đầu sử dụng để bảo vệ các phần tử trong hệ thống điện dưới dạng các cơ cấu điện từ tác động trực tiếp lắp đặt sẵn ở máy cắt điện. Tuy nhiên chỉ đến thế kỷ 20, khi các hệ thống điện đã phát triển, kỹ thuật bảo vệ role mới được áp dụng rộng rãi. Có thể nêu một số mốc thời gian đáng lưu ý:

- Năm 1901 - xuất hiện role cảm ứng dòng điện;
- Năm 1908 - bảo vệ so lệch dòng điện;
- Năm 1910 - role hướng công suất và bảo vệ quá dòng có hướng;
- Đầu những năm 20 - bảo vệ khoảng cách;
- Cuối những năm 20 - bảo vệ dùng tín hiệu tần số cao truyền theo dây dẫn của mạch điện được bảo vệ (PLC);
- Những năm 60 - role tĩnh (không có tiếp điểm động) điện tử và bán dẫn;
- Những năm 70 - role số, hệ thống bảo vệ dùng kỹ thuật vi xử lý và máy tính.

Ngày nay các nhà chế tạo và sản xuất role trên thế giới đều đã chuyển hướng sang kỹ thuật số, tuy nhiên số lượng role điện cơ và role tĩnh còn đang được sử dụng khá nhiều trong hệ thống điện do điều kiện lịch sử. Đối với các công trình mới được xây dựng, chủ yếu người ta sử dụng role số do những ưu việt sau đây:

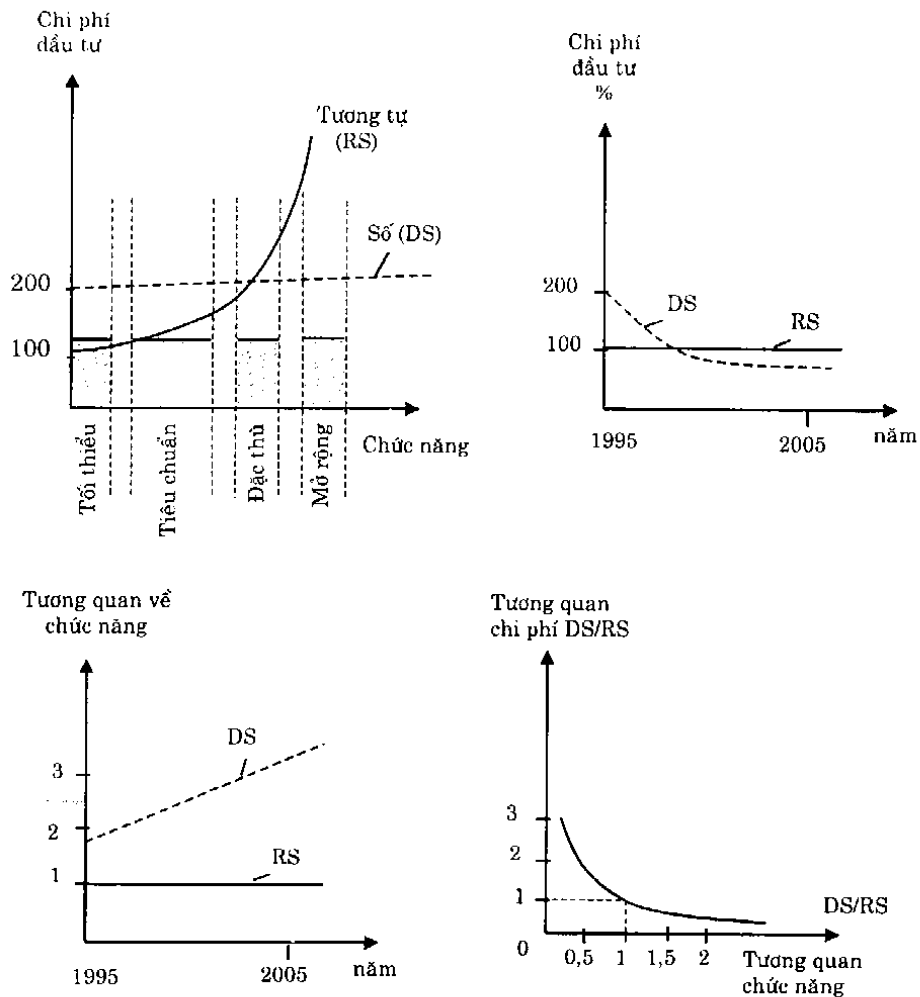
- Chức năng hoạt động của role được mở rộng ra rất nhiều so với các thế hệ role trước đây, dễ dàng mở rộng khả năng đo lường, biến đổi tín hiệu, so sánh và tổ hợp lô gích trong cấu trúc của role. Có thể kết hợp nhiều nguyên lý phát hiện sự cố và bảo vệ trong một hệ thống role.

- Ngoài chức năng bảo vệ và cảnh báo, role số hiện đại còn có thể thực hiện nhiều nhiệm vụ quan trọng khác như: Ghi chép các thông số vận hành và sự cố, xác định vị trí sự cố, thực hiện liên động với thiết bị bảo vệ và tự động của các phần tử lân cận, đóng trở lại máy cắt ...

- Dễ dàng ghép nối với nhau và với các thiết bị bảo vệ, tự động, thông tin và đo lường khác trong hệ thống; dễ ghép nối với hệ thống máy tính.

- Thông số của bảo vệ có thể chỉnh định giản tiện với độ chính xác cao và dễ dàng thực hiện việc chỉnh định thông số từ xa hoặc chỉnh định tự động theo nguyên lý tự thích nghi.

- Công suất tiêu thụ bé, kích thước gọn, nhẹ, dễ dàng chuẩn hoá kích thước.
- Giá thành tương đối tính theo tương quan giữa chi phí và chức năng của hệ thống bảo vệ thì kỹ thuật số và máy tính rẻ hơn các hệ thống rơle điện cơ thông thường (H. 2.28).



Hình 2.28. So sánh tương đối giữa hệ thống bảo vệ dùng rơle thông thường (RS) và kỹ thuật số (DS).

Ngoài cách phân loại theo công nghệ chế tạo, rơle còn được phân loại theo:

- Nguyên tắc hoạt động (đối với rơle điện cơ) : điện từ, cảm ứng, điện động...
- Đại lượng đầu vào: dòng điện, điện áp, công suất, tổng trở (khoảng cách) tần số...

- Chức năng trong sơ đồ bảo vệ: đo lường, trung gian, thời gian, tín hiệu...

Tùy theo cách biểu diễn sơ đồ (cấu trúc, chức năng, tổng hợp hoặc khai triển) mà cách biểu diễn role có thể khác nhau. Trong sơ đồ cấu trúc hoặc chức năng role được biểu diễn như hình 2.27, a và b), trên đó ghi rõ các đại lượng vật lý đầu vào của role. Trong sơ đồ tổng hợp hoặc sơ đồ lắp ráp, role được biểu diễn như một thiết bị thống nhất bao gồm các cực đầu vào và đầu ra (đối với role điện cơ : cuộn dây và tiếp điểm). Trong sơ đồ khai triển hoặc sơ đồ lô gích, các cực đầu vào và đầu ra của role có thể được biểu diễn tách rời nhau trên các mảng sơ đồ hoặc sơ đồ khác nhau.

Trạng thái đầu ra của role (đối với role điện cơ là các tiếp điểm thường hở hoặc thường kín) được biểu diễn với quy ước cho trường hợp đại lượng đầu vào bằng không.

Ngoài các role phản ứng theo đại lượng điện đầu vào, trong các sơ đồ bảo vệ và tự động còn dùng nhiều loại role làm việc theo những đại lượng vật lý khác nhau như nhiệt độ, vận tốc hoặc gia tốc chuyển động, độ di chuyển, nồng độ của môi chất, cường độ của ánh sáng v.v...

Ký hiệu các loại thiết bị và role thường dùng trong sơ đồ bảo vệ cho trong bảng 2.8.

Bảng 2.8. Danh mục ký hiệu các loại thiết bị thường dùng trong sơ đồ bảo vệ role

Ký hiệu		Loại thiết bị
Bảng số (Theo IEEE C 37-2-1979)	Bảng chữ	
2	t	Role thời gian. Role đóng hoặc mở chậm
3	KT	Role khoá liên động hoặc kiểm tra
4	C	Công tắc tơ chính
21	Z <	Role khoảng cách (tổng trở)
25	S	Role hoà hoặc kiểm tra đồng bộ
27	U<	Role thiếu điện áp
30	Th	Role tín hiệu
32	$\vec{P}$ hoặc $\vec{W}$	Role hướng công suất thuận
	$\overleftarrow{P}$ hoặc $\overleftarrow{W}$	Role hướng công suất nghịch
37	I<	Role thiếu dòng điện hoặc thiếu công suất
40	Φ	Role sự cố điện từ trường
46	I ₂	Role dòng điện thứ tự nghịch hoặc cân bằng pha
49	θ°	Role nhiệt

Ký hiệu		Loại thiết bị
Bảng số (Theo IEEE C 37-2-1979)	Bảng chữ	
50	$I >>$	Role dòng điện cắt nhanh
51	$I >$	Role quá dòng có thời gian (xoay chiều)
51N	$I_0 >$ hoặc $I_E >$	Role quá dòng điện thứ tự không có thời gian
52	MC	Máy cắt điện
52a	MC_a	Tiếp điểm phụ thường hở của máy cắt điện
52b	MC_b	Tiếp điểm phụ thường kín của máy cắt điện
55	$\cos\varphi$	Role $\cos\varphi$
59	$U >$	Role quá điện áp
60	ΔU hoặc ΔI	Role cân bằng áp hoặc dòng
64	I_0	Role bảo vệ chống chạm đất
67	$\vec{I} >$	Role quá dòng (xoay chiều) có hướng
68	LD	Role liên động
74	BD	Role bảo động (cảnh báo)
76	$I = >$	Role quá dòng một chiều
78	δ	Role lệch pha hoặc bảo vệ mất đồng bộ
79	TĐL (AR)	Role tự đóng lại
81	f	Role tần số
85	P/T	Role phát và nhận tín hiệu theo kênh truyền (tín hiệu bảo vệ)
86	K	Role khoá
87	SL (ΔI)	Role bảo vệ so lệch

2.7. KÊNH TRUYỀN TÍN HIỆU

2.7.1. Các loại kênh truyền tín hiệu

Để phục vụ việc truyền dữ liệu, thông tin liên lạc, điều khiển, bảo vệ và tự động hoá HTĐ có thể dùng nhiều loại kênh truyền tín hiệu khác nhau.

Hiện nay người ta thường dùng 4 loại kênh truyền tín hiệu sau đây:

- 1) Dây dẫn phụ hoặc cáp thông tin của ngành điện hoặc thuê bao của mạng lưới bưu chính viễn thông.
- 2) Kênh tải ba (Power Lines Carrier: PLC): Tải tín hiệu tần số cao bằng chính dây dẫn của đường dây tải điện.
- 3) Kênh thông tin vô tuyến siêu cao tần (vi ba).
- 4) Cáp quang.

Tùy từng trường hợp có thể lựa chọn và sử dụng một hoặc một số kênh trên đây. Những yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn này là: Khoảng cách giữa các điểm cần liên hệ, sự phát triển và năng lực của mạng bưu chính viễn thông, lượng thông tin cần truyền, chi phí cho việc xây dựng và sử dụng kênh truyền.v.v...

Đối với hệ thống bảo vệ rơle, kênh truyền được sử dụng trong các sơ đồ bảo vệ so lệch hoặc trong các sơ đồ điều khiển liên động các bảo vệ lân cận nhau.

Trong các sơ đồ bảo vệ so lệch (so lệch pha hoặc so lệch dòng điện) tín hiệu ở hai đầu phần tử được bảo vệ (góc pha của các dòng điện hoặc biên độ và góc pha của các dòng điện tùy theo loại bảo vệ) được truyền qua kênh dẫn để tiến hành so sánh tại vị trí đặt thiết bị bảo vệ rơle.

Điều khiển việc liên động giữa các bảo vệ (hoặc giữa các máy cắt) trong hệ thống người ta cũng dùng các kênh truyền tín hiệu. Việc điều khiển này nhằm nâng cao độ tin cậy của các bảo vệ trong khi loại trừ sự cố, ngăn chặn tác động nhầm hoặc giảm thời gian làm việc của bảo vệ.

Thường sử dụng ba loại tín hiệu điều khiển sau đây:

- *Tín hiệu cắt liên động*: Để cắt đồng thời các máy cắt ở các phía khác nhau của phần tử được bảo vệ hoặc máy cắt lân cận với máy cắt bị hư hỏng.

- *Tín hiệu cho phép*: Máy cắt chỉ có thể được cắt ra khi nhận được tín hiệu cho phép đồng thời với sự tác động của thiết bị bảo vệ rơle làm nhiệm vụ bảo vệ chính chống loại sự cố đang xét.

- *Tín hiệu khoá*: Máy cắt chỉ có thể cắt ra khi không có tín hiệu khoá đồng thời với sự tác động của thiết bị bảo vệ rơle làm nhiệm vụ bảo vệ chính chống loại sự cố đang xét.

Liên hệ giữa các thiết bị làm việc với kênh truyền tín hiệu được mô tả trên hình 2.29.

2.7.2. Yêu cầu đối với kênh truyền tín hiệu

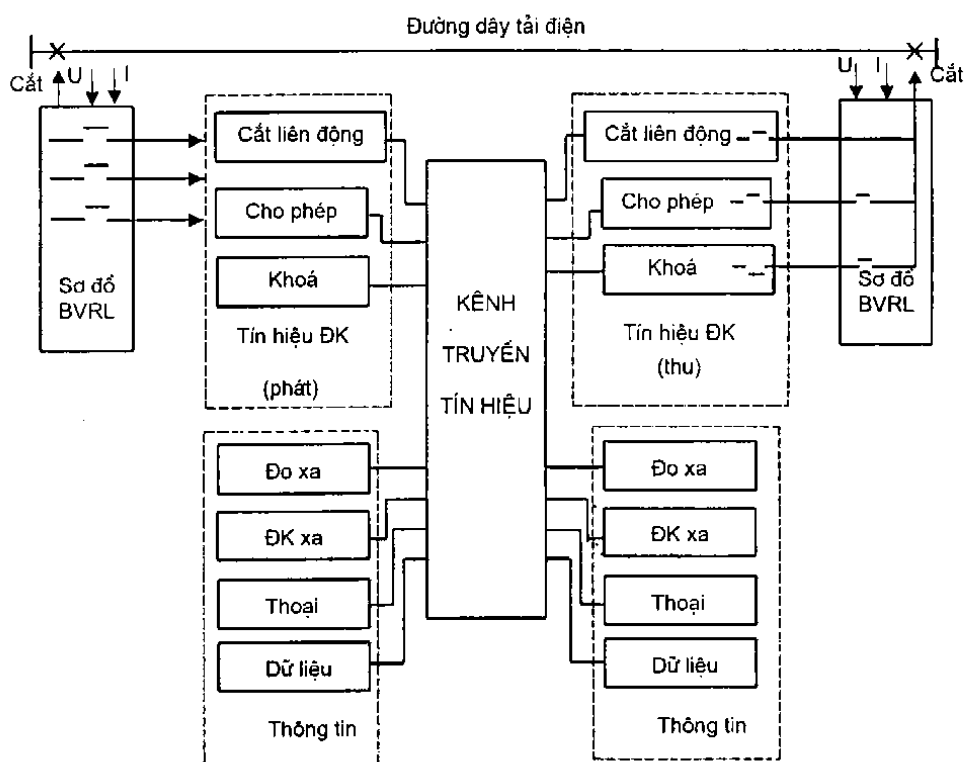
Thời gian loại trừ sự cố bao gồm thời gian tác động của rơle, thời gian truyền tín hiệu và thời gian cắt của máy cắt điện. Thời gian loại trừ sự cố được xác định từ kết quả nghiên cứu hệ thống xuất phát từ điều kiện đảm bảo ổn định, hạn chế hậu quả của ngắn mạch, nhanh chóng phục hồi việc cấp điện cho các hộ tiêu thụ v.v...

Thông thường thời gian truyền tín hiệu cũng gần bằng thời gian làm việc của bảo vệ rơle, đối với các lưới điện cao áp và siêu cao áp thời gian này khoảng chừng từ 15 đến 40 ms tùy từng loại bảo vệ.

Các kênh truyền tín hiệu thường bị ảnh hưởng của các loại nhiễu khác nhau tùy theo loại kênh truyền. Các nhiễu loại này có thể làm cho bảo vệ tác động sai hoặc mất tín hiệu điều khiển hoàn toàn.

Để đặc trưng cho tính năng của kênh truyền đối với từng loại tín hiệu điều khiển, người ta thường dùng 3 thông số sau:

- Thời gian làm việc cực đại T_{ac}
- Xác suất xuất hiện tín hiệu lạ P_{uc}
- Độ an toàn $\cong (1 - P_{uc}) \cdot 100\%$
- Xác suất mất tín hiệu điều khiển P_{mc}
- Độ phụ thuộc $\cong (1 - P_{mc}) \cdot 100\%$



Hình 2.29. Liên hệ giữa các thiết bị làm việc với kênh truyền tín hiệu.

Chẳng hạn, khi kênh truyền chịu tác động của nhiễu, các loại tín hiệu điều khiển dùng trong bảo vệ rơle có thể có các thông số sau:

Cắt liên động:	$T_{ac} \cong 60 \text{ ms}$
	$P_{UC} \cong 10^{-5}$
	$P_{MC} \cong 10^{-3}$
Tín hiệu cho phép:	$T_{ac} \cong 40 \text{ ms}$
	$P_{UC} \cong 10^{-3}$
	$P_{MC} \cong 10^{-2}$
Tín hiệu khoá:	$T_{ac} \cong 20 \text{ ms}$
	$P_{UC} \cong 10^{-1}$
	$P_{MC} \cong 10^{-4}$

2.7.3. Môi trường truyền tín hiệu và nhiễu

1) Dây dẫn phụ hoặc cáp thông tin

Đơn giản nhất là sử dụng dây dẫn phụ hoặc cáp thông tin điện lực riêng của các cơ sở điện lực. Trong trường hợp này chúng có thể được đặt cùng rãnh với cáp cao áp, đặt trong rãnh cáp riêng hoặc bằng dây trần trên cột.

Điện áp cảm ứng tần số công nghiệp thường được tính toán sao cho các thiết bị thứ cấp có thể chịu đựng được (không quá 150 V). Điện áp cảm ứng này có thể được hạn chế bằng các van chống quá áp để nối tắt các dây dẫn phụ trong trường hợp điện áp tăng cao, tuy nhiên phương pháp này có thể làm cho bảo vệ không tác động trong trường hợp quá áp gây nên bởi sự cố chính mà bảo vệ phải tác động.

Đôi khi người ta dùng biến áp phân cách để bảo vệ mạch thứ cấp trong trường hợp thế ở điểm nối đất ở nhà máy điện hoặc trạm biến áp tăng quá cao khi sự cố, những biến áp phân cách này cũng sẽ làm nhiệm vụ bảo vệ khi điện áp cảm ứng trong dây dẫn phụ hoặc cáp thông tin tăng cao.

Các thiết bị thứ cấp cũng phải chịu đựng nổi điện áp cảm ứng khi có sét đánh hoặc khi có đóng cắt bên phía sơ cấp của hệ thống điện.

Dây dẫn phụ và cáp thông tin dùng cho bảo vệ được sử dụng từ đầu thế kỷ 20, tuy nhiên phạm vi sử dụng bị hạn chế vì độ tin cậy thấp và giá chi phí tương đối cao. Tín hiệu truyền có thể ở mức khá cao (+ 10 dBm), giới hạn về mức tín hiệu thường hạn chế bởi các thiết bị khuếch đại và thiết bị phụ trợ đấu nối vào các điểm trung gian của mạch thông tin. Thông thường tương quan tín

hiệu /nhiều khoảng 40 dB có thể chấp nhận được. Nếu tổn thất mạch truyền tin cao thì có thể dùng mức tín hiệu truyền cao hơn.

Đối với các hệ thống điện tập trung, khoảng cách giữa các đầu phát và thu tín hiệu không lớn, có thể dùng dây dẫn phụ hoặc cáp thông tin riêng nếu không thuê bao được cáp thông tin của ngành bưu chính viễn thông hoặc cáp thông tin của bưu chính viễn thông không thoả mãn được yêu cầu về độ tin cậy và độ sẵn sàng đối với hệ thống bảo vệ và điều khiển các công trình điện.

Ở nhiều nước công nghiệp phát triển với mạng lưới thông tin viễn thông tiên tiến và dày đặc, các công ty điện lực có thể thuê bao một số kênh thông tin (chẳng hạn trong khoảng 20 - 25 năm) để dùng riêng cho hệ thống điện. Phương án này nếu về mặt độ tin cậy và độ sẵn sàng cho phép thường có thể rẻ hơn là xây dựng mạng lưới thông tin riêng cho ngành điện lực.

Thông thường nếu dùng kênh truyền tin của hệ viễn thông thì khả năng quá áp ở phía thứ cấp có thể thấp hơn vì lộ trình của kênh truyền tin khác với lộ trình của các đường dây tải điện. Tuy nhiên các thiết bị thứ cấp cũng phải có khả năng chịu một mức quá áp nhất định.

Trong một số trường hợp sự cố chạm đất, thế ở điểm nổi đất của nhà máy điện và trạm biến áp có thể khá cao, vì vậy cần phải dùng biện pháp phân cách để đảm bảo an toàn cho người và thiết bị của hệ thống bưu chính viễn thông. Các biện pháp phân cách này phải có điện áp chịu đựng khá cao (có thể đến 15 kV).

Dây dẫn phụ và cáp thông tin làm việc với tín hiệu truyền dẫn từ một chiều đến 200 Hz xoay chiều, với bán kính từ 11 km trở lại và có thể thích hợp với các loại bảo vệ so lệch. Với lưới điện 110 kV thường không yêu cầu thời gian tác động của bảo vệ thật nhanh, các kênh thuê bao có thể dùng chung cho điện thoại, đo lường và bảo vệ, nhờ vậy mà chi phí cho thuê bao tương đối thấp (tính riêng cho mục đích bảo vệ). Với cấp điện áp 220 - 500 kV, yêu cầu về thời gian bảo vệ phải nhanh hơn và kênh truyền phải có độ tin cậy cao hơn nên thông thường phải thuê bao riêng các kênh truyền dùng cho bảo vệ.

2) Các kênh tải ba (PLC)

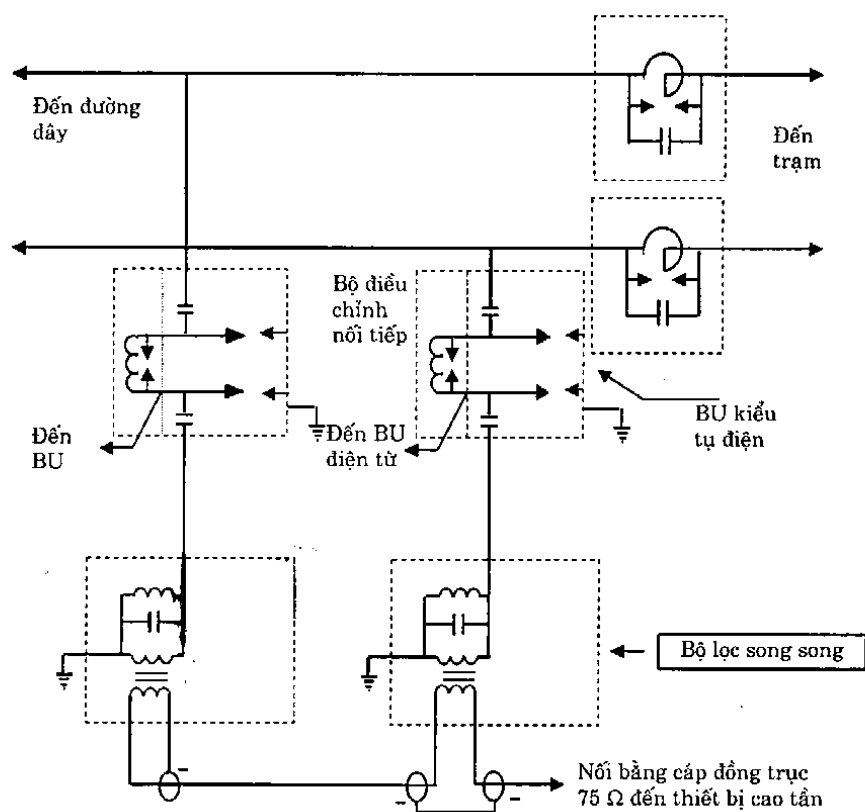
Đối với những đường dây dài hoặc đi qua những địa hình phức tạp, việc lắp đặt dây dẫn phụ có thể gặp khó khăn và tốn kém. Trong trường hợp này việc sử dụng dây dẫn của chính đường dây tải điện để truyền tín hiệu cao tần dùng cho bảo vệ và thông tin liên lạc có thể có những ưu việt như: dây dẫn chắc chắn hơn, tổn hao trong truyền tín hiệu sẽ thấp hơn, kênh truyền hoàn toàn nằm dưới quyền kiểm soát của công ty điện lực.

Có thể gia công một hay hai pha của đường dây tải điện bằng cách đặt các bộ chắn ở hai đầu đường dây được bảo vệ, các bộ chắn này có tổng trở không đáng kể đối với dòng điện tần số công nghiệp và tổng trở rất lớn đối với các tín

hiệu tần số cao dùng cho thông tin và bảo vệ, để các tín hiệu này không lan truyền ra ngoài phạm vi đường dây được bảo vệ.

Sơ đồ hai pha tuy tốn kém hơn so với sơ đồ pha - đất, tuy nhiên mức tổn hao khi truyền dẫn tín hiệu sẽ thấp hơn và không phụ thuộc vào điện trở đất cũng như nối đất.

Tín hiệu cao tần được đưa vào kênh truyền qua tụ phân cách cao áp, tụ này phải chịu được áp pha và có điện dung khoảng từ 2000 pF đến 20000 pF. Cuộn điện cảm của bộ chấn cao tần thường có điện cảm bé, khoảng 0,1 - 2 mH và phải chịu được dòng điện tải bình thường và dòng ngắn mạch như các dây dẫn pha của đường dây tải điện. Một yêu cầu khác đối với cuộn cảm là điện dung của bản thân cuộn dây phải hợp với điện cảm thành mạch cộng hưởng ở tần số cao hơn tần số vận hành lớn nhất. Thường tần số dùng để truyền tín hiệu được chọn trong khoảng 70 - 500 kHz.



Hình 2.30. Kênh tải ba theo sơ đồ hai pha .

Bộ lọc được nối với thiết bị cao tần bằng cáp cao tần với trở kháng 75Ω . Một trong những chỉ tiêu quan trọng của các kênh tải ba là mức độ tắt dần tín hiệu trong kênh truyền, vì nó xác định công suất truyền tín hiệu sao cho ở đầu thu tín hiệu có thể vượt được mức nhiễu và điện áp cảm ứng. Tổn hao tín hiệu ở mỗi đầu nhận (qua bộ lọc, cáp cao tần và thiết bị phụ trợ) khoảng 4,6 dB, đối với dây tải điện - khoảng $0,02 \div 0,2$ dB/km, mức tổn hao thấp nhất ứng với điện áp tải điện cao nhất ($400 \div 500$ kV) và tần số truyền thấp nhất (50 kHz).

Tổn hao tín hiệu trên đường dây ít phụ thuộc vào mưa ẩm, nhưng ở các nước có băng giá, khi đường dây bị tuyết phủ hoặc bị đóng băng thì độ tắt dần của tín hiệu có thể tăng gấp 2 đến 3 lần.

Công suất đầu ra của thiết bị phát cao tần thường từ 2 đến 100 W (+50 dBm) tùy vào tương quan giữa tín hiệu/nhiều.

Mức tín hiệu truyền cao nhất hoặc thời gian truyền tín hiệu dài nhất do tiêu chuẩn từng quốc gia quy định để tránh ảnh hưởng với hệ thống thông tin và truyền thông toàn quốc.

Khi có sét đánh vào đường dây hoặc đường dây bị sự cố hoặc thao tác đóng cắt, có thể gây nhiễu mạnh đến kênh thông tin. Mặc dù nhiễu này chỉ xảy ra trong thời gian ngắn, thường chỉ kéo dài vài mili giây nhưng nó có thể làm cho thiết bị thu cao tần bị quá tải. Các thiết bị thuộc hệ thống cắt liên động cần phải được chỉnh định sao cho không xảy ra tác động nhầm.

Cần đặc biệt chú ý đến trường hợp dùng nguyên lý truyền tín hiệu cho phép, vì trong trường hợp này tín hiệu cho phép được truyền qua đoạn đường dây bị sự cố. Mức độ tắt dần của tín hiệu cao tần truyền qua kênh dẫn phụ thuộc vào loại sự cố, tuy nhiên người ta thường chọn trong giới hạn giữa 20 và 30 dB.

3) Các kênh vô tuyến viba

Các kênh viba cho phép truyền tín hiệu trong một dải khá rộng và sử dụng các môdem với năng lực truyền rất lớn.

Tín hiệu bảo vệ và điều khiển có thể truyền nối tiếp với độ dài đủ lớn và độ mã hoá phức tạp để đảm bảo độ tin cậy của truyền tin nhưng vẫn giữ được tốc độ truyền rất cao. Trên thực tế không cần thiết kế và sản xuất những thiết bị viba chuyên dùng cho hệ thống điện mà có thể dùng chung các thiết bị vô tuyến tiêu

chuẩn trong thông tin vào mục đích truyền tín hiệu bảo vệ và điều khiển trong hệ thống điện.

Thường các thiết bị viba làm việc với tần số từ 0,2 đến 10 GHz. Vì các thiết bị thu - phát viba làm việc có định hướng và dải tần số đã được đăng ký sẵn nên trên thực tế ít bị nhiễu. Kỹ thuật " Multiplex" cho phép sử dụng đồng thời nhiều kênh thông tin và mở rộng dải tần số của tín hiệu truyền để dùng cho cả mục đích thông tin (thoại) lẫn truyền dữ liệu, chẳng hạn trong hệ thống truyền tín hiệu tương tự thường sử dụng nhiều nhất đến 12 kênh thoại được tập hợp trong dải tần số từ 12 ÷ 60 kHz hoặc 60 ÷ 108 kHz, hoặc cũng có thể dùng một kênh duy nhất 48 kHz.

Các hệ thống hiện đại sử dụng nguyên lý điều tiết các mã xung và thời gian phân cách thường "băm" các tín hiệu tương tự với tần số 8 kHz và tập hợp thành các ký tự 8 bit tương ứng với tốc độ truyền 64 kbits/giây - (tương đương với một kênh thoại) hoặc cao hơn.

Hệ thống truyền tín hiệu bằng kênh vô tuyến siêu cao tần (viba) được sử dụng rộng rãi để liên hệ các trung tâm điều khiển với nhau. Khi lộ trình của các kênh viba trùng hợp với lộ trình của đường dây tải điện, có thể sử dụng các kênh viba vào mục đích truyền tín hiệu bảo vệ. Tuy nhiên trên thực tế các trạm viba không trùng hợp với các trạm đầu và cuối của đường dây tải điện nên khả năng sử dụng các kênh viba trực tiếp để truyền tín hiệu bảo vệ thấp hơn so với các kênh tải ba của hệ thống.

Mức độ tắt dần của tín hiệu viba không phụ thuộc vào sự cố trên đường dây tải điện. Tuy nhiên cần lưu ý đến ảnh hưởng của nhiễu vô tuyến đến các kênh viba. Nhiễu này thường do bản thân các thiết bị vô tuyến gây nên.

Chiều cao của các cột ăng ten viba thường được hạn chế không lớn lắm sao cho ảnh hưởng của gió bão và thay đổi nhiệt độ không tác động nhiều đến sự làm việc của ăng ten.

4) Các kênh cáp quang

Cáp quang là những sợi thủy tinh nhỏ có khả năng truyền ánh sáng đi xa. Trong hệ thống điện cáp quang thường được chế tạo kết hợp bên trong dây nhôm lõi thép để làm nhiệm vụ chống sét trên các đường dây tải điện.

So với cáp thông tin dùng tín hiệu điện, cáp quang có ưu điểm rất lớn là năng lực truyền tải rất lớn và không bị nhiễu bởi sóng điện từ.

Tín hiệu quang sau khi được mã hoá, được truyền theo sợi quang đến đầu nhận, ở đây sẽ được giải mã để chuyển thành những thông tin cần thiết. Thiết bị để mã hoá và giải mã thường được sử dụng ở tần số tương ứng với bước sóng 850, 1300 và 1550 nanômét. Khoảng cách có thể truyền tín hiệu quang trực tiếp phụ thuộc vào mức độ suy giảm và tán xạ của tín hiệu trong hệ truyền dẫn ánh sáng, chủ yếu là chủng loại và chất lượng của sợi quang cũng như bước sóng của nguồn phát tín hiệu.

Với các kênh truyền tín hiệu quang ở tần số cỡ hàng trăm megahéc khoảng cách truyền cỡ hàng chục kilô mét, khi khoảng cách lớn hơn cần có những trạm lặp trung gian. Các kênh truyền bằng cáp quang hiện đại có khả năng truyền tải lớn các loại tín hiệu thoại, đo lường, điều khiển và bảo vệ.

Công nghệ hiện đại có xu thế chế tạo cáp quang kết hợp với cáp điện lực để giảm giá thành và tăng cường tính bền vững và an toàn của tuyến cáp quang.

Ngày nay cáp quang được sử dụng ngày càng rộng rãi không những trong các hệ truyền tải cao áp và siêu cao áp mà ngay cả đối với lưới điện trung và hạ áp.

CÂU HỎI ÔN TẬP

- 2.1. Máy biến dòng điện; chức năng; sơ đồ đẳng trị; cách đánh dấu đầu các cuộn dây; sai số và phụ tải tính toán.
- 2.2. Máy biến điện áp : chức năng; sai số và các loại máy biến điện áp thường gặp.
- 2.3. Bộ lọc dòng điện và điện áp thứ tự nghịch.
- 2.4. Bộ lọc dòng điện và điện áp thứ tự không.
- 2.5. Các bộ lọc sóng hài. Sơ đồ nguyên lý và ứng dụng của chúng.
- 2.6. Các loại nguồn điện thao tác, ưu nhược điểm và lĩnh vực ứng dụng của từng loại.
- 2.7. Role : chức năng và ứng dụng của role. Lịch sử phát triển của role. Phân tích ưu điểm của role số so với role điện cơ và role tĩnh.
- 2.8. Các loại kênh truyền tín hiệu. Ưu nhược điểm và phạm vi sử dụng của từng loại.

1

2

3

4

5

6

7

8

Chương 3

Các nguyên lý đo lường và phát hiện hư hỏng trong hệ thống điện

3.1. CÁC NGUYÊN LÝ ĐO LƯỜNG DÙNG CHO MỤC ĐÍCH BẢO VỆ

3.1.1. Đo lường một đại lượng đầu vào

Đại lượng đầu vào X của rơle thường là những đại lượng tương tự (dòng điện, điện áp, góc pha giữa dòng và áp...) được lấy ra từ phía thứ cấp của máy biến dòng điện và máy biến điện áp.

Trị số hiệu dụng, trị số tuyệt đối hoặc trị số tức thời của đại lượng đầu vào này được so sánh với *ngưỡng tác động* X_{kd} của rơle, còn gọi là *trị số chỉnh định* của rơle. Nếu đại lượng đầu vào biến thiên vượt quá (đối với loại rơle cực đại) hoặc thấp hơn (đối với loại rơle cực tiểu) ngưỡng chỉnh định thì rơle sẽ tác động (xem mục 2.6 và H.2.27). Sau khi tác động xong nếu đại lượng đầu vào biến thiên theo chiều ngược lại và vượt quá trị số X_{lv} , rơle sẽ trở về trạng thái ban đầu trước lúc khởi động. X_{lv} được gọi là *ngưỡng trở về* hoặc *trị số trở về*. Trị số khởi động và trị số trở về liên hệ với nhau qua hệ số trở về:

$$K_v = \frac{X_{lv}}{X_{kd}} \quad (3-1)$$

- Đối với các rơle điện cơ $K_v \neq 1$ (H.2.27); thông thường :
 - + $K_v = 0,85 - 0,9$ đối với rơle cực đại;
 - + $K_v = 1,1 - 1,15$ đối với rơle cực tiểu.
- Đối với các rơle tĩnh và rơle số: $K_v \approx 1$.

Khái niệm role cực đại (tác động khi đại lượng đầu vào tăng) và role cực tiểu (tác động khi đại lượng đầu vào giảm) có ảnh hưởng đến cấu trúc của role điện cơ (cuộn dây, lò xo, tiếp điểm). Đối với role tĩnh và role số chức năng cực đại hoặc cực tiểu có thể dễ dàng đổi lẫn cho nhau bằng phép nghịch đảo tín hiệu lô gích đầu ra của role.

3.1.2. So sánh nhiều đại lượng đầu vào

Role có thể tác động trên cơ sở so sánh nhiều đại lượng đầu vào. Nhiều loại role hiện nay như khoảng cách, so lệch, định hướng công suất v.v... làm việc với hai đại lượng đầu vào. Trong trường hợp tổng quát, hai đại lượng đầu vào X_1 và X_2 là tổ hợp của dòng điện I và điện áp U của phần tử bảo vệ:

$$\left. \begin{aligned} \dot{X}_1 &= K_1 \dot{U} + K_2 \dot{I} \\ \dot{X}_2 &= K_3 \dot{U} + K_4 \dot{I} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Ở đây các hệ số tỷ lệ K_1, K_2, K_3, K_4 là những hệ số phức. Tùy từng loại bảo vệ (loại role) có thể chọn những trị số thích hợp cho các hệ số này. Chẳng hạn, đối với role so lệch dòng điện, hai đại lượng dùng để so sánh là véc tơ dòng điện ở hai đầu phần tử được bảo vệ I_1 và I_2 , khi ấy người ta chọn $K_1 = K_3 = 0$ và $K_2 = K_4 = 1$. Đối với role khoảng cách, hai đại lượng dùng để so sánh là điện áp chỗ đặt bảo vệ và dòng điện chạy qua phần tử được bảo vệ nên ta chọn: $K_1 = K_4 = 1$ và $K_2 = K_3 = 0$.

Với các role làm việc theo hai đại lượng đầu vào thường người ta dùng hai nguyên lý so sánh: so sánh biên độ và so sánh pha.

a) So sánh biên độ

Trong các role làm việc với hai đại lượng đầu vào, thông thường một đại lượng nào đó (chẳng hạn X_1) tác động theo chiều hướng làm cho role khởi động còn đại lượng kia (X_2) tác động theo chiều hướng ngược lại (hãm, cản trở role tác động).

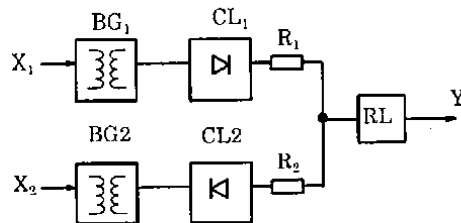
Tín hiệu đầu ra Y của role sẽ xuất hiện khi :

$$|\dot{X}_1| > |\dot{X}_2| \quad (3-3)$$

trong đó : $|\dot{X}_1|$ - tín hiệu đầu vào khởi động;

$|\dot{X}_2|$ - tín hiệu đầu vào hãm.

Nguyên lý so sánh biên độ hai đại lượng điện được sử dụng trong bảo vệ so lệch và bảo vệ khoảng cách (H.3.1).

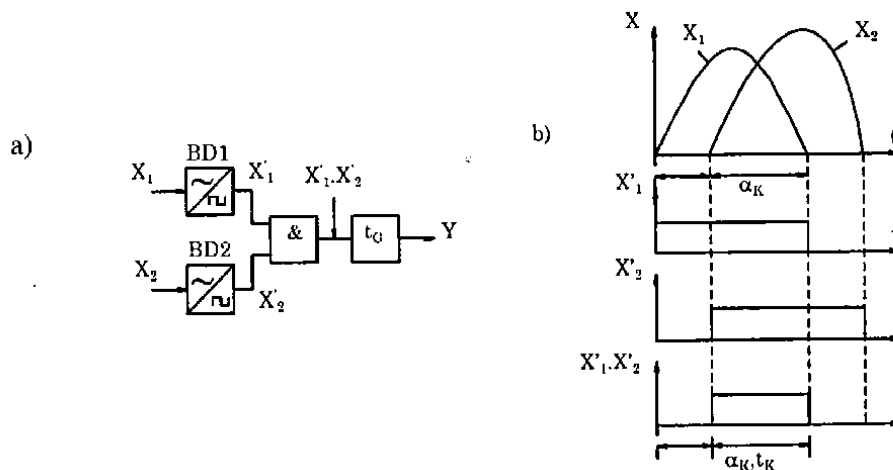


Hình 3.1. Nguyên lý so sánh biên độ hai đại lượng đầu vào.

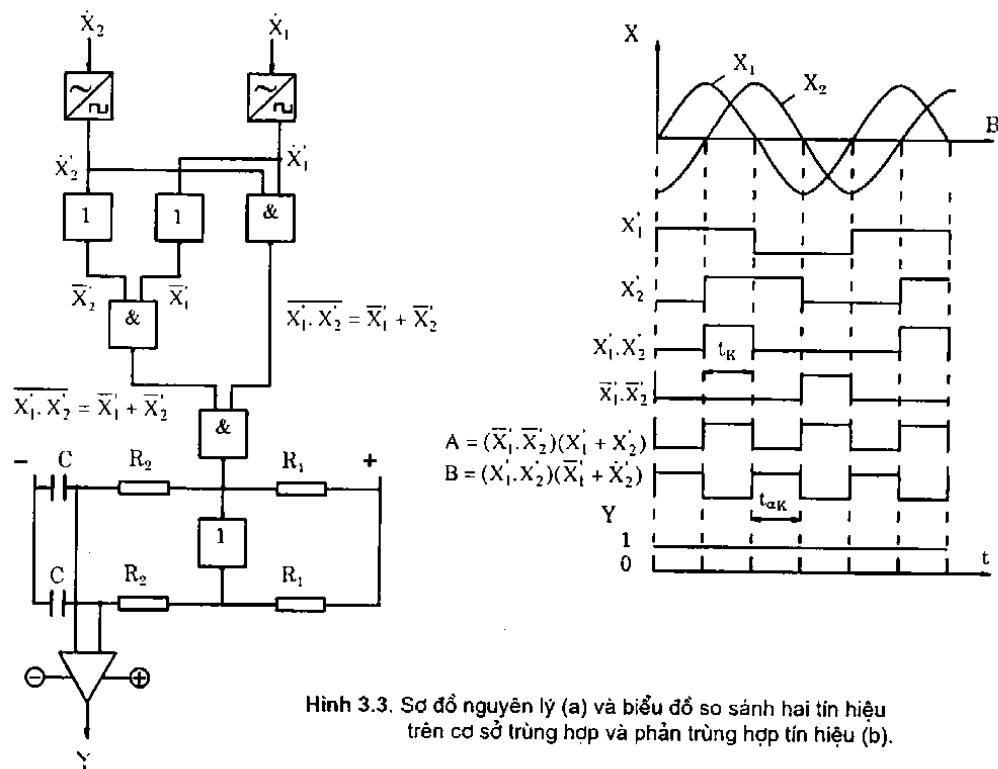
b) So sánh pha

So sánh pha phản ánh góc lệch pha giữa các đại lượng đầu vào, nếu góc lệch pha vượt quá (lớn hơn hay bé hơn) trị số pha định trước rơle sẽ tác động. Các đại lượng tương tự đầu vào X_1 , X_2 qua các bộ biến đổi BD_1 , BD_2 biến thành các xung chữ nhật X'_1 và X'_2 với thời gian trùng pha là t_K . Kiểu so sánh này gọi là so sánh thời gian trùng hợp pha.

Nếu thời gian trùng hợp pha t_K lớn hơn thời gian đặt t_G của bộ phận thời gian thì sẽ xuất hiện tín hiệu đầu ra ($Y=1$). Trên hình 3.2, b trình bày biểu đồ so sánh nửa chu kỳ dương của hai đại lượng đầu vào hình sin X_1 và X_2 . Cũng có thể tiến hành so sánh cho cả nửa chu kỳ âm để tăng mức tác động nhanh của bộ phận so sánh. Để tăng độ chính xác của bộ so sánh pha, có thể tiến hành lọc và khử thành phần một chiều cũng như các sóng hài bậc cao trong các đại lượng đầu vào X_1 , X_2 trước khi đưa vào bộ so sánh.



Hình 3.2. Nguyên lý so sánh pha (a) và biểu đồ so sánh 2 tín hiệu đầu vào hình sin lệch pha nhau (b) .



Hình 3.3. Sơ đồ nguyên lý (a) và biểu đồ so sánh hai tín hiệu trên cơ sở trùng hợp và phản trùng hợp tín hiệu (b).

Một phương pháp so sánh pha khác trình bày trên hình 3.3, trong phương pháp này tín hiệu đầu ra Y phụ thuộc vào kết quả so sánh thời gian trùng pha t_K với thời gian nghịch pha t_{aK} (tức thời gian khi hai xung chữ nhật X'_1 và X'_2 ngược dấu nhau).

3.2. QUÁ DÒNG ĐIỆN

Quá dòng điện là hiện tượng khi dòng điện chạy qua phần tử của hệ thống điện vượt quá trị số dòng điện tải lâu dài cho phép. Quá dòng điện có thể xảy ra khi ngắn mạch hoặc do quá tải.

Nguyên lý quá dòng điện là một trong những nguyên lý được sử dụng sớm nhất để bảo vệ các phần tử của hệ thống điện bằng cầu chảy (cầu chì).

Đối với các rơle quá dòng điện, dòng điện khởi động I_{kd} của bảo vệ được chọn theo điều kiện (H.3.4):

$$I_{Nmin} > I_{kd} = \frac{K_{at} \cdot K_m}{K_v} I_{lvmax} \quad (3-4)$$

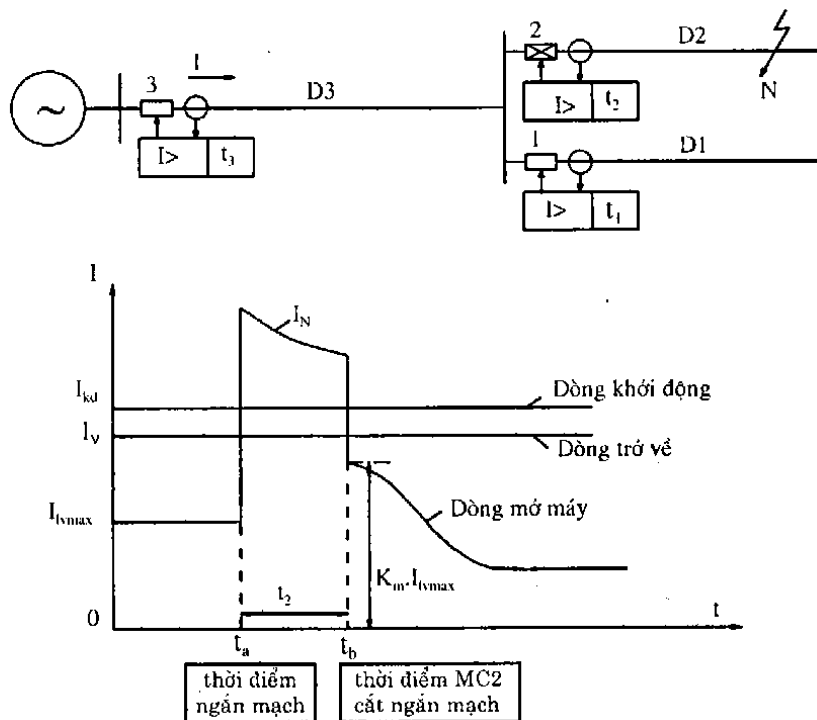
trong đó: I_{lvmax} dòng điện làm việc lớn nhất cho phép đối với phần tử được bảo vệ;

K_m - hệ số mở máy (khởi động) của các phụ tải động cơ có dòng điện chạy qua chỗ đặt bảo vệ. Tùy theo tỷ lệ của phụ tải động cơ trong dòng điện tổng qua chỗ đặt bảo vệ và loại động cơ được sử dụng mà hệ số K_m có thể lấy trong khoảng 2÷5;

K_{at} - hệ số an toàn, thường lấy trong khoảng 1,1 (với rơle tĩnh và rơle số) đến 1,2 (với rơle điện cơ);

K_v - hệ số trở về, với các rơle điện cơ $K_v = 0,85 \div 0,9$; với rơle tĩnh và rơle số $K_v \approx 1$.

I_{Nmin} - dòng ngắn mạch cực tiểu đi qua bảo vệ đảm bảo cho rơle còn khởi động được. Khi xác định trị số của I_{Nmin} cần lưu ý đến chế độ làm việc của hệ thống, cấu hình của lưới điện, vị trí của điểm ngắn mạch và dạng ngắn mạch.



Hình 3.4. Bảo vệ quá dòng điện có thời gian:

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Chọn dòng khởi động I_{kd}

Sự nhạy cảm của role quá dòng đối với mức tăng dòng điện được đặc trưng bằng hệ số độ nhạy K_n :

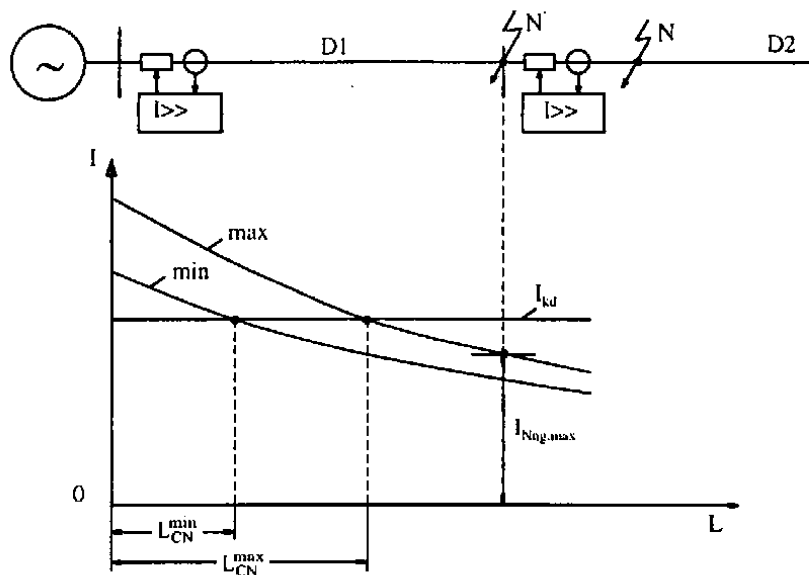
$$K_n = \frac{I_{N \min}}{I_{kd}} \quad (3-4a)$$

Trong một số trường hợp rất khó phân biệt giữa quá tải và ngắn mạch, thậm chí bất đẳng thức (3-4) không thực hiện được, khi ấy cần có biện pháp kết hợp với role quá dòng để xác định loại ngắn mạch, chẳng hạn thông qua các thành phần đối xứng của dòng và áp. Trong lưới điện hở có một nguồn cung cấp, độ chọn lọc của bảo vệ quá dòng điện có thể đảm bảo bằng nguyên tắc chọn thời gian tăng dần từng cấp Δt (gọi là cấp chọn lọc về thời gian), càng về phía gần nguồn thời gian làm việc của bảo vệ càng lớn. Độ chọn lọc của bảo vệ quá dòng điện cũng có thể được đảm bảo bằng cách chọn dòng điện khởi động của bảo vệ lớn hơn trị số dòng điện ngắn mạch lớn nhất khi hư hỏng ở đầu phần tử tiếp theo (H.3.5):

$$I_{kd} = K_{at} \cdot I_{Nng.max}, \quad (3-5)$$

trong đó: $I_{Nng.max}$ - dòng điện ngắn mạch ngoài lớn nhất thường được tính theo ngắn mạch ba pha trực tiếp trên thanh cái ở cuối phần tử được bảo vệ với chế độ làm việc cực đại của hệ thống;

K_{at} - hệ số an toàn, thường lấy bằng $1,2 \div 1,3$.



Hình 3.5. Bảo vệ quá dòng điện cắt nhanh :
a) Sơ đồ nguyên lý; b) Chọn dòng khởi động I_{kd} .

Bảo vệ quá dòng với dòng điện khởi động chọn theo (3-5) có tên gọi là bảo vệ cắt nhanh, thường làm việc tức thời hoặc với một độ trễ rất bé ($\sim 0,1$ giây) để phòng khả năng bảo vệ có thể làm việc mất chọn lọc khi có giông sét và thiết bị chống sét tác động.

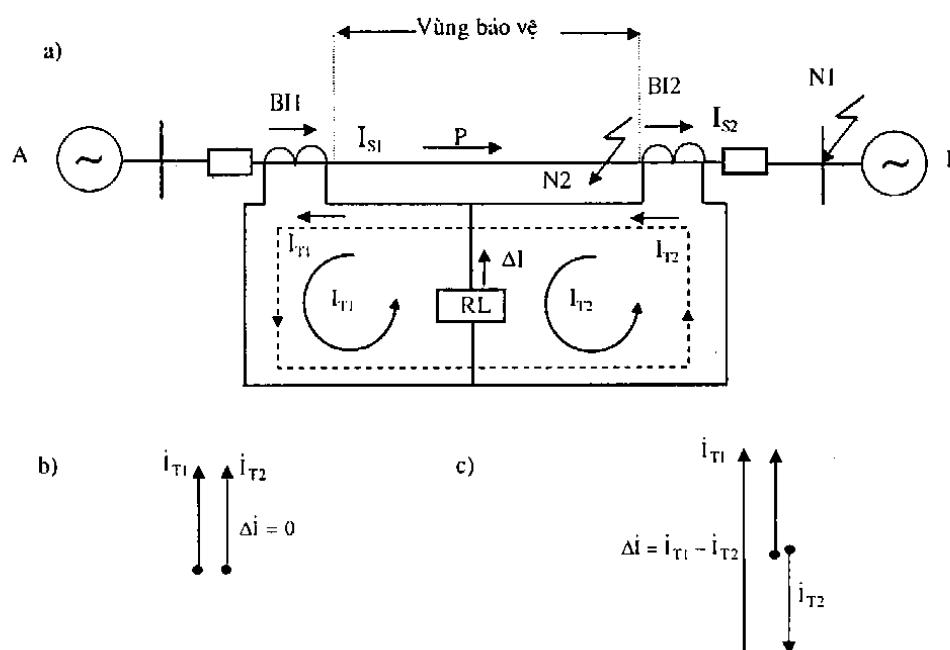
Bảo vệ quá dòng cắt nhanh có nhược điểm là không bảo vệ được toàn bộ đối tượng, khi ngắn mạch ở cuối phần tử, bảo vệ cắt nhanh không tác động. Hơn nữa vùng bảo vệ L_{CN} có thể thay đổi nhiều khi chế độ làm việc của hệ thống và dạng ngắn mạch thay đổi.

Nhược điểm chung của nguyên lý quá dòng điện là không đảm bảo được tính chọn lọc của bảo vệ trong các lưới điện phức tạp, có nhiều nguồn cung cấp.

3.3. SO LỆCH DÒNG ĐIỆN

Biên độ dòng điện ở hai đầu phần tử được so sánh với nhau. Nếu sự sai lệch giữa hai dòng điện vượt quá trị số cho trước thì bảo vệ sẽ tác động, vì vậy bảo vệ có tên là bảo vệ so lệch.

Vùng tác động của bảo vệ so lệch được giới hạn bằng vị trí đặt của hai tổ máy biến dòng ở đầu và cuối phần tử được bảo vệ, từ đó nhận tín hiệu dòng điện để so sánh (H.3.6).



Hình 3.6. Bảo vệ so lệch dòng điện

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Đồ thị vectơ của dòng điện khi ngắn mạch ngoài vùng và trong chế độ bình thường; c) Khi ngắn mạch trong vùng

Sơ đồ nối các phần tử của bảo vệ như trên hình 3-6 còn có tên gọi là *sơ đồ dòng điện tuần hoàn*, vì ở chế độ làm việc bình thường và khi có ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ, dòng điện phía thứ cấp chủ yếu tuần hoàn trong mạch vòng của cuộn thứ cấp các máy biến dòng và dây dẫn phụ nối chúng lại với nhau.

Dòng điện so lệch chạy qua role :

$$\Delta I = I_{T1} - I_{T2} \quad (3-6)$$

Nếu bỏ qua sai số của các máy biến dòng BI1, BI2 (H3.6a) thì trong chế độ làm việc bình thường và ngắn mạch ngoài (chẳng hạn tại N_1) ta có (H.3.6,b):

$$\left. \begin{array}{l} I_{T1} = I_{T2} \\ \text{và } \Delta I = 0 \end{array} \right\} \quad (3-7)$$

Khi ngắn mạch trong vùng bảo vệ (chẳng hạn tại N_2 , gần N_1) dòng điện ở một phía (I_{T2}) sẽ thay đổi cả chiều lẫn trị số nên (H.3.6,c):

$$\left. \begin{array}{l} I_{T1} \neq I_{T2} \\ \text{và } \Delta I = I_{T1} - I_{T2} \neq 0 \end{array} \right\} \quad (3-8)$$

Nếu nguồn cung cấp chỉ ở một phía ($S_B = 0$) thì :

$$\Delta I = I_{T1}$$

Bảo vệ sẽ tác động khi $\Delta I \geq I_{kđ}$.

Trên thực tế, do sai số của máy biến dòng, đặc biệt do hiện tượng bão hoà của mạch từ, nên trong chế độ làm việc bình thường và khi có ngắn mạch ngoài, dòng điện phía thứ cấp của hai tổ máy biến dòng BI1 và BI2 sẽ khác nhau và :

$$\Delta I = I_{T1} - I_{T2} = I_{kcb} \quad (3-9)$$

Dòng điện không cân bằng I_{kcb} trong một số trường hợp có thể có trị số rất lớn, đặc biệt khi có ngắn mạch ngoài, dòng sự cố qua các BI có thể làm cho chúng bị bão hoà. Để ngăn ngừa bảo vệ so lệch có thể làm việc không chọn lọc dưới ảnh hưởng của dòng I_{kcb} , thường sử dụng *nguyên lý hãm* bảo vệ bằng dòng điện pha (xem chương 4 mục 4.3) hoặc các hài bậc cao (bậc 2, bậc 5) xuất hiện trong quá trình quá độ và khi mạch từ bị bão hoà.

Khi áp dụng nguyên lý so lệch dòng điện để bảo vệ các máy biến áp và biến áp tự ngẫu, cần lưu ý đến khả năng bảo vệ so lệch có thể làm việc sai khi đóng máy biến áp không tải.

Tuỳ vào thời điểm đóng máy cắt nối biến áp không tải với nguồn điện mà trị số ban đầu (xung kích) của dòng điện từ hoá máy biến áp có thể đạt trị số lớn gấp nhiều lần dòng điện danh định của máy biến áp. Trường hợp xấu nhất (tương ứng với dòng từ hoá xung kích lớn nhất) sẽ xảy ra khi đóng máy cắt điện vào thời điểm điện áp nguồn có trị số tức thời qua điểm 0.

Khi quá trình quá độ chấm dứt, dòng điện từ hoá trở lại trị số xác lập chừng vài phần trăm dòng điện danh định.

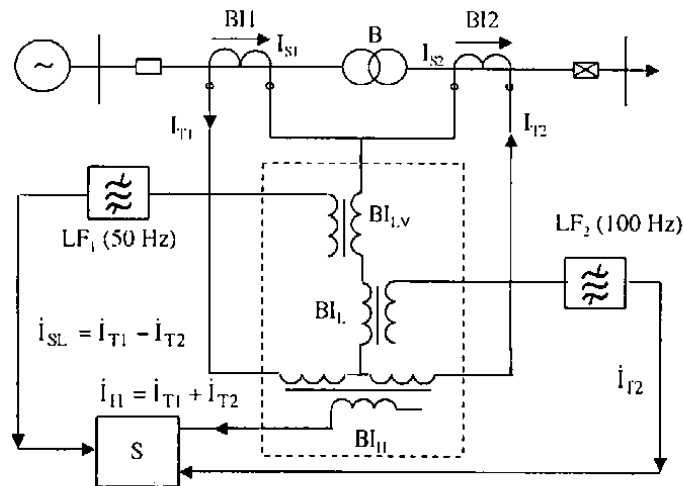
Vì dòng điện từ hoá chỉ chạy ở phía cuộn dây biến áp nối với nguồn và biến áp đang ở chế độ không tải, nên dòng điện ở cuộn dây bên kia bằng không. Bảo vệ so lệch máy biến áp trong trường hợp này có thể cảm nhận việc đóng máy biến áp không tải như khi có ngắn mạch bên trong máy biến áp, với nguồn cung cấp từ một phía và nếu không có giải pháp ngăn chặn, bảo vệ có thể tác động cắt nhầm máy biến áp.

Để phân biệt trường hợp đóng máy biến áp không tải với trường hợp ngắn mạch trong máy biến áp, người ta căn cứ vào tính chất của dòng điện từ hoá xung kích và dòng điện ngắn mạch trong máy biến áp.

Phân tích sóng hài của hai dòng điện này ta thấy, dòng điện từ hoá xung kích có chứa một phân lượng rất lớn *hài bậc hai* (khoảng 70% so với hài cơ bản) và có thể đạt trị số cực đại đến khoảng 30% trị số của dòng điện sự cố. Nếu thành phần hài bậc hai trong dòng điện từ hoá được tách ra và đưa vào tăng cường cho dòng điện hãm trong bộ so sánh S của bảo vệ so lệch thì sẽ ngăn chặn được tác động nhầm khi đóng máy biến áp không tải.

Trên hình 3.7,a trình bày sơ đồ nguyên lý của bảo vệ so lệch máy biến áp có hãm bổ sung bằng hài bậc hai ($f_2 = 100 \text{ Hz}$) của dòng điện quá độ.

Trong sơ đồ này có dùng 3 máy biến dòng phụ: BI_{LV} để lấy ra dòng điện làm việc (hay dòng điện so lệch $I_{SL} = I_{T1} - I_{T2}$; BI_H để lấy ra dòng điện hãm ($I_H = I_{T1} + I_{T2}$) và BI_L để lọc hài bậc hai trong dòng điện so lệch đưa vào hãm bổ sung trong bộ so sánh S.



Hình 3.7,a. Sơ đồ nguyên lý bảo vệ so lệch có hàm bổ sung bằng dòng điện hài bậc hai áp dụng cho máy biến áp hai cuộn dây.

Nguyên lý hàm bổ sung bằng dòng điện hài bậc hai ngày nay được sử dụng để chế tạo các rơle số bảo vệ máy biến áp.

Trong bảo vệ so lệch máy biến áp, dòng không cân bằng I_{kcb} chủ yếu do dòng điện từ hoá của máy biến áp lực, sai số của máy biến dòng điện và việc thay đổi đầu phân áp trong quá trình điều chỉnh điện áp gây nên.

3.4. SO SÁNH PHA CỦA DÒNG ĐIỆN

Bảo vệ so sánh góc pha của dòng điện đi vào và đi ra khỏi phần tử được bảo vệ, vì vậy nên có tên là *bảo vệ so sánh pha*.

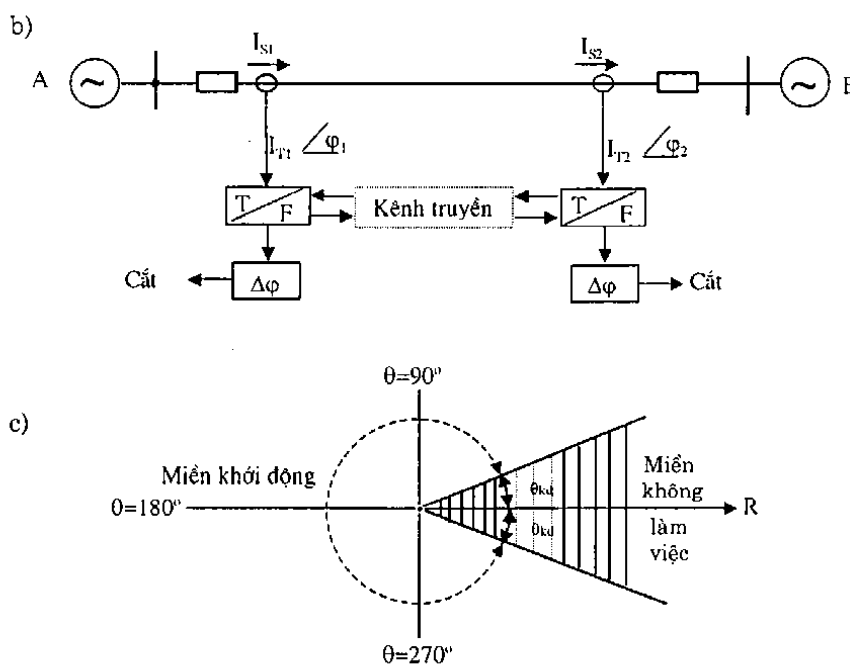
Pha của dòng điện được truyền qua kênh truyền để so sánh với nhau (H.3.7,b). Độ lệch pha :

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \theta, \quad (3-10)$$

trong đó: φ_1, φ_2 - tương ứng là góc pha của dòng điện đi vào và đi ra khỏi phần tử bảo vệ.

Ở chế độ làm việc bình thường và ngắn mạch ngoài góc pha dòng điện ở hai đầu gần như nhau nên $\theta \approx 0^\circ$. Khi ngắn mạch trong vùng, dòng điện hai phía ngược pha nhau nên $\theta \approx 180^\circ$.

Trên thực tế do ảnh hưởng của điện dung phân bố của phần tử được bảo vệ nên trong chế độ bình thường $\theta \neq 0^\circ$ và để tránh cho bảo vệ tác động nhầm phải chọn góc khởi động θ_{kd} lớn hơn một giới hạn nào đó, thường khoảng $\pm (30^\circ \div 60^\circ)$ (H.3.7,b).



Hình 3.7. Bảo vệ so sánh pha dòng điện:
b) Sơ đồ nguyên lý; c) Đặc tính góc của bảo vệ

3.5. QUÁ ĐIỆN ÁP VÀ THIẾU ĐIỆN ÁP

Trong chế độ làm việc bình thường, điện áp có thể dao động trong một giới hạn cho phép:

$$U = U_{dl} \pm \Delta U_{cp}. \quad (3-11)$$

Mức dao động cho phép của điện áp $\pm \Delta U_{cp}$ phụ thuộc vào tiêu chuẩn thiết kế và điều kiện vận hành cụ thể của từng lưới điện. Nếu điện áp vượt quá giới hạn cho phép (cao hơn hoặc thấp hơn) chứng tỏ chế độ làm việc không bình thường hoặc có sự cố trong lưới điện. Quá điện áp kéo dài thường do trục trặc hoặc hư hỏng ở các thiết bị điều chỉnh điện áp ở máy phát điện, hoặc trong mạng truyền tải và phân phối hoặc do sa thải phụ tải gây nên. Quá điện áp khi

quyển hoặc quá điện áp nội bộ do quá trình thao tác gây nên được bảo vệ bằng các *van chống quá áp*, không thuộc lĩnh vực bảo vệ của thiết bị rơle.

Thiếu điện áp thường do ngắn mạch trong hệ thống gây nên.

Trong các hệ thống bảo vệ, thông số về điện áp thường được sử dụng kết hợp với các thông số khác, chẳng hạn quá điện áp thường kết hợp với quá tần số để bảo vệ các máy phát điện, thiếu điện áp thường kết hợp với quá dòng điện để phân biệt chế độ quá tải với ngắn mạch v.v.

3.6. HƯỚNG CÔNG SUẤT

Nguyên lý quá dòng điện có nhược điểm quan trọng là không đảm bảo được tính chọn lọc trong lưới điện phức tạp (mạch vòng, lưới có các phần tử làm việc song song), lưới có nhiều nguồn cung cấp (H.3.8).

Đối với các lưới điện trên hình 3.8,a,b,c, xét sự làm việc của các bảo vệ quá dòng 2 và 3 ở thanh cái B khi có ngắn mạch trên các đường dây D1 và D2.

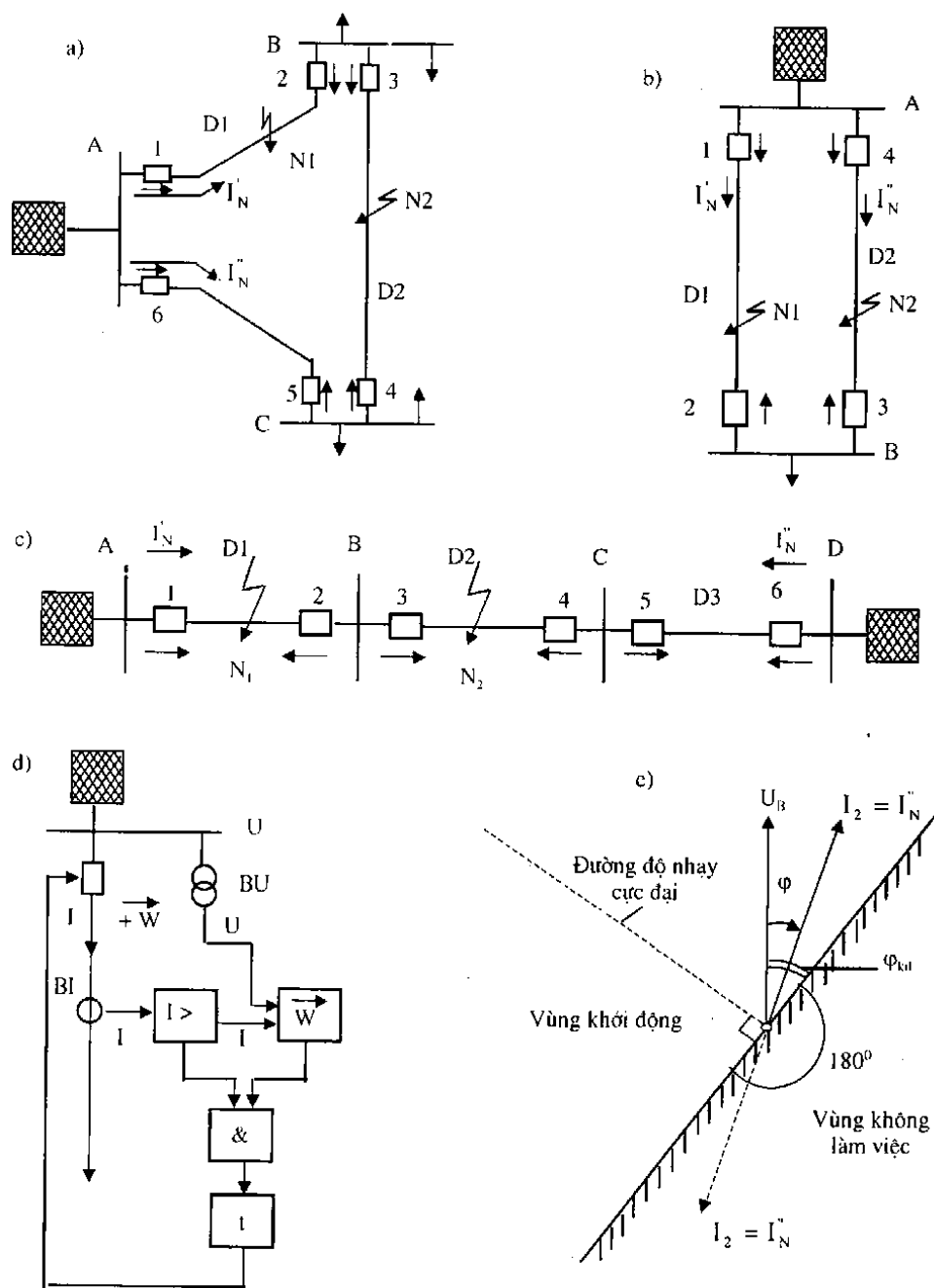
Khi ngắn mạch tại N1 trên đường dây D1, dòng ngắn mạch đi qua bảo vệ 2 và 3 là dòng I_N'' và bảo vệ 2 nằm gần chỗ sự cố hơn bảo vệ 3, để đảm bảo tính chọn lọc nó phải làm việc nhanh hơn bảo vệ 3, nghĩa là $t_2 < t_3$.

Khi ngắn mạch tại N2 trên đường dây D2, dòng ngắn mạch đi qua hai bảo vệ này là I_N' và bảo vệ 3 nằm gần chỗ sự cố hơn bảo vệ 2, nghĩa là để đảm bảo chọn lọc nó phải làm việc nhanh hơn bảo vệ 2 ($t_3 < t_2$). Từ đó có thể nhận thấy rằng đối với những lưới điện đã xét, khi vị trí điểm sự cố thay đổi yêu cầu về chọn thời gian làm việc của bảo vệ quá dòng thông thường trong lưới điện sẽ mâu thuẫn nhau và các bảo vệ không thể đảm bảo được chọn lọc.

Để đảm bảo tính chọn lọc cần đưa thêm bộ phận định hướng công suất $\vec{W}$ vào sơ đồ bảo vệ (H.3.8,d), để mỗi bảo vệ chỉ có thể làm việc theo một hướng công suất (hoặc dòng điện) nhất định, chẳng hạn *đi từ thanh góp vào đường dây*.

Khi gắn thêm bộ phận định hướng công suất, các bảo vệ quá dòng được phân thành hai nhóm, mỗi nhóm chỉ tác động theo một chiều công suất (dòng điện) nhất định. Ví dụ trên các lưới điện ở hình 3.8, các bảo vệ 1, 3,...(nhóm lẻ) chỉ phản ứng đối với dòng ngắn mạch I_N'' , còn các bảo vệ 2, 4,... (nhóm chẵn) chỉ phản ứng đối với dòng ngắn mạch I_N' . Trong mỗi nhóm bảo vệ, thời gian làm việc có thể chọn theo nguyên tắc tăng dần từ cuối nguồn đến đầu nguồn như đối với các bảo vệ quá dòng thông thường.

Bộ phận định hướng công suất làm việc theo góc lệch pha giữa dòng (chạy qua phần tử được bảo vệ) và áp (trên thanh góp chỗ đặt bảo vệ).



Hình 3.8. Bảo vệ quá dòng có hướng

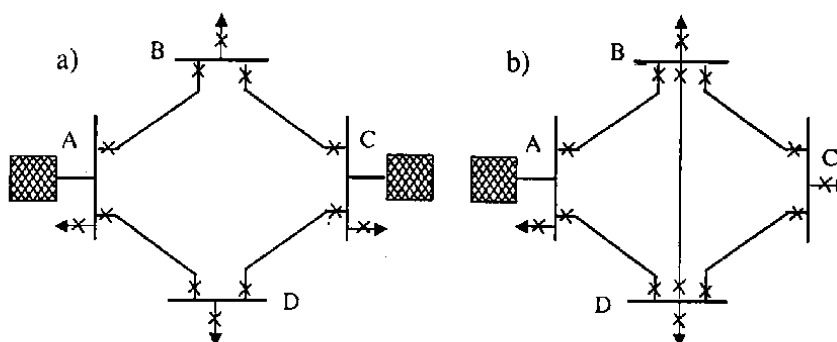
a) Mạng điện vòng; b) Đường dây song song; c) Đường dây một mạch có hai nguồn cung cấp; d) Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ quá dòng có hướng; e) Đặc tính pha của bộ phận định hướng công suất (ví dụ đối với bảo vệ số 2 trên các lưới điện a, b, c).

Trong một số trường hợp ngắn mạch trực tiếp ba pha gần chỗ đặt bảo vệ, điện áp trên thanh góp có thể giảm xuống rất thấp, dưới ngưỡng làm việc của thiết bị định hướng, những trường hợp như vậy được gọi là ngắn mạch trong *vùng chết* (theo điện áp) của bảo vệ. Để giảm hoặc loại trừ vùng chết đòi hỏi phải chế tạo những bộ phận định hướng có độ nhạy cao, với ngưỡng làm việc của bộ phận điện áp rất bé, hoặc đấu bộ phận định hướng qua thiết bị ghi nhớ điện áp trước khi sự cố.

Trên thực tế để đảm bảo tính chọn lọc trong các lưới điện trên hình 3.8,a,b,c không nhất thiết phải đặt bộ phận định hướng công suất ở tất cả các bảo vệ quá dòng trong lưới điện. Với một phần tử (i, j) nào đó trong lưới điện, để đảm bảo chọn lọc, bộ phận định hướng công suất chỉ cần đặt ở bộ bảo vệ có thời gian làm việc bé hơn. Chẳng hạn nếu $t_i < t_j$, bộ phận định hướng công suất sẽ được đặt ở bảo vệ i . Nếu $t_i = t_j$, không cần đặt ở cả hai đầu.

Để chống các dạng ngắn mạch không đối xứng, người ta sử dụng những bảo vệ phản ứng theo thành phần đối xứng của dòng (I_2, I_0), áp (U_2, U_0) và công suất tương ứng (W_2, W_0). Các bộ phận định hướng công suất thứ tự nghịch ($\vec{W}_2$) và thứ tự không ($\vec{W}_0$) được đấu qua các bộ lọc dòng và áp thứ tự nghịch và thứ tự không tương ứng có xét đến đặc tính khởi động theo góc pha của các thành phần đối xứng.

Trong một số lưới điện phức tạp (ví dụ trên H.3.9) cho dù có đặt thêm bộ phận định hướng công suất, bảo vệ quá dòng vẫn không đảm bảo được tính chọn lọc. Đối với các trường hợp này phải sử dụng những nguyên lý khác như so lệch, khoảng cách v.v...



Hình 3.9. Các cấu hình lưới điện trong đó bảo vệ quá dòng có hướng không đảm bảo được tính chọn lọc.

a) Mạng vòng có nhiều nguồn; b) Mạng vòng có một nguồn với liên hệ ngang không qua nguồn (BD).

3.7. CÁC THÀNH PHẦN ĐỐI XỨNG CỦA DÒNG VÀ ÁP

Trong nhiều trường hợp thay vì sử dụng đại lượng pha của dòng và áp, người ta chọn các thành phần đối xứng của dòng và áp làm đại lượng đầu vào cho bảo vệ. Để tách các thành phần đối xứng từ các đại lượng dòng và áp pha, người ta sử dụng các bộ lọc tương ứng. Việc thực hiện các bảo vệ phản ứng theo thành phần đối xứng của dòng và áp trong nguyên lý so lệch sẽ làm giảm khối lượng thông tin cũng như số kênh truyền cần thiết giữa hai đầu bảo vệ. Bảo vệ phản ứng theo thành phần đối xứng thường được sử dụng để chống các dạng sự cố sau đây:

- Ngắn mạch không đối xứng một pha hoặc hai pha, hai pha nối đất trong lưới điện có trung tính nối đất trực tiếp hoặc nối đất qua điện trở bé.
- Ngắn mạch chạm đất trong lưới điện có trung tính cách điện hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang (cuộn Petersen).
- Cấu hình không đối xứng của hệ thống, phụ tải không đối xứng và đứt dây trong hệ thống (không đối xứng dọc).

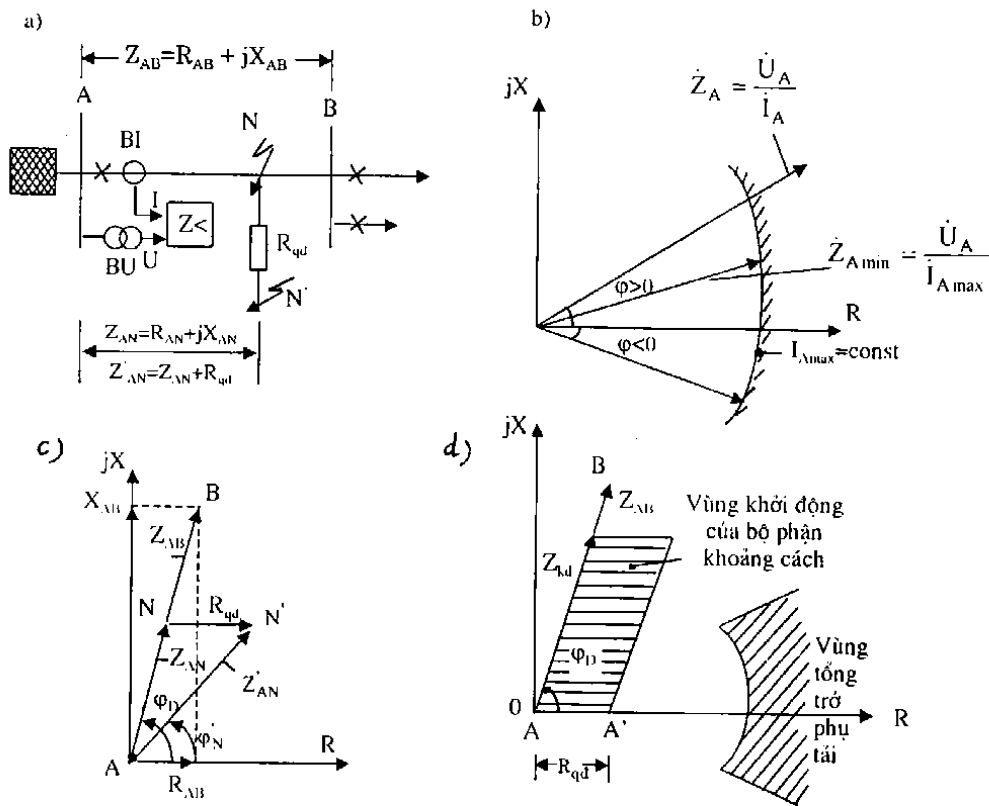
Tùy từng trường hợp có thể sử dụng bảo vệ làm việc theo biên độ hoặc góc pha của các thành phần đối xứng.

3.8. TỔNG TRỞ

Nguyên lý đo tổng trở được dùng để phát hiện sự cố trên hệ thống tải điện hoặc máy phát điện bị mất đồng bộ hay thiếu (mất) kích thích.

Đối với các hệ thống truyền tải, tổng trở đo được tại chỗ đặt bảo vệ trong chế độ làm việc bình thường (bằng thương số của điện áp chỗ đặt bảo vệ với dòng điện phụ tải) cao hơn nhiều so với tổng trở đo được trong chế độ sự cố. Ngoài ra, trong nhiều trường hợp tổng trở của mạch vòng sự cố thường tỷ lệ với khoảng cách từ chỗ đặt bảo vệ đến chỗ ngắn mạch (H.3.10).

Trong chế độ làm việc bình thường, tổng trở đo được tại chỗ đặt bảo vệ phụ thuộc vào trị số và góc pha của dòng điện phụ tải. Trên mặt phẳng phức số, ở chế độ dòng điện tải cực đại I_{Amax} khi $\cos\varphi$ của phụ tải thay đổi, mút véc tơ tổng trở phụ tải cực tiểu Z_{Amin} sẽ vẽ nên cung tròn có tâm ở gốc toạ độ của mặt phẳng tổng trở phức (H.3.10,b).



Hình 3.10. Nguyên lý đo tổng trở.

a) Sơ đồ lưới điện; b) Vùng biến thiên của tổng trở phụ tải; c) Đo tổng trở trong điều kiện sự cố; d) Đặc tính khởi động của bộ phận khoảng cách.

Tổng trở của đường dây tải điện AB được biểu diễn bằng vectơ Z_{AB} trên mặt phẳng phức. Độ nghiêng của vectơ tổng trở Z_{AB} so với trục hoành (điện trở tác dụng R) phụ thuộc vào tương quan giữa điện kháng của đường dây X_{AB} và điện trở tác dụng của đường dây R_{AB} , ta có:

$$\varphi_D = \arctan \left(\frac{X_{AB}}{R_{AB}} \right). \quad (3-12)$$

Khi ngắn mạch trực tiếp xảy ra tại điểm N trên đường dây, tổng trở đo được tại chỗ đặt bảo vệ:

$$Z_{AN} = R_{AN} + jX_{AN}. \quad (3-13)$$

Trị số của tổng trở đo được sẽ giảm đột ngột, nhưng độ nghiêng của vectơ tổng trở không thay đổi.

Khi ngắn mạch qua điện trở trung gian (thường là do điện trở của hồ quang R_{qd} phát sinh tại chỗ ngắn mạch), tổng trở đo được tại chỗ đặt bảo vệ:

$$Z'_{AN} = R_{AN} + jX_{AN} + R_{qd}. \quad (3-14)$$

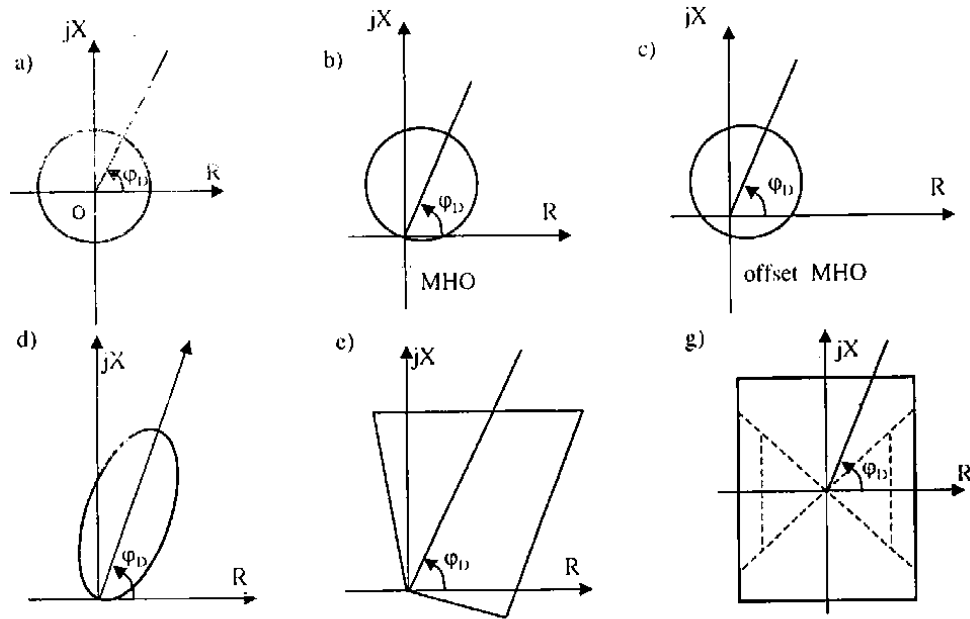
Tổng trở đo được có trị số lớn hơn nhưng góc nghiêng của vectơ tổng trở sẽ giảm đi (H.3.10,c).

Đối với bảo vệ khoảng cách làm việc không có thời gian, để tránh tác động nhầm khi có ngắn mạch ở đầu phần tử tiếp theo, tổng trở khởi động của bộ phận khoảng cách phải chọn bé hơn tổng trở của đường dây:

$$Z_{kd} = K \cdot Z_D. \quad (3-15)$$

Hệ số K thường chọn trong khoảng (0,8÷0,85) có xét đến sai số của máy biến dòng điện, máy biến điện áp và một số ảnh hưởng gây sai số khác.

Trên hình 3.10,d trình bày đặc tuyến khởi động của bộ phận khoảng cách có xét đến ảnh hưởng của điện trở quá độ tại chỗ ngắn mạch. Những rơle tổng trở đã được chế tạo và sử dụng trong hệ thống điện có đặc tuyến khởi động rất đa dạng (H.3.11) nhằm đáp ứng tốt hơn điều kiện vận hành của hệ thống.



Hình 3.11. Những đặc tuyến đo tổng trở thường gặp

- a) Tổng trở không có hướng ($Z_{Kd} = \text{const}$); b) Vòng tròn qua gốc (MHO);
c) Vòng tròn lệch tâm (offset MHO); d) Hình thấu kính; e) và g) Tứ giác.

Ngày nay nguyên lý đo tổng trở thường được sử dụng kết hợp với các nguyên lý khác như quá dòng điện, quá điện áp, thiếu điện áp để thực hiện những bảo vệ đa chức năng hiện đại.

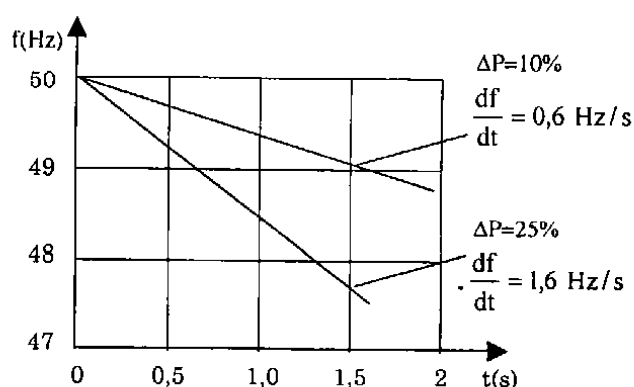
Nguyên lý đo tổng trở có thể được sử dụng để bảo vệ lưới điện phức tạp có nhiều nguồn với hình dạng bất kỳ. Tuy nhiên một số yếu tố có thể ảnh hưởng đến số đo của bộ phận khoảng cách như sai số của máy biến dòng điện, biến điện áp, điện trở quá độ tại chỗ ngắn mạch như trên đã nói, hệ số phân bố dòng điện trong nhánh bị sự cố với dòng điện qua chỗ đặt bảo vệ và đặc biệt là quá trình *dao động điện* sẽ đề cập đến trong phần sau.

3.9. TẦN SỐ

Độ lệch tần số khỏi trị số danh định chứng tỏ trong hệ thống điện bị mất cân bằng công suất tác dụng giữa nguồn phát với phụ tải. Tần số quá thấp chứng tỏ trong hệ thống thiếu công suất tác dụng, ngược lại tần số quá cao chứng tỏ thừa công suất tác dụng.

Độ sai lệch tần số có thứ nguyên mHz/MW đặc trưng cho sự ổn định và “sức mạnh” của hệ thống chống lại những biến đổi công suất tác dụng trong hệ thống. Đại lượng này càng bé chứng tỏ hệ thống càng khoẻ. Vì vậy hệ thống càng lớn bao nhiêu thì thiết bị đo tần số càng phải chính xác bấy nhiêu.

Khi tần số bị giảm thấp, như trên đã nói, chứng tỏ công suất của nguồn điện không đáp ứng được nhu cầu của phụ tải. Để đưa tần số trở lại bình thường phải sa thải dần từng bước phụ tải cho đến khi lập lại được cân bằng giữa cung và cầu công suất tác dụng. Khi mất cân bằng càng lớn, tốc độ biến đổi của tần số càng nhanh, vì vậy có thể tổ chức các đợt sa thải phụ tải theo tốc độ thay đổi tần số df/dt (gradient tần số). Trên hình 3.12 trình bày quan hệ giữa mức suy giảm tần số theo thời gian ứng với những mức thiếu hụt công suất tác dụng khác nhau trong hệ thống.



Hình 3.12. Suy giảm tần số theo thời gian ứng với những mức thiếu hụt khác nhau của công suất tác dụng trong hệ thống

3.10. CÁC NGUYÊN LÝ KHÁC ĐỂ PHÁT HIỆN SỰ CỐ VÀ CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC KHÔNG BÌNH THƯỜNG

Ngoài những nguyên lý đã trình bày trên đây, người ta còn dùng nhiều nguyên lý khác để phát hiện tình trạng làm việc không bình thường và chế độ sự cố ở từng phần tử trong hệ thống điện.

Những nguyên lý thường gặp bao gồm:

1) *Mức tăng nhiệt độ* thường được sử dụng để đánh giá tình trạng quá tải của thiết bị. Chẳng hạn nhiệt độ dầu biến áp, nhiệt độ ở những phần cần kiểm tra của cuộn dây máy phát điện, động cơ điện lớn....

Nhiệt độ có thể được đo trực tiếp ở từng điểm kiểm tra hoặc được hiển thị dưới dạng trường nhiệt độ, hình ảnh nhiệt trên màn hình các thiết bị quan sát.

2) *Tốc độ dịch chuyển của dầu, khí* bốc ra hoặc lượng khí tích tụ được. Nguyên lý này được sử dụng để chế tạo các rơle khí dùng cho các bảo vệ máy biến áp ngâm dầu. Khi có hư hỏng bên trong thùng dầu máy biến áp, dầu sẽ bị bốc hơi, tùy theo mức độ khí tạo ra và tốc độ dịch chuyển của dầu, khí, rơle khí sẽ cảnh báo hoặc gửi tín hiệu cắt.

3) *Hài bậc cao* xuất hiện trong dòng điện trung tính hoặc (và) trong điện áp trung tính ở lưới điện nối đất qua các cuộn Petersen. Đối với các máy phát điện, để phát hiện những hư hỏng trong cuộn dây máy phát, người ta cũng dùng nguyên lý đo lường thành phần hài bậc cao trong dòng điện sự cố của máy phát,

4) *Trị số quá độ* trong tín hiệu dòng và áp, sóng chạy, tín hiệu phản hồi cũng có thể được sử dụng để phát hiện sự cố trên đường dây tải điện.

CÂU HỎI ÔN TẬP

- 3.1. Nguyên lý quá dòng điện - Chọn dòng điện khởi động bảo vệ quá dòng điện có thời gian và bảo vệ dòng cắt nhanh.
- 3.2. Nguyên lý so lệch dòng điện và so lệch dòng điện có hãm.
- 3.3. Nguyên lý so sánh pha dòng điện.
- 3.4. Bảo vệ quá dòng điện có định hướng công suất. Phạm vi sử dụng.
- 3.5. Nguyên lý tổng trở - Những đặc tuyến khởi động thường gặp của role tổng trở.

Phần 2

BẢO VỆ CÁC PHẦN TỬ CHÍNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

Chương 4

Bảo vệ các đường dây truyền tải và phân phối điện

4.1. NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

Phương pháp và chủng loại thiết bị bảo vệ các đường dây tải điện phụ thuộc rất nhiều yếu tố như: đường dây trên không hay dây cáp, chiều dài đường dây, phương thức nối đất của hệ thống, công suất truyền tải và tầm quan trọng của đường dây, số mạch truyền tải và vị trí của đường dây trong cấu hình của hệ thống, cấp điện áp của đường dây v.v...

Theo cấp điện áp người ta phân biệt:

$U < 1 \text{ kV}$ - đường dây hạ áp (LV)

$1 \text{ kV} \leq U \leq 35 \text{ kV}$ - đường dây trung áp (MV)

$66 \text{ kV} \leq U \leq 220 \text{ kV}$ - đường dây cao áp (HV)

$330 \text{ kV} \leq U \leq 1000 \text{ kV}$ - đường dây siêu cao áp (EHV)

$U > 1000 \text{ kV}$ - đường dây cực cao áp (UHV).

Đường dây cấp điện áp danh định từ 220 kV trở lên được gọi là *đường dây truyền tải* và từ 110 kV trở xuống được gọi là *đường dây phân phối*.

Những sự cố thường gặp đối với đường dây tải điện là ngắn mạch (nhiều pha hoặc một pha) chạm đất 1 pha (trong lưới điện có trung điểm cách điện hoặc nối qua cuộn Petersen), quá điện áp (khí quyển hoặc thao tác), đứt dây và quá tải.

Để chống các dạng ngắn mạch trong lưới hạ áp thường người ta dùng cầu chảy hoặc ô tô mát (khí cụ tự động cắt mạch điện khi có dòng điện quá tải hoặc ngắn mạch chạy qua, đóng trở lại bằng tay sau khi đã khắc phục sự cố).

Để bảo vệ các đường dây trung áp chống ngắn mạch, người ta dùng các loại bảo vệ:

- Quá dòng điện cắt nhanh hoặc có thời gian (với đặc tính độc lập hoặc phụ thuộc);
- Quá dòng điện có hướng;
- So lệch dùng cấp thứ cấp chuyên dùng;
- Khoảng cách.

Đối với các đường dây cao áp và siêu cao áp, người ta thường dùng các loại bảo vệ:

- So lệch dòng điện;
- Khoảng cách;
- So sánh tín hiệu (Signal Comparison);
- So sánh pha;
- So sánh hướng (công suất hoặc dòng điện).

4.2. BẢO VỆ QUÁ DÒNG ĐIỆN

4.2.1 Bảo vệ quá dòng điện cắt nhanh (50/1>>)

Nguyên lý làm việc của bảo vệ quá dòng điện nói chung và quá dòng điện cắt nhanh đã trình bày trong mục 3.2.

Từ nguyên tắc chọn dòng điện khởi động để đảm bảo tính chọn lọc theo (3-5) ta thấy, vùng tác động của bảo vệ không thể bao trùm toàn bộ chiều dài đường dây được bảo vệ và thay đổi theo trị số của dòng điện ngắn mạch qua bảo vệ, tức là thay đổi theo dạng ngắn mạch và theo chế độ vận hành của hệ thống (H.3.5).

Để ngăn chặn bảo vệ cắt nhanh làm việc sai khi có sét đánh vào đường dây (khi ấy các van chống sét làm việc, tháo dòng điện sét gây ngắn mạch tạm thời) hoặc khi đóng các máy biến áp đầu vào đường dây (dòng điện kích từ không tải của máy biến áp có thể vượt quá trị số đặt của bảo vệ cắt nhanh) thông thường người ta cho bảo vệ làm việc với độ trễ khoảng 50-80 mili giây.

Với lưới điện có trung điểm nối đất trực tiếp, để chống cả ngắn mạch 1 pha người ta sử dụng sơ đồ ba máy biến dòng và ba rơle nối hình sao đầy đủ, hoặc

Chẳng hạn, với ví dụ trên hình 4.1, khi hệ thống A có công suất lớn hơn hệ thống B thì dòng khởi động phải chọn theo điều kiện ngắn mạch 3 pha trực tiếp trên đầu đường dây B. Nếu chênh lệch công suất giữa hai hệ thống quá lớn, vùng tác động của bảo vệ cắt nhanh phía hệ thống công suất bé sẽ rất hạn chế, để khắc phục nhược điểm này cần đặt bộ phân định hướng công suất ở đầu có nguồn dòng ngắn mạch bé hơn (mục 4.2.5).

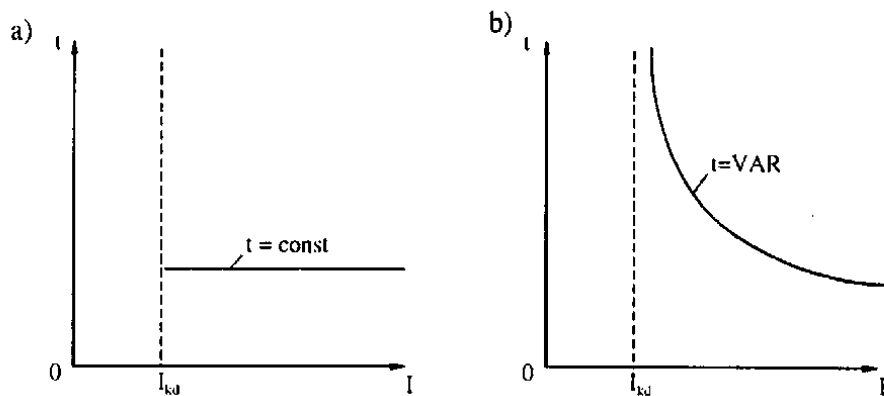


Nếu ngoài đường dây được bảo vệ giữa các thanh góp A và B còn có những liên hệ vòng khác thì sau khi bảo vệ một đầu đã tác động cắt máy cắt, dòng ngắn mạch ở đầu còn lại có thể tăng lên và vùng tác động của bảo vệ cắt nhanh ở đầu này có thể được mở rộng ra (hiện tượng *khởi động không đồng thời* của bảo vệ cắt nhanh).

4.2.2. Bảo vệ quá dòng điện có thời gian

Bảo vệ quá dòng điện có thời gian thường dùng để bảo vệ các đường dây trung áp hình tia. Tính chọn lọc của bảo vệ được đảm bảo bằng nguyên tắc phân cấp việc chọn thời gian tác động: bảo vệ càng gần nguồn cung cấp thời gian tác động càng lớn.

Có hai loại đặc tính thời gian làm việc của bảo vệ quá dòng điện: đặc tính độc lập và đặc tính phụ thuộc (tỷ lệ nghịch).



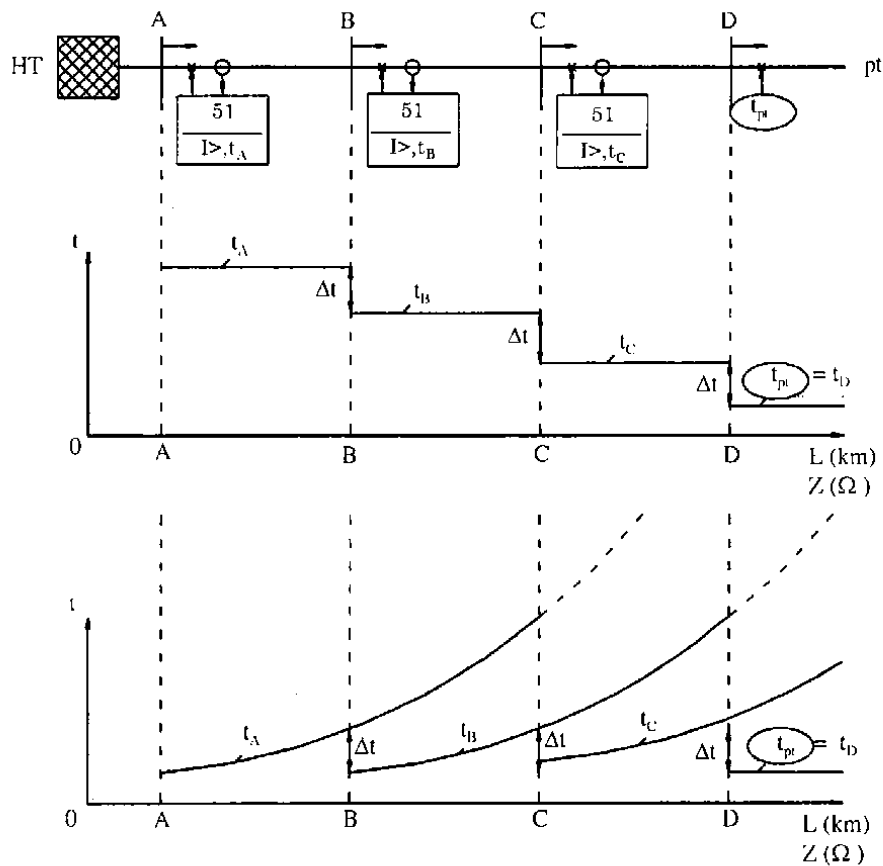
Hình 4.2. Đặc tính thời gian của bảo vệ quá dòng điện
a) Độc lập ; b) Phụ thuộc.

Thời gian làm việc của bảo vệ có đặc tính độc lập không phụ thuộc vào trị số dòng điện chạy qua bảo vệ (H.4.2,a) còn của bảo vệ có đặc tính phụ thuộc thì tỷ lệ nghịch với dòng điện chạy qua bảo vệ: dòng điện càng lớn thời gian tác động càng nhanh (H.4.2,b).

Trên hình 4.3 trình bày cách phối hợp đặc tuyến thời gian của bảo vệ quá dòng điện trong một mạng điện hình tia (H.4.3,a) cho trường hợp đặc tuyến độc lập (H.4.3,b) và đặc tuyến phụ thuộc H.4.3,c).

Trên các hình 4.3,b và 4.3,c, Δt giữa 2 đặc tuyến lân cận nhau được gọi là cấp chọn lọc về thời gian, nó phụ thuộc vào sai số của bản thân rơle cũng như thời gian cắt của máy cắt điện.

Đối với các rơle điện cơ thường lấy $\Delta t = 0,4 \div 0,5$ giây, với các rơle số, $\Delta t = 0,2 \div 0,3$ giây.



Hình 4.3. Phối hợp đặc tuyến thời gian của bảo vệ quá dòng điện trong lưới điện hình tia (a) cho trường hợp đặc tuyến độc lập (b) và đặc tuyến phụ thuộc (c);

Các đặc tính thời gian phụ thuộc của bảo vệ quá dòng điện thường gặp có dạng (H.4.4):

Độ dốc tiêu chuẩn:

$$t = \frac{0,14}{I_*^{0,02} - 1};$$

rất dốc:

$$t = \frac{13,5}{I_* - 1};$$

cực dốc:

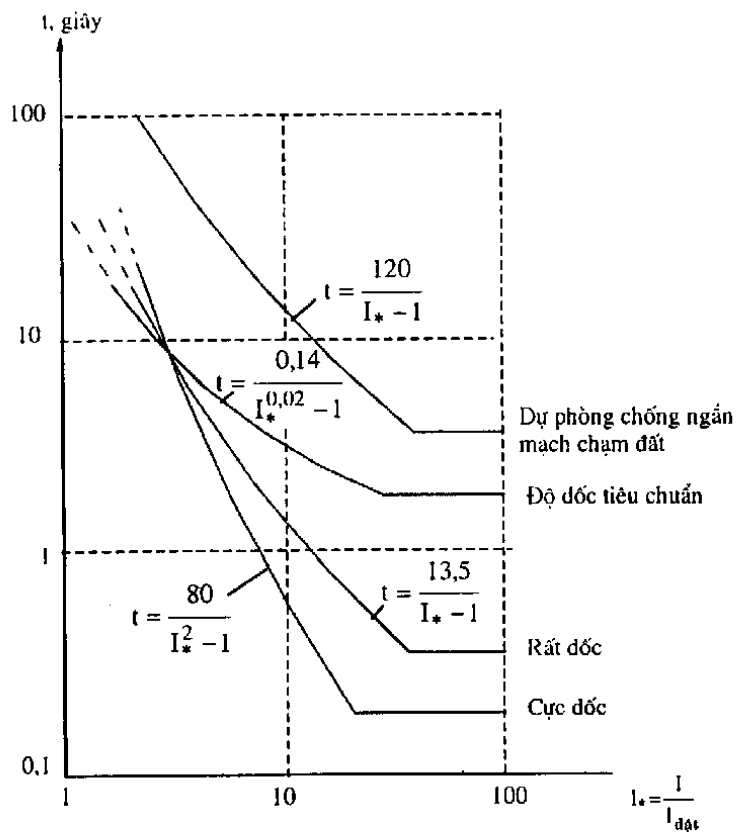
$$t = \frac{80}{I_*^2 - 1};$$

và dự phòng chống ngắn mạch chạm đất:

$$t = \frac{120}{I_* - 1}$$

trong đó: I_* - dòng điện chạy qua rơle tính quy đổi về giá trị tương đối so với trị số đặt trên rơle;

t - thời gian làm việc của bảo vệ (giây).



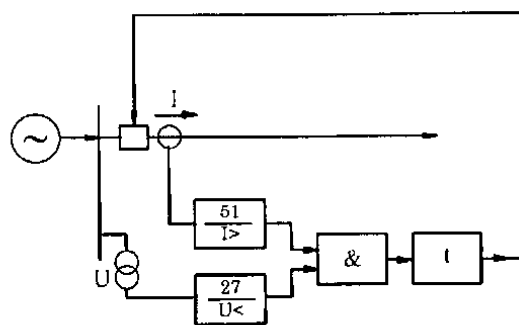
Hình 4.4. Đặc tính thời gian phụ thuộc thường gặp của bảo vệ quá dòng điện.

Cũng giống như bảo vệ cắt nhanh, bảo vệ quá dòng điện có thời gian có thể được thực hiện theo sơ đồ hình sao (3 biến dòng + 3 role), sơ đồ hình V (2 biến dòng + 2 role) hoặc một role dòng điện nối vào bộ lọc dòng thứ tự không. Đối với lưới điện có trung điểm nối đất trực tiếp thường dùng sơ đồ hình sao hoặc dòng thứ tự không. Bảo vệ quá dòng thứ tự không có độ nhạy cao hơn (vì không phải chỉnh định theo dòng phụ tải cực đại) biểu thức (3-4) và thời gian làm việc bé hơn so với bảo vệ quá dòng thông thường cùng cấp (vì số cấp chỉnh định thời gian trong mạng thứ tự không ít hơn nhiều so với số cấp trong mạng thứ tự thuận) .

4.2.3. Bảo vệ quá dòng điện có thời gian có khoá điện áp thấp

Trong nhiều trường hợp bảo vệ quá dòng điện có thời gian với dòng điện khởi động chọn theo (3-4) có thể không đủ độ nhạy, vì dòng điện làm việc cực đại I_{lvmax} chạy qua phần tử được bảo vệ có trị số quá lớn, chẳng hạn khi tách mạch vòng của lưới điện, khi cắt một số đường dây hoặc máy biến áp làm việc song song. Trong một số lưới điện với nguồn công suất ngắn mạch yếu, nếu theo dòng điện I_{lvmax} ở các chế độ này thậm chí bất đẳng thức (3-4) không thể thỏa mãn được.

Trong những điều kiện như vậy, để nâng cao độ nhạy của bảo vệ quá dòng điện có thời gian, đảm bảo cho bảo vệ có thể phân biệt được ngắn mạch và quá tải, người ta thêm vào sơ đồ bảo vệ bộ phận khóa điện áp thấp (H.4.5).



Hình 4.5. Bảo vệ quá dòng điện có thời gian có khoá điện áp thấp.

Bộ phận khóa điện áp thấp ($U <$) sẽ làm việc phối hợp với bộ phận quá dòng ($I >$) theo lô gích "VÀ" (&). Khi có ngắn mạch dòng điện chạy qua chỗ đặt bảo vệ tăng cao còn điện áp thì giảm thấp, hai sự kiện này xảy ra đồng thời,

bảo vệ sẽ tác động. Còn khi có quá tải dòng điện có thể vượt quá trị số chỉnh định tuy nhiên điện áp chỉ suy giảm đôi chút, bộ khoá điện áp thấp sẽ không làm việc nên bảo vệ sẽ không tác động.

Điện áp khởi động U_{kd} của bộ khóa điện áp thấp chọn theo điều kiện:

$$\frac{U_{lvmin}}{n_u} > U_{kd} > \frac{U_{Nmax}}{n_u} \quad (4.1)$$

trong đó: U_{lvmin} - điện áp làm việc tối thiểu cho phép tại chỗ đặt bảo vệ trong điều kiện quá tải nặng nề nhất.

U_{Nmax} - điện áp dư lớn nhất tại chỗ đặt bảo vệ khi có ngắn mạch ở cuối vùng bảo vệ của bảo vệ quá dòng.

n_u - tỷ số biến đổi của máy biến điện áp.

Khi có thêm bộ phận khóa điện áp thấp, dòng điện khởi động của bộ phận quá dòng điện có thể chọn theo điều kiện làm việc bình thường mà không cần xét đến chế độ quá tải sự cố.

Role dòng điện trong trường hợp này làm nhiệm vụ không cho bảo vệ tác động nhầm trong trường hợp đứt cầu chì trong mạch role điện áp.

Thời gian làm việc của bảo vệ được phối hợp như trên hình 4. 3.

4.2.4. Bảo vệ quá dòng điện có hướng

Đối với một số cấu hình của lưới điện, bảo vệ quá dòng điện với thời gian làm việc chọn theo nguyên tắc phân cấp (mục 4.2.2) không đảm bảo được tính chọn lọc.

Chẳng hạn với sơ đồ các đường dây song song trên hình 4.6,a, nếu sử dụng bảo vệ quá dòng điện thông thường thời gian làm việc của các bảo vệ được chọn như sau:

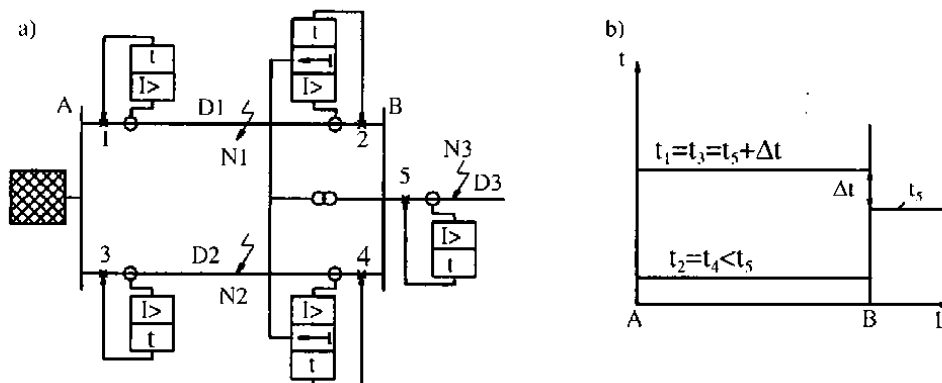
$$t_2 = t_4 = t_5 + \Delta t$$

$$t_1 = t_3 = t_2 + \Delta t = t_5 + 2\Delta t$$

trong đó: Δt - cấp chọn lọc về thời gian (0,3 ÷ 0,5 s).

Khi các bảo vệ 2 và 4 có trang bị bộ phận định hướng công suất với chiều tác động ứng với luồng công suất đi từ thanh góp vào đường dây (mục 3-6) thì không cần phối hợp thời gian tác động giữa bảo vệ 2 và 4 với bảo vệ 5, vì khi ngắn mạch trên đường dây D3 (điểm N3) các bảo vệ 2 và 4 sẽ không làm việc. Trong trường hợp này các bảo vệ 1 và 3 sẽ phối hợp thời gian trực tiếp với bảo vệ 5:

$$t_1 = t_3 = t_5 + \Delta t$$



Hình 4.6. Bảo vệ quá dòng điện có hướng đường dây hai mạch song song (a) và cách chọn thời gian làm việc của bảo vệ (b).

Vì vậy thời gian làm việc của các bảo vệ này sẽ được giảm đi, còn thời t_2 và t_4 có thể chọn bé tùy ý (H.4.6,b).

Với các lưới điện trên hình 3.8,a và c, nếu giả thiết tất cả các bảo vệ đều được trang bị bộ phận định hướng công suất, thì theo chiều tác động các bảo vệ được phân thành hai nhóm: nhóm lẻ gồm các bảo vệ 1, 3, 5 với bảo vệ 5 nằm xa nguồn nhất còn đối nhóm chẵn (2, 4, 6) thì bảo vệ 2 nằm xa nguồn nhất.

Trong mỗi nhóm thời gian làm việc của các bảo vệ được chọn theo nguyên tắc bậc thang như đối với các bảo vệ quá dòng điện đã xét trước đây (H.4.7).

Cần lưu ý rằng nếu trên thanh góp nhiều đường dây ra, thì thời gian làm việc của bảo vệ quá dòng đoạn sau (gần nguồn hơn) phải phối hợp với thời gian làm việc lớn nhất của bảo vệ quá dòng đặt ở đường dây nối với thanh góp liền kề, nghĩa là:

$$t_n = \max \{ t_{n-1} \} + \Delta t. \quad (4-2)$$

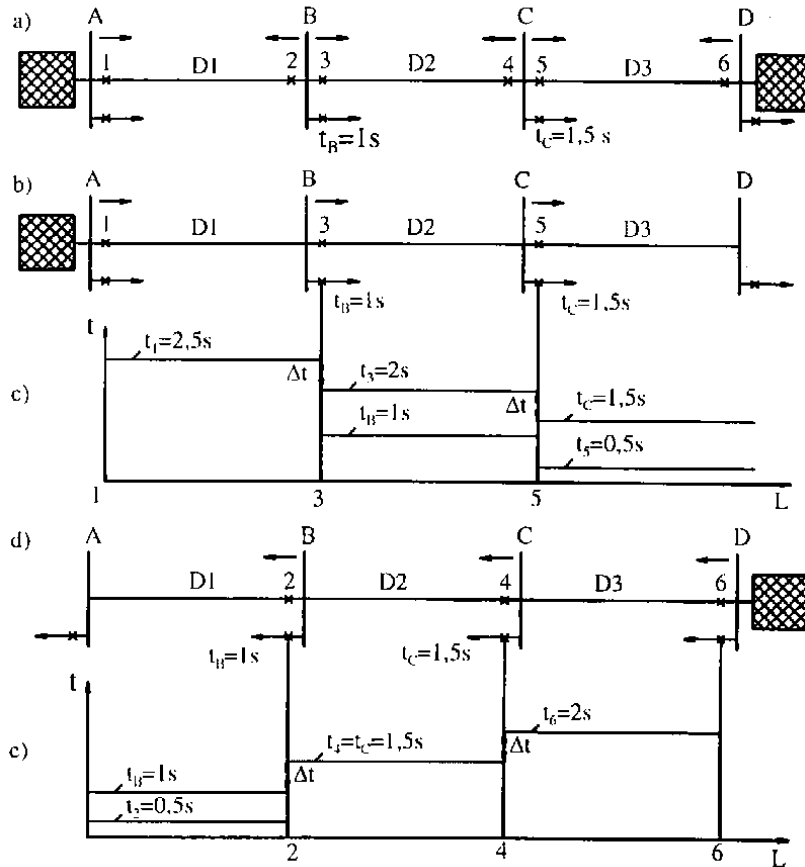
trong đó: t_n - thời gian làm việc của bảo vệ quá dòng gần nguồn hơn.

t_{n-1} - thời gian làm việc của bảo vệ quá dòng của đường dây nối với thanh góp liền kề (xa nguồn hơn).

Δt - cấp chọn lọc về thời gian.

Đối với trường hợp có hai phần tử làm việc song song (như đường dây hai mạch trên H.4.6,a hoặc trạm biến áp có hai máy biến áp) khi xác định dòng điện làm việc cực đại theo (3-4) cần cộng dòng điện làm việc lớn nhất của cả hai phần tử để tránh bảo vệ có thể làm việc nhầm cắt cả phần tử thứ hai sau khi phần tử thứ nhất bị sự cố vừa cắt ra, nghĩa là phải lấy:

$$I_{\text{làm việc max}} = I_{\text{làm việc max 1}} + I_{\text{làm việc max 2}} \quad (4-3)$$



Hình 4.7. Phối hợp thời gian làm việc của các bảo vệ quá dòng có hướng trong lưới điện có 2 nguồn cung cấp.

Trên đây khi chỉnh định thời gian làm việc, ta giả thiết rằng tất cả các bảo vệ đặt ở các đoạn đường dây đều được trang bị bộ phận định hướng công suất. Trên thực tế đối với mỗi đoạn đường dây bộ phận định hướng công suất như đã nói trong mục 3-6 chỉ cần đặt ở đầu có thời gian làm việc bé hơn, nếu bảo vệ ở hai đầu đoạn đường dây có thời gian làm việc giống nhau thì ở cả hai đầu đều không cần đặt bộ phận định hướng công suất. Chẳng hạn đối với lưới điện trên ví dụ H.4.7,a bộ phận định hướng công suất chỉ cần đặt ở các bảo vệ 2, 4 và 5.

Tác động của bảo vệ quá dòng có hướng phụ thuộc vào hai yếu tố: dòng điện sự cố (được kiểm tra bằng bộ phận khởi động quá dòng điện) và hướng công suất qua chỗ đặt bảo vệ. Độ nhạy của bộ phận khởi động quá dòng điện được kiểm tra theo hệ số độ nhạy K_n (3-4a) còn tác động của bộ phận định hướng

công suất được kiểm tra theo đặc tính góc (H.3.8,e). Đối với trường hợp sự cố cần khảo sát, xác định véc tơ điện áp đặt vào role, lấy véc tơ này làm chuẩn, xác định miền tác động của bộ phận định hướng theo góc khởi động φ_{kd} . Sau đó xác định véc tơ dòng điện chạy qua role khi có sự cố, nếu véc tơ dòng điện sự cố nằm trong miền tác động, role công suất sẽ làm việc.

Tuỳ theo góc lệch pha giữa tổ hợp dòng và áp đặt vào role trong chế độ làm việc bình thường mà đôi khi người ta còn gọi tên các sơ đồ bảo vệ quá dòng có hướng theo góc như sơ đồ 90° , 60° , 30° v.v...

4.2.5. Bảo vệ quá dòng cắt nhanh có hướng

Đối với đường dây được cung cấp từ hai phía, nếu ở hai đầu đường dây đặt bảo vệ cắt nhanh thông thường, thì để đảm bảo tính chọn lọc dòng điện khởi động của cả hai bảo vệ phải chọn bằng nhau theo (3-5), trong đó dòng điện ngắn mạch ngoài lớn nhất $I_{Ng. max}$ chọn theo điều kiện:

$$I_{Ng. max} = \max \{ I_{Ng. max A}; I_{Ng. max B} \}; \quad (4-4)$$

trong đó: $I_{Ng. max A}$ - dòng điện ngắn mạch ngoài lớn nhất chạy qua bảo vệ từ phía A (điểm N1).

$I_{Ng. max B}$ - dòng điện ngắn mạch ngoài lớn nhất chạy qua bảo vệ từ phía B (điểm N2).

Với dòng điện khởi động chọn theo (3-5) và (4-4) thì vùng được bảo vệ từ hai phía của đường dây sẽ rất hạn chế. Nếu công suất ngắn mạch của nguồn ở hai đầu đường dây khác nhau nhiều thì có thể (H.4.8,a):

$$l_{cNA} + l_{cNB} < l_{AB}$$

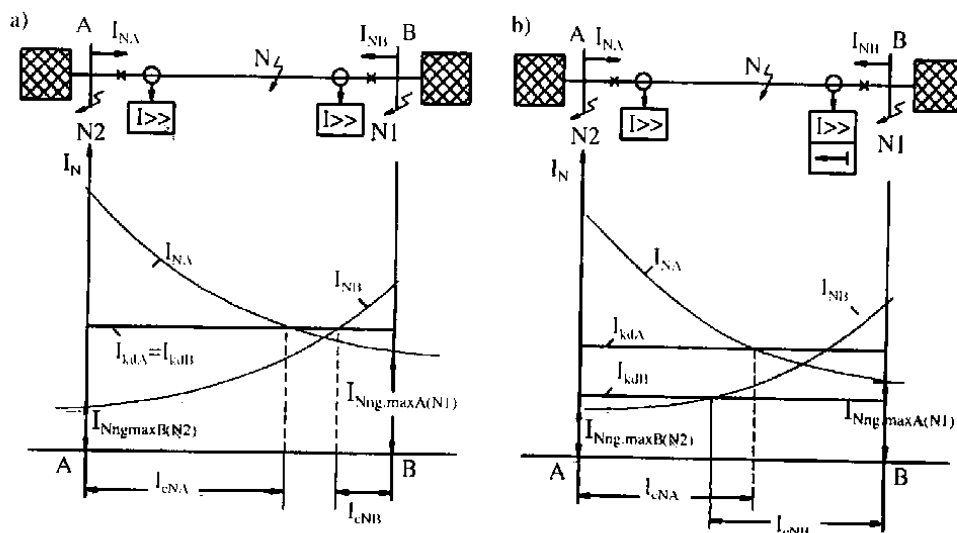
có nghĩa là có thể tồn tại một phần đường dây mà khi sự cố xảy ra trên đó bảo vệ cắt nhanh ở cả hai đầu đều không làm việc.

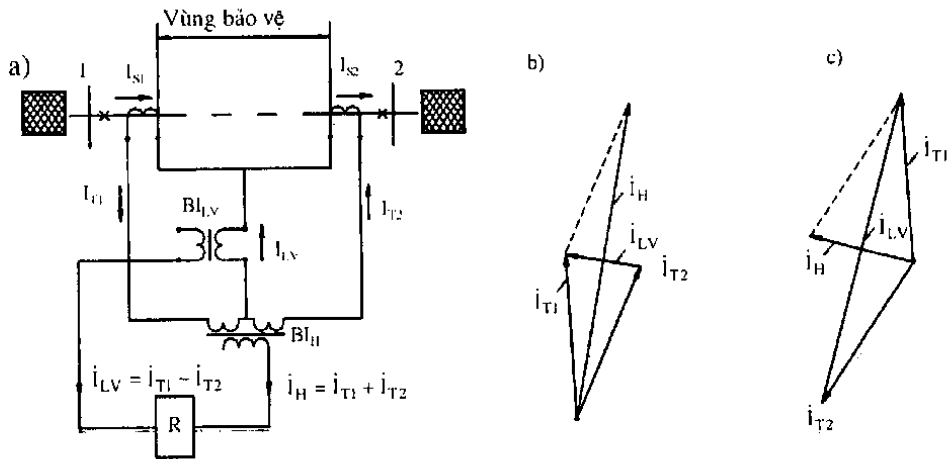
Để mở rộng vùng bảo vệ cắt nhanh trong trường hợp nguồn công suất ngắn mạch chênh lệch nhau nhiều, có thể đặt thêm bộ phận định hướng công suất ở đầu có nguồn yếu hơn (H.4.8,b). Khi ấy dòng điện khởi động của bảo vệ cắt nhanh ở hai đầu đường dây có thể chọn khác nhau:

$$\left. \begin{aligned} I_{kd A} &= K_{at} \cdot I_{Ng. max A} \\ I_{kd B} &= K_{at} \cdot I_{Ng. max B} \end{aligned} \right\} \quad (4-5)$$

trong đó: K_{at} - hệ số an toàn, lấy $K_{at} = 1,2 \div 1,3$.

Như vậy nếu đặt ở đầu nguồn yếu hơn bộ phận định hướng công suất thì vùng bảo vệ cắt nhanh ở đầu này sẽ được mở rộng ra nhiều.





Hình 4.9. Sơ đồ nguyên lý (a) và đồ thị véc tơ của dòng điện làm việc I_{LV} và dòng điện hãm I_H khi có ngắn mạch ngoài (b) và trong vùng bảo vệ (c).

Trường hợp chỉ có một nguồn cung cấp (chẳng hạn từ đầu 1) thì khi sự cố xảy ra trong vùng bảo vệ, dòng điện sự cố chỉ chạy qua một đầu, khi ấy:

$$I_{LV} = I_H = I_{T1}$$

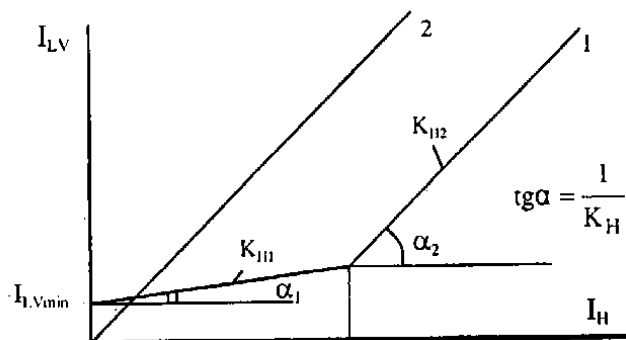
Để bảo vệ có thể làm việc trong trường hợp này, dòng điện làm việc phải chọn lớn hơn dòng điện hãm, nghĩa là:

$$I_{LV} = K_H^{-1} \cdot I_H \quad (4-8)$$

trong đó: K_H - là hệ số hãm, $K_H < 1$; thường chọn $K_H = 0,2 \div 0,5$.

Giới hạn dưới của hệ số hãm được chọn cho miền có dòng điện ngắn mạch bé để nâng cao độ nhạy của bảo vệ, còn ở miền có dòng điện ngắn mạch lớn thường chọn hệ số hãm cao để ngăn chặn tác động nhầm một cách chắc chắn.

Hình 4.10. Đặc tính làm việc của bảo vệ so lệch có hãm (1) và tương quan giữa dòng điện làm việc I_{LV} và dòng điện hãm I_H khi ngắn mạch trong vùng bảo vệ và nguồn cung cấp từ một phía (2).

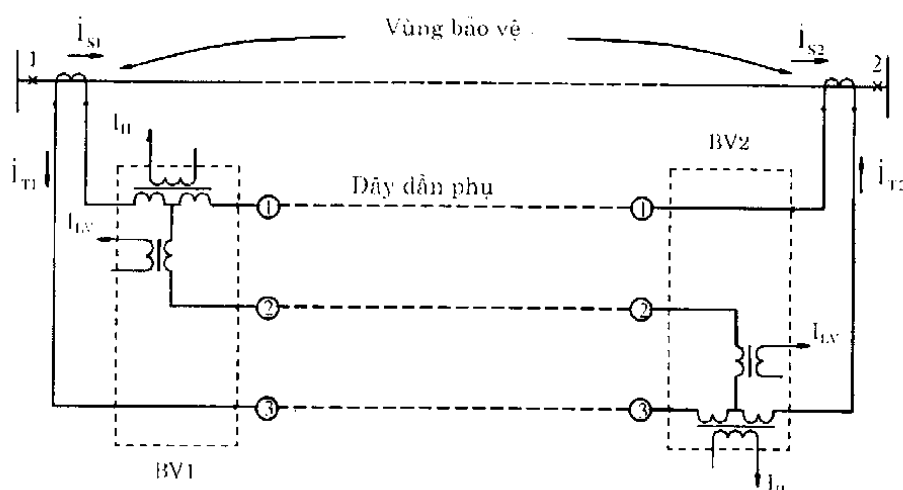


4.3.2. Bảo vệ so lệch dùng dây dẫn phụ

Để thực hiện nguyên lý so lệch, dòng điện ở hai đầu phần tử được bảo vệ phải được đo và so sánh với nhau. Nếu hai đầu phần tử được bảo vệ nằm gần nhau (như cuộn dây của máy phát điện, máy biến áp, động cơ điện...) có thể nối trực tiếp các tổ máy biến dòng với một bộ rơle so lệch dùng chung để cắt các máy cắt có liên quan. Đối với đường dây tải điện cần phải dùng hai hoặc ba (đối với đường dây rẽ nhánh hình T) bộ bảo vệ, mỗi bộ để tác động cắt máy cắt ở một đầu đường dây.

Các bộ bảo vệ này được nối với nhau qua các kênh thông tin: dây dẫn phụ, cáp thông tin, PLC, vi ba hoặc cáp quang.

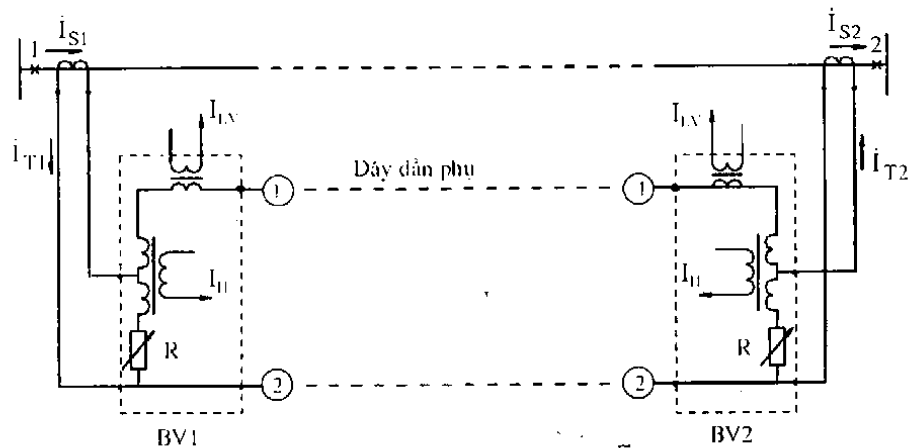
Đối với các đường dây ngắn có thể sử dụng dây dẫn phụ. Sơ đồ bảo vệ so lệch dòng điện dùng dây dẫn phụ có hai loại: loại dòng điện tuần hoàn (H.4.11,a) và loại cân bằng điện áp (H.4.11,b).



Hình 4.11a. Bảo vệ so lệch dòng điện làm việc theo nguyên tắc dòng điện tuần hoàn có hãm, dùng dây dẫn phụ.

Sơ đồ dòng điện tuần hoàn cần dùng 3 dây dẫn phụ, còn sơ đồ cân bằng điện áp chỉ cần dùng 2 dây. Cả hai sơ đồ đều thường dùng nguyên lý hãm đã trình bày trên đây.

Để giảm bớt số lượng dây dẫn phụ trong sơ đồ ba pha người ta còn dùng phương pháp cộng dòng điện pha thông qua các máy biến dòng cộng (H.4.12). Hệ số biến đổi giữa dòng điện các pha trong máy biến dòng cộng phải chọn sao cho dòng điện ở đầu ra không bị triệt tiêu đối với bất kỳ một dạng ngắn mạch nào.

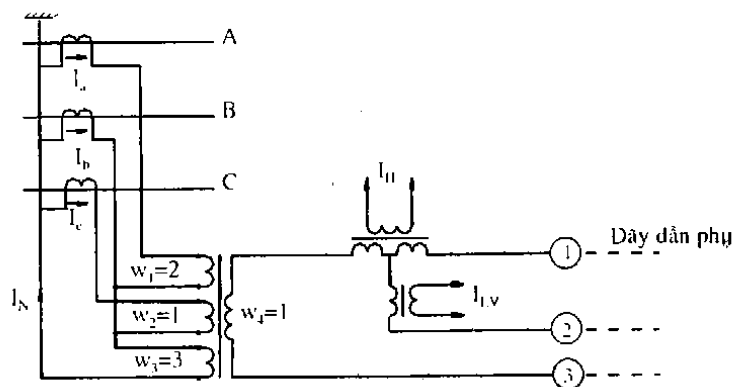


Hình 4.11b. Bảo vệ sơ lệch dòng điện làm việc theo nguyên tắc cân bằng điện áp có hãm, dùng dây dẫn phụ.

Chẳng hạn, đối với sơ đồ trên hình 4.12, tỷ số số vòng dây giữa các cuộn là: $W_1 : W_2 : W_3 = 2 : 1 : 3$ và dòng điện đầu ra của máy biến dòng cộng là:

$$\dot{I}_{ca} = 2\dot{I}_a + \dot{I}_c + 3\dot{I}_N \quad (4.9)$$

trong đó: $\dot{I}_N$ - dòng điện chạy trong dây trung tính của tổ máy biến dòng đấu hình sao. Ở chế độ vận hành đối xứng và với dạng ngắn mạch không chạm đất $\dot{I}_N = 0$.



Hình 4.12. Cộng dòng điện để giảm bớt dây dẫn phụ trong sơ đồ bảo vệ sơ lệch dòng điện.

Sơ đồ bảo vệ so lệch dòng điện dùng dây dẫn phụ có một số nhược điểm đáng kể:

1) Điện áp cảm ứng trong dây dẫn phụ ở chế độ ngắn mạch chạm đất trên đường dây được bảo vệ có trị số khá lớn gây nguy hiểm cho người và thiết bị ở phía thứ cấp. Điện áp cảm ứng này do từ thông thứ tự không từ đường dây tải điện móc vòng qua mạch dây dẫn phụ (thường đặt song song với đường dây được bảo vệ) gây nên. Dòng điện thứ tự không càng lớn và chiều dài đường dây càng tăng thì điện áp cảm ứng càng lớn.

2) Dòng điện nạp do điện dung của dây dẫn phụ gây nên có trị số đáng kể.

3) Dây dẫn phụ càng dài xác suất sự cố dây dẫn phụ (đứt dây, chập mạch) càng cao. Khi dây dẫn phụ bị đứt có thể làm cho bảo vệ tác động nhầm, còn khi dây dẫn phụ bị chập nhau, bảo vệ có thể từ chối làm việc trong trường hợp ngắn mạch trong vùng bảo vệ.

4) Thành phần một chiều trong dòng sự cố có thể làm cho các máy biến dòng bị bão hòa nặng.

Nhược điểm 1) và 2) có thể được khắc phục bằng cách thay thế dây dẫn phụ bằng cáp quang. Cáp quang trong trường hợp này ngoài nhiệm vụ truyền các tín hiệu phục vụ bảo vệ còn có thể được sử dụng vào mục đích truyền dữ liệu và thông tin liên lạc trong hệ thống.

Để kiểm tra trạng thái của dây dẫn phụ người ta dùng những sơ đồ đặc biệt có đưa thêm nguồn điện một chiều hoặc xoay chiều tần số cao (khoảng 1 kHz) vào mạch dây dẫn phụ.

Để ngăn chặn bảo vệ tác động nhầm do ảnh hưởng của bão hoà của máy biến dòng người ta thường sử dụng nguyên lý hãm.

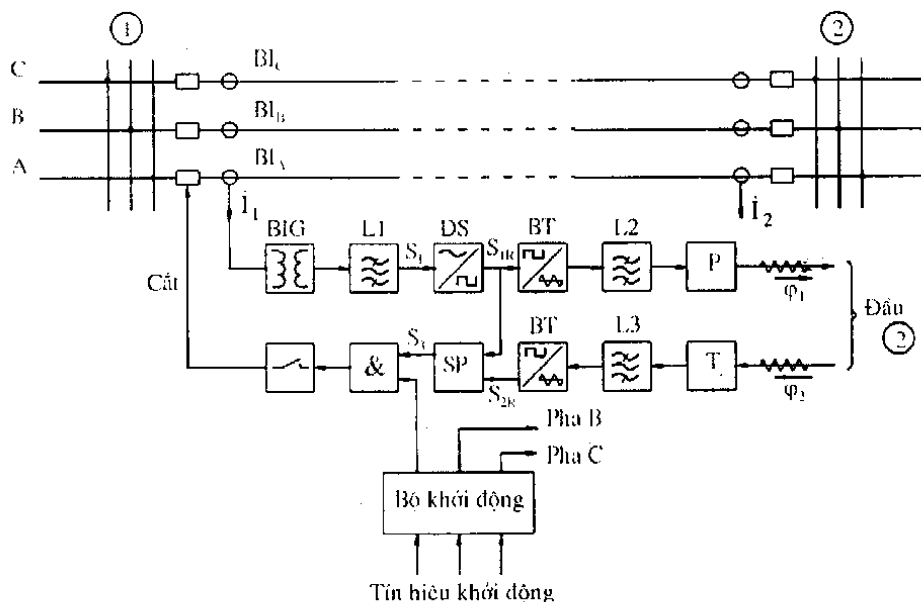
Vì những hạn chế nêu trên nên bảo vệ so lệch dòng điện có hãm thường chỉ được sử dụng cho những đoạn đường dây ngắn (không quá 25 km) tải công suất lớn.

Với những đường dây có chiều dài lớn, nguyên lý so lệch thường được sử dụng kết hợp với các kênh truyền hiện đại như cáp quang hoặc vi ba, chẳng hạn bảo vệ so sánh pha dòng điện.

4.3.3. Bảo vệ so sánh pha dòng điện

Nguyên lý làm việc của bảo vệ so sánh pha dòng điện trình bày trong chương 3. Dòng điện ở hai đầu đường dây được so sánh với nhau theo từng pha hoặc thông qua một bộ cộng pha để so sánh giữa hai tổ hợp pha của dòng điện ở hai đầu đường dây. Việc so sánh có thể tiến hành cho hai nửa chu kỳ (dương và âm) hoặc chỉ theo nửa chu kỳ.

Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ so sánh pha dòng điện theo từng pha riêng biệt trình bày trên hình 4.13.



Hình 4.13. Sơ đồ khối của bảo vệ so sánh pha dòng điện theo từng pha riêng biệt.

Dòng điện ở đầu 1 thông qua máy biến dòng trung gian BIG (làm nhiệm vụ cách ly mạch bảo vệ và tạo tín hiệu chuẩn cho sơ đồ bảo vệ) và bộ lọc hài cơ bản L1 tạo nên tín hiệu chuẩn hình sin S_1 . Thông qua bộ chuyển dạng sóng (từ hình sin sang hình chữ nhật) DS sẽ tạo ở đầu ra các sóng chữ nhật S_{1R} . S_{1R} được đưa vào đầu vào của bộ so sánh pha SP. Mặt khác S_{1R} được đưa qua bộ biến tần BT và bộ lọc L2 đưa vào bộ phát P để phát thông tin về pha φ_1 của dòng điện đầu 1 thông qua kênh truyền sang phía đối diện.

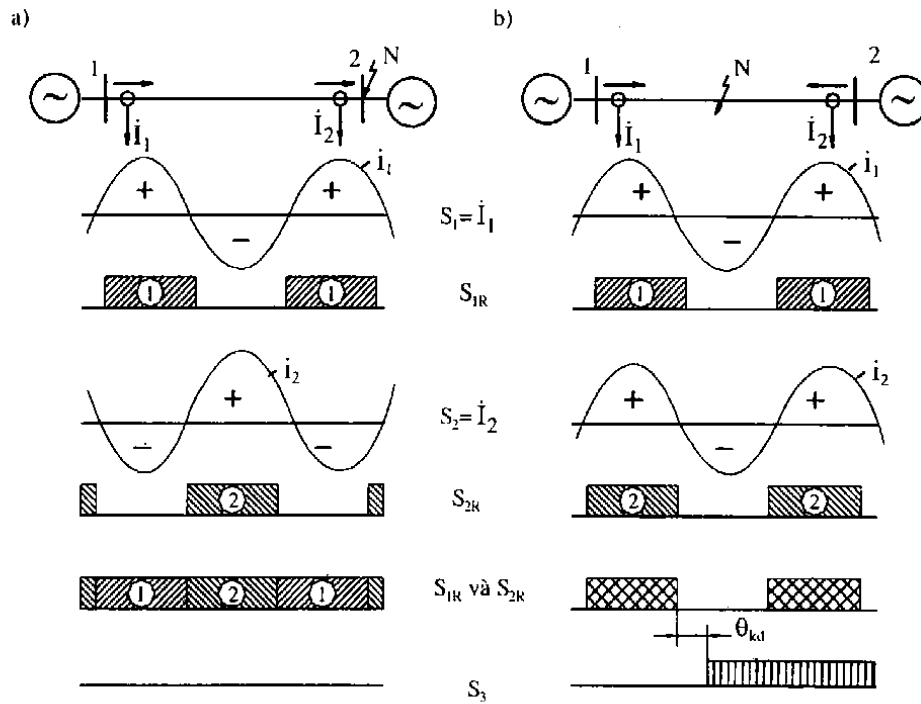
Dòng điện ở đầu đối diện (đầu 2) cũng đi qua lộ trình tương tự để đưa tín hiệu S_{2R} đến đầu 1. Các tín hiệu S_{1R} và S_{2R} được so với nhau ở bộ so pha SP. Nếu các tín hiệu này trùng pha nhau, chẳng hạn đều từ thanh góp vào đường dây (trường hợp ngắn mạch trên đường dây được bảo vệ ở H.4.14,b) thì ở đầu ra của bộ so pha SP sẽ xuất hiện tín hiệu S_3 , tín hiệu này sẽ kết hợp với tín hiệu khởi động gửi tín hiệu đi cắt máy cắt.

Trong trường hợp này nếu bỏ qua dòng điện tải trên đường dây ta thấy, khi có ngắn mạch trong vùng bảo vệ giữa hai tín hiệu đầu vào S_{1R} và S_{2R} có một

khoảng trống (không có tín hiệu) khoảng 180° hoặc khoảng 10 ms (ứng với tần số danh định $f_{dd} = 50 \text{ Hz}$). Nếu góc lệch pha giữa hai dòng điện ở hai đầu I_1 và I_2 bé hơn $180^\circ - \theta_{kd}$ (với θ_{kd} là góc khoá bảo vệ, như đã nói trong chương 3, H.3.7) ở đầu ra của SP sẽ xuất hiện tín hiệu S_3 .

Khi có ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ (H.4.14,a) dòng điện ở hai đầu ngược pha nhau, nên hai tín hiệu S_{1R} và S_{2R} lấp kín khoảng trống giữa hai nửa chu kỳ nên ở đầu ra bộ SP sẽ không xuất hiện tín hiệu S_3 , máy cắt sẽ không được cắt ra.

Để tiết kiệm số lượng kênh thông tin sử dụng vào mục đích truyền tín hiệu pha dòng điện, người ta thường tổ hợp các dòng điện pha theo một quy luật nào đó



Hình 4.14. Tín hiệu so sánh pha dòng điện cho trường hợp ngắn mạch ngoài vùng (a) và trong vùng (b) bảo vệ .

thông qua các máy biến dòng cộng. Thường người ta tổ hợp các thành phần đối xứng của dòng điện pha, chẳng hạn theo quan hệ:

$$\dot{I}_\Sigma = \dot{I}_1 + 3\dot{I}_2 + 5\dot{I}_0; \quad (4-10)$$

trong đó: $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_0$ - tương ứng là thành phần thứ tự thuận, nghịch và không trong dòng điện pha.

Đôi khi người ta chỉ tổ hợp các thành phần thứ tự thuận và nghịch theo quan hệ:

$$\dot{I}_\Sigma = K_1 \dot{I}_1 + K_2 \dot{I}_2 \quad (4-11)$$

Với $K_1 = \pm 1$ và $K_2 = 5 \div 7$.

Cũng có thể thực hiện việc tổ hợp theo dòng điện toàn phần như trên sơ đồ ở hình 4.15.

Điện áp đầu ra $\dot{U}_\Sigma$ ở máy biến dòng tổ hợp BTΣ (trên H.4.15) bằng:

$$\dot{U}_\Sigma = K(\dot{U}' + \dot{U}'') = K[\dot{I}_B + \dot{I}_N]\dot{Z} + (\dot{I}_C + \dot{I}_N)R \quad (4-12)$$

Trong chế độ phụ tải đối xứng $\dot{I}_N = 0$, ta có:

$$\dot{U}_\Sigma = K(\dot{I}_B \dot{Z} + \dot{I}_C R) \quad (4-13)$$

trong đó: K - tỷ số biến đổi của BTΣ;

$\dot{Z}$ và R - tổng trở và điện trở tác dụng dùng để chỉnh định trong mạch đầu ra của BTΣ.

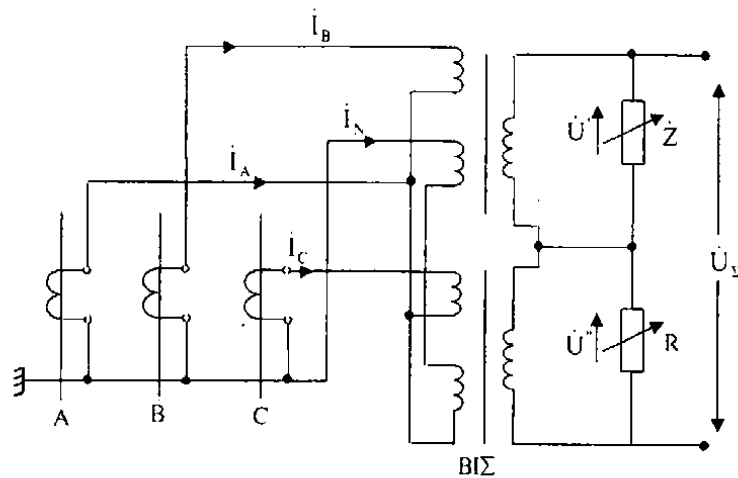
Nếu chọn quan hệ giữa dòng điện pha và các thành phần của nó theo (4-11) ta được :

$$\dot{U}_\Sigma = K e^{j120^\circ} (R + \dot{Z} e^{j120^\circ}) (\dot{I}_1 + K_2 \dot{I}_2) \quad (4-14)$$

trong đó: $K_2 = \frac{\dot{Z} + R e^{j120^\circ}}{\dot{Z} e^{j120^\circ} + R} \quad (4-15)$

Theo (4-14), khi hệ số biến đổi K và các đại lượng $\dot{Z}, R$ đã biết, điện áp tổ hợp $\dot{U}_\Sigma$ chỉ phụ thuộc vào $\dot{I}_1$ và $\dot{I}_2$. Khi ngắn mạch chạm đất 1 pha $\dot{I}_1 = \dot{I}_2$ và $\dot{I}_1$ và $\dot{U}_\Sigma$ đạt trị số cực đại, khi ngắn mạch 3 pha $\dot{I}_2 = 0$ và $\dot{U}_\Sigma$ đạt trị số cực tiểu.

Trên hình 4.13 có thể thấy tín hiệu đầu ra của bộ so pha S_3 được kết hợp với tín hiệu khởi động theo lô ghich “VÀ” để cho tín hiệu cắt máy cắt. Tín hiệu khởi động có thể nhận được từ bộ phận khởi động làm việc theo nhiều nguyên tắc khác nhau như dòng điện cực đại, tổng trở cực tiểu, hướng công suất .v.v..



Hình 4.15. Sơ đồ dùng máy biến dòng tổ hợp BΣΣ để nhận điện áp đầu ra 1 pha U_x từ dòng điện 3 pha.

Một số bộ phận khởi động làm việc theo thành phần đối xứng của dòng điện hoặc công suất. Với các đường dây dài (> 200 km) có thể dùng role tổng trở cực tiểu có đặc tính khởi động hạn chế (hình thấu kính) làm bộ khởi động.

Một số sơ đồ bảo vệ so sánh pha không sử dụng bộ phận khởi động.

4.4. BẢO VỆ KHOẢNG CÁCH

Nguyên lý bảo vệ khoảng cách (hoặc nguyên lý đo tổng trở - xem chương 3) được sử dụng rất rộng rãi để bảo vệ các đường dây tải điện.

Vào những năm đầu thế kỷ 20, bảo vệ khoảng cách được xem như loại bảo vệ hoàn hảo nhất để bảo vệ các đường dây tải điện. Trải qua ngót một thế kỷ, các role khoảng cách được nghiên cứu rất rộng rãi và không ngừng được cải tiến qua các thế hệ từ role điện cơ, role tĩnh đến các role số ngày nay. Tính năng của role khoảng cách nhất là những hợp bộ bảo vệ khoảng cách sử dụng kỹ thuật số hiện đại đã được mở rộng và đa dạng hơn nhiều so với các role trước đây.

4.4.1. Chọn tổng trở khởi động và thời gian làm việc của các cấp bảo vệ khác nhau của role khoảng cách

Role khoảng cách dùng để bảo vệ các đường dây tải điện thường có nhiều vùng tác động, chẳng hạn ba vùng cho phía trước và một vùng cho phía sau (hiểu theo hướng tác động từ thanh góp vào đường dây tại nơi đặt role khoảng cách).

Các vùng tác động về phía trước làm nhiệm vụ dự phòng cho nhau và cho bảo vệ đoạn liền kề.

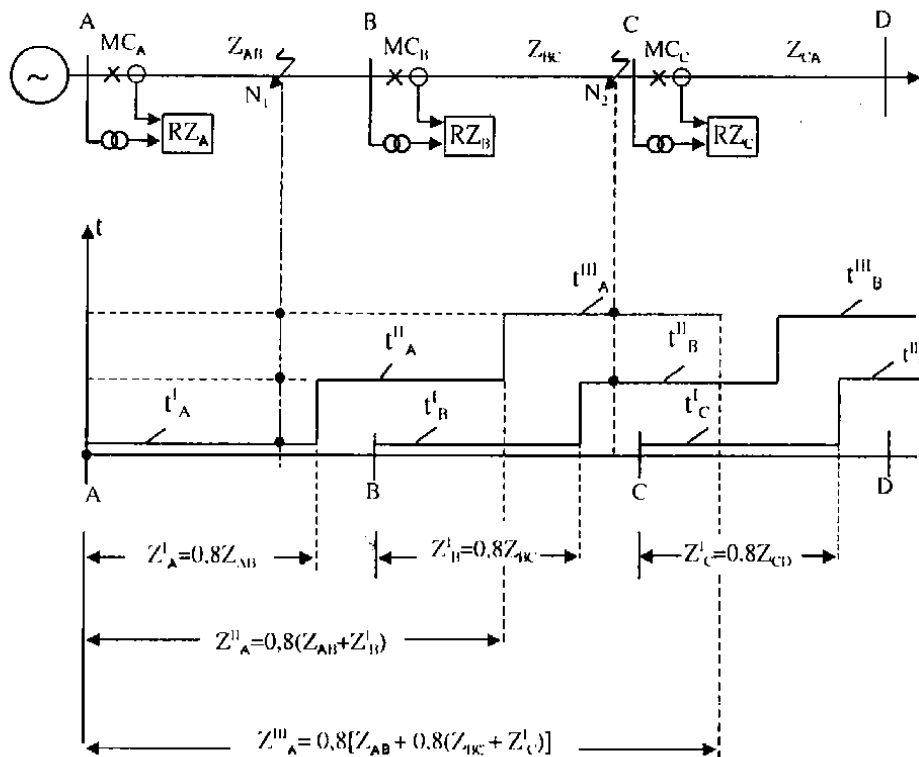
Ngược với cách chọn thời gian trong bảo vệ quá dòng điện (có đặc tính thời gian độc lập), ngắn mạch càng gần chỗ đặt bảo vệ càng được loại trừ nhanh. Độ chênh lệch về thời gian làm việc giữa các vùng (cấp) bảo vệ liên kế nhau Δt cũng chọn giống như đối với bảo vệ quá dòng điện, nghĩa là:

$$\Delta t = 0,3 + 0,5 \text{ s,}$$

Vùng thứ nhất của bảo vệ với thời gian làm việc $t^I = 0$ bao trùm khoảng 80 -90% chiều dài của đường dây được bảo vệ, nghĩa là tổng trở khởi động Z_A^I của vùng thứ nhất của bảo vệ đặt ở đầu A trên đường dây AB (H. 4.16.a) được chọn theo biểu thức:

$$Z_A^I = K_{at} \cdot Z_{AB} \quad (4-16)$$

Ở đây hệ số an toàn $K_{at} < 1$ có xét đến sai số của các mạch đo lường (dòng điện, điện áp), của bản thân rơle khoảng cách và của việc xác định thông số của tổng trở đường dây được bảo vệ Z_{AB} .



Hình 4.16. Phối hợp tổng trở khởi động và đặc tính thời gian giữa 3 vùng tác động của bảo vệ khoảng cách

a) Sơ đồ lưới điện; b) Phối hợp khởi động và thời gian làm việc giữa các vùng.

Với các rơle điện cơ có thể lấy $K_{at} = 0,8$, với các rơle số có độ chính xác cao hơn có thể lấy $K_{at} = 0,85$; nếu tổng trở của đường dây được đo trực tiếp (thay vì các trị số lấy ở tài liệu tra cứu) và sử dụng rơle số thì hệ số an toàn có thể lấy đến $K_{at} = 0.9$.

Tổng trở khởi động của vùng thứ II của bảo vệ đầu A cần được phối hợp với vùng thứ II của bảo vệ đoạn tiếp theo (đầu B) theo biểu thức:

$$\dot{Z}_A'' = K_{at} (\dot{Z}_{AB} + \dot{Z}_B^I). \quad (4-17)$$

trong đó: $\dot{Z}_B^I$ - tổng trở khởi động vùng thứ I của bảo vệ đặt ở đầu B đường dây tiếp theo.

Hệ số an toàn K_{at} được chọn như trên nhằm phối hợp chọn lọc giữa hai vùng thứ II của hai bảo vệ A và B liên kế.

Tương tự như vậy có thể tính tổng trở khởi động của vùng thứ III:

$$\dot{Z}_A''' = K_{at} [\dot{Z}_{AB} + K_{at} (\dot{Z}_{BC} + \dot{Z}_C^I)] , \quad (4-18)$$

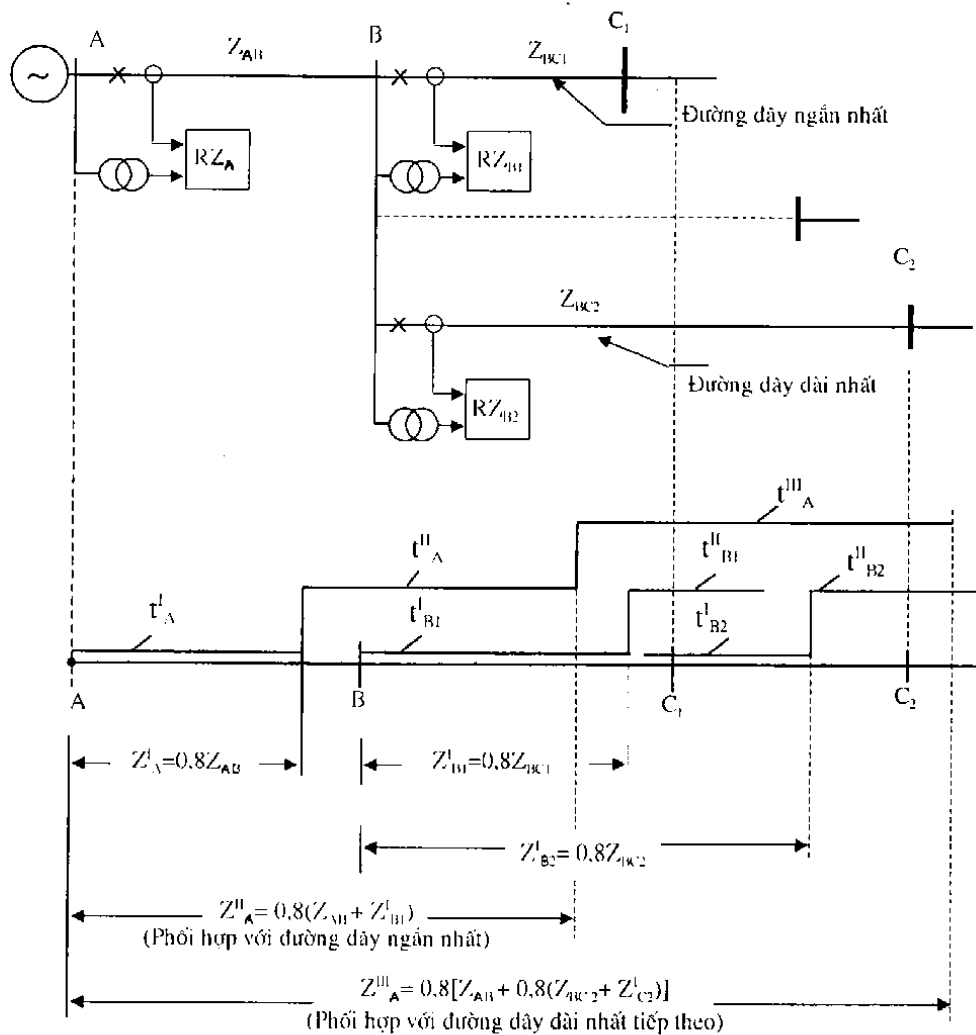
trong đó: $\dot{Z}_C^I$ - tổng trở khởi động vùng thứ I của bảo vệ đặt ở đầu C của đường dây liên kế với đường dây tiếp theo.

Nếu từ thanh cái cuối đường dây có nhiều đường dây ra thì đường dây có chiều dài ngắn nhất được chọn để phối hợp với tổng trở vùng thứ II của đường dây đang xét. Thông thường tổng trở khởi động cấp II ít nhất cũng bao trùm được 20% chiều dài đoạn đường dây tiếp theo để làm dự phòng chống các hư hỏng trên thanh góp cuối đường dây.

Vùng khởi động thứ III thường bao lấy toàn bộ chiều dài đường dây dài nhất tiếp theo để làm bảo vệ dự phòng cho đường dây này (H.4.17)

Khả năng dự phòng cho nhau giữa các vùng bảo vệ và giữa các bảo vệ khoảng cách liên kế có thể thấy rõ trên hình 4.16. Khi ngắn mạch trên đường dây AB (điểm N_1 , H.4.16,a) trong vùng I của rơle khoảng cách RZ_A , bảo vệ sẽ cắt máy cắt MC_A với thời gian cấp I là $t_A^I \approx 0$. Nếu vùng I từ chối tác động, vùng II sẽ cắt MC_A với t_A^{II} và nếu vùng II cũng lại từ chối thì vùng III sẽ cắt MC_A với t_A^{III} .

Khi ngắn mạch ở cuối đường dây BC (điểm N_2 , H.4.16.a) trong vùng II của rơle khoảng cách RZ_B , bảo vệ sẽ cắt máy cắt MC_B với thời gian cấp II là t_B^{II} . Nếu vùng II của rơle RZ_B từ chối tác động thì vùng III của rơle RZ_A tác động cắt máy cắt đầu nguồn MC_A với thời gian t_A^{III} . Như vậy rơle RZ_A làm nhiệm vụ dự phòng cho RZ_B .



Hình 4.17. Phối hợp các vùng bảo vệ khoảng cách trong trường hợp từ thanh cái cuối đường dây có nhiều đường dây ra.

4.4.2. Các phương thức truyền tín hiệu liên động trong bảo vệ khoảng cách

Vùng thứ I của bảo vệ khoảng cách với hệ số an toàn $K_{at} < 1$ thường chỉ bảo vệ được khoảng 80 - 85% chiều dài đường dây và loại trừ ngắn mạch với thời gian cấp I: $t^I \approx 0$. Phần 15 - 20% chiều dài đường dây ở gần thanh cái phía đối diện nếu có ngắn mạch sẽ được loại trừ với thời gian cấp II: $t^{II} \approx 0,3 \div 0,5$ giây. Để cắt nhanh hơn những ngắn mạch xảy ra trên đoạn này người ta dùng phương pháp truyền tín hiệu liên động giữa bảo vệ khoảng cách đặt ở hai đầu đường dây.

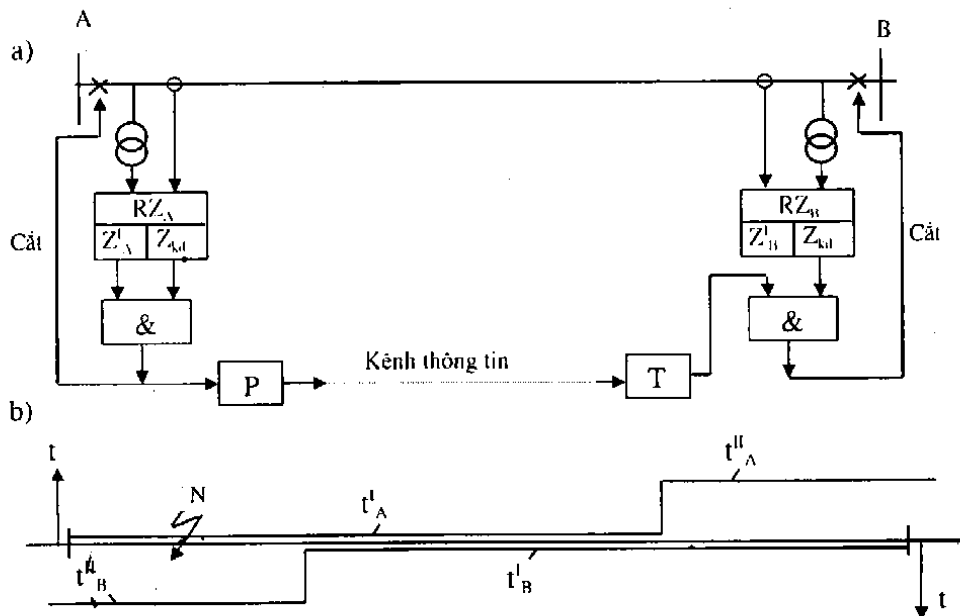
Thường dùng các phương pháp truyền tín hiệu liên động sau đây đối với bảo vệ khoảng cách:

- Truyền tín hiệu cho phép cắt.
- Tăng nhanh tốc độ cắt (mở rộng vùng I).
- So sánh hướng của khoảng cách đo được.

1) Sơ đồ truyền tín hiệu cho phép cắt (H.4.18)

Vùng I của cả hai rơle khoảng cách RZ_A và RZ_B ở hai đầu đường dây được chỉnh định khoảng 80 - 85% tổng trở của đường dây.

Khi ngắn mạch trong khoảng 15 - 20% chiều dài đường dây gần đầu A (tại điểm N trên H.4.18,a) rơle RZ_A sẽ cắt máy cắt A với thời gian $t_A^I \approx 0$. Nếu không có việc truyền tín hiệu liên động rơle RZ_B sẽ tác động cắt máy cắt B với thời gian vùng II là t_B^{II} . Với phương thức truyền tín hiệu cho phép cắt (sơ đồ H.4.18,a). Khi ngắn mạch tại N, bộ phận khởi động (Z_{kd}) và bộ phận đo khoảng cách vùng I là (Z_A^I) cùng tác động thông qua khâu lô gích VÀ (&) gửi tín hiệu cắt tức thời máy cắt đầu A, đồng thời thông qua máy phát P và kênh thông tin gửi



Hình 4.18. Sơ đồ truyền tín hiệu cho phép cắt.

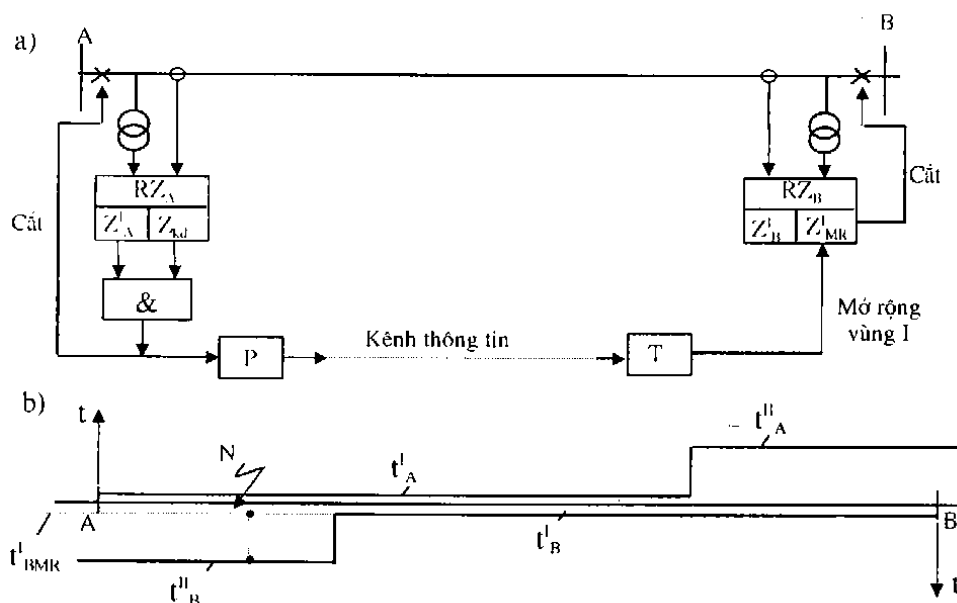
a) Sơ đồ bảo vệ: Z_A^I , Z_B^I - Bộ phận đo khoảng cách vùng I của bảo vệ đầu A và đầu B; Z_{kd} bộ phận khởi động; b) Đặc tính thời gian.

tín hiệu cho phép cắt sang đầu B. Máy thu T ở đầu B nhận tín hiệu cho phép cắt đồng thời với tín hiệu tác động của bộ phận khởi động của bảo vệ khoảng cách RZ_B thông qua khâu lô gích VÀ gửi tín hiệu cắt máy cắt đầu B. Thời gian cắt máy cắt đầu B sẽ chậm hơn thời gian cắt máy cắt đầu A vừa đúng bằng thời gian truyền tín hiệu theo kênh thông tin từ A đến B. Khoảng thời gian này thông thường chừng 10 - 40 ms.

2) Sơ đồ truyền tín hiệu mở rộng vùng I (H.4.19)

Vùng I của cả hai rơle khoảng cách ở hai đầu cũng được chỉnh định khoảng 80 - 85% tổng trở đường dây trong chế độ bình thường.

Khi ngắn mạch gần thanh cái đầu A (nằm trong vùng thứ II của bảo vệ đầu B), rơle khoảng cách RZ_A sẽ tác động cắt máy cắt A với thời gian $t_A^I \approx 0$ và truyền tín hiệu mở rộng vùng I của RZ_B , khi nhận được tín hiệu này rơle khoảng cách ở đầu B sẽ thay đổi đại lượng đặt để mở rộng vùng thứ I ra khoảng 130% chiều dài đường dây (tác động vượt phạm vi bảo vệ - overreaching) và ngắn mạch sẽ.



Hình 4.19. Sơ đồ truyền tín hiệu mở rộng vùng I.

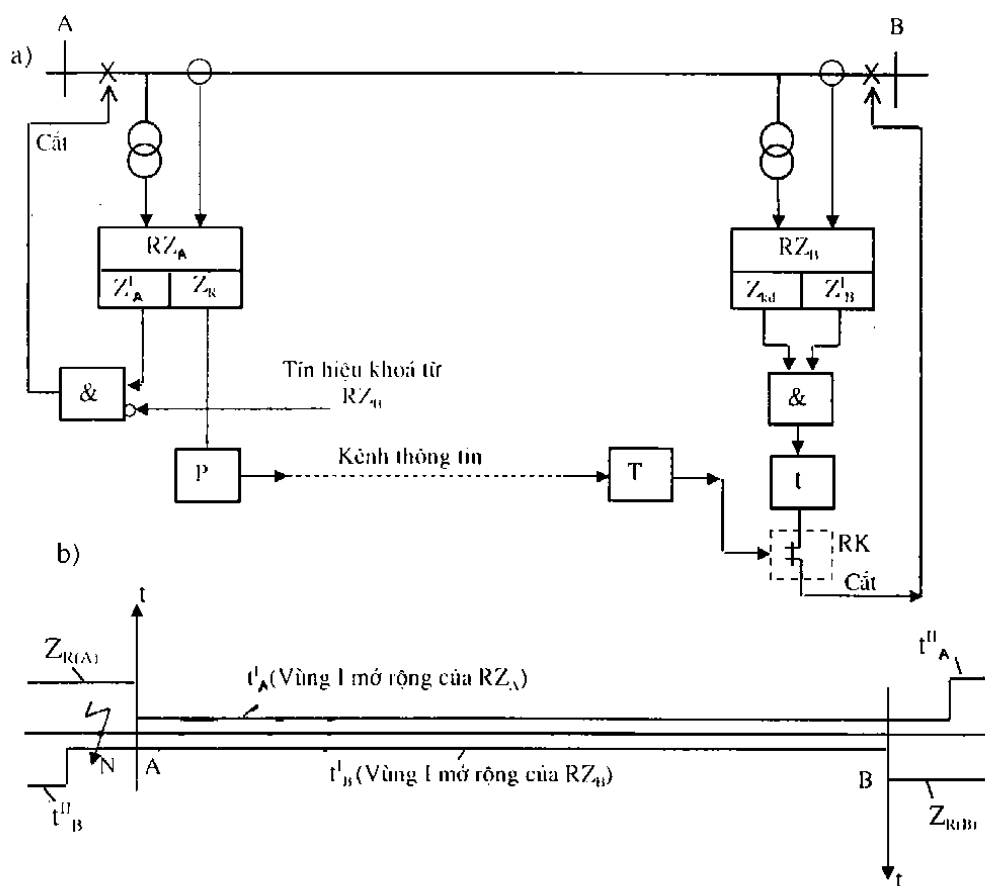
a) Sơ đồ bảo vệ: Z_{MR} - Vùng I mở rộng ($\sim 1,3 Z_{AB}$); b) Đặc tính thời gian:..... Vùng I được mở rộng sau khi nhận được tín hiệu từ đầu A.

được RZ_B cắt máy cắt đầu B với thời gian bé hơn nhiều so với thời gian tác động của vùng II. Trong trường hợp này máy cắt đầu B sẽ cắt chậm hơn máy cắt đầu A một khoảng thời gian truyền tín hiệu thông tin từ A đến B và thời gian chuyển đổi đại lượng đặt để mở rộng vùng I của RZ_B .

3) Sơ đồ so sánh hướng dùng role khoảng cách

Có hai loại sơ đồ so sánh hướng:

- Sơ đồ truyền tín hiệu khoá.
- Sơ đồ truyền tín hiệu cho phép.



Hình 4.20. Sơ đồ truyền tín hiệu khoá

- Sơ đồ bảo vệ Z_R - Bộ phận tổng trở hướng ngược (reverse-looking);
- Đặc tính thời gian Z_{kd} - Bộ phận khởi động.

Trong sơ đồ *truyền tín hiệu khoá* (H.4.20), vùng I của bảo vệ ở cả hai đầu đều được chỉnh định quá chiều dài của đường dây được bảo vệ.

Để ngăn chặn tác động mất chọn lọc khi có ngắn mạch trên đầu đoạn đường dây tiếp theo người ta dùng tín hiệu khoá. Chẳng hạn, khi ngắn mạch tại N, phía " sau lưng" của bảo vệ khoảng cách RZ_A , nằm trong vùng I mở rộng của RZ_B , người ta dùng role tổng trở hướng ngược (reverse - looking) Z_R với thời gian làm việc t_R được chọn theo điều kiện $t' < t_R < t''$ gửi tín hiệu khoá thông qua kênh truyền tín hiệu để mở tiếp điểm của role khoá RK trong mạch cắt của máy cắt đầu B. Như vậy RZ_B không thể tác động cắt máy cắt đầu B khi có ngắn mạch tại N.

Trong trường hợp này bảo vệ RZ_A ở đầu A cũng không thể tác động cắt máy cắt đầu A vì sự cố xảy ra ở " phía sau" của nó.

Ưu điểm của sơ đồ truyền tín hiệu khoá là khi dùng hệ thống tải ba (PLC) làm kênh truyền thì tín hiệu khoá không phải truyền qua chỗ dây dẫn bị sự cố, do vậy độ tin cậy của việc truyền tín hiệu cao hơn.

Một phương án khác của sơ đồ truyền tín hiệu khoá là vùng I của bảo vệ ở cả hai đầu thoát tiên được chỉnh định khoảng 85% chiều dài đường dây được bảo vệ, sau đó tự động tăng lên đến 130% chiều dài đường dây sau một khoảng thời gian ngắn nếu không nhận được tín hiệu khoá từ phía đối diện.

Cách này cho phép loại trừ sự cố trên toàn bộ chiều dài đường dây với thời gian bé hơn nhiều thời gian cấp II của bảo vệ.

Trong sơ đồ *truyền tín hiệu cho phép* cả hai role khoảng cách ở hai đầu đường dây có tổng trở khởi động vùng I cũng được chỉnh định khoảng 130% chiều dài đường dây. Tín hiệu cắt máy cắt chỉ được gửi đi khi vùng I của cả hai bảo vệ được khởi động đồng thời (nghĩa là chỉ khi có ngắn mạch trên đường dây được bảo vệ, khi ấy hướng của công suất ngắn mạch qua cả hai bảo vệ phù hợp với chiều dương (hướng trước mặt) của bộ phận đo khoảng cách vùng I. Nguyên lý này sẽ không làm việc nếu kênh truyền tín hiệu cho phép bị hỏng hoặc dòng điện ngắn mạch từ một đầu nào đó chạy đến điểm sự cố (khi ngắn mạch trên đường dây được bảo vệ) bé hơn trị số dòng điện khởi động tối thiểu của role khoảng cách.

Trong trường hợp này sau một khoảng thời gian nào đó, nếu không nhận được tín hiệu cho phép từ đầu đối diện, bảo vệ cũng phải tác động cắt máy cắt. Bình thường sơ đồ này cũng cho phép loại trừ sự cố trên toàn bộ đường dây với thời gian bé hơn nhiều so với thời gian cấp II. Sơ đồ truyền tín hiệu cho phép thường được dùng với các đường dây có lắp đặt các bộ tụ bù dọc.

4.4.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến sự làm việc của bảo vệ khoảng cách

Như đã nói trong chương 3 (mục 3.8) một số yếu tố có thể ảnh hưởng đến số đo của bộ phận đo tổng trở sự cố như: sai số của máy biến dòng điện, máy biến điện áp, điện trở quá độ tại chỗ ngắn mạch, hệ số phân bố dòng điện trong mạng điện được bảo vệ và đặc biệt là quá trình dao động trong hệ thống.

1) Sai số của máy biến dòng điện, máy biến điện áp

Giả thiết bộ phận đo tổng trở được đấu vào điện áp pha và dòng điện pha (hoặc điện áp dây và hiệu số dòng điện các pha tương ứng).

Tổng trở đo được " trên cực " của rơle bằng:

$$\dot{Z}_R = \frac{\dot{U}_R}{\dot{I}_R} = \frac{\dot{U} / n_U}{\dot{I} / n_I} = \frac{n_I}{n_U} \cdot \frac{\dot{U}}{\dot{I}} \quad (4-19)$$

trong đó: U, I - tương ứng là điện áp và dòng điện phía sơ cấp.

n_I, n_U - tương ứng là tỷ số biến đổi của máy biến dòng điện và máy biến điện áp.

Trong trường hợp bỏ qua sai số của máy biến dòng điện và máy biến điện áp (được xem là những máy biến dòng và biến điện áp lý tưởng với dòng điện từ hoá $I_\mu = 0$) các hệ số biến đổi n_I, n_U bằng hằng số và :

$$\frac{n_U}{n_I} = n_Z = \text{const} , \quad (4-20)$$

trong đó: n_Z là tỷ số biến đổi của tổng trở:

$$n_Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} : \dot{Z}_R = \frac{\dot{Z}}{\dot{Z}_R} ,$$

với $\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$ - tổng trở phía sơ cấp của rơle.

Trong trường hợp máy biến dòng điện và máy biến điện áp làm việc có sai số (thường do bão hoà của mạch từ), ta có $n_I \neq \text{const}$, $n_U \neq \text{const}$ và $n_Z \neq \text{const}$, nghĩa là tổng trở (hay khoảng cách) mà rơle đo được không phản ánh trung thành tổng trở (hay khoảng cách) phía sơ cấp, tức của đường dây bị sự cố.

2) Điện trở quá độ R_{qd} tại chỗ ngắn mạch

Một số trường hợp ngắn mạch không phải trực tiếp mà thông qua điện trở trung gian (vật lạ rơi vào đường dây gây ngắn mạch, hoặc hồ quang điện tại chỗ ngắn mạch).

Điện trở quá độ tại chỗ ngắn mạch làm tăng trị số tổng trở đo được (3 - 14) và giảm góc pha của véc tơ tổng trở (H.3.10,c). Yếu tố tăng tổng trở đo được làm cho rơle khoảng cách cảm nhận điểm ngắn mạch xa hơn thực tế và có thể làm

tăng thời gian làm việc của bảo vệ gây nên hiện tượng *co vùng tác động* (Underreaching). Chẳng hạn khi ngắn mạch xảy ra ở gần cuối vùng I nhưng vì role khoảng cách đo được tổng trở lớn hơn, có thể cảm nhận như sự cố xảy ra ở đầu vùng II và tác động với thời gian cấp II.

Điện trở hồ quang điện (mang tính tác dụng) có thể được xác định theo công thức C. Warrington:

$$R_{hq} (\Omega) = \frac{28710 L_{hq} (m)}{I_N^{1,4} (A)} \quad (4-21)$$

hoặc theo công thức gần đúng sau đây:

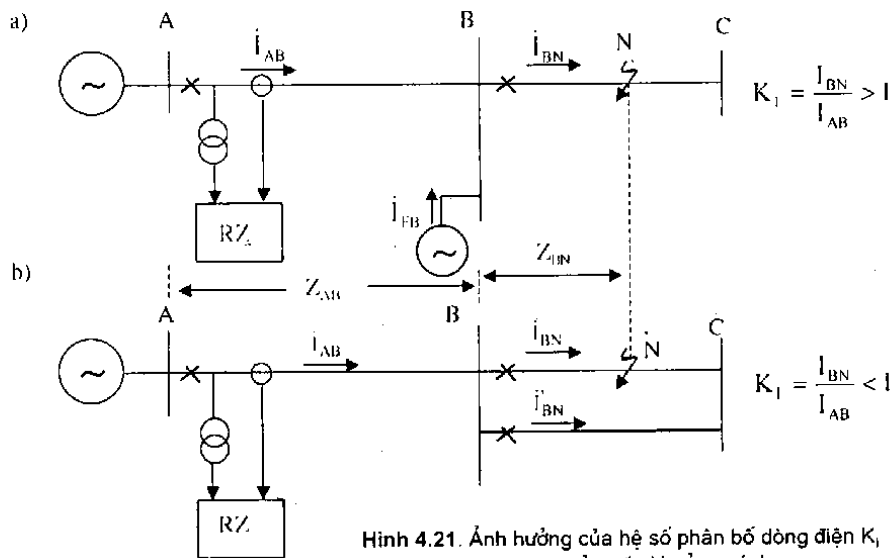
$$R_{hq} (\Omega) = \frac{L_{hq} \times 2 (kV / m)}{I_{Nmin} (kA)} \quad (4-22)$$

trong đó: L_{hq} - chiều dài của hồ quang.

I_{Nmin} - trị số dòng điện ngắn mạch nhỏ nhất.

3) Hệ số phân bố dòng điện

Số đo tổng trở vùng II và vùng III của role khoảng cách có thể chịu ảnh hưởng của hệ số phân bố dòng (nghĩa là sự khác nhau giữa dòng điện chạy qua chỗ đặt role và dòng điện trên nhánh đường dây bị sự cố).



Hình 4.21. Ảnh hưởng của hệ số phân bố dòng điện K_1 lên số đo của role khoảng cách

a) $K_1 > 1$; $Z_R > Z_{thực\ là}$ ($Z_{AN} = Z_{AB} + Z_{BN}$); b) $K_1 < 1$; $Z_R < Z_{thực\ là}$

Xét hai trường hợp tiêu biểu trên hình 4.21.

Tổng trở của rơle khoảng cách RZ đặt ở đầu A của đường dây AB đo được khi ngắn mạch 3 pha trực tiếp xảy ra trên đường dây BC tiếp theo bằng (Giả thiết tỷ số biến đổi của biến dòng điện và biến điện áp $n_I = n_U = 1$):

$$\dot{Z}_R = \frac{\dot{U}_R}{\dot{I}_R} = \frac{\dot{U}_A}{\dot{I}_{AB}} = \frac{\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BN}}{\dot{I}_{AB}} = \frac{\dot{I}_{AB} \cdot \dot{Z}_{AB} + \dot{I}_{BN} \cdot \dot{Z}_{BN}}{\dot{I}_{AB}} = \dot{Z}_{AB} + \frac{\dot{I}_{BN}}{\dot{I}_{AB}} \dot{Z}_{BN}$$

$$\dot{Z}_R = \dot{Z}_{AB} + K_I \cdot \dot{Z}_{BN} \quad (4-23)$$

trong đó: $K_I = \frac{\dot{I}_{BN}}{\dot{I}_{AB}}$ - hệ số phân bố dòng.

Khi hệ số phân bố dòng $K_I \neq 1$, tổng trở $\dot{Z}_R$ mà rơle khoảng cách đo được khác với tổng trở thực tế từ chỗ đặt bảo vệ đến chỗ ngắn mạch ($\dot{Z}_{AN} = \dot{Z}_{AB} + \dot{Z}_{BN}$).

Đối với sơ đồ hình 4.21,a nguồn điện nối vào thanh cái B đã làm cho $I_{BN} > I_{AB}$ và $K_I > 1$, nghĩa là rơle sẽ đo được một tổng trở lớn hơn tổng trở thực tế $\dot{Z}_{AN}$.

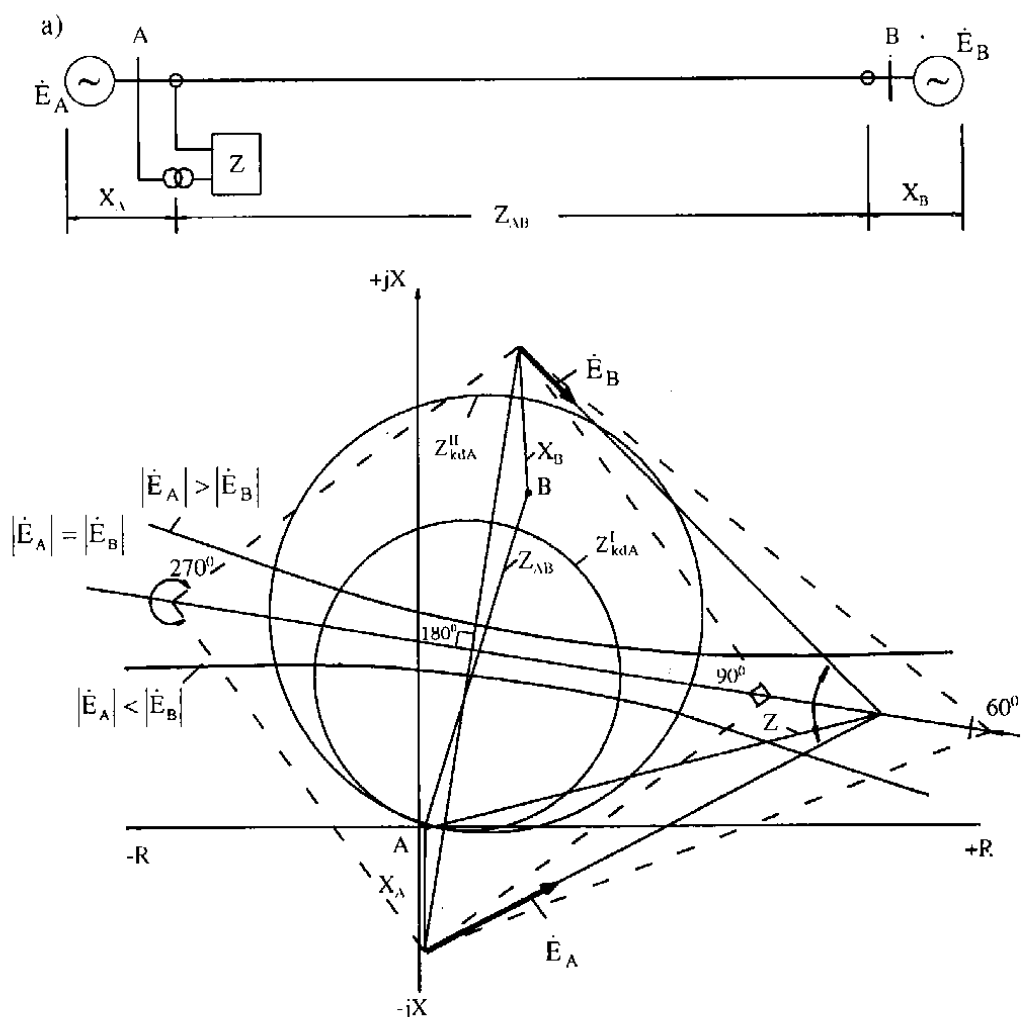
Đối với sơ đồ hình 4.21,b sự có mặt của đường dây thứ hai song song với đường dây sự cố làm rẽ mạch dòng điện từ nguồn điện đến chỗ ngắn mạch ($I_{BN} = I_{AB} - I'_{BN}$) nên $K_I < 1$, nghĩa là rơle sẽ đo được một tổng trở bé hơn tổng trở thực tế $\dot{Z}_{AN}$.

Với lưới điện có cấu hình phức tạp, hệ số phân bố dòng có thể thay đổi theo chế độ làm việc của lưới điện, khi điểm ngắn mạch nằm càng xa chỗ đặt bảo vệ khoảng cách ảnh hưởng của hệ số phân bố dòng càng lớn. Vì vậy thông thường bảo vệ khoảng cách chỉ được chỉnh định với 3 vùng tác động. Vùng thứ II và đặc biệt là vùng thứ III chịu ảnh hưởng mạnh của hệ số phân bố dòng.

4) Dao động điện

Dao động điện là một chế độ làm việc không bình thường của hệ thống điện (xem chương 1, mục 1.7). Khi có dao động trị số dòng điện đi qua phần tử đặt bảo vệ (I_R) và điện áp tại chỗ đặt bảo vệ (U_R) có biên độ và góc pha biến đổi liên tục theo chu kỳ dao động. Ở gần tâm dao động (H.1.17) khi góc lệch pha giữa sức điện động của hai hệ thống hai đầu đường dây $\delta = 180^\circ$, dòng I_R có thể tăng cao hơn dòng ngắn mạch, còn điện áp U_R giảm xuống rất thấp, rơle khoảng cách phản ứng theo tương quan U_R/I_R có thể cảm nhận như có ngắn mạch trên đường dây.

Sự thay đổi tổng trở mà rơle khoảng cách đo được có thể minh họa trên biểu đồ (H. 4.22).



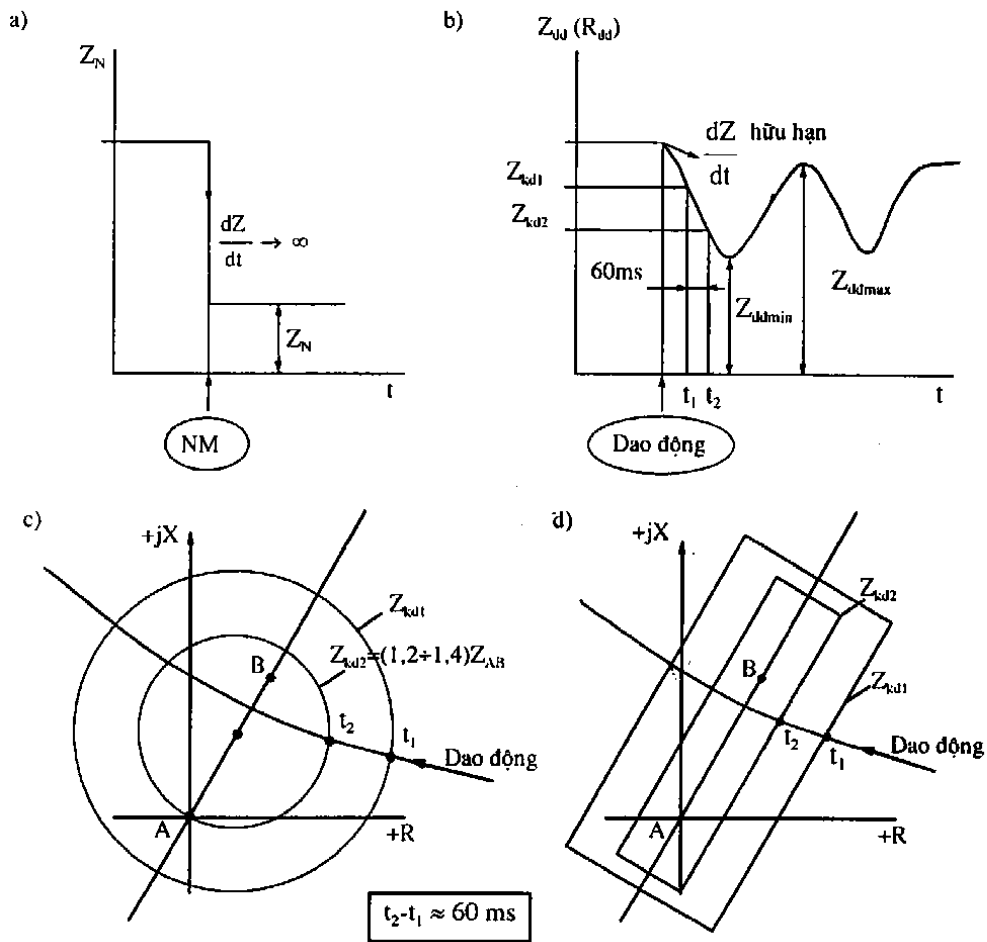
Hình 4.22. Sự thay đổi của tổng trở đo được của bảo vệ khoảng cách khi có dao động điện
a) Sơ đồ hệ thống ; b) Biểu diễn quỹ đạo biến thiên của tổng trở đo được khi có dao động điện ;

Sơ đồ hệ thống điện hình 1.16,a sau khi bảo vệ cắt đường dây bị ngắn mạch ra khỏi hệ thống và xảy ra quá trình dao động điện trình bày trên H. 4.22,a.

Trên hình 4.22,b biểu diễn tổng trở của hệ thống hình 4.22,a trên mặt phẳng tổng trở phức (R, jX) . Góc tọa độ trùng với vị trí đặt bảo vệ khoảng cách tại thanh cái A của đường dây.

Khi hệ thống bị dao động với giả thiết $|\dot{E}_A| = |\dot{E}_B|$, đầu mút của véc tơ tổng trở $\dot{Z}_R$ của role đo được sẽ di chuyển trên quỹ đạo đường thẳng thẳng góc và đi qua điểm giữa của đường nối hai điểm đặt véc tơ $\dot{E}_A$ và $\dot{E}_B$.

Nếu $|\dot{E}_A| > |\dot{E}_B|$, quỹ đạo sẽ có dạng đường cong nằm phía trên, còn nếu $|\dot{E}_A| < |\dot{E}_B|$ thì ngược lại, đường cong quỹ đạo sẽ nằm phía dưới quỹ đạo thẳng. Khi $\dot{E}_A$ vượt trước $\dot{E}_B$, tổng trở đo được ở đầu A sẽ dịch chuyển trên quỹ đạo theo chiều từ phải sang trái, khi $\dot{E}_A$ chậm sau $\dot{E}_B$, chiều chuyển động của véc tơ tổng trở sẽ ngược lại.



Hình 4.23. Phát hiện dao động điện

a) và b) Theo đạo hàm của tổng trở (hoặc điện trở R); c) Bảng 2 role tổng trở có đặc tính vòng tròn; d) Bảng 2 role tổng trở có đặc tính đa giác.

Để phát hiện dao động (chẳng hạn phải khoá bảo vệ không cho làm việc khi có dao động điện) có thể căn cứ vào tốc độ biến thiên tổng trở đo được. Khi có dao động điện dòng và áp ở chỗ đặt bảo vệ biến thiên với tốc độ trượt ω_s , còn khi ngắn mạch hầu như các đại lượng này biến thiên tức thời. Như vậy nếu lấy đạo hàm theo thời gian của tổng trở $\left(\frac{dZ}{dt}\right)$ hoặc của điện trở tác dụng $\left(\frac{dR}{dt}\right)$ ta thấy, trong trường hợp ngắn mạch trị số đạo hàm này rất lớn $\left(\frac{dZ}{dt} \text{ hoặc } \frac{dR}{dt} \rightarrow \infty\right)$ (H.4.23,a), còn khi dao động điện các đạo hàm này có trị số hữu hạn (H.4.23,b).

Trong sơ đồ bảo vệ khoảng cách có thể dùng hai rơle tổng trở có đặc tính hình tròn (H.4.23,c) hoặc đa giác (H.4.23,d) với tổng trở đặt khởi động khác nhau để phát hiện dao động điện.

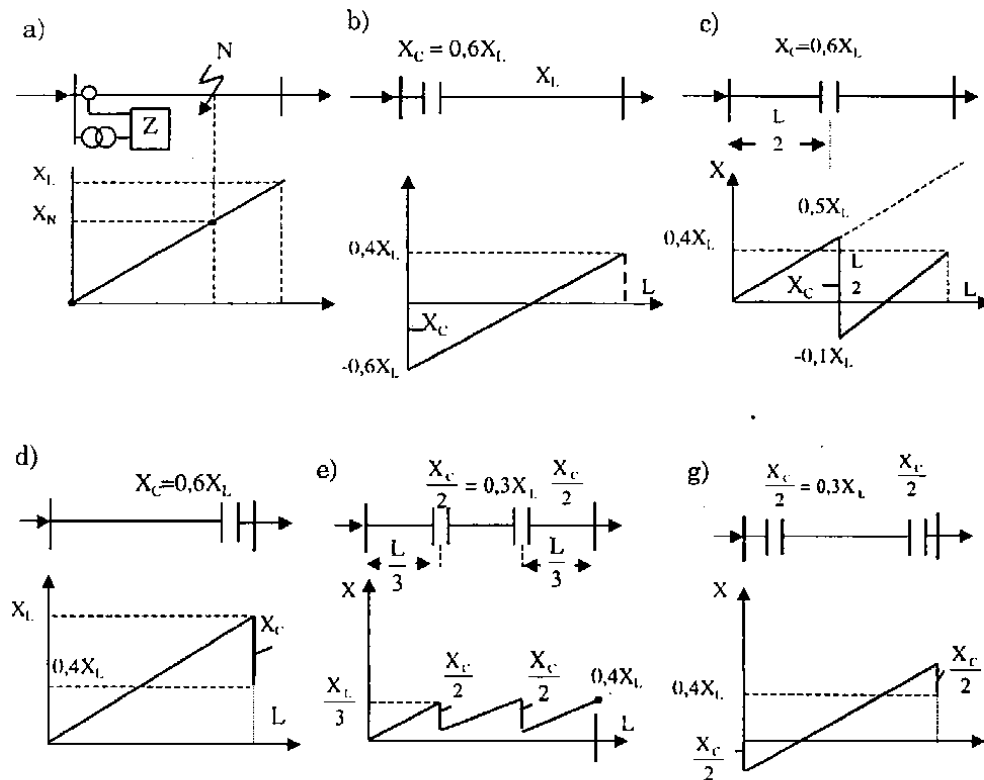
Khi ngắn mạch tổng trở sự cố lọt ngay vào vùng tác động của cả hai rơle RZ_1 và RZ_2 , còn khi dao động tổng trở đo được chuyển động theo quỹ đạo dao động (H.4.22,b) thoát đầu rơi vào vùng tác động của RZ_1 (vùng ngoài) sau đó mới tiến vào vùng khởi động của RZ_2 (vùng trong). Trị số chỉnh định của tổng trở khởi động của RZ_2 lấy khoảng 20 - 40% lớn hơn tổng trở của đường dây được bảo vệ, còn hiệu số thời gian giữa 2 thời điểm khởi động của RZ_1 và RZ_2 lấy khoảng 60 ms.

4.4.4. Bảo vệ khoảng cách ở các đường dây có đặt tụ điện bù dọc

Trên các đường dây dài, siêu cao áp, người ta thường lắp nối tiếp vào đường dây các bộ tụ điện có tên gọi là các *tụ bù dọc*.

Các bộ tụ này làm giảm cảm kháng của đường dây, tăng giới hạn truyền tải công suất theo điều kiện ổn định của hệ thống, giảm tổn thất và cải thiện điều kiện phân bố điện áp theo dọc chiều dài đường dây ở những chế độ tải công suất khác nhau.

Các bộ tụ điện bù dọc có thể đặt tập trung hoặc phân tán theo dọc chiều dài đường dây. Tuỳ theo mức độ bù và vị trí đặt của bộ tụ mà tổng trở đo được ở đầu đường dây sẽ khác nhau. Mức độ bù dọc được đặc trưng bằng *hệ số bù dọc* K_C biểu diễn tỷ số giữa dung kháng X_C của tụ bù dọc và cảm kháng X_L của đường dây. Đối với các đường dây truyền tải siêu cao áp thường chọn hệ số bù dọc $K_C = 0,25 \div 0,75$ (đường dây 500 kV Bắc - Nam của Việt Nam có $K_C = 0,6$).



Hình 4.24. Điện kháng đo được ở đầu đường dây phụ thuộc vào dung kháng và vị trí đặt tụ bù dọc.

Trên hình 4.24 trình bày quan hệ biến thiên của tổng trở đo được ở đầu đường dây có hệ số bù $K_c = 0,6$ với các phương án đặt tụ bù khác nhau. Thông thường để dễ dàng cho việc lắp đặt, vận hành và bảo quản, người ta đặt tụ bù dọc ở gần thanh cái các trạm đầu đường dây (H.4.24, b,d,g).

Đối với các đường dây có đặt tụ bù dọc, hành vi của bảo vệ khoảng cách có thể bị sai lệch khi ngắn mạch xảy ra ở những vị trí khác nhau trên đường dây. Chẳng hạn, ở ví dụ trên hình 4.25 role khoảng cách RZ_1 đặt ở đầu A không thể "nhìn thấy" ngắn mạch tại N_1 sau bộ tụ X_{CA} (H.4.25,a) và cả ở một phần đường dây gần đó vì tổng trở của tụ và phần đường dây này nằm phía "sau lưng" ngoài vùng tác động của role khoảng cách RZ_1 .

Ngược lại, role khoảng cách RZ_3 làm nhiệm vụ bảo vệ đoạn đường dây trước đó có thể phản ứng sai, tác động mất chọn lọc vì điểm N_1 lại rơi vào miền tác động của RZ_3 (H. 4.25,b).

Để ngăn chặn tác động sai của các rơle khoảng cách, trong trường hợp này có thể dùng phương pháp nối tắt bộ tụ khi xảy ra ngắn mạch và cho vùng I của các rơle khoảng cách tác động với một độ trễ chừng 0,1 - 0,15 s.

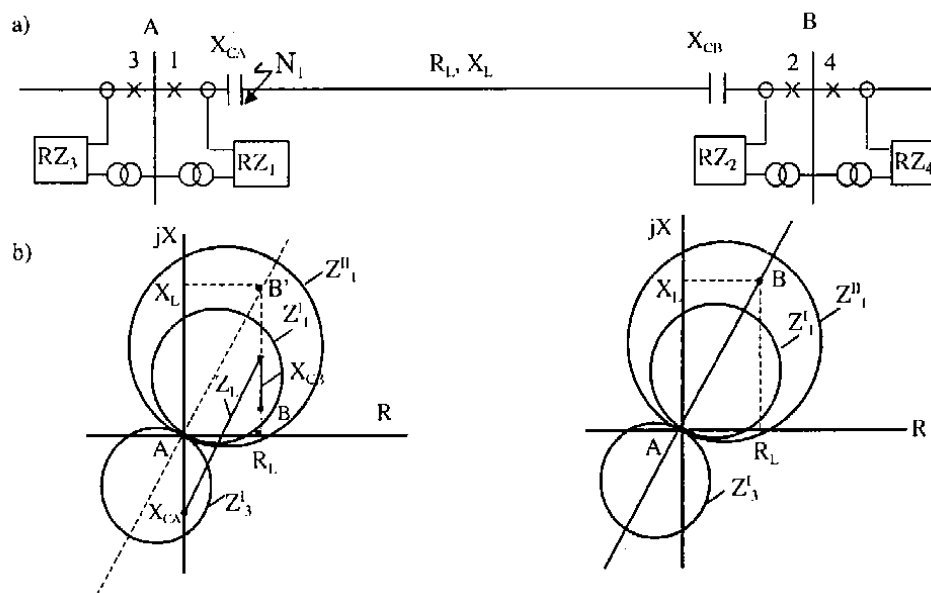
Khi bộ tụ bị nối tắt, đặc tính tổng trở của đường dây được bảo vệ trở lại giống như những đường dây bình thường không có bù dọc và rơle khoảng cách có thể đảm bảo tính chọn lọc bình thường (H.4.25,c).

Ở các bộ tụ điện bù dọc hiện đại người ta sử dụng hệ thống bảo vệ tụ bằng điện trở phi tuyến (Varistor ZnO), khe phóng điện và máy cắt điện dầu song song với bộ tụ (xem phụ lục).

Khi có ngắn mạch tùy theo vị trí điểm sự cố (trị số của dòng ngắn mạch) và thời gian tồn tại sự cố mà các thiết bị này sẽ làm việc và nối tắt bộ tụ lại.

Tất nhiên nối tắt tụ và cho vùng I của rơle khoảng cách làm việc trễ sẽ ảnh hưởng đến tính tác động nhanh của bảo vệ.

Các nguyên lý bảo vệ khác như so lệch dòng điện, so sánh pha ... không chịu ảnh hưởng của bù dọc và có thể được sử dụng để làm bảo vệ chính song song với bảo vệ khoảng cách.



Hình 4.25. Bảo vệ khoảng cách trên đường dây có bù dọc (a).
Khi bộ tụ làm việc bình thường (b) và khi bộ tụ bị nối tắt (c).

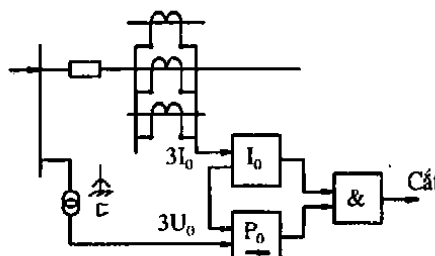
4.5. BẢO VỆ SO SÁNH HƯỚNG

Trước đây đã giới thiệu một sơ đồ so sánh hướng dùng role khoảng cách với hướng tác động về " phía trước " khi chiều công suất ngắn mạch đi từ thanh góp vào đường dây. Có những sơ đồ so sánh hướng khác không dùng role khoảng cách mà dùng role quá dòng có hướng (để chống ngắn mạch nhiều pha), role hướng công suất thứ tự không (để chống ngắn mạch chạm đất) và so sánh hướng của các tín hiệu quá độ.

Để chống ngắn mạch nhiều pha người ta dùng bảo vệ quá dòng có hướng (xem mục 4.2.4). Ở đây để loại trừ nhanh sự cố, người ta xác định hướng công suất ngắn mạch từ hai đầu đường dây và so sánh với nhau (qua kênh truyền tín hiệu). Nếu sự cố xảy ra đúng trên đường dây được bảo vệ thì hướng công suất ở cả hai đầu đều dương (từ thanh góp vào đường dây), sự trùng hợp về hướng này cho phép tác động cắt máy cắt ở cả hai đầu với thời gian nhanh nhất.

Để bảo vệ chống ngắn mạch chạm đất trong mạng điện có điện trở chạm đất lớn (từ vài chục ôm đến vài trăm ôm) thường dùng sơ đồ so sánh hướng công suất thứ tự không. Khi điện trở chạm đất lớn thường các bảo vệ so sánh hướng dùng role khoảng cách không đủ độ nhạy, vì vậy người ta dùng thêm bảo vệ so sánh hướng công suất thứ tự không. Cả hai bảo vệ này có thể dùng chung kênh thông tin hoặc mỗi bảo vệ một loại kênh riêng biệt.

Sơ đồ nguyên lý của bộ phận định hướng công suất thứ tự không P_0 trình bày trên hình 4.26.

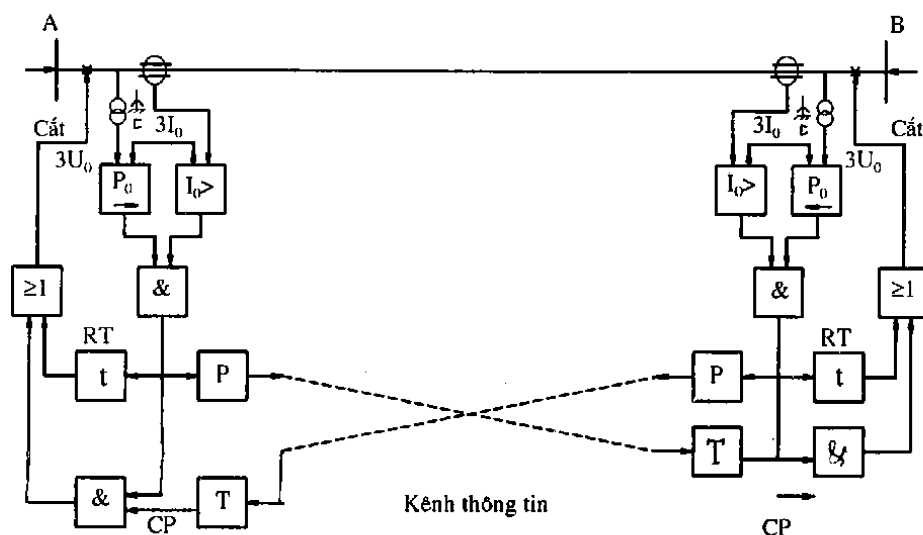


Hình 4.26. Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ theo hướng công suất thứ tự không.

Dòng điện I_0 và điện áp U_0 được lấy qua các bộ lọc LI_0 và LU_0 (cuộn tam giác hở của máy biến điện áp). Để tăng độ nhạy về dòng điện có thể dùng bộ lọc LI_0 với một mạch từ (cộng từ thông của ba dòng điện ba pha).

Bảo vệ so sánh hướng công suất thứ tự không có thể được thực hiện theo sơ đồ trao đổi tín hiệu khoá hoặc tín hiệu cho phép.

Trên hình 4.27 trình bày sơ đồ của bảo vệ so sánh hướng công suất thứ tự không truyền tín hiệu cho phép.



Hình 4.27. Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ so sánh hướng công suất thứ tự không truyền tín hiệu cho phép.

Khi ngắn mạch chạm đất xảy ra trên đường dây được bảo vệ, các bộ định hướng công suất sẽ gửi tín hiệu cắt đến máy cắt ở đầu của mình đồng thời gửi tín hiệu cho phép (CP) sang bảo vệ đầu đối diện. Tín hiệu cắt xuất hiện đồng thời với tín hiệu cho phép từ đầu đối diện thông qua cổng "VÀ" tác động cắt máy cắt với thời gian rất bé (khoảng thời gian truyền tín hiệu cho phép qua kênh thông tin).

Để đảm bảo cắt máy cắt trong trường hợp ngắn mạch trên đường dây được bảo vệ và kênh truyền tin bị trục trặc (không nhận được tín hiệu cho phép từ đầu đối diện) và làm dự phòng cho các đường dây tiếp theo, bảo vệ hướng công suất thứ tự không có thể gửi tín hiệu cắt máy cắt ở đầu của mình thông qua rơle thời gian RT.

Sơ đồ bảo vệ này có nhược điểm là không thể cắt nhanh ngắn mạch khi đường dây bị cắt từ một phía, khi ấy sẽ không có tín hiệu cho phép và sự cố sẽ được loại trừ với thời gian đặt của RT.

Gần đây người ta còn sử dụng nguyên lý xác định hướng công suất ngắn mạch theo các thông số quá độ của dòng và áp ở đầu đường dây khi xảy ra sự cố (H.4.28):

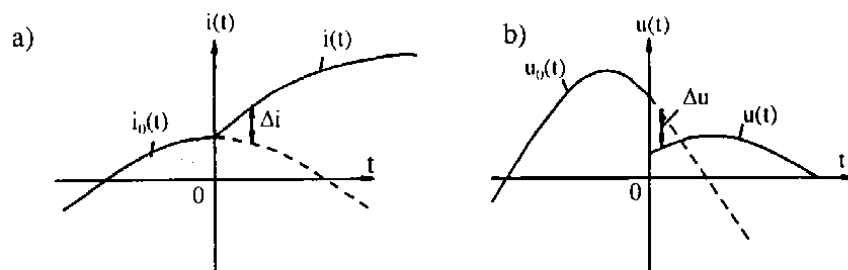
$$\Delta i(t) = i(t) - i_0(t); \quad (4-24)$$

$$\Delta u(t) = u(t) - u_0(t); \quad (4-25)$$

trong đó: $i(t)$, $u(t)$ - thông số đầu vào của dòng và áp theo thời gian sau khi xảy ra sự cố;

$i_0(t)$, $u_0(t)$ - thông số đầu vào của dòng và áp trước khi xảy ra sự cố;

$\Delta i(t)$, $\Delta u(t)$ - độ biến thiên của thông số đầu vào của dòng và áp do nguyên nhân sự cố.



Hình 4.28. Sự biến thiên của dòng (a) và áp (b) tại chỗ đặt bảo vệ trước và sau thời điểm sự cố ($t=0$).

4.6. BẢO VỆ CHỐNG CHẠM ĐẤT TRONG LƯỚI ĐIỆN CÓ DÒNG CHẠM ĐẤT BÉ

4.6.1. Tín hiệu dùng để phát hiện chạm đất

Trong lưới điện có dòng chạm đất bé (lưới có trung tính không nối đất trực tiếp) có thể phát hiện chạm đất thông qua tín hiệu dòng chạy qua điểm trung tính (nếu nối đất qua cuộn Petersen hoặc điện trở) hoặc tín hiệu điện áp thứ tự không xuất hiện ở trung điểm của hệ thống trong chế độ quá độ (chạm đất không ổn định) hoặc chế độ xác lập (chạm đất ổn định). Những tín hiệu này còn có thể được sử dụng để định vị phần tử bị chạm đất trong hệ thống.

Thường dùng những loại tín hiệu sau đây để phát hiện chạm đất và xác định vị trí điểm chạm đất:

- Dòng điện chạm đất xác lập.
- Công suất chạm đất xác lập.
- Dòng điện chạm đất quá độ.
- HÀi bậc cao của công suất hệ thống hoặc tín hiệu cao tần do chạm đất tạo nên.

Các loại bảo vệ chống chạm đất trong lưới điện có dòng chạm đất bé thường được sử dụng bao gồm:

- Bảo vệ quá dòng điện thứ tự không.
- Bảo vệ quá dòng điện thứ tự không có hướng.
- Bảo vệ để phát hiện chạm đất không ổn định.
- Bảo vệ thứ tự không có hướng phản ứng theo hài bậc cao.

4. 6.2. Bảo vệ quá dòng điện thứ tự không

Bảo vệ quá dòng điện thứ tự không thường được sử dụng cho lưới điện hình tia được cấp điện từ một phía với dòng điện chạm đất chạy qua chỗ đặt bảo vệ vượt quá giá trị chỉnh định.

Dòng điện chạm đất được xác định theo (1-14) phụ thuộc vào cấp điện áp của lưới điện và điện dung tổng đẳng trị đối với đất các phần tử nối trực tiếp về điện với nhau của lưới điện. Dòng điện này thường bé hơn nhiều so với dòng điện tải cực đại của đường dây được bảo vệ. Nếu dòng điện chạm đất có trị số lớn, người ta thường lắp đặt vào trung điểm của hệ thống các cuộn Petersen (cuộn dập hồ quang) để cải thiện điều kiện vận hành của lưới điện.

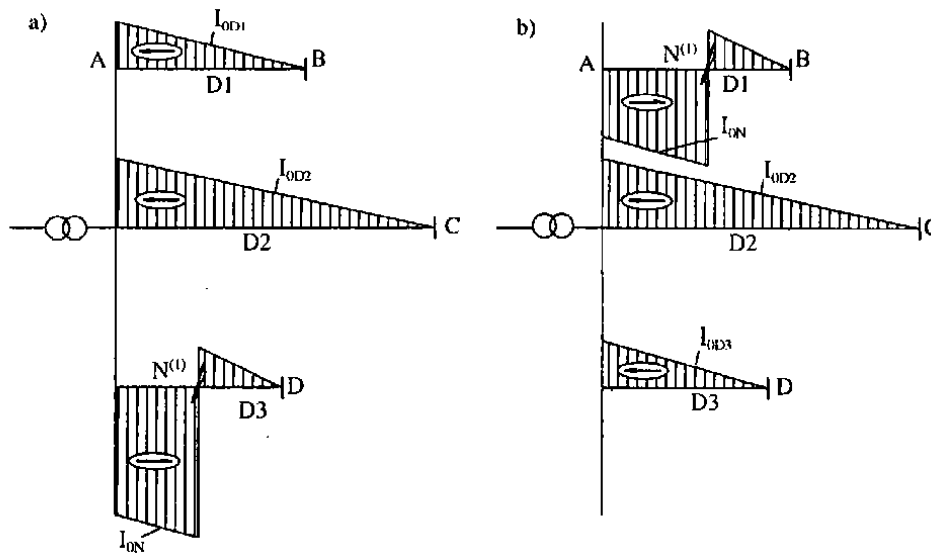
Có hai loại bộ lọc dòng điện thứ tự không thường được sử dụng: loại dùng 3 máy biến dòng (còn gọi là mạch Holmgren) và loại dùng một máy biến dòng có lõi từ chung cho cả 3 pha (xem mục 2.3.3 và H.2.19).

Loại dùng một máy biến dòng có lõi từ chung cho cả 3 pha (H.2.19,c và 2.19,d) có sai số thấp hơn, độ nhạy cao hơn, vì vậy thích hợp với nhiệm vụ phát hiện dòng điện chạm đất bé trong lưới điện có trung điểm không nối đất trực tiếp. Tỷ số biến đổi của các máy biến dòng thứ tự không này thường bằng 60/1 hoặc 75/1 A, khi có chạm đất dòng điện thứ cấp của biến dòng có thể đo được từ vài chục đến vài trăm miliampe. Để có thể tác động với dòng điện bé như vậy thường phải sử dụng những role dòng điện đặc biệt có độ nhạy cao. Thời gian làm việc của các bảo vệ trong lưới điện thường được phối hợp theo nguyên tắc bậc thang như đối với bảo vệ quá dòng điện thông thường.

4.6.3. Bảo vệ quá dòng điện thứ tự không, có hướng

Bảo vệ này thường được sử dụng trong lưới điện có trung điểm không nối đất hoặc nối đất qua cuộn Petersen. Với lưới điện có trung điểm không nối đất, bảo vệ phản ứng theo hướng của thành phần điện dung trong công suất chạm đất, còn đối với lưới điện có trung điểm nối đất qua cuộn Petersen bảo vệ phản ứng theo thành phần tác dụng của công suất chạm đất. Công suất sự cố (chạm đất) bao giờ cũng hướng đến điểm sự cố.

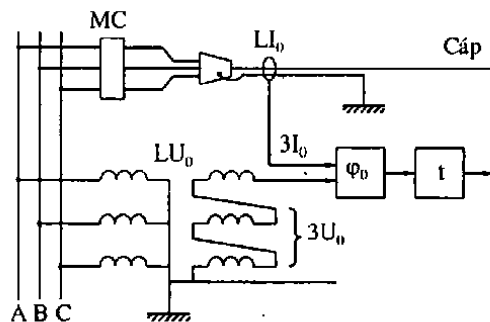
Trên hình 4. 29 trình bày sự phân bố dòng điện sự cố (điện dung) khi có chạm đất trên các đường dây khác nhau trong lưới điện hình tia được cung cấp từ một phía với trung điểm không nối đất trực tiếp.



Hình 4.29. Phân bố dòng điện sự cố (điện dung) khi có chạm đất trên các đường dây khác nhau trong lưới điện hình tia có trung tính không nối đất .

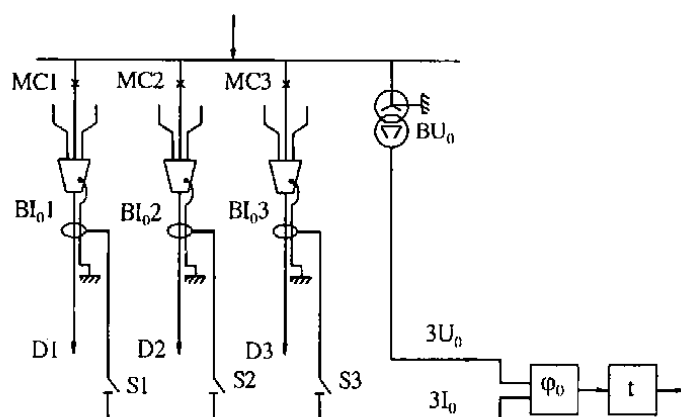
a) Chạm đất trên đường dây D3 ; b) Chạm đất trên đường dây D1 ;

Hướng dòng điện ở đầu các đường dây D1, D2, D3 phụ thuộc vào vị trí điểm chạm đất trong lưới điện. Hướng dòng điện ở đầu đường dây bị sự cố bao giờ cũng từ thanh góp đến chỗ bị sự cố. Nếu so sánh pha φ_0 của dòng điện thứ tự không I_0 đầu đường dây với điện áp thứ tự không U_0 (được lấy từ đầu cuộn dây đầu tam giác hở của máy biến điện áp) thì hướng công suất thứ tự không P_0 có thể được xác định theo góc lệch pha φ_0 này. Sơ đồ để xác định góc lệch pha φ_0 giữa I_0 và U_0 trình bày trên hình 4.30.



Hình 4.30. Sơ đồ xác định góc lệch pha φ_0 giữa dòng (I_0) và áp (U_0) thứ tự không .

Để giảm chi phí người ta thường dùng một bộ bảo vệ xác định hướng công suất thứ tự không chung cho tất cả các đường dây ra từ thanh góp của trạm với thiết bị đổi nối S trong mạch dòng điện của các lộ xuất tuyến (H.4.31).



Hình 4.31. Sơ đồ nguyên lý sử dụng chung cho toàn trạm một bộ xác định hướng công suất thứ tự không, có đổi nối trong mạch dòng điện thứ tự không của các đường dây .

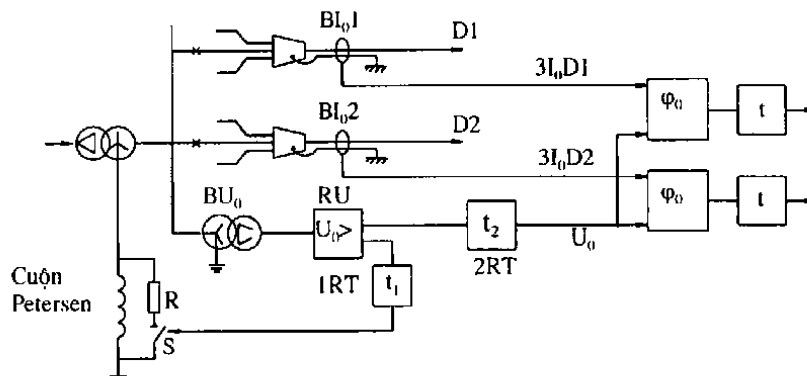
Trong hệ thống có trung điểm nối đất qua cuộn Petersen, có thể sử dụng rơle đo thành phần công suất tác dụng do dòng điện chạy qua trung tính gây nên để phát hiện chạm đất. Trị số của thành phần công suất này phụ thuộc vào trị số của điện trở tác dụng cuộn Petersen và tổn thất công suất tác dụng do dòng điện dung gây nên trong hệ thống.

Trong nhánh sự cố của lưới điện trung áp, trị số dòng điện sau khi bù (bằng cuộn Petersen) còn khoảng 5 - 8% dòng điện điện dung chạm đất khi chưa có cuộn Petersen (giới hạn dưới đối với mạng cáp, còn giới hạn trên đối với mạng trên không).

Thành phần tác dụng của dòng điện trong dây trung tính của lưới điện cao áp còn có trị số thấp hơn và đối với những lưới bé (có chiều dài ngắn) có thể không đủ để cho rơle báo chạm đất tác động, đặc biệt nếu kể đến ảnh hưởng của các hài bậc cao do phụ tải và nhiễu gây nên trong lưới điện.

Vì vậy để đảm bảo cho rơle báo chạm đất làm việc chắc chắn với độ nhạy cần thiết, người ta tìm cách tăng thành phần dòng điện tác dụng (đến khoảng 20 A) bằng cách nối thêm một điện trở tác dụng song song với cuộn Petersen trong một khoảng thời gian ngắn sau khi phát hiện có chạm đất.

Trên hình 4.32 trình bày sơ đồ nguyên lý của giải pháp này. Điện trở tác dụng R được mắc song song với cuộn Petersen qua bộ đóng cắt S sau 2 đến 3 giây khi phát sinh chạm đất. Chạm đất được phát hiện khi xuất hiện U_0 ở đầu cuộn tam giác hở của BU. Thời gian trễ khi đóng S được khống chế bằng rơ le thời gian $1RT$. Rơ le thời gian $2RT$ tạo độ trễ khi đưa điện áp U_0 vào các bộ định hướng công suất thứ tự không của các lộ ra D1 và D2.



Hình 4.32. Mắc điện trở song song với cuộn Petersen để tăng độ nhạy của bảo vệ chống chạm đất

Bộ đóng cắt S sẽ giữ ở trạng thái đóng trong một khoảng thời gian cần thiết đủ để cho rơ le xác định một cách chắc chắn vị trí điểm chạm đất.

4.6.4. Bảo vệ chống chạm đất "chập chờn"

Các sơ đồ bảo vệ chống chạm đất đã xét trên đây thường được áp dụng để bảo vệ chống các dạng chạm đất ổn định vì các bảo vệ này đều sử dụng những đại lượng đầu vào (U_0 , I_0) xác lập.

Bằng cách đo các đại lượng quá độ của dòng và áp thứ tự không ở thời điểm đầu của quá trình, có thể phát hiện sự cố chạm đất trước khi nó trở thành sự cố ổn định và phát hiện được điểm xảy ra sự cố chập chờn.

Nguyên lý làm việc của các bảo vệ chống chạm đất chập chờn dựa trên hiện tượng dòng điện quá độ khi xảy ra chạm đất trong mạng có trung tính cách điện hoặc nối đất qua cuộn Petersen có trị số rất lớn. Sóng dòng điện quá độ ở chu kỳ đầu có thể lớn hơn dòng điện chạm đất xác lập gấp nhiều lần. Dấu của dòng điện ở nửa chu kỳ đầu tiên của quá trình quá độ được sử dụng để xác định hướng sự cố. Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống chạm đất chập chờn trình bày trên hình 4.33. Dòng I_0 và áp U_0 được đưa qua các biến áp tổng hợp BTH1 và BTH2 để lấy ra các điện áp U_a và U_b theo quan hệ:

$$\dot{U}_a = (\dot{U}_0 - \dot{I}_0) \quad (4-26)$$

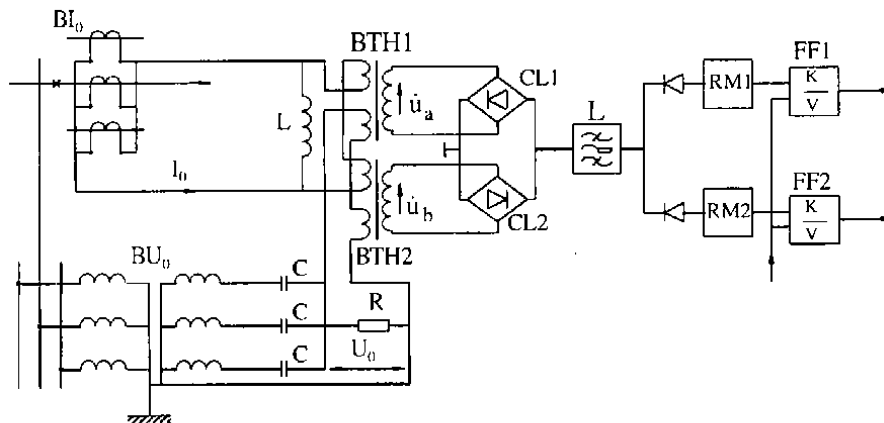
$$\dot{U}_b = (\dot{U}_0 + \dot{I}_0) \quad (4-27)$$

Các điện áp đầu ra $\dot{U}_a$ và $\dot{U}_b$ được dẫn qua các bộ chỉnh lưu CL1 và CL2 và trị số được so sánh với nhau. Nếu sự cố xảy ra trên phần tử được bảo vệ thì:

$$|\dot{U}_a| > |\dot{U}_b| \quad (4-28)$$

và tín hiệu điện áp thông qua bộ lọc L được đưa đến các role mức RM1 và RM2 làm việc theo chế độ khoá liên động nhau. Khi một role nào đó khởi động sẽ khóa không cho role kia làm việc, thông tin về trạng thái khởi động của một role mức nào đó sẽ được lưu trữ lại trong bộ lật (Flip- Flop) FF1 và FF2 tương ứng.

Bộ bảo vệ này thường được sử dụng kết hợp với các bảo vệ chống chạm đất ổn định đã xét trên đây để bảo vệ cho các hệ thống nối đất qua cuộn Petersen.



Hình 4.33. Nguyên lý của sơ đồ bảo vệ chống chạm đất "chập chờn".

4.6.5. Bảo vệ chống chạm đất có hướng phản ứng theo hài bậc cao

Bảo vệ phản ứng theo trị số xác lập của hài bậc cao (thường là bậc 5) của dòng và áp ở trung tính của hệ thống để phát hiện sự cố chạm đất.

Các hài bậc cao thường phát sinh do đặc tính phi tuyến (bão hòa) của máy biến áp. Vì cuộn Petersen chỉ bù thành phần cơ bản của dòng điện điện dung khi chạm đất nên nó không ảnh hưởng đến các hài bậc cao và hướng của công suất phản kháng của các hài bậc cao này gây nên.

Tại nơi đặt bảo vệ, công suất phản kháng của các hài bậc cao gây nên sẽ mang tính điện cảm nếu sự cố xảy ra phía đường dây và sẽ mang tính điện dung nếu sự cố xảy ra phía thanh góp.

Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ phản ứng theo hài bậc cao của I_0 và U_0 có dạng tương ứng như ở hình 4.30, chỉ thêm vào bộ lọc hài bậc 5 trong mạch của I_0 và U_0 trước khi đưa vào bộ xác định hướng φ_0 .

4.7. TỰ ĐỘNG ĐÓNG LẠI

4.7.1. Mục đích và phân loại thiết bị tự đóng lại

Phân tích số liệu thống kê về sự cố của đường dây trên không cho thấy có đến 80 - 90% hư hỏng mang tính *thoảng qua*, giới hạn dưới (~ 80%) thường gặp trong lưới 6 - 110 kV còn giới hạn trên thường gặp đối với các đường dây trên không từ 220 kV trở lên.

Những hư hỏng thoáng qua như vậy thường xảy ra do sứ bị phóng điện bề mặt, do sét đánh hoặc do gió mạnh làm dây dẫn chạm nhau hoặc chạm phải các vật bên cạnh v.v... Khoảng 10-20% các trường hợp hư hỏng còn lại là duy trì hoặc bán duy trì.

Hư hỏng bán duy trì có thể do vật lạ (cây cối, rắn, dây điện...) vắt qua đường dây gây ngắn mạch và sẽ được loại trừ sau khi tia lửa điện (hồ quang) đã đốt cháy vật lạ. Hư hỏng duy trì có thể do đứt dây dẫn rơi chạm đất, hư hỏng cách điện đường dây hoặc quên gỡ dây nối đất khi đóng điện sau sửa chữa.

Như vậy đa số trường hợp hỏng hóc trên đường dây tải điện trên không nếu sau khi cắt máy cắt một khoảng thời gian đủ để cho môi trường chỗ hư hỏng khôi phục lại tính chất cách điện, ta đóng trở lại đường dây thì đường dây có thể tiếp tục làm việc bình thường, nhanh chóng khôi phục cung cấp điện cho hộ tiêu thụ, giữ vững chế độ đồng bộ và ổn định của hệ thống.

Các thiết bị tự động đóng lại (viết tắt là TDL) có thể được phân loại:

- *Theo số lần đóng lại*: một lần hoặc hai lần. Đối với loại ngắn mạch bán duy trì có thể sau lần cắt máy cắt đầu tiên nguyên nhân gây ngắn mạch chưa được loại trừ (vật lạ gây ngắn mạch chưa bị đốt cháy hoàn toàn) nên khi đóng lại nguồn điện lại phát sinh sự cố và hồ quang lần này có thể đốt cháy hoàn toàn vật lạ và nếu đóng trở lại lần thứ hai sẽ thành công. TDL hai lần thường chỉ áp dụng cho lưới 110 kV trở xuống. Xác suất thành công của lần đóng thứ hai thường không quá 10%, tuy nhiên độ hao mòn máy cắt và ảnh hưởng xấu đến ổn định của hệ thống hạn chế khả năng áp dụng TDL nhiều lần. Sau số lần tác động đã được quy định thiết bị TDL sẽ bị khóa lại.

- *Theo số pha thực hiện TĐL*: Phân biệt TĐL 3 pha và TĐL 1 pha. Trong sơ đồ TĐL 3 pha khi hư hỏng một hoặc nhiều pha, thiết bị bảo vệ sẽ cắt cả 3 pha và TĐL cả 3 pha. Để thực hiện TĐL 1 pha, máy cắt điện và bộ truyền động làm việc riêng rẽ cho từng pha, sơ đồ bảo vệ phát hiện sự cố riêng từng pha để cắt máy cắt của pha bị hư hỏng và TĐL lại pha đó. Trong thời gian sự cố một pha, hai pha không bị sự cố tiếp tục làm việc bình thường. Nếu ngắn mạch 1 pha là duy trì, thì sau khi TĐL không thành công bảo vệ sẽ tác động cắt cả 3 pha và khóa thiết bị TĐL lại.

TĐL 1 pha 1 lần thường được sử dụng cho các đường dây tải điện siêu cao áp, còn TĐL 3 pha thường dùng cho mọi cấp điện áp từ 220 kV trở xuống.

- *Theo sự cần thiết phải kiểm tra đồng bộ*. Khi thực hiện TĐL 3 pha đường dây có hai nguồn cung cấp, nếu thời gian đóng trở lại kéo dài cần phải kiểm tra đồng bộ của nguồn điện ở hai đầu đường dây. Với các đường dây được cung cấp từ một phía có thể sử dụng TĐL không kiểm tra đồng bộ.

4.7.2. Các đại lượng thời gian trong quá trình tự động đóng lại

- *Thời gian làm việc của bảo vệ*: thời gian từ lúc bảo vệ nhận tín hiệu sự cố đến lúc phát tín hiệu cắt máy cắt.
- *Thời gian cắt của máy cắt điện*: thời gian từ lúc mạch cắt của máy cắt được mang điện đến lúc hồ quang được dập tắt.
- *Thời gian tồn tại của hồ quang điện trong máy cắt điện*: là thời gian từ khi các đầu tiếp xúc chính của máy cắt điện tách nhau ra (phát sinh hồ quang) đến khi hồ quang điện bị dập tắt.
- *Độ dài xung đóng của TĐL*: là khoảng thời gian tiếp điểm đầu ra của thiết bị TĐL ở trạng thái kín.
- *Thời gian đóng của máy cắt điện*: thời gian từ lúc mạch đóng của máy cắt được mang điện đến khi tiếp điểm chính của máy cắt được thông mạch.
- *Thời gian khử ion*: là thời gian cần thiết để vùng không khí chỗ sự cố khôi phục lại tính chất cách điện (được khử ion) đảm bảo cho khi đóng điện trở lại không phát sinh hồ quang lần nữa. Thời gian này phụ thuộc vào cấp điện áp, khoảng cách giữa các phần mang điện, dòng điện sự cố, thời gian tồn tại sự cố, tốc độ gió và điều kiện môi trường, điện dung của các phần tử lân cận với phần tử được TĐL, trong đó cấp điện áp đóng vai trò quyết định: nói chung cấp điện áp càng cao thời gian khử ion càng kéo dài.

Cấp điện áp (kV)	Thời gian khử ion tối thiểu (giây)
66	0,1
110	0,15
132	0,17
220	0,28
275	0,3
400	0,5

Trường hợp TĐL 1 pha thời gian khử ion phải kéo dài hơn khi TĐL 3 pha vì khi TĐL 1 pha trong thời gian mất điện ở pha sự cố, tại chỗ ngắn mạch có thể phát sinh và tồn tại *hồ quang thứ cấp* do các liên hệ điện dung và hồ cảm giữa các pha không hư hỏng còn đang mang điện với pha bị sự cố đã được cắt điện.

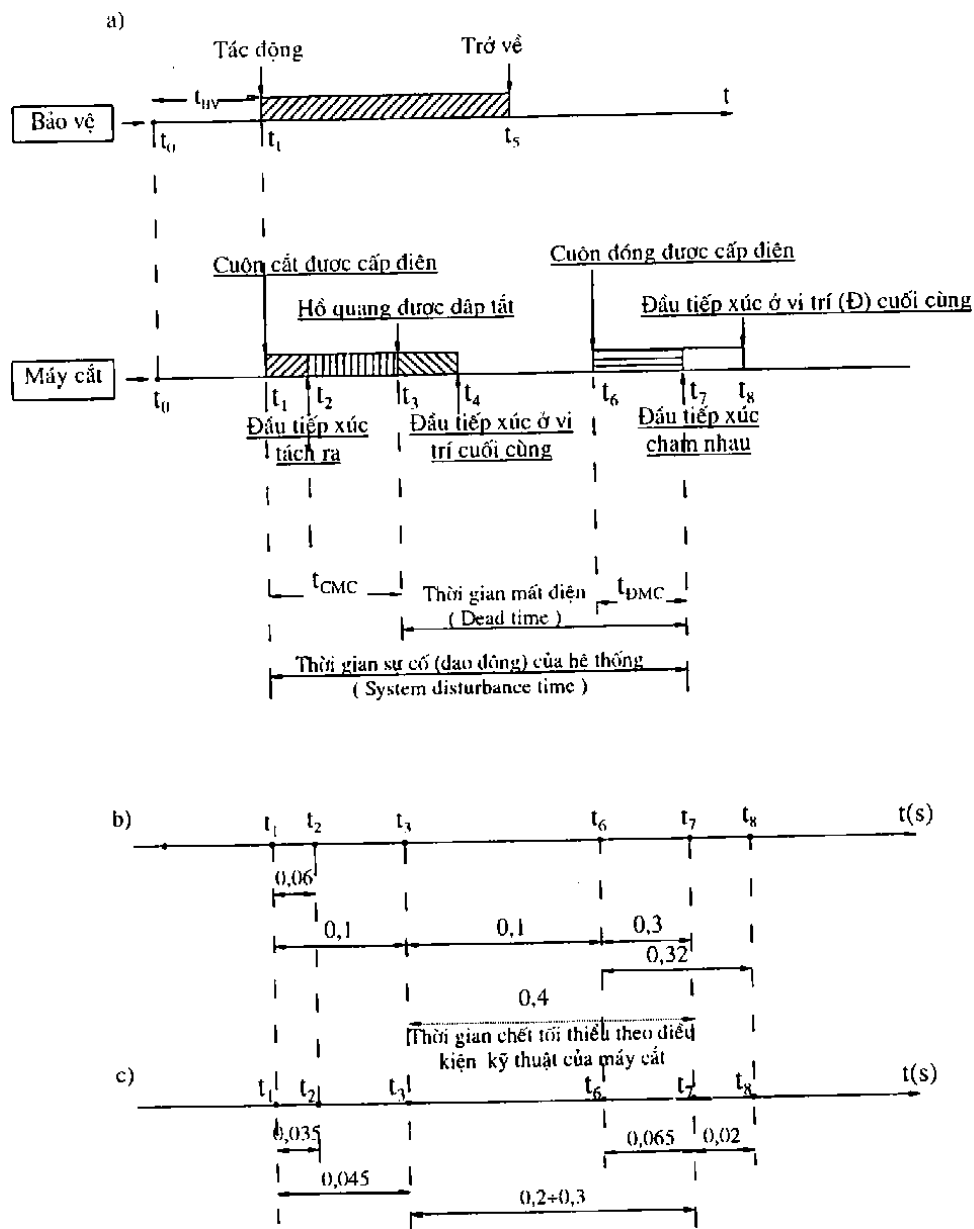
- *Thời gian sẵn sàng của TĐL*: thời gian từ lúc tiếp điểm của rơle TĐL khép lại gửi tín hiệu đóng máy cắt đến khi nó sẵn sàng làm việc cho chu trình tiếp theo.
- *Thời gian tự động đóng trở lại* (t_{TDL}): thời gian từ lúc TĐL được khởi động đến lúc mạch đóng của máy cắt được cấp điện.
- *Thời gian chết* (hoặc thời gian không điện - dead time): thời gian từ lúc hồ quang bị dập tắt đến lúc tiếp điểm chính của máy cắt tiếp xúc trở lại.
- *Thời gian dao động của hệ thống*: là khoảng thời gian từ lúc phát sinh sự cố đến khi máy cắt đóng trở lại thành công. Đúng ra thời gian này nên gọi là thời gian ảnh hưởng hoặc *thời gian gây nhiễu loạn* hệ thống (System Disturbance Time).

Quan hệ giữa các đại lượng thời gian trong quá trình tự động đóng lại nguồn điện trình bày trên hình 4.34,a.

Ví dụ đối với trường hợp máy cắt điện trung áp 11 kV đóng cắt bằng cuộn điện từ và máy cắt điện siêu cao áp 400 kV truyền động bằng khí nén trình bày trên các hình 4.34,b và hình 4.34,c tương ứng.

Trong chu trình TĐL, đại lượng thời gian chết (thời gian không điện) có ý nghĩa quan trọng, nó ảnh hưởng đến việc nhanh chóng phục hồi cung cấp điện và đảm bảo giữ ổn định cho hệ thống.

Thông thường khi TĐL 1 pha khoảng thời gian này từ 0,4 đến 1,2 s, khi TĐL 3 pha có kiểm tra đồng bộ từ 1 đến 5 s.



Hình 4.34. Quan hệ giữa các đại lượng thời gian trong quá trình tự động đóng lại nguồn điện (a), ví dụ đối với máy cắt điện trung áp, đóng cắt bằng cuộn điện từ (b) và máy cắt điện siêu cao áp 400 kV truyền động bằng khí nén (c).

4.7.3. Phối hợp tác động giữa thiết bị bảo vệ rơle và tự đóng lại các đường dây tải điện

Có nhiều cách phối hợp tác động giữa thiết bị bảo vệ rơle và tự đóng lại các đường dây tải điện. Sau đây sẽ xét một số cách phối hợp thường dùng.

1) *Tăng tốc độ của bảo vệ trước TDL*: thường dùng đối với các đường dây có một nguồn cung cấp (H.4.35).

Đường dây có nhiều phân đoạn, mỗi phân đoạn được trang bị một bộ bảo vệ chọn lọc CL (chẳng hạn bảo vệ quá dòng điện có đặc tính thời gian độc lập). Ở đoạn đầu nguồn người ta đặt thêm một bộ bảo vệ không chọn lọc KCL (chẳng hạn bảo vệ dòng điện cắt nhanh) và thiết bị TDL tác động một lần. Dòng khởi động của bảo vệ cắt nhanh chọn theo hai điều kiện:

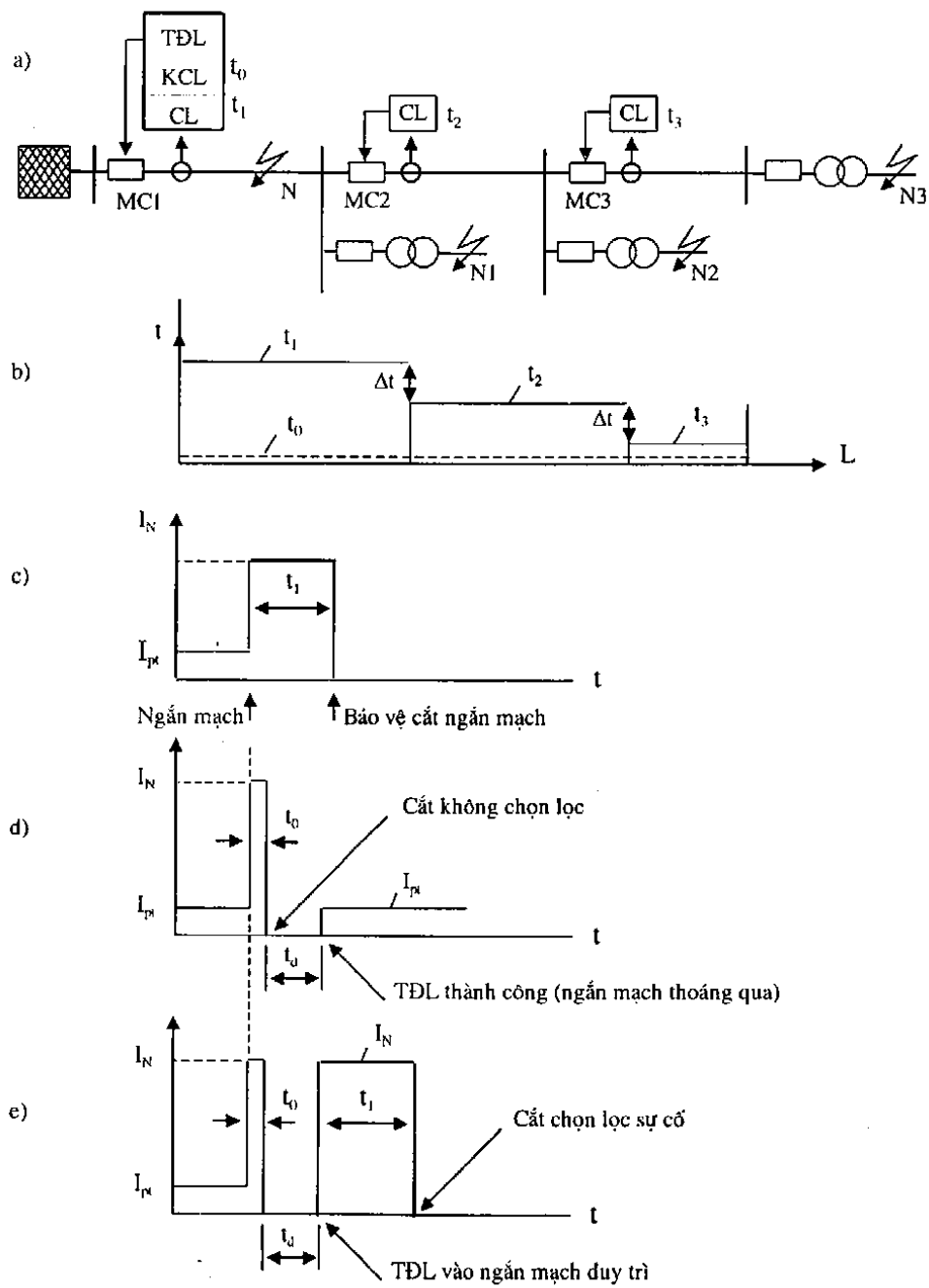
- Bảo vệ phản ứng với mọi loại sự cố xảy ra trên tất cả các đoạn đường dây;
- Bảo vệ không tác động khi hư hỏng xảy ra sau các trạm biến áp (tại các điểm N1, N2, N3).

Khi hư hỏng xảy ra trên bất kỳ đoạn đường dây nào, bảo vệ không chọn lọc sẽ tác động tức thời cắt máy cắt đầu nguồn MC1. Sau đó thiết bị TDL tác động đóng trở lại MC1 đồng thời khóa bảo vệ KCL lại. Nếu ngắn mạch là duy trì thì các bảo vệ CL làm việc với thời gian bậc thang đã chọn đảm bảo cắt chọn lọc đoạn sự cố. Nếu ngắn mạch là thoáng qua, TDL sẽ thành công và việc cấp điện được nhanh chóng phục hồi.

Trên hình 4.35 trình bày sơ đồ lưới điện (a), đặc tính thời gian của các bảo vệ (b) cùng diễn biến của dòng điện trên đường dây khi ngắn mạch không có TDL (c), khi tăng tốc độ của bảo vệ trước TDL thành công (d) và không thành công (e).

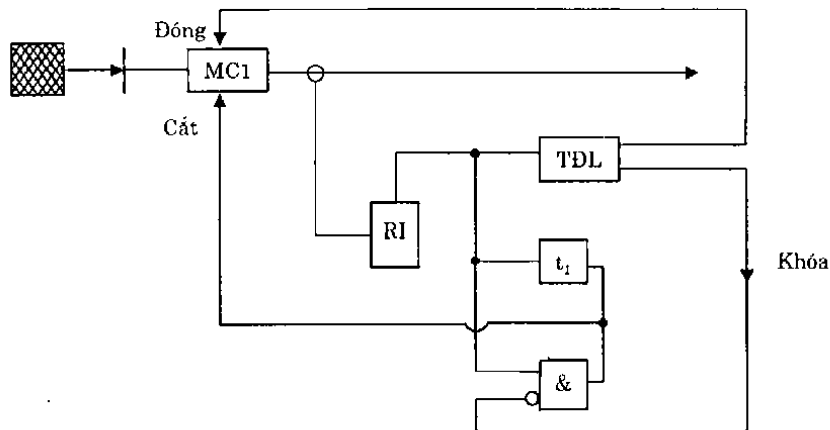
Việc phối hợp tác động giữa thiết bị bảo vệ rơle và TDL có thể thực hiện đối với nhiều loại bảo vệ khác nhau. Sau đây sẽ xem xét đối với hai loại bảo vệ thường gặp: bảo vệ quá dòng điện và bảo vệ khoảng cách.

Bảo vệ quá dòng điện có thời gian độc lập hoặc phụ thuộc như trên đã nói thường được sử dụng làm bảo vệ chính cho các đường dây trung áp có nguồn cung cấp từ một phía (H.4.35). Khi có ngắn mạch trên đường dây bảo vệ cắt nhanh đặt ở đoạn đầu đường dây sẽ làm việc, cắt tức thời đường dây ra khỏi nguồn, sau khoảng thời gian chết t_d thì TDL đóng trở lại MC1 nếu ngắn mạch



Hình 4.35. Sơ đồ lưới điện (a) giải thích nguyên tắc tăng tốc độ của bảo vệ trước TĐL, đặc tính thời gian của bảo vệ (b) và diễn biến của dòng điện trên đường dây khi ngắn mạch không có TĐL (c), tăng tốc độ bảo vệ trước TĐL thành công (d) và không thành công (e). t_d - thời gian chết khi TĐL.

thoáng qua TĐL thành công, các phụ tải được cấp điện trở lại. Nếu ngắn mạch duy trì sau khi TĐL tác động, bảo vệ cắt nhanh sẽ bị khóa lại và các bảo vệ chọn lọc sẽ cắt NM theo trình tự thời gian đặt trước. Sơ đồ nguyên lý của việc phối hợp tăng tốc độ của BVQDD trước TĐL trình bày trên hình 4.36.



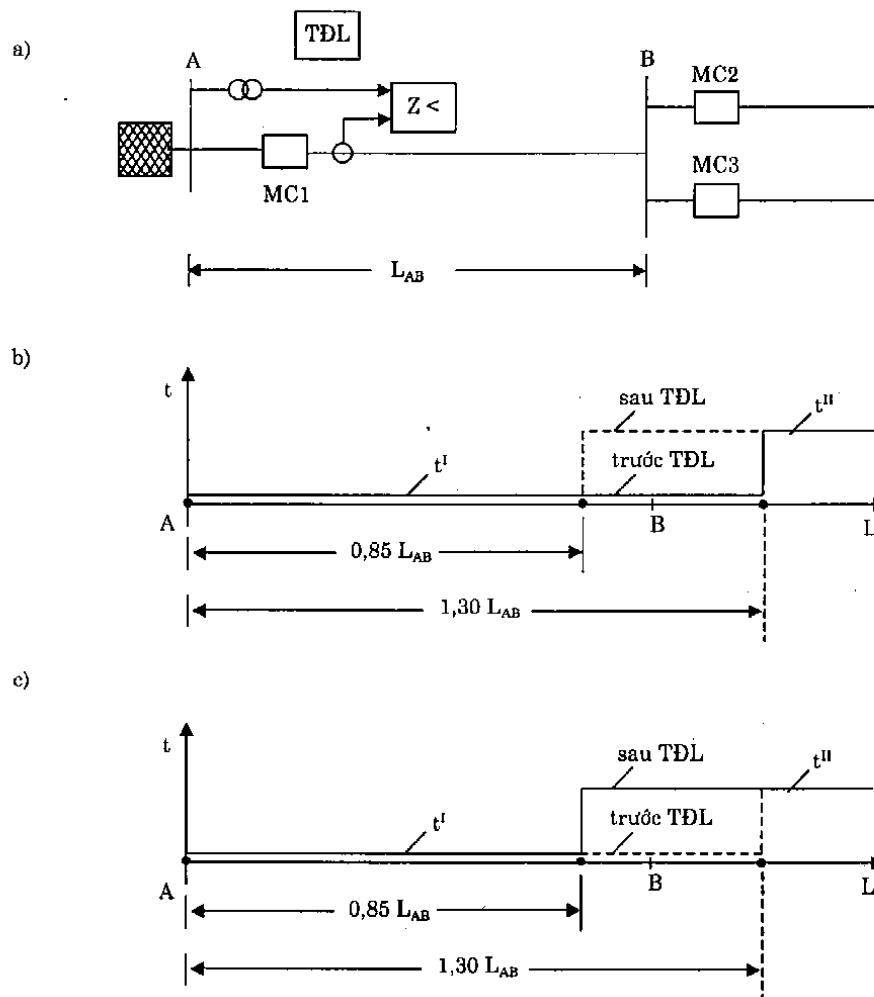
Hình 4.36. Tăng tốc độ của bảo vệ quá dòng điện trước TĐL

Đối với *bảo vệ khoảng cách*, việc phối hợp với TĐL thực chất là thay đổi tổng trở (hoặc chiều dài) của vùng tác động thứ nhất (với thời gian tác động $t^I \approx 0$) khi TĐL làm việc. Có hai phương thức phối hợp khác nhau: vùng I bị thu hẹp lại sau khi TĐL làm việc và vùng I được mở rộng ra sau khi TĐL làm việc.

Ở phương thức đầu, bình thường vùng I của bảo vệ được chỉnh định lớn hơn (khoảng 130%) chiều dài đường dây được bảo vệ, vì vậy khi hư hỏng ở bất kỳ điểm nào trên toàn bộ đường dây bảo vệ sẽ tác động cắt với thời gian bé nhất. Sau khi cắt máy cắt role TĐL tự động thay trị số đặt của vùng I xuống còn 80-85% chiều dài của đường dây (trị số đặt bình thường) sau đó mới tiến hành đóng trở lại máy cắt (H.4.37,a). Nếu ngắn mạch là duy trì các bảo vệ sẽ tác động cắt đường dây theo thông số chỉnh định bình thường.

Ở phương thức thứ hai, vùng I của rơle khoảng cách được chỉnh định bình thường, khoảng 80-85% chiều dài đường dây được bảo vệ (H.4.37,b). Nếu ngắn mạch xảy ra ở đầu đường dây tiếp theo, bảo vệ khoảng cách đặt ở đường dây này sẽ cắt với thời gian ngắn nhất, rơle khoảng cách ở đường dây được bảo vệ sẽ

trở về. Nếu ngắn mạch xảy ra ở phần 15-20% cuối đường dây được bảo vệ, bảo vệ khoảng cách ở đầu đường dây sẽ không trở về mà sau khi khởi động một thời gian ngắn sẽ tự động thay đổi (tăng) vùng tác động I lên đến 130% chiều dài đường dây, khi ấy sự cố cuối đường dây sẽ được loại trừ với thời gian gần bằng thời gian t^I của vùng thứ nhất.

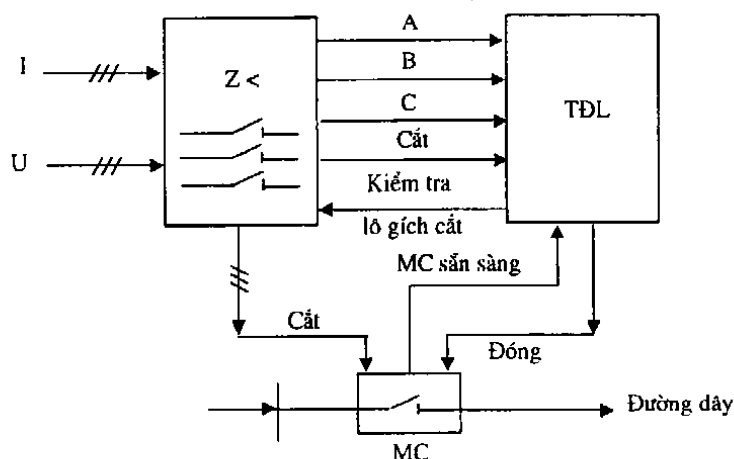


Hình 4.37. Phối hợp giữa bảo vệ khoảng cách và TĐL

- a) Sơ đồ lưới điện hình tia có đặt bảo vệ khoảng cách; b) Thu hẹp vùng tác động I sau TĐL; c) Mở rộng vùng tác động I sau TĐL.

Việc phối hợp giữa bảo vệ role và TĐL có thể tiến hành cho cả TĐL 3 pha lẫn TĐL 1 pha trong đó TĐL 3 pha thường đi kèm với các bảo vệ chống ngắn mạch nhiều pha, còn TĐL 1 pha đi kèm với ngắn mạch 1 pha.

Trên hình 4.38 trình bày sơ đồ nguyên lý việc trao đổi các tín hiệu điều khiển khi sử dụng TĐL 1 pha.



Hình 4.38. Hệ thống trao đổi tín hiệu giữa bảo vệ khoảng cách và thiết bị TĐL khi thực hiện tự động đóng trở lại một pha.

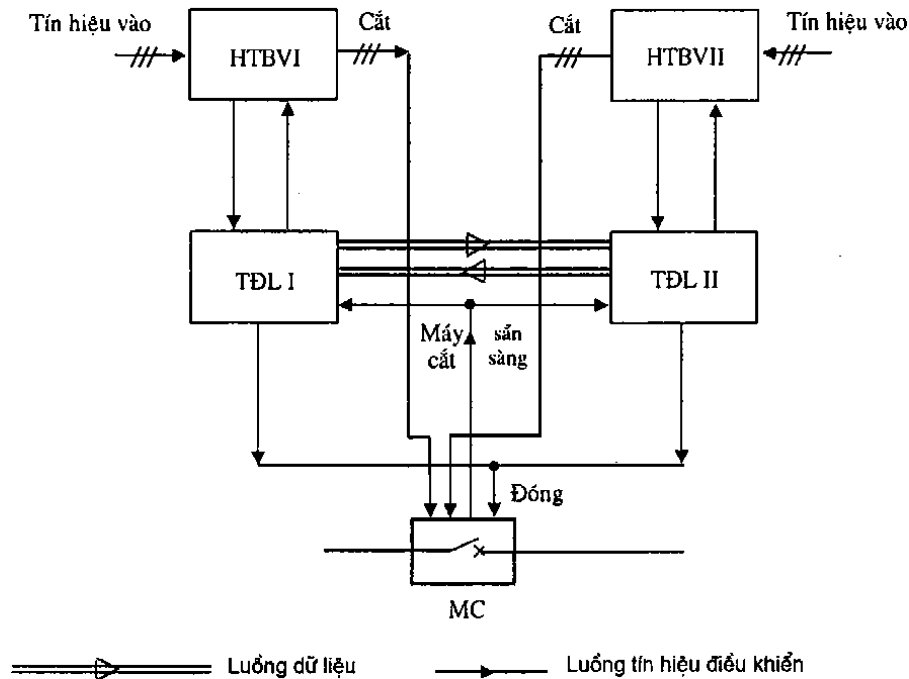
Với các đường dây siêu cao áp, thông thường người ta sử dụng hai hệ thống bảo vệ độc lập nhau, mỗi hệ thống làm việc với một role TĐL riêng biệt. Trong trường hợp này cũng cần phải phối hợp giữa hai thiết bị TĐL với nhau bởi vì mỗi hệ thống bảo vệ có thể có phản ứng khác nhau đối với những loại sự cố khác nhau. Việc phối hợp hai thiết bị TĐL của hai hệ thống bảo vệ nhằm đảm bảo:

- Khóa thiết bị TĐL thứ hai khi đã bắt đầu thời gian chết của thiết bị TĐL thứ nhất;
- Làm cho thời gian sẵn sàng của thiết bị TĐL thứ nhất cũng có tác dụng đối với thiết bị TĐL thứ hai.

Việc phối hợp trên đây nhằm loại trừ khả năng gửi tín hiệu đóng trở lại 1 pha sau khi TĐL 3 pha đã được khởi động.

Nếu hệ thống bảo vệ thứ hai làm nhiệm vụ bảo vệ dự phòng (tác động có thời gian) thì chỉ cần dùng một bộ TĐL phối hợp với hệ thống bảo vệ thứ nhất.

Sơ đồ phối hợp giữa hai hệ thống bảo vệ độc lập và hai thiết bị TĐL trình bày trên hình 4.39.



Hình 4.39. Hệ thống trao đổi tín hiệu giữa hai bộ phận bảo vệ độc lập và hai thiết bị TĐL đặt cho các đường dây truyền tải siêu cao áp.

2) Tăng tốc độ của bảo vệ role sau TĐL

Xét sơ đồ lưới điện hình tia có một nguồn cung cấp với nhiều phân đoạn đường dây nối tiếp trên hình 4.40. Ở mỗi phân đoạn đường dây đều có các bảo vệ chọn lọc (CL) chẳng hạn quá dòng điện có thời gian, bảo vệ không chọn lọc (KCL) chẳng hạn quá dòng cắt nhanh và thiết bị TĐL tương ứng. Bảo vệ không chọn lọc chỉ được đưa vào làm việc sau khi thiết bị TĐL hoạt động. Thoạt đầu nếu ngắn mạch xảy ra trên một phân đoạn nào đó chỉ có các bảo vệ chọn lọc ở phân đoạn đó làm việc và cắt sự cố với thời gian cho trước. Chẳng hạn nếu ngắn mạch tại điểm N2 trên đường dây D2 bảo vệ chọn lọc (CL2) trên đường dây này sẽ cắt MC2 với thời gian t_2 . Khi MC2 cắt, thiết bị TĐL2 sẽ được khởi động để

đóng trở lại MC2 và cho phép bảo vệ không chọn lọc KCL2 làm việc. Nếu ngắn mạch thoát qua, TĐL thành công, đường dây D2 tiếp tục được cấp điện và sau một khoảng thời gian xác định bảo vệ KCL2 lại bị cấm làm việc, sự cố tiếp theo sẽ được cắt có chọn lọc. Nếu ngắn mạch duy trì thì bảo vệ cắt nhanh KCL2 sẽ làm việc cắt không có thời gian D2 ra khỏi lưới, đảm bảo được chọn lọc và loại trừ nhanh sự cố. Nếu không tăng tốc độ sau TĐL thì trong trường hợp này (ngắn mạch duy trì trên D2) khi CL1 không trở về được, chẳng hạn do tác động của dòng mở máy của phụ tải nối với thanh góp B có thể xảy ra cắt không chọn lọc đường dây D1 (nếu thời gian làm việc t_2 của CL2 lớn hơn cấp chọn lọc $\Delta t = t_1 - t_2$). Ngoài ra sự cố duy trì cũng sẽ được loại trừ với thời gian t_2 lớn hơn.

3) TĐL theo thứ tự

Sơ đồ lưới điện và trang bị bảo vệ và TĐL như trên hình 4.40. Bảo vệ cắt nhanh không chọn lọc trong trường hợp này được chỉnh định bao trùm toàn bộ đường dây được bảo vệ và một phần của đường dây tiếp theo. Chẳng hạn, khi ngắn mạch tại N2 trên đường dây D2, KCL1 và KCL2 có thể cùng tác động sau đó các thiết bị TĐL sẽ đóng các phân đoạn đường dây tương ứng theo trình tự gần nguồn được đóng trước, đoạn xa nguồn được đóng sau, nghĩa là:

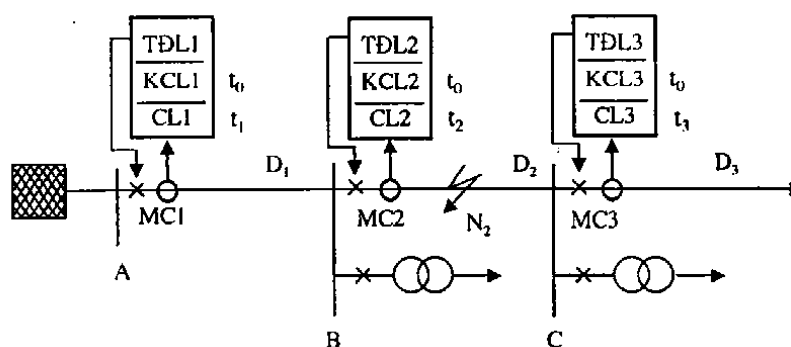
- Đoạn D1 (gần nguồn nhất) với thời gian $t_{TĐL1}$;
- Đoạn D2 (tiếp theo) với thời gian :

$$t_{TĐL2} = t_{TĐL1} + \Delta t; \quad (4-29)$$

- Đoạn D3 (xa nguồn nhất) với thời gian :

$$t_{TĐL3} = t_{TĐL2} + \Delta t = t_{TĐL1} + 2\Delta t. \quad (4-30)$$

Cấp chọn lọc về thời gian Δt ở đây cần chọn lớn hơn thời gian làm việc của bảo vệ không chọn lọc khi TĐL không thành công.



Hình 4.40. Nguyên lý thực hiện tăng tốc độ của bảo vệ sau TĐL và TĐL theo thứ tự đối với lưới điện hình tia có một nguồn cung cấp.

Như vậy khi ngắn mạch trên D2 cả 2 máy cắt MC2 và MC1 có thể cùng cắt đồng thời, tuy nhiên MC1 vì gần nguồn hơn sẽ được đóng trở lại trước với thời gian bé nhất t_{TDL1} . Trường hợp này TDL thành công vì ngắn mạch không xảy ra trên D1, sau khoảng thời gian xác định (lớn hơn thời gian làm việc của KCL1) bảo vệ KCL1 của D1 sẽ bị khóa trước khi TDL2 đóng lại MC2. Nếu ngắn mạch trên D2 là duy trì, KCL2 sẽ cắt tức thời D2 đảm bảo loại trừ sự cố một cách chọn lọc. Bảo vệ KCL1 của đoạn D1 sẽ được đưa vào làm việc trở lại sau khoảng thời gian đủ để thực hiện TDL2 và KCL2 làm việc nếu ngắn mạch là duy trì.

TDL theo thứ tự đảm bảo nhanh chóng khôi phục cung cấp điện cho các hộ tiêu thụ (đặc biệt là các phụ tải gần nguồn) và loại trừ nhanh chóng có chọn lọc sự cố bằng các bảo vệ không chọn lọc.

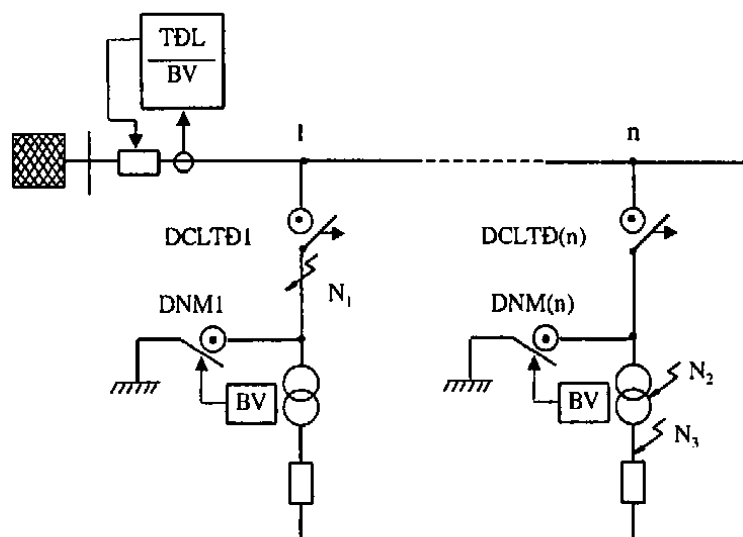
4) TDL đường dây có phân nhánh

Để tiết kiệm giá thành xây dựng lưới điện trong một số lưới điện hình tia có một nguồn cung cấp (thường từ 110 kV trở xuống) người ta chỉ đặt máy cắt điện ở đầu đường dây, còn ở đầu các nhánh rẽ chỉ đặt dao cách ly tự động (DCLTD) rẽ hơn máy cắt điện gấp nhiều lần.

Khi có ngắn mạch trên một nhánh rẽ nào đó chẳng hạn tại N1 (H.4.41), bảo vệ đặt ở đầu nguồn sẽ tác động cắt máy cắt đầu đường trục. Trong khoảng thời gian chết DCLTD1 ở đầu nhánh rẽ bị sự cố sẽ được tự động cắt ra tách phần tử bị sự cố ra khỏi lưới điện. Sau đó thiết bị TDL đặt ở đầu đường dây sẽ đóng trở lại máy cắt nguồn khôi phục cấp điện cho các hộ không bị sự cố.

Khi ngắn mạch xảy ra trong hoặc sau máy biến áp phân phối (điểm N2 và N3 trên hình 4.41) do điện kháng lớn của máy biến áp dòng ngắn mạch qua bảo vệ đầu đường dây có trị số bé không đủ độ nhạy cho bảo vệ làm việc. Để tăng độ nhạy cho bảo vệ đầu đường dây người ta đặt thêm các dao ngắn mạch (DNM) để gây ngắn mạch nhân tạo phía trước máy biến áp. Khi có ngắn mạch trong hoặc sau máy biến áp, bảo vệ của máy biến áp (thường dùng các bảo vệ dòng điện đơn giản) tác động đóng dao ngắn mạch, dòng sự cố tăng lên đủ cho bảo vệ đầu đường dây làm việc. Tiếp theo, trong thời gian không điện, DCLTD trong nhánh biến áp bị sự cố sẽ tách ra và TDL đóng trở lại MC đầu đường dây như đã trình bày ở trên.

Sơ đồ TDL đường dây có phân nhánh thường được dùng trong lưới điện nông thôn và lưới trung áp cung cấp điện thành phố được thiết kế theo mạng vòng nhưng làm việc hở (bằng dao cách ly tự động làm nhiệm vụ phân đoạn mạch vòng).



Hình 4.41. Sơ đồ TĐL đường dây có phân nhánh.

DCLTĐ - dao cách ly tự động; DNM - dao tạo ngắn mạch.

4.8. BẢO VỆ CÁC ĐƯỜNG DÂY PHÂN PHỐI ĐIỆN

Các đường dây phân phối trung áp bao gồm các cấp điện áp 35, 22, 15, 11 và 6 kV, các đường dây hạ áp thường có điện áp 0,4 kV.

Ở khu vực trung tâm của các thành phố người ra thường sử dụng cáp ngầm còn phần lớn lưới phân phối được thực hiện bằng đường dây trên không với dây trần hoặc dây bọc cách điện.

Dây dẫn cho đường dây trên không thông thường là dây nhôm (AAC - All Aluminium Conductor) hoặc dây nhôm lõi thép (AASR-Aluminium Conductor, Steel Reinforced). Ở khu vực nông thôn, miền núi với mật độ phụ tải rất bé có thể dùng dây thép mạ kẽm (SC/GZ -Galvanized steel conductor). Tiết diện phần nhôm của dây dẫn trong lưới phân phối thường từ 35 đến 300 mm², dây thép mạ khoảng 18 mm².

Những năm gần đây thay vì dây dẫn trần người ta bắt đầu sử dụng dây bọc cách điện XLPE 1 pha và 3 pha (ABC - aerial bundled cable) để tăng cường độ an toàn, tin cậy, giảm yêu cầu cắt tỉa cây trong hành lang của đường dây và giảm giá thành xây dựng đường dây.

So với dây trần, dây bọc cách điện có nhiều ưu việt hơn nên trong tương lai nó có thể trở thành tiêu chuẩn bắt buộc đối với các đường dây phân phối điện trên không.

4.8.1. Các loại thiết bị dùng để bảo vệ đường dây phân phối điện

a) Cầu chảy cao áp

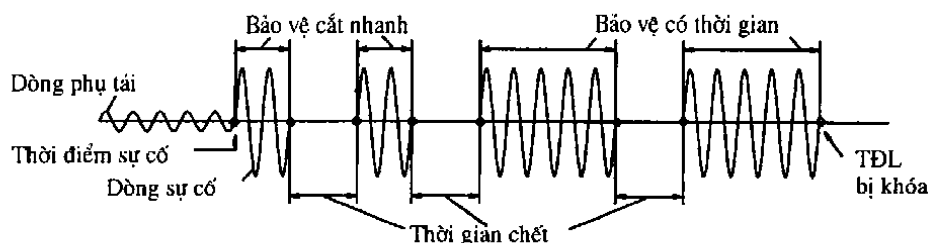
Cầu chảy (cầu chì) là loại thiết bị bảo vệ đơn giản nhất dùng trong lưới phân phối với đặc tính của bảo vệ quá dòng có thời gian phụ thuộc. Có nhiều loại cầu chảy cao áp khác nhau, những loại thường gặp trong lưới phân phối là:

- Cầu chảy tự rơi;
- Cầu chảy chứa cát thạch anh;
- Cầu chảy chứa chất lỏng dập hồ quang;
- Cầu chảy chân không hoặc chứa khí SF₆.

Hai loại đầu: cầu chảy rơi và cầu chảy có chứa cát chứa cát thạch anh được sử dụng phổ biến hơn với khả năng cắt dòng điện cực đại từ 5 đến 8 kA ở cấp điện áp 11 hoặc 22 kV.

b) Máy cắt có trang bị tự đóng lại

Là máy cắt loại nhẹ tác động nhanh được trang bị bảo vệ quá dòng, phần tử lô gích để cắt và đóng trở lại máy cắt có bộ phận đếm số lần tác động và chỉ trạng thái của máy cắt. Số lần tự đóng lại có thể được đặt trước, nếu đóng lại không thành công, máy cắt sẽ được giữ ở trạng thái cắt, chờ nhân viên vận hành xử lý. Trên hình 4.42 trình bày chu trình 4 lần cắt với thời gian khác nhau của máy cắt có trang bị tự đóng lại trước khi máy cắt bị khoá trong trường hợp ngắn mạch duy trì. Máy cắt có trang bị tự đóng lại có loại 3 pha hoặc 1 pha, ngày nay người ta dùng máy cắt chân không hoặc SF₆ thay cho máy cắt ít dầu thường dùng trước đây để giảm trọng lượng của thiết bị, cho phép dễ dàng lắp đặt trên cột của đường dây phân phối, nâng cao độ an toàn và tin cậy của thiết bị. Bộ phận điều khiển lô gích cắt và tự động đóng lại, đếm chu trình và thời gian tác động do một microprocessor thực hiện cho phép kết nối với hệ thống điều khiển xa và hiển thị trạng thái máy cắt trong sơ đồ tự động của lưới phân phối.



Hình 4.42. Chu trình cắt (4 lần) và tự đóng lại (3 lần) của máy cắt có trang bị tự đóng lại khi sự cố duy trì.

c) Dao cách ly tự động

Là loại dao cách ly được trang bị bộ truyền động có thể điều khiển từ xa tác động phối hợp với máy cắt có trang bị tự đóng lại để thực hiện việc tách và cách ly phần tử bị sự cố trong khoảng thời gian không điện (dead time) trong chu trình tự đóng lại. Dao cách ly tự động không có khả năng cắt dòng điện lớn, vì vậy trong quá trình xử lý sự cố cần phối hợp chính xác tác động giữa nó và máy cắt.

d) Role quá dòng

Được trang bị kèm theo máy cắt tự đóng lại, có đặc tính thời gian phụ thuộc, đôi khi được sử dụng kết hợp với bộ khóa điện áp thấp để tăng độ nhạy của bảo vệ hoặc bộ phận định hướng công suất (trong các mạng vòng).

Để bảo vệ chống chạm đất người ta dùng role quá dòng có đặc tính độc lập hoặc phụ thuộc nối qua bộ lọc I_0 với dòng điện chỉnh định khá bé từ 1 đến 10% dòng điện tải cực đại, thời gian làm việc từ 1 đến 5 giây. Đôi khi người ta còn dùng bộ lọc tần số cơ bản 50 Hz đặt ở đầu vào của role nhằm loại trừ ảnh hưởng của hài bậc cao cũng như trị số quá độ của dòng điện khi đóng cắt máy biến áp.

e) Bộ phận chỉ thị sự cố

Thời gian phát hiện phần tử bị sự cố quyết định mức độ kéo dài của quá trình xử lý sự cố. Bộ phận chỉ thị sự cố sẽ tác động khi có dòng điện sự cố chạy qua nó, nó chỉ cảnh báo chứ không tác động cắt máy cắt. Các bộ phận chỉ thị sự cố được lắp đặt ở đầu tất cả các đường dây, kể cả đường dây rẽ nhánh giúp cho việc xác định đường đi của dòng điện sự cố và từ đó xác định vị trí điểm sự cố được dễ dàng và nhanh chóng.

Có rất nhiều loại chỉ thị sự cố được chế tạo theo nhiều nguyên tắc khác nhau từ loại điện từ thường dùng trước đây với hệ thống trở về điều khiển bằng

tay đến loại điện tử hiện đại với các hệ thống trở về khác nhau, có thể lắp đặt trong nhà hoặc trên cột, dùng cho đường dây trên không hoặc cáp ngầm.

4.8.2. Một số nguyên tắc thực hiện bảo vệ các đường dây phân phối điện

Bảo vệ các đường dây phân phối điện cũng phải thỏa mãn các yêu cầu chung đối với thiết bị bảo vệ về chọn lọc, tác động nhanh nhạy và tin cậy. Ngoài ra, trong hệ thống điện số lượng đường dây phân phối rất lớn nên yêu cầu về chi phí để trang bị lắp đặt thiết bị bảo vệ cũng cần được xem xét.

Khi thiết kế hệ thống bảo vệ các đường dây phân phối điện cần phối hợp việc sử dụng cầu chì, máy cắt có trang bị tự động đóng trở lại, role bảo vệ quá dòng, role bảo vệ chống chạm đất, dao cách ly tự động và một số thiết bị phụ trợ khác.

a) Sử dụng nguyên tắc bảo vệ quá dòng điện

Để bảo vệ các đường dây phân phối bằng các thiết bị quá dòng điện (role quá dòng, ô tô mát có trang bị tự động đóng lại, cầu chì...) cần tuân thủ một số nguyên tắc sau đây:

- Dòng ngắn mạch tối thiểu ở cuối phần tử được bảo vệ I_{Nmin} phải lớn hơn dòng điện khởi động I_{kd} của bảo vệ ít nhất là 2 lần, nghĩa là hệ số độ nhạy K_n tối thiểu không bé hơn 2:

$$K_{nmin} = \frac{I_{Nmin}}{I_{kd}}$$

Với bảo vệ dự phòng cho phép hệ số độ nhạy tối thiểu là 1,5.

- Tổng thời gian loại trừ sự cố ngắn mạch 3 pha không vượt quá 3 giây. Nếu điều kiện chịu phát nóng của dây dẫn thấp hơn thời gian này thì phải chọn theo điều kiện chịu phát nóng của dây dẫn.

- Khi phối hợp tác động giữa máy cắt và cầu chảy, độ nhạy tối thiểu của bảo vệ quá dòng đặt ở máy cắt có thể chọn bằng 1,5 trong chế độ ngắn mạch hai pha cực tiểu ở cuối phần tử được bảo vệ để đảm bảo khả năng cầu chảy tác động khi có ngắn mạch duy trì ở cuối vùng tác động của nó.

- Khi phối hợp tác động giữa máy cắt và dao cách ly tự động mắc nối tiếp nhau, để xác định vùng làm việc của máy cắt người ta lấy hệ số độ nhạy của bảo vệ đặt ở máy cắt $K_n = 2$.

- Khi bảo vệ bằng cầu chảy cao áp không cần đặt thêm bảo vệ dự phòng. Khi bảo vệ bằng máy cắt hoặc ô tô mát có tự động đóng lại phối hợp với dao cách ly tự động cần đặt thêm bảo vệ dự phòng.

- Thông thường đối với hệ thống bảo vệ phối hợp giữa máy cắt có tự đóng lại phối hợp với cầu chảy thì khi có sự cố thoát qua bao giờ máy cắt ở đầu đường dây cũng tác động trước cầu chảy. Cầu chảy đặt trên phần tử bị sự cố chỉ tác động khi có ngắn mạch duy trì sau khi máy cắt đã tự động đóng lại hết số lần quy định. Điều này cho phép tận dụng hiệu quả của giải pháp tự đóng lại máy cắt đầu đường dây.

b) Bảo vệ chống chạm đất

Chạm đất trong lưới điện phân phối có thể kèm theo dòng điện chạm đất lớn hoặc bé tùy theo hệ thống nối đất trung điểm của lưới điện. Dòng điện chạm đất trong lưới trung áp có thể có trị số từ vài A đến vài chục kA. Dòng chạm đất có thể bé nhưng thời gian loại trừ sự cố phải nhanh (chừng vài giây) để tránh những hậu quả xấu do sự cố chạm đất có thể gây ra.

Đối với lưới 22 kV, bảo vệ chống chạm đất có độ nhạy cao có thể chỉnh định dòng khởi động sơ cấp chừng 10 A (khoảng từ 1 đến 5% dòng phụ tải).

Những yếu tố ảnh hưởng đến độ nhạy của bảo vệ chống chạm đất bao gồm:

- Thông số đường dây không đối xứng do dây dẫn các pha không được chuyển vị;
- Điện dung của đường dây, đặc biệt là dây ABC và cáp ngầm;
- Các bộ tụ bù đầu hình sao có trung điểm nối đất;
- Cảm ứng từ các đường dây song song bên cạnh;
- Đóng cắt một pha;
- Hàm bậc cao và thành phần quá độ của dòng điện.

c) Yêu cầu đối với cầu chảy cao áp

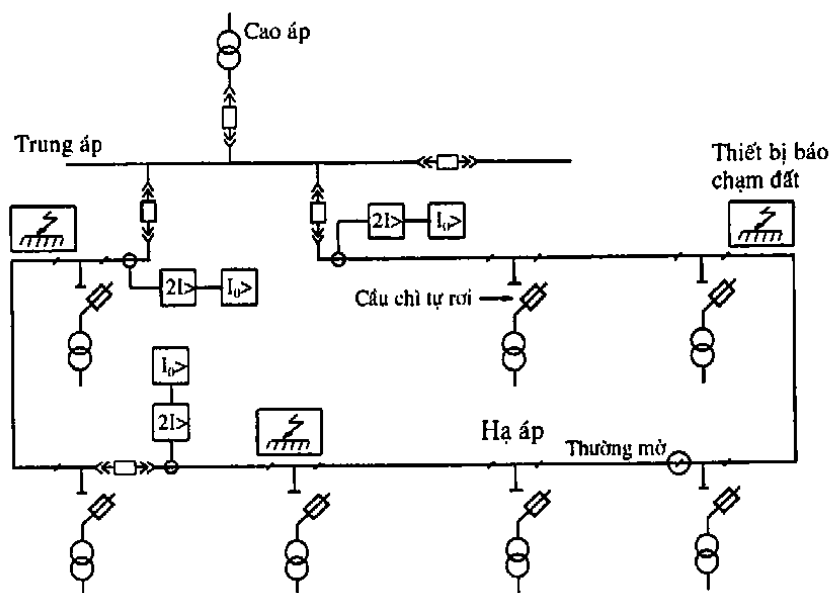
Thực tế vận hành cho thấy cầu chảy có thể ngắt mạch dòng điện phụ tải bé hơn dòng điện ngắt của cầu chảy. Nguyên nhân là do trong vận hành khi đóng máy biến áp hoặc khi động cơ khởi động giá trị quá độ của dòng điện từ hóa và dòng điện mở máy có thể rất lớn, vượt gấp nhiều lần dòng điện phụ tải bình thường.

Thông thường cầu chảy gồm nhiều dây chảy đặt song song trong cát thạch anh có độ dẫn nhiệt kém. Ở một số cầu chảy dây chảy có “điểm dễ chảy” hồ quang đầu tiên phát sinh từ đó và thiêu hủy dần dây chảy. Với trị số quá độ của dòng điện từ hóa và dòng điện mở máy của động cơ thoát đầu có thể một vài dây chảy bị đứt, những lần đóng biến áp không tải hoặc mở máy động cơ tiếp theo với số dây chảy còn làm việc bị suy giảm, cầu chảy có thể tác động ngắt mạch ở dòng điện thấp hơn dòng chảy danh định.

4.8.3. Lựa chọn phương thức bảo vệ cho các đường dây phân phối điện

a) Lưới điện đô thị

Thông thường lưới điện đô thị được cung cấp từ các trạm nguồn 220-110/35-22-11 kV. Từ phía thứ cấp 35-22-11 kV của các trạm này các đường dây trung áp thường được thiết kế với cấu hình mạng vòng, vận hành hở (H. 4.43). Các trạm nguồn thường có 2 hoặc 3 máy biến áp với công suất đơn vị từ 5 MVA đến 60 MVA. Mật độ phụ tải ở đô thị thường thay đổi từ khoảng 5MW/km² (ở vùng ngoại ô) đến khoảng 100 MW/km² ở khu vực trung tâm đô thị. Các trạm hạ áp 35-22-11/0,4 kV thường có công suất từ 300 kVA đến hàng nghìn kVA. Bán kính cấp điện hạ áp 220/380 V thường thay đổi trong khoảng 30 m (khu trung tâm) đến khoảng 200 m (vùng ngoại ô).



Hình 4.43. Phương thức bảo vệ lưới phân phối đô thị.

Ở khu trung tâm thường sử dụng cáp ngầm và các trạm kín, ở ngoại ô sử dụng đường dây trên không và các trạm hở hoặc trạm treo trên cột.

Các đường dây trung áp, xuất tuyến từ trạm nguồn thường được trang bị các bảo vệ sau:

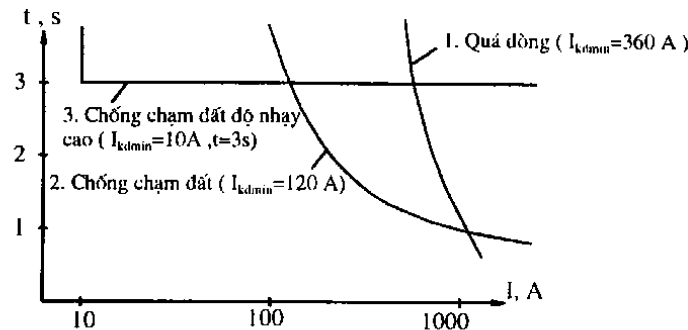
- Quá dòng điện 3 pha có đặc tuyến thời gian phụ thuộc cực dốc, dòng điện khởi động tối thiểu khoảng 360 A.

- Chống chạm đất có thời gian phụ thuộc, dòng điện khởi động tối thiểu khoảng 120 A.

- Chống chạm đất có độ nhạy cao, thời gian độc lập, dòng điện khởi động tối thiểu khoảng 10 A, thời gian làm việc từ 2 đến 3,5 giây.

- Thiết bị tự đóng lại với thời gian chết (dead time) từ 1 đến 5 giây.

Đặc tính thời gian làm việc của các bảo vệ đường dây trung áp trình bày trên hình 4.44. Phía cao áp của trạm phân phối được bảo vệ bằng cầu chảy cao áp với dòng điện danh định từ 2 đến 200 A. Phía hạ áp được bảo vệ bằng cầu chảy hoặc ô tômat.



Hình 4.44. Đặc tính thời gian của bảo vệ quá dòng ở đường dây cấp điện đô thị.

b) Lưới điện nông thôn

Tuyệt đại đa số đường dây cấp điện ở khu vực nông thôn là đường dây trên không có tiết diện bé và công suất ngắn mạch của nguồn điện không lớn (tối đa khoảng 250 MVA).

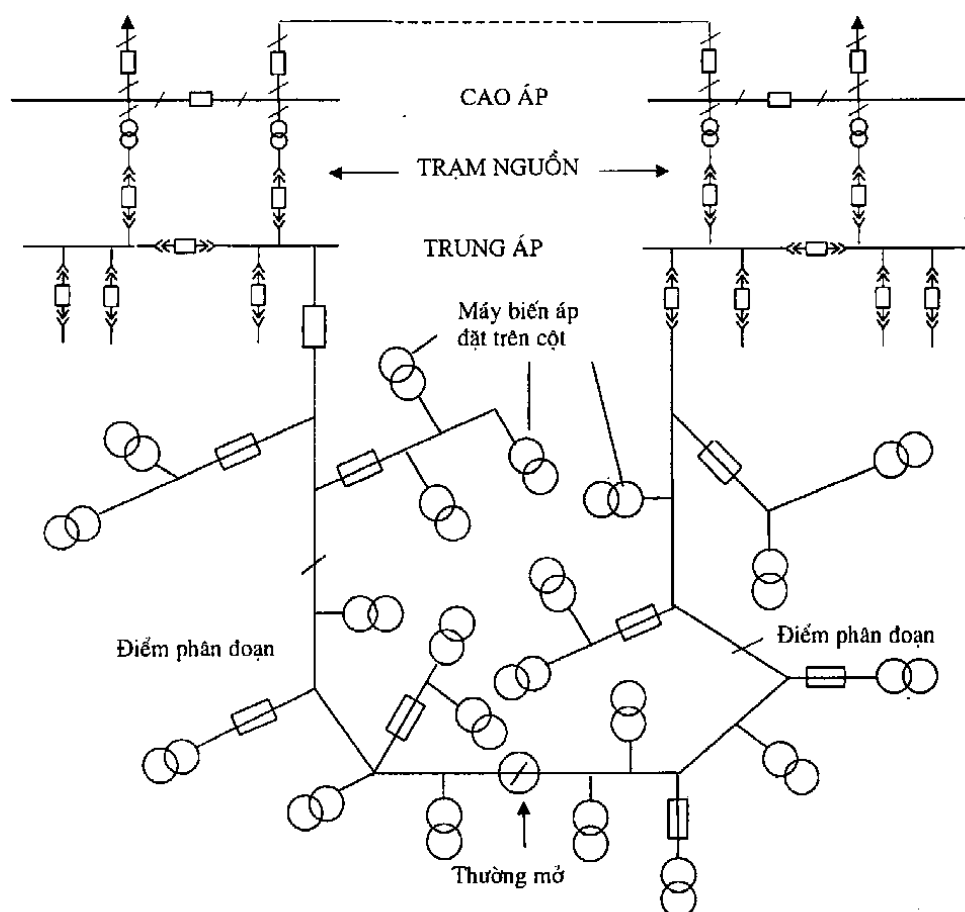
Vì dây dẫn có tiết diện bé nên tổng trở đơn vị khá cao và trị số dòng ngắn mạch giảm nhanh khi dịch chuyển ngắn mạch về phía cuối đường dây.

Lưới điện nông thôn thường có dạng hình tia có thể phân đoạn bằng dao cánh ly và ở các vùng giáp ranh có thể chuyển đổi nguồn cung cấp (H.4.45).

Mỗi đường dây xuất tuyến từ trạm nguồn đều có đặt máy cắt điện với các loại bảo vệ sau:

- Quá dòng điện có thời gian phụ thuộc với đặc tuyến dốc hoặc rất dốc.
- Chống chạm đất có độ nhạy cao, có thời gian độc lập.
- Tự động đóng lại tác động 1 lần.

Các đường dây rẽ nhánh được bảo vệ bằng cầu chảy, đường trục được phân đoạn bằng dao cách ly. Cầu chảy cao áp thường sử dụng loại có dòng điện danh định từ 2 đến 200 A. Phía hạ áp được bảo vệ bằng cầu chảy hoặc ô tômat.



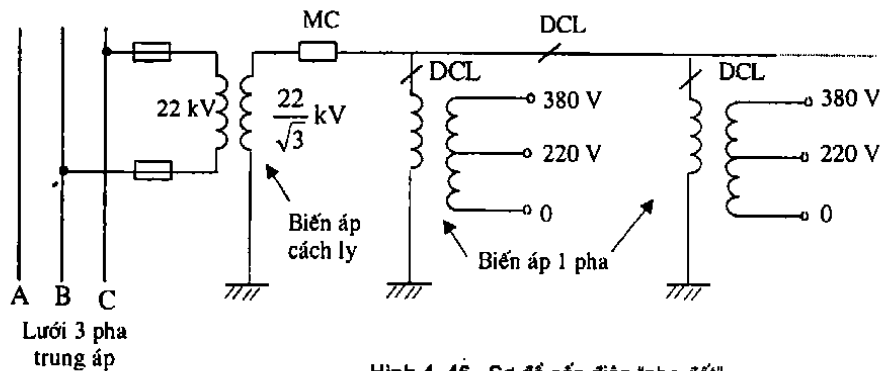
Hình 4. 45. Sơ đồ lưới phân phối điện nông thôn.

c) Đường dây phân phối điện “pha-đất” (SWER-Single Wire Earth Return)

Ở những vùng xa, có mật độ tiêu thụ điện rất thấp, để giảm giá thành xây dựng đường dây người ta sử dụng hệ thống “pha - đất” với một dây dẫn điện nối từ nguồn đến tải và dòng điện trở về nguồn qua đất.

Hệ thống “pha - đất” trên hình 4.46 nhận điện từ nguồn 3 pha thông qua máy biến áp cách ly với điện áp sơ cấp bằng điện áp dây của phía trung áp và điện áp thứ cấp bằng điện áp pha của phía trung áp. Công suất của máy biến áp cách ly khoảng từ 100 đến 200 kVA. Dòng điện cực đại trong dây dẫn chùng

10 - 20 A, vì thế người ta thường dùng dây thép mạ kẽm làm dây dẫn điện. Dây thép có tổng trở lớn nên sự thay đổi của dòng ngắn mạch theo chiều dài đường dây rất rõ rệt, khi ngắn mạch trực tiếp ở đầu đường dây dòng ngắn mạch khoảng 200 A đến cuối đường dây chỉ còn khoảng 30 A.



Hình 4. 46. Sơ đồ cấp điện "pha đất".

Khi ngắn mạch qua điện trở quá độ, dòng ngắn mạch sẽ bé hơn và bảo vệ quá dòng điện rất khó phát hiện các trường hợp sự cố ở gần cuối đường dây.

Thông thường ở đầu đường dây người ta đặt máy cắt có trang bị bảo vệ quá dòng điện và thiết bị tự đóng lại một lần. Trên đường trục có đặt các dao cách ly phân đoạn, phía trung áp của máy biến áp phân phối được bảo vệ bằng cầu chảy tự rơi, phía hạ áp - bằng cầu chảy hoặc ô tômat.

Khi tính toán bảo vệ cho hệ thống phân phối cần lưu ý đến các đặc điểm sau:

- Đảm bảo chọn lọc giữa tác động của cầu chảy ở các mạch rẽ và máy cắt ở đầu đường dây;
- Phối hợp tác động giữa dao cách ly tự động làm nhiệm vụ phân đoạn đường dây với TDL máy cắt đầu đường dây.

Ngoài ra cần lưu ý rằng cơ cấu nối đất tham gia trực tiếp vào mạch vòng dẫn điện của hệ thống "pha - đất" nên điện trở nối đất ảnh hưởng trực tiếp đến thông số của mạch tải điện. Nó cần được kiểm tra thường xuyên, nếu điện trở nối đất tăng quá cao hoặc bị đứt có thể làm gián đoạn việc cung cấp điện và các thiết bị bảo vệ không thể phát hiện trạng thái hư hỏng này.

Cuối cùng cũng cần nói thêm là hệ thống cấp điện "pha - đất" có thể gây nhiễu thường xuyên đáng kể đối với các đường dây và thiết bị thông tin lân cận, vì vậy cần phải đảm bảo khoảng cách tối thiểu quy định giữa hệ thống cấp điện này với hệ thống thông tin của địa phương.

CÂU HỎI ÔN TẬP

- 4.1. Bảo vệ đường dây tải điện bằng bảo vệ quá dòng điện có đặc tính thời gian độc lập và phụ thuộc. Phối hợp các đặc tính thời gian.
- 4.2. Sử dụng bảo vệ quá dòng có hướng để bảo vệ các đường dây tải điện. Cách phối hợp thời gian tác động giữa các bảo vệ.
- 4.3. Lĩnh vực ứng dụng của bảo vệ cắt nhanh có hướng.
- 4.4. Sử dụng bảo vệ so lệch có hãm để bảo vệ các đường dây tải điện.
- 4.5. Bảo vệ các đường dây tải điện bằng rơle khoảng cách. Phối hợp tổng trở, thời gian tác động giữa các cấp của bảo vệ khoảng cách.
- 4.6. Những yếu tố ảnh hưởng đến sự làm việc của rơle khoảng cách.
- 4.7. Các phương thức truyền tín hiệu liên động trong bảo vệ khoảng cách.
- 4.8. Bảo vệ khoảng cách của các đường dây có đặt tụ điện bù dọc.
- 4.9. Bảo vệ chống chạm đất trong lưới điện có dòng điện chạm đất bé.
- 4.10. Tự động đóng trở lại đường dây. Các đại lượng thời gian được sử dụng để phân tích quá trình làm việc của máy cắt khi tự động đóng lại.
- 4.11. Phối hợp tác động giữa thiết bị bảo vệ rơle và tự động đóng lại các đường dây tải điện.
- 4.12. Bảo vệ các đường dây phân phối điện - các phương tiện bảo vệ và nguyên tắc thực hiện.
- 4.13. Lựa chọn phương thức bảo vệ cho các đường dây phân phối trong lưới điện đô thị và lưới điện nông thôn.

Bảo vệ các máy điện và trang bị điện

5.1. BẢO VỆ MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

5.1.1. Các dạng hư hỏng và chế độ làm việc không bình thường của máy phát điện đồng bộ

Máy phát điện đồng bộ là phần tử quan trọng nhất trong hệ thống điện, sự làm việc tin cậy của các máy phát điện có ảnh hưởng quyết định đến độ tin cậy của toàn hệ thống. Vì vậy đối với máy phát điện, đặc biệt là các máy có công suất lớn, người ta đặt nhiều loại bảo vệ khác nhau để chống tất cả các loại sự cố và chế độ làm việc không bình thường xảy ra bên trong các cuộn dây cũng như bên ngoài máy phát.

Những sự cố bên trong các cuộn dây của máy phát điện đồng bộ bao gồm (xem chương 1):

a) Đối với cuộn dây stato:

- Cuộn dây bị chạm đất (chạm vỏ).
- Ngắn mạch giữa các cuộn dây (các pha).
- Các vòng dây chạm nhau.

b) Đối với cuộn dây rôto:

- Chạm đất tại 1 điểm.
- Chạm đất tại 2 điểm.

Những hư hỏng và chế độ làm việc không bình thường xảy ra bên ngoài cuộn dây máy phát điện bao gồm:

- Ngắn mạch giữa các pha.
- Tải không đối xứng.
- Mất kích thích.

- Mất đồng bộ.
- Quá tải cuộn dây stato.
- Quá tải cuộn dây rôto.
- Quá điện áp.
- Tần số thấp.
- Máy phát làm việc ở chế độ động cơ (có thể gây nguy hiểm cho tuabin).

Tuỳ theo công suất của máy phát điện, vai trò của máy phát trong hệ thống, loại máy phát điện (nhiệt điện, thuỷ điện, thuỷ điện tích năng, điện nguyên tử ...) và sơ đồ đấu dây của nhà máy điện (có hệ thống thanh góp điện áp máy phát với phụ tải địa phương hay máy phát điện nối theo sơ đồ bộ với máy biến áp lên thanh góp truyền tải) mà người ta lựa chọn phương thức bảo vệ thích hợp. Cần phải nói rằng hiện nay không có phương thức bảo vệ tiêu chuẩn đối với máy phát điện cũng như đối với các thiết bị điện khác. Tuỳ theo quan điểm của người sử dụng đối với các yêu cầu về độ tin cậy, về mức độ dự phòng, độ nhạy v.v... mà người ta lựa chọn số lượng và chủng loại rơle trong hệ thống bảo vệ. Đối với những máy phát điện công suất lớn, cũng như đối với các đường dây truyền tải quan trọng đã xem xét trước đây, xu thế hiện nay là lắp đặt hai hệ thống bảo vệ độc lập nhau với nguồn điện thạc tác riêng, mỗi hệ thống bảo vệ bao gồm một bảo vệ chính và một số bảo vệ dự phòng có thể thực hiện đầy đủ các chức năng bảo vệ cho máy phát điện.

Sau đây sẽ xem xét một số loại bảo vệ thường dùng cho máy phát điện đồng bộ.

5.1.2. Bảo vệ chống chạm đất trong cuộn dây stato

Chạm đất trong cuộn dây stato là loại sự cố bên trong thường gặp ở máy phát điện. Mạng điện áp máy phát thường làm việc với trung tính không nối đất hoặc nối đất qua cuộn Petersen nên dòng điện chạm đất không lớn, đặc biệt đối với máy phát điện nối hợp bộ với máy biến áp.

Dòng điện tại chỗ chạm đất khi trung điểm của cuộn dây máy phát không nối đất bằng:

$$I_{D\alpha}^{(1)} = \frac{\alpha \cdot U_p}{\sqrt{r_{qd}^2 + X_{CoL}^2}} \quad (5-1)$$

trong đó:

- α - số phần trăm cuộn dây từ trung điểm đến vị trí chạm đất ;
- U_p - điện áp pha của máy phát điện ;
- r_{qd} - điện trở quá độ tại chỗ sự cố ;
- X_{CoL} - dung kháng 3 pha đẳng trị của tất cả các phần tử trong mạng điện áp máy phát.

Nếu bỏ qua điện trở quá độ tại chỗ sự cố ($r_{qd} = 0$), dòng chạm đất bằng:

$$I_{D\alpha}^{(1)} = 3\alpha\omega C_{0\Sigma} U_p \quad (5-2)$$

Khi chạm đất xảy ra gần đầu cực máy phát ($\alpha = 1$) dòng chạm đất đạt trị số lớn nhất:

$$I_{D(\alpha=1)\max}^{(1)} = 3\omega C_{0\Sigma} U_p \quad (5-3)$$

Nếu dòng chạm đất lớn cần phải đặt cuộn Petersen, theo quy định của một số nước cuộn Petersen cần phải đặt khi:

$$I_{D\max}^{(1)} \geq 30 \text{ A đối với mạng có } U_{dd} = 6 \text{ kV.}$$

$$I_{D\max}^{(1)} \geq 20 \text{ A đối với mạng có } U_{dd} = 10 \text{ kV.}$$

Kinh nghiệm cho thấy rằng, dòng điện $I_D^{(1)} \geq 5 \text{ A}$ có khả năng duy trì tia lửa điện tại chỗ chạm đất làm hỏng cuộn dây và lõi thép tại chỗ sự cố, vì vậy bảo vệ cần phải tác động cắt máy phát điện.

Thực tế nếu có phụ tải ở cấp điện áp máy phát, đặc biệt đối với mạng cáp, thường dòng chạm đất $I_D^{(1)}$ vượt quá trị số 5 A. Ngay cả trong trường hợp có đặt cuộn Petersen với tính toán bù gần hoàn toàn dòng điện dung, vẫn có khả năng dòng chạm đất vượt quá 5 A khi đóng cắt các đường dây ở cấp điện áp máy phát trong quá trình vận hành.

Đối với máy phát điện nối bộ với máy biến áp, bảo vệ chỉ cần tác động cảnh báo vì dòng điện chạm đất trong bộ bé.

Những máy phát điện nối với thanh góp điện áp máy phát thường có công suất bé và sơ đồ bảo vệ thường dựa trên nguyên lý làm việc theo biên độ hoặc hướng dòng điện chạm đất.

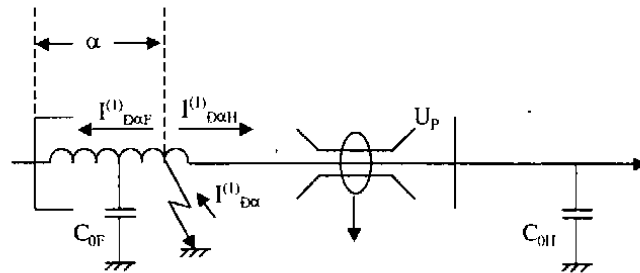
Phương pháp biên độ thường được sử dụng khi thành phần dòng điện chạm đất từ phía điện dung hệ thống $I_{DaH}^{(1)}$ lớn hơn nhiều so với thành phần dòng điện chạm đất từ phía điện dung máy phát $I_{DaF}^{(1)}$, nghĩa là:

$$I_{DaH}^{(1)} \gg I_{DaF}^{(1)} \quad (5-4)$$

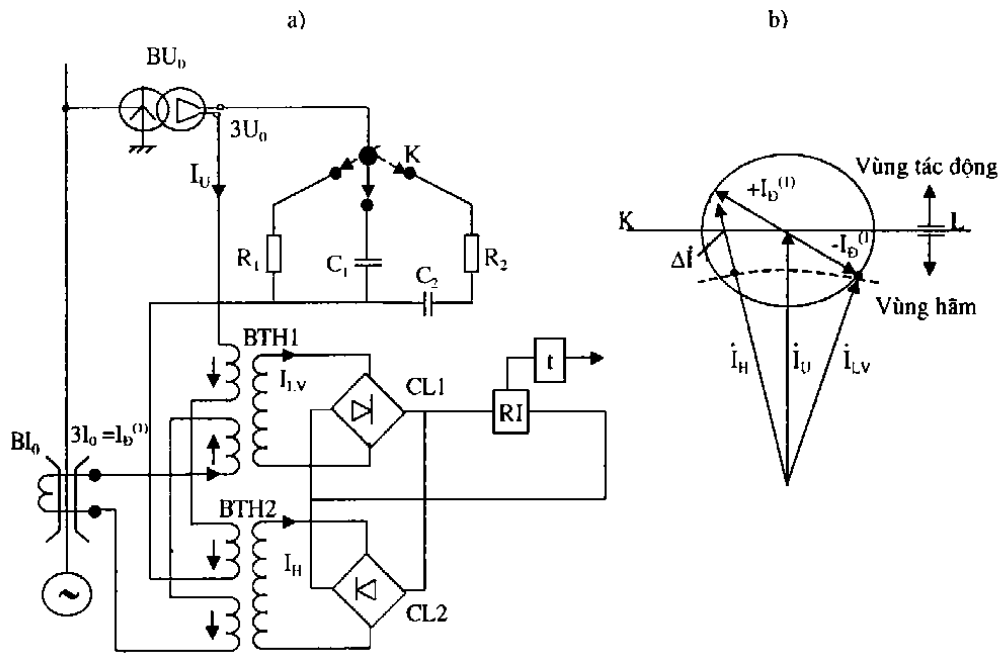
Vì dòng chạm đất $I_{D\alpha}^{(1)}$ phụ thuộc vào vị trí α của điểm chạm đất, nên nếu điểm chạm đất xảy ra gần phía trung tính ($\alpha \rightarrow 0$) bảo vệ sẽ không đủ độ nhạy.

Bảo vệ phản ứng theo biên độ dòng điện chạm đất chỉ đảm bảo được độ nhạy khi $\alpha \geq 30\%$, nghĩa là chỉ bảo vệ được khoảng 70% cuộn dây stato kể từ đầu cực máy phát vào (H.5.1).

Phương pháp hướng dòng điện có thể mở rộng vùng bảo vệ chống chạm đất đến khoảng 90% cuộn dây kể từ đầu cực máy phát vào. Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ trình bày trên hình 5.2.



Hình 5.1. Chạm đất trong cuộn dây stato máy phát điện.



Hình 5.2. Bảo vệ có hướng chống chạm đất cuộn dây stato máy phát điện đấu trực tiếp với thanh góp điện áp máy phát.

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Đồ thị vectơ.

Rôle so sánh tương quan giữa dòng điện làm việc I_{LV} và dòng điện hãm I_H theo quan hệ:

$$\Delta I = |I_H| - |I_{LV}| \quad (5-5)$$

trong đó:
$$I_H \approx I_U + I_D^{(1)} \quad (5-6)$$

$$I_{LV} = I_U - I_D^{(0)} \quad (5-7)$$

Với I_U là dòng điện lấy từ nguồn điện áp U_0 (H.5.2,a) còn $I_D^{(0)}$ lấy từ bộ lọc dòng thứ tự không.

Từ đồ thị vectơ hình 5.2,b có thể thấy rằng, điều kiện làm việc của bảo vệ được xác định theo dấu của ΔI , bảo vệ sẽ tác động cắt máy phát khi $\Delta I > 0$, nghĩa là $|I_H| > |I_{LV}|$, điều này được thoả mãn nếu chạm đất xảy ra trong vùng bảo vệ. Đường K-L trên đồ thị vectơ hình 5.2,b là ranh giới giữa miền tác động và miền hãm của bảo vệ.

Nếu chuyển mạch khoá K (H.5.2,a) đấu điện áp U_0 qua điện trở R_1 thay cho tụ C_1 thì sơ đồ có thể sử dụng để bảo vệ cho các máy phát điện có trung điểm nối đất qua điện trở lớn. Khi ấy thành phần tác dụng của dòng điện sẽ được so sánh với thành phần phản kháng của dòng điện khi trung điểm của cuộn dây máy phát điện không nối đất.

Nếu thành phần tác dụng và thành phần phản kháng của dòng điện chạm đất gần bằng nhau, người ta sử dụng sơ đồ có tên gọi là sơ đồ 45° khi ấy khoá K (H.5.2, a) sẽ chuyển sang mạch R_2, C_2 với thông số được lựa chọn thích hợp.

Một phương án khác để thực hiện bảo vệ chống chạm đất cuộn dây stato máy phát điện có trung điểm không nối đất hoặc nối đất qua điện trở lớn làm việc trực tiếp với thanh góp điện áp máy phát trình bày trên hình 5. 3.

Trong phương án này người ta sử dụng thiết bị tạo thêm tải thứ tự không, tải này sẽ được đưa vào làm việc khi phát hiện có chạm đất và làm tăng thành phần tác dụng của dòng điện sự cố lên khoảng 10 A, tạo điều kiện thuận lợi cho việc xác định hướng dòng điện. Thiết bị bao gồm máy biến dòng thứ tự không BI_{0N} đấu vào trung điểm của máy phát điện, tải R của biến dòng này được đóng mở bằng tiếp điểm của role điện áp RU_0 . Khi có chạm đất, điện áp U_0 xuất hiện, RU_0 đóng tức thời tiếp điểm của mình và duy trì một khoảng thời gian t_2 đủ cho sơ đồ làm việc chắc chắn.

Tỷ số biến đổi của máy biến dòng trung gian BIG trong mạch thiết bị tạo thêm tải được chọn sao cho thành phần tác dụng của dòng điện đưa vào bộ so sánh pha α đủ để xác định đúng hướng sự cố. Trên hình 5.3,b và 5.3,c trình bày sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ để xác định hướng sự cố khi chạm đất xảy ra bên ngoài (H.5.3,b) và bên trong (H.5.3,c) cuộn dây stato máy phát điện.

trong đó: I_A - dòng điện được tạo nên bởi thiết bị tạo thêm tải;
 $I_D^{(1)}$ - dòng điện chạm đất chạy qua bảo vệ.

Trong trường hợp này góc pha α giữa điện áp thứ tự không U_0 và dòng điện tổng I_Σ vượt quá trị số góc làm việc giới hạn nên sẽ không có tín hiệu cắt.

Khi chạm đất trong cuộn dây stato máy phát điện, ta có:

$$I_\Sigma = I_A + I_D^{(1)}, \quad (5-9)$$

và góc pha α giữa điện áp thứ tự không U_0 và dòng điện tổng I_Σ nằm vào miền tác động của bảo vệ. Rơle tác động cắt với thời gian t_1 .

Sơ đồ ở hình 5.3 có thể bảo vệ được khoảng 90% cuộn dây. Khi chạm đất trong vùng 10% còn lại (gần trung điểm) bảo vệ không đủ độ nhạy. Tuy nhiên, do điện áp ở phần này của cuộn dây không lớn (không vượt quá 10% U_P) nên xác suất xảy ra hỏng hóc về điện (chẳng hạn do cách điện bị đánh thủng) rất thấp nên ở các máy phát điện công suất bé người ta thường không đòi hỏi phải bảo vệ toàn bộ 100% cuộn dây.

Đối với các máy phát điện nối hợp bộ với máy biến áp, thông thường cuộn dây phía máy phát của máy biến áp đấu tam giác nên chạm đất ở phía cao áp dòng thứ tự không không ảnh hưởng đến máy phát điện.

Với các điểm chạm đất xảy ra trong mạng điện áp máy phát có thể phát hiện bằng sự xuất hiện U_0 ở đầu cuộn tam giác hở của máy biến điện áp đặt ở đầu cực máy phát, hoặc ở đầu ra của máy biến áp đấu với trung điểm của máy phát điện (H.2.20,c).

Với các máy phát điện công suất lớn, người ta yêu cầu phải bảo vệ 100% cuộn dây stato chống chạm đất để ngăn chặn khả năng chạm đất ở vùng gần trung điểm của cuộn dây do các nguyên nhân cơ học (chẳng hạn bộ phận kẹp đầu dây hay bulông cố định đầu dây bị hỏng hoặc mất).

Ngày nay để bảo vệ 100% cuộn dây stato chống chạm đất, người ta thường dùng hai phương pháp sau đây:

- Theo dõi sự biến thiên của hài bậc ba trong sóng điện áp ở trung điểm và đầu cực cuộn dây máy phát điện.
- Đưa thêm một điện áp hãm tần số thấp vào trung điểm của cuộn dây máy phát điện.

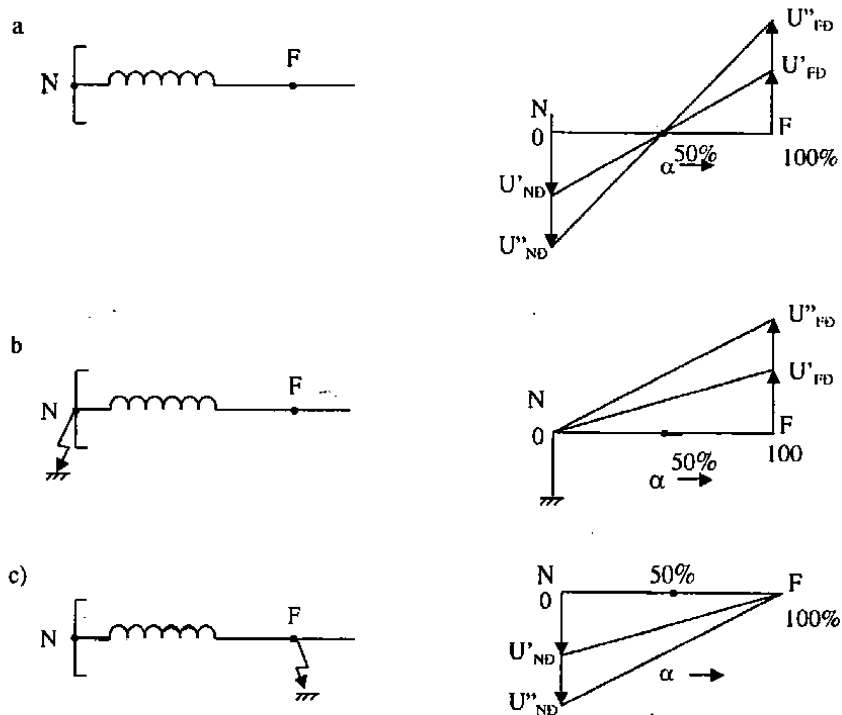
Phương pháp theo dõi sự biến thiên của hài bậc ba trong sóng điện áp dựa trên cơ sở là do tính phi tuyến của mạch từ máy phát điện mà trong sóng điện áp của cuộn dây máy phát bao giờ cũng chứa các hài bậc 3. Trong điều kiện vận hành bình thường, nếu đo điện áp của hài bậc 3 ở các điểm khác nhau trên cuộn

dây so với đất ta có phân bố như trên hình 5.4,a. Trị số của điện áp đo được tỉ lệ với trị số dòng điện tải của máy phát điện.

Khi máy đầy tải, điện áp này (U'_N) lớn hơn so với khi không tải (U_N).

Khi chạm đất ở một đầu cuộn dây (N hoặc F), điện áp ở đầu kia tăng lên gần gấp đôi so với chế độ tương ứng trước khi chạm đất (H.5.4,b và 5.4,c).

Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất trong cuộn dây stato ở vùng gần trung điểm dựa trên nguyên tắc so sánh hài bậc ba chứa trong điện áp đầu trung tính U_{ND} và điện áp đầu cực máy phát điện U_{FD} trình bày trên hình 5.5,a. Role điện áp RU_2 nối qua bộ lọc tần số LF (cho qua hài bậc 3) vào đầu ra a, b của cuộn tam giác hở BU_0 . Các tổng trở Z_1 và Z_2 được lựa chọn sao cho trong chế độ làm việc bình thường $U_{ab} = 0$ (H.5.5,b) còn khi chạm đất xảy ra gần trung điểm U_{ab} có trị số lớn hơn nhiều so với điện áp khởi động của RU_2 (H.5.5,c).



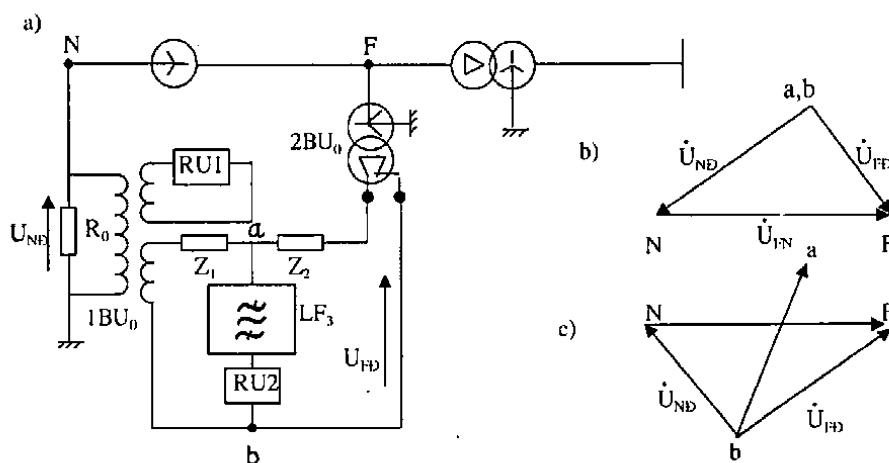
Hình 5.4. Phân bố thành phần hài bậc ba dọc theo cuộn dây stato máy phát điện trong chế độ bình thường (a), khi chạm đất ở trung điểm (b), và ở đầu cực máy phát điện (c).

Sơ đồ bảo vệ này có một số nhược điểm:

- Khi chạm đất ở vùng gần giữa cuộn dây, bảo vệ có thể không làm việc vì thành phần hài bậc 3 trong điện áp quá bé (H. 5.4,a);
- Điện áp U_{nb} đặt vào role sẽ suy giảm khi điện trở chỗ sự cố lớn;
- Sơ đồ không phát hiện được chạm đất khi máy phát điện không làm việc;
- Trong một số loại máy phát điện, thành phần hài bậc 3 không đủ lớn để bảo vệ có thể phát hiện được.

Để khắc phục những nhược điểm này người ta dùng phương pháp đưa thêm một điện áp tần số thấp vào trung điểm của cuộn dây máy phát điện (H.5.6).

Dòng điện I từ nguồn 20 Hz sau khi qua bộ lọc 1LF được phân thành hai thành phần: I_D chạy vào BU_0 nối với trung tính máy phát điện và I_B chạy qua điện trở đặt R_D . Thành phần I_D thông qua biến dòng trung gian BIG và bộ lọc tần số 2 LF được nắn thành dòng điện làm việc.



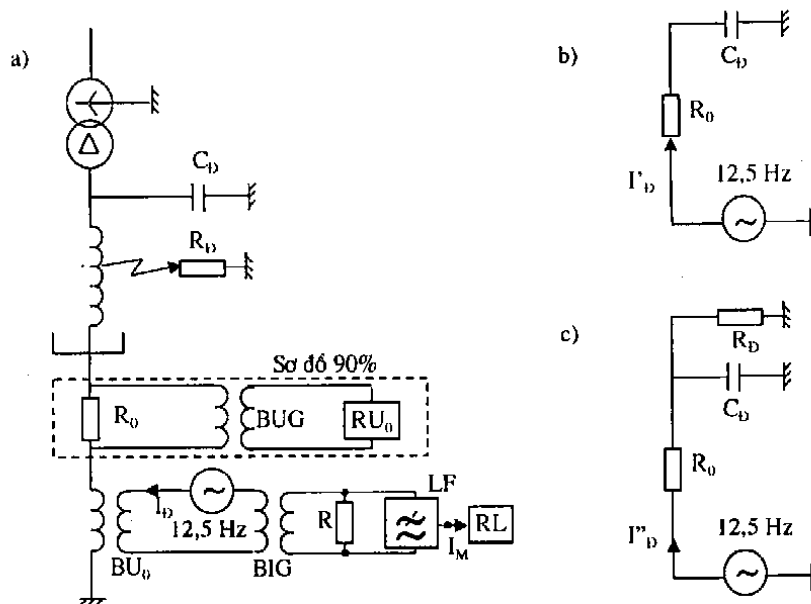
Hình 5.5. Sơ đồ bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất theo hài bậc 3(a) và đồ thị véc tơ trong chế độ vận hành bình thường (b) và khi có chạm đất gần trung điểm máy phát điện (c).

15 Hz) có tín hiệu được mã hoá để đưa vào mạch sơ cấp thông qua máy biến áp BU_0 đấu vào trung điểm của máy phát điện (H. 5.7,a).

Trong chế độ làm việc bình thường, dòng điện I_D chạy qua điểm trung tính máy phát điện được xác định theo trị số điện dung đẳng trị của mạng điện áp máy phát điện C_D (H.5.7,b).

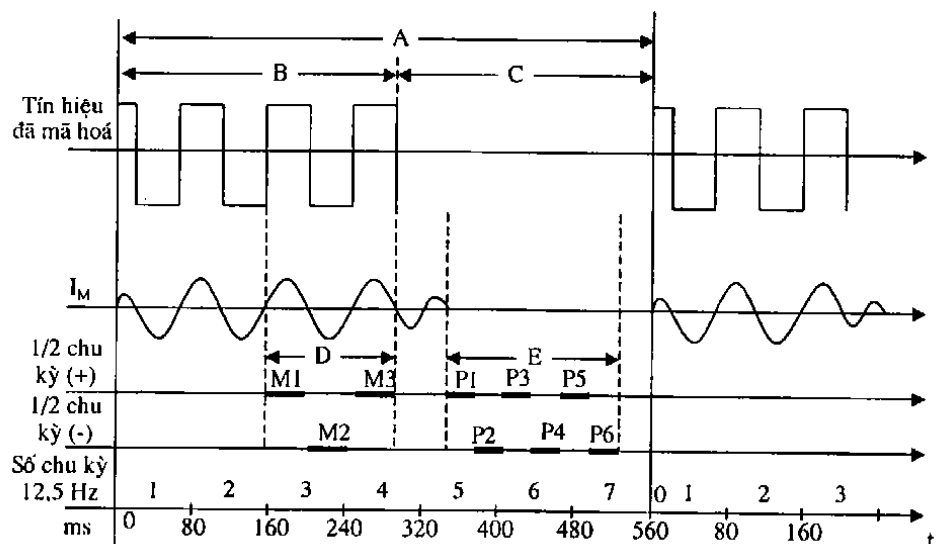
Khi xảy ra chạm đất, điện trở chạm đất R_D được ghép song song với C_D làm tăng dòng điện đến trị số $I''_D > I_D$ (H. 5.7,c). Role đầu ra sẽ phản ứng theo sự tăng dòng điện và theo tín hiệu phản hồi đã được mã hoá.

Trên hình 5.8 trình bày việc mã hoá tín hiệu bằng cách thay đổi thời gian phát tín hiệu và thời gian dừng. Trong các khoảng thời gian này nhiều phép đo được tiến hành: M1, M2 và M3 cho khoảng thời gian truyền tín hiệu và P1, P2,... P6 cho khoảng thời gian dừng. Phương pháp này cho phép loại trừ được ảnh hưởng của nhiễu do dòng điện phía sơ cấp và phép đo được tiến hành riêng cho từng nửa chu kỳ dương và âm sẽ tránh được ảnh hưởng của nhiễu có tần số bội của 12,5 (15) Hz.



Hình 5.7. Sơ đồ nguyên lý (a) của bảo vệ 100% cuộn dây stator máy phát điện chống chạm đất dùng phương pháp bơm tín hiệu 12,5Hz được mã hoá và sơ đồ xác định dòng điện chạm đất I_D khi làm việc bình thường (b) và có chạm đất (c).

Các sơ đồ bảo vệ 100% cuộn dây stato chống chạm đất thường được sử dụng kết hợp với sơ đồ bảo vệ 90% để tăng độ tin cậy cho hệ thống chống chạm đất.



Hình 5. 8. Biểu đồ bơm tín hiệu 12,5 Hz được mã hoá để thực hiện bảo vệ 100% cuộn dây stato chống chạm đất.

A - chu kỳ hoạt động ; B - thời gian phát tín hiệu ; C - thời gian dừng ;
D - thời gian đo ; E - thời gian kiểm tra tín hiệu phản hồi.

5.1.3. Bảo vệ chống chạm chập giữa các pha

Việc tính toán dòng điện sự cố bên trong cuộn dây stato máy phát điện khi xảy ra chạm chập giữa các pha rất phức tạp. Có thể đánh giá một cách định tính quan hệ giữa dòng điện sự cố cho trường hợp đơn giản nhất: Chạm chập 3 pha đối xứng trong cuộn dây máy phát tuabin hơi hai cực khi nó làm việc riêng rẽ với hệ thống (H.5.9). Dòng điện sự cố $I_{\alpha}^{(3)}$ phụ thuộc vào vị trí điểm chạm chập với α là số vòng dây (%) tính từ trung điểm của cuộn dây đến điểm sự cố.

$$I_{\alpha}^{(3)} = \frac{E_{\alpha}}{Z_{\alpha}}, \quad (5-10)$$

trong đó : E_{α} - sức điện động cảm ứng trong phần cuộn dây bị chập;

$E_{\alpha} = \alpha \cdot E_p$ (E_p là sức điện động pha);

$Z_{\alpha} = R_{\alpha} + jX_{\alpha}$ là tổng trở phần cuộn dây bị chập.

X_α là điện kháng phần cuộn dây bị chạm, nó phụ thuộc vào máy phát điện, đối với loại máy phát tuabin hơi hai cực ta có:

$$X_\alpha = \alpha^2 \cdot X_p, \quad (5-11)$$

với X_p là điện kháng pha của cuộn dây máy phát điện.

R_α là điện trở tác dụng của mạch vòng ngắn mạch :

$$R_\alpha = \alpha \cdot R_p + R_{qd} \quad (5-12)$$

với R_p là điện trở pha của cuộn dây, R_{qd} là điện trở quá độ tại chỗ sự cố.

Từ đó có thể xác định dòng điện sự cố:

$$I_\alpha^{(3)} = \frac{\alpha \cdot E_p}{\sqrt{(R_{qd} + \alpha \cdot R_p)^2 + \alpha^4 X_p^2}} \quad (5-13)$$

Nếu bỏ qua thành phần điện trở tác dụng R ta có:

$$I_\alpha^{(3)} = \frac{E_p}{\alpha \cdot X_p} \quad (5-14)$$

Từ (5-13) và (5-14) có thể nêu một số nhận xét sau đây:

- Khi chạm chạm giữa các pha trong cuộn dây máy phát điện, dòng điện sự cố có thể lớn hơn dòng điện khi ngắn mạch trên đầu cực máy phát điện vì điện kháng X_α của mạch vòng ngắn mạch giảm nhanh hơn sức điện động E_α ;
- Nếu xét đến ảnh hưởng của điện trở tác dụng R (trong đó điện trở quá độ R_{qd} đóng vai trò quyết định) thì khi chạm chạm gần trung điểm máy phát điện dòng điện sự cố có thể có trị số rất bé.
- Ở các dạng ngắn mạch không đối xứng, tính chất phụ thuộc của dòng điện sự cố vào vị trí điểm ngắn mạch α cũng tương tự như đối với ngắn mạch ba pha.
- Đối với máy phát điện nhiều cực, quan hệ giữa dòng điện sự cố và vị trí điểm ngắn mạch phức tạp hơn nhiều. Trong một số trường hợp dòng điện sự cố có thể bé hơn cả dòng điện danh định của máy phát.

Để bảo vệ chống chạm chạm giữa các pha trong cuộn dây máy phát điện người ta sử dụng bảo vệ so lệch có hãm làm bảo vệ chính. Với tư cách bảo vệ dự phòng có thể sử dụng bảo vệ khoảng cách (với các máy có công suất lớn) hoặc bảo vệ quá dòng điện (với các máy có công suất trung bình và bé).

1. Bảo vệ so lệch có hãm

Nguyên lý làm việc của bảo vệ so lệch dòng điện có hãm đối với cuộn dây của máy phát điện cũng tương tự như đối với đường dây tải điện đã trình bày trong chương 4 (mục 4.3).

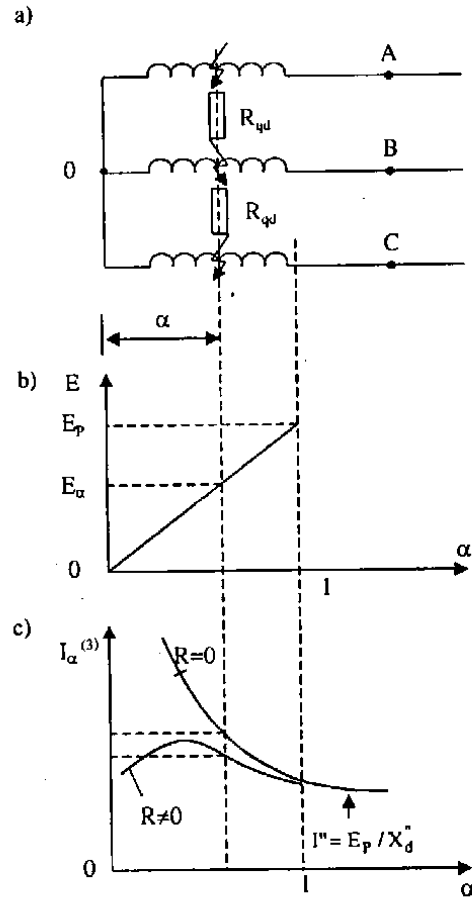
Trong sơ đồ bảo vệ máy phát điện, người ta đặt 2 nhóm máy biến dòng ở 2 đầu cuộn dây: Phía trung điểm (BI1) và phía đầu cực (BI2).

Role làm việc theo tương quan giữa dòng điện so lệch và dòng điện hãm. Các dòng điện này có thể được hình thành theo nhiều cách khác nhau.

Trên hình 5.10 trình bày sơ đồ nguyên lý của bảo vệ so lệch dòng điện có hãm dùng cho máy phát điện đồng bộ. Khác với bảo vệ đường dây tải điện, ở đây các tổ máy biến dòng nằm gần nhau nên chúng có thể được nối trực tiếp với nhau bằng dây dẫn phụ.

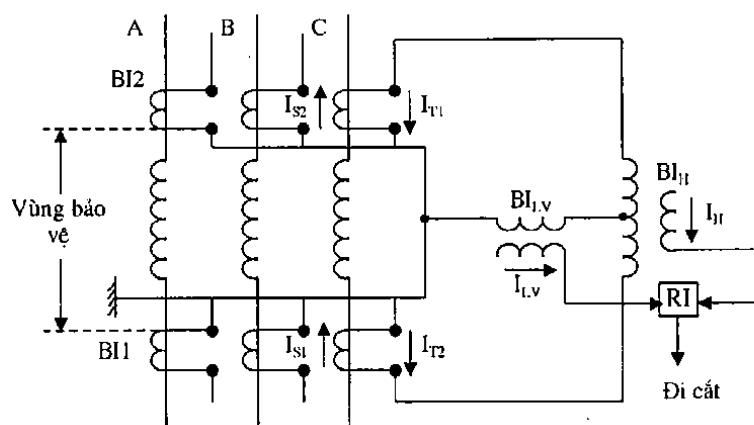
Thông thường hai nhóm máy biến dòng BI1 và BI2 ở phía trung tính và đầu cực của máy phát điện được chọn hoàn toàn giống nhau nên người ta có thể dùng phương án bảo vệ so lệch tổng trở cao để bảo vệ cho máy phát điện (H.5.11,a).

Role so lệch RU trong sơ đồ này có điện trở khá lớn và phản ứng theo điện áp U_{SL} đặt lên mạch so lệch. Ở chế độ vận hành bình thường và khi có ngắn mạch ngoài, nếu các nhóm biến dòng BI1 và BI2 không bị bão hoà hoặc có mức độ bão hoà giống nhau thì các sức điện động E_1 và E_2 và cảm kháng L_1 , L_2 giống nhau, phân bố điện áp trong mạch điện như trên hình 5.11,b.

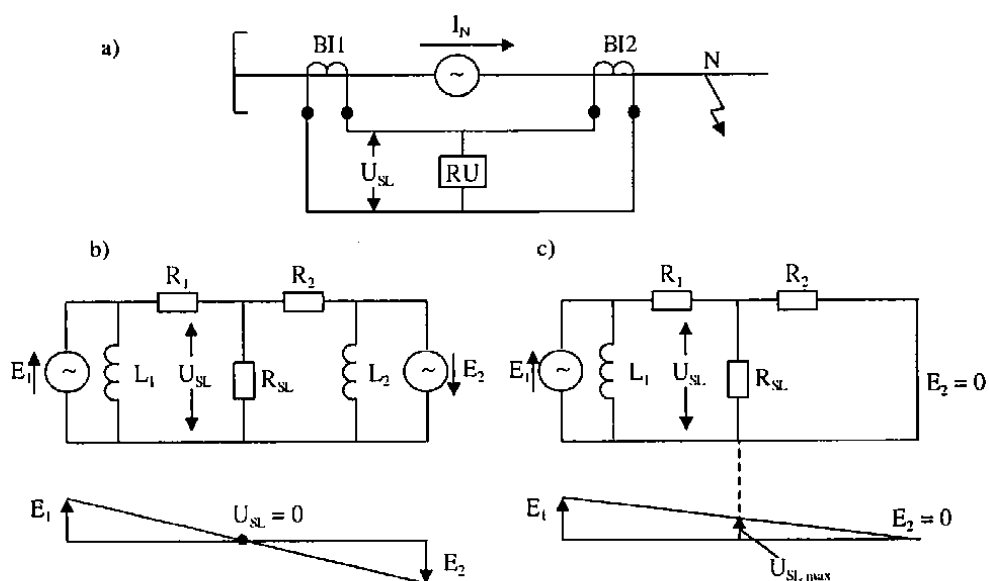


Hình 5.9. Ngắn mạch ba pha trong cuộn dây stato máy phát điện đồng bộ (a), phân bố sức điện động theo số vòng α của cuộn dây (b) và quan hệ giữa dòng điện sự cố $I_\alpha^{(3)}$ với số vòng dây bị ngắn mạch α (c).

Trị số điện áp đặt trên rơle so lệch U_{SL} phụ thuộc vào tương quan giữa điện trở thứ cấp R_1 và R_2 của máy biến dòng (gồm điện trở cuộn thứ cấp và dây dẫn phụ nối giữa hai nhóm máy biến dòng).



Hình 5.10. Bảo vệ so lệch dòng điện có hàm cuộn dây stator máy phát điện.



Hình 5.11. Bảo vệ so lệch dùng rơle tổng trở cao đặt cho máy phát điện.

a - sơ đồ nguyên lý; b - mạch điện đẳng trị và phân bố điện áp trong chế độ làm việc bình thường; c - mạch điện đẳng trị và phân bố điện áp khi có ngắn mạch ngoài và nhóm BI2 bị bảo hoà hoàn toàn.

Khi $R_1 = R_2$ thì $U_{SL} = 0$ (H.5.11,b).

Khi ngắn mạch ngoài, nếu hai tổ máy biến dòng có mức bão hoà khác nhau thì điện áp đặt trên rơle so lệch có thể khác không. Trường hợp xấu nhất nếu một tổ biến dòng bị bão hoà hoàn toàn. Chẳng hạn, nếu tổ máy biến dòng BI2 bị bão hoà hoàn toàn thì $E_2 = 0$ và $L_2 = 0$, khi ấy ta có phân bố điện áp trong mạch như trên hình 5.11,c. Điện áp lớn nhất đặt lên rơle so lệch bằng:

$$U_{SL\max} = \frac{I''_N}{n_1} (R_1 + R_{SL}), \quad (5-15)$$

trong đó : I''_N - trị số hiệu dụng của dòng điện siêu quá độ khi ngắn mạch trên đầu cực máy phát điện ; n_1 - tỉ số biến đổi của máy biến dòng ; R_1 - điện trở mạch thứ cấp của máy biến dòng ; R_{SL} - điện trở mạch so lệch (gồm rơle và dây nối).

Để đảm bảo chọn lọc, điện áp khởi động của rơle so lệch phải chọn lớn hơn $U_{SL\max}$, nghĩa là:

$$U_{kd} = K_{at} \cdot U_{SL\max}, \quad (5-16)$$

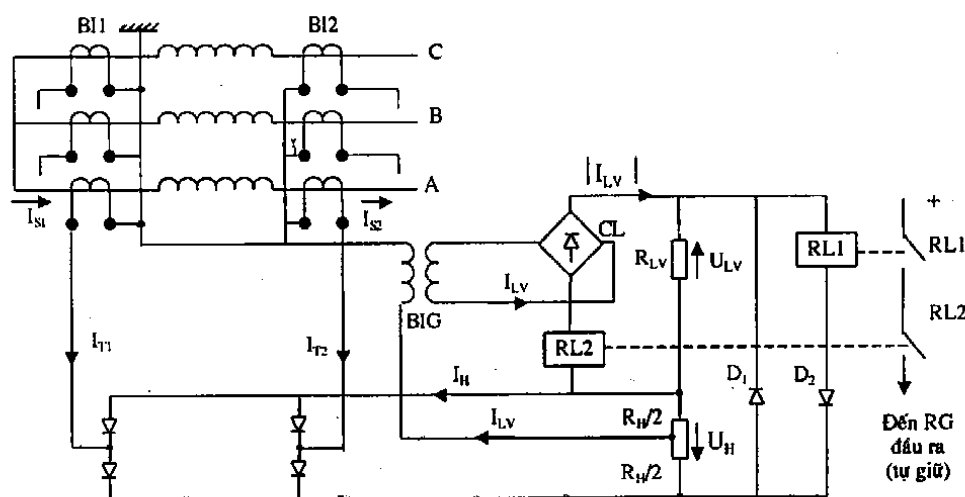
với hệ số an toàn $K_{at} = 1,15 \div 1,2$.

Thời gian làm việc của cả hai loại bảo vệ so lệch có hãm và so lệch dùng rơle có tổng trở cao đã giới thiệu trên đây, khoảng 15 đến 20 ms.

Đối với các máy phát điện có công suất lớn, hằng số thời gian tắt dần của thành phần một chiều trong dòng điện ngắn mạch có thể đạt đến hàng trăm mili giây gây nên hiện tượng bão hoà của mạch từ các máy biến dòng và làm chậm tác động của bảo vệ khi có ngắn mạch trong vùng bảo vệ. Vì vậy đối với các máy phát điện có công suất lớn, cần sử dụng những sơ đồ bảo vệ tác động nhanh, trước khi xảy ra bão hoà mạch từ của máy biến dòng. Một trong những phương án bảo vệ như vậy được trình bày trên hình 5.12. Thực chất đây cũng là loại bảo vệ so lệch có hãm. Ở chế độ làm việc bình thường, dòng điện thứ cấp I_{T1} và I_{T2} của các nhóm biến dòng BI1 và BI2 chạy qua điện trở hãm R_H và tạo nên điện áp hãm U_H , còn hiệu các dòng thứ cấp I_{SL} (dòng điện so lệch) chạy qua biến dòng trung gian BIG, cầu chỉnh lưu CL và điện trở làm việc R_{LV} tạo nên điện áp làm việc U_{LV} .

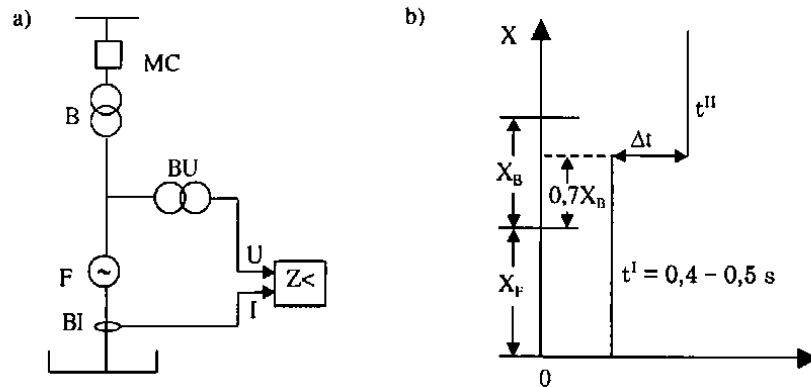
Trong chế độ làm việc bình thường, điện áp hãm U_H lớn hơn nhiều điện áp làm việc U_{LV} và bảo vệ bị hãm không tác động được. Khi ngắn mạch trong vùng $U_{LV} \gg U_H$, dòng điện I_{R1} chạy qua rơle RL1 làm rơle này tác động đóng tiếp điểm RL1 lại. Dòng điện làm việc sau khi nấn chạy qua rơle RL2 làm rơle này tác động đóng tiếp điểm RL2 lại. Rơle cắt đầu ra sẽ được cấp nguồn thao tác

Vùng thứ II thường bao gồm phần còn lại của cuộn dây máy biến áp, thanh dẫn và đường dây truyền tải nối với hệ thống thanh góp liên kế. Đặc tuyến khởi động của rơle khoảng cách có thể có dạng vòng tròn với tâm ở gốc toạ độ hoặc dạng hình bình hành với độ nghiêng của cạnh bên bằng độ nghiêng của vectơ điện áp U_r (H.5.14).



Hình 5.12. Bảo vệ sơ lược có hãm tác động nhanh dùng cho máy phát điện công suất lớn.

Đôi khi người ta bổ sung vào bộ phận khởi động của bảo vệ khoảng cách một rơle điện áp thấp, để đảm bảo khởi động bảo vệ một cách chắc chắn trong trường hợp máy phát điện được kích thích bằng nguồn chính lưu lấy điện từ đầu cực máy phát điện.

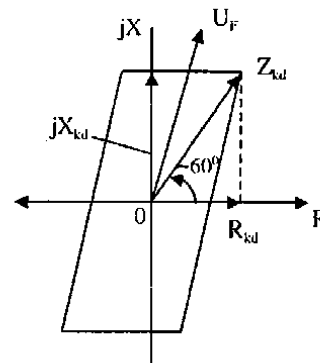


Hình 5.13. Sơ đồ nguyên lý (a) và đặc tính thời gian (b) của bảo vệ khoảng cách đặt ở máy phát điện.

3. Bảo vệ quá dòng điện

Với các máy phát điện bé và trung bình, người ta thường sử dụng bảo vệ quá dòng điện có khóa điện áp thấp làm bảo vệ dự phòng cho bảo vệ sơ lược (H.5.15).

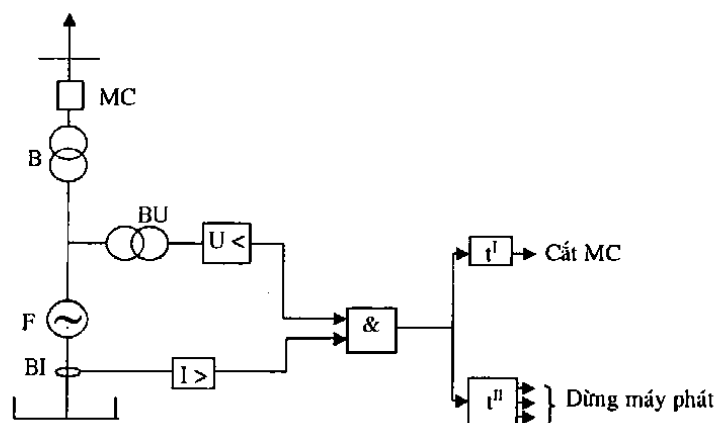
Ngoài ra bảo vệ còn làm nhiệm vụ dự phòng để chống các dạng ngắn mạch ngoài ở máy biến áp tăng, thanh góp hoặc đường dây truyền tải kế cận nếu bảo vệ đặt ở các phần tử này không tác động.



Hình 5.14. Đặc tuyến khởi động của rơle khoảng cách dùng làm bảo vệ dự phòng cho máy phát điện.

Bảo vệ thường có 2 cấp thời gian, cấp t^I (bé hơn) tác động cắt máy cắt ở đầu cực máy phát (nếu nối với hệ thống thanh góp điện áp máy phát) hoặc máy cắt của bộ máy phát - máy biến áp (sơ đồ hợp bộ trên hình 5.15). Cấp t^I được phối hợp với thời gian tác động của bảo vệ dự phòng của đường dây và máy biến áp.

Cấp thứ hai t'' (lớn hơn) tác động dừng máy phát nếu sau khi cắt máy cắt đầu máy phát hoặc đầu hợp bộ mà dòng sự cố vẫn tiếp tục tồn tại (chứng tỏ sự cố xảy ra bên trong hợp bộ hoặc máy phát).



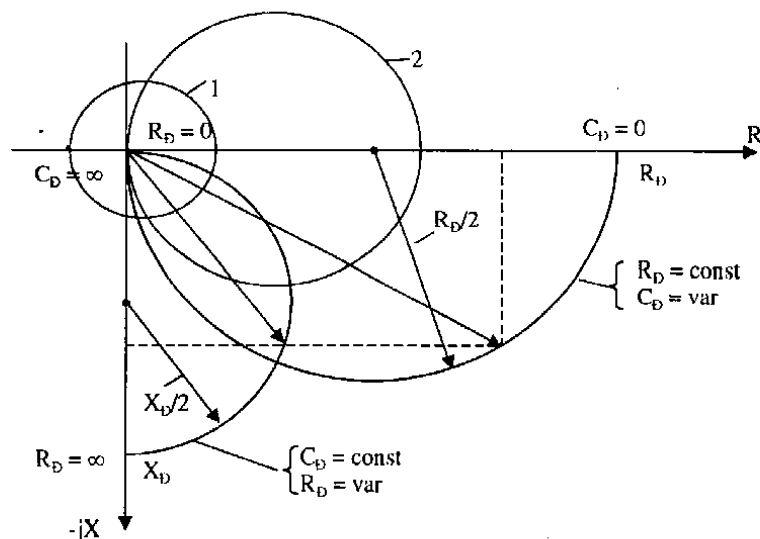
Hình 5.15. Bảo vệ quá dòng điện có khoá điện áp thấp làm bảo vệ dự phòng cho máy phát điện.

Khoá điện áp thấp cho phép phân biệt giữa ngắn mạch và quá tải và cho phép bảo vệ làm việc chắc chắn khi máy phát điện được kích thích từ nguồn điện lấy từ đầu cực máy phát. Trong trường hợp này dòng ngắn mạch sẽ suy giảm nhanh chóng khi ngắn mạch xảy ra gần đầu cực máy phát điện. Trong một số sơ đồ người ta còn dùng biện pháp đảm bảo cho bảo vệ tác động chắc chắn, chỉ theo tín hiệu điện áp thấp sau khi rơle dòng điện đã trở về do sự suy giảm dòng ngắn mạch.

5.1.4. Bảo vệ chống các vòng dây trong cuộn stato chạm nhau

Các vòng dây của máy phát điện chạm nhau thường do nguyên nhân hư hỏng cách điện của dây quấn. Có thể xảy ra chạm chạm giữa các vòng trong cùng một nhánh (cuộn dây đơn) hoặc giữa các vòng dây thuộc 2 nhánh khác nhau trong cùng một pha (xem chương 1, mục 1.4 và hình 1.11).

Đối với các máy phát điện công suất lớn, cuộn dây pha có hai nhánh có thể sử dụng nguyên lý so lệch ngang để thực hiện bảo vệ chống các vòng dây chạm nhau (H.5.16). Bảo vệ có thể được thực hiện riêng cho từng pha. Trên hình



Hình 5.20. Đặc tính biến thiên của tổng trở đối với đất của mạch kích thích hình 5.19 và đặc tính tác động của role đo điện dẫn để chống chạm đất mạch rôto máy phát điện đồng bộ.
1- đặc tính cắt ; 2- đặc tính cảnh báo.

Role RY được chỉnh định với 2 mức tác động : mức cảnh báo với đặc tính khởi động 2 và mức tác động cắt máy phát với đặc tính khởi động 1. Đặc tính 1 bọc lấy một phần của góc phần tư thứ hai và thứ ba trên mặt phẳng tọa độ để đảm bảo cho bảo vệ tác động một cách chắc chắn khi có chạm đất trực tiếp ($R_D \approx 0$).

Sơ đồ bảo vệ ở hình 5.19 có một số nhược điểm : Trước tiên là sự có mặt của các chổi than S1 và S2 làm cho độ tin cậy của sơ đồ không cao và trị số của điện trở tiếp xúc có thể ảnh hưởng đến số đo của role. Ngoài ra bản thân hệ thống kích thích một chiều cũng có thể ảnh hưởng đến sự làm việc của bảo vệ, khi điện dung của mạch kích thích đối với đất C_D lớn, điện trở rò R_D lớn nhất có thể đo được chỉ khoảng 10 k Ω .

Để khắc phục những nhược điểm này người ta dùng sơ đồ với nguồn điện phụ một chiều hoặc nguồn điện áp xoay chiều tần số thấp có dạng sóng hình chữ nhật.

Trên hình 5.21 trình bày nguyên lý phát hiện chạm đất trong cuộn dây rôto máy phát điện được kích thích từ nguồn điện tự dùng qua bộ chỉnh lưu thyristor dùng nguồn tín hiệu sóng chữ nhật có tần số 1 Hz.

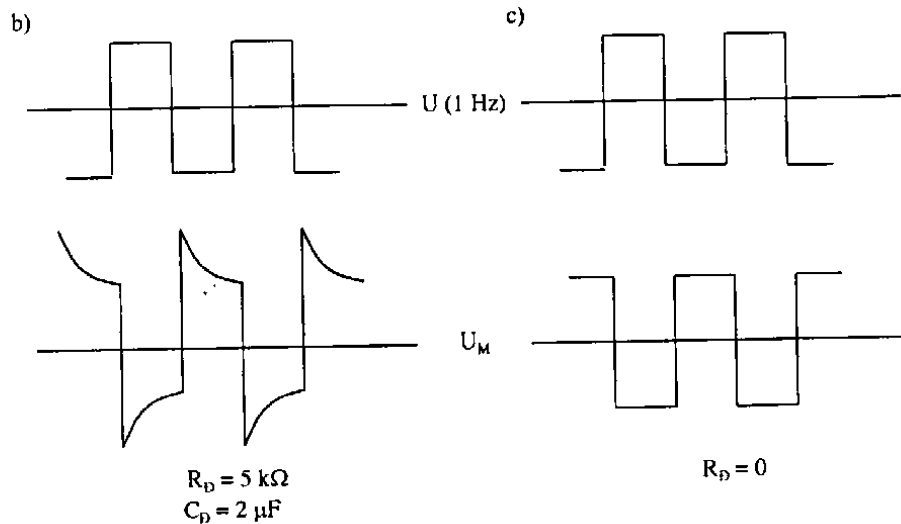
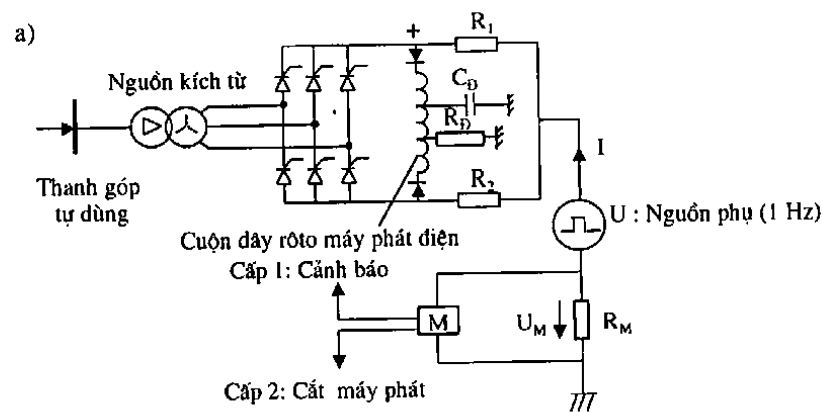
Các điện trở phụ R_1, R_2 được chọn có trị số khá lớn so với điện trở R_M để tạo điện áp U_M đặt vào bộ phận đo lường M.

Dòng điện do nguồn điện phụ U tạo ra bằng:

$$I = \frac{U}{R_D + R + R_M}, \quad (5-24)$$

trong đó:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$



Hình 5.21. Sơ đồ nguyên lý phát hiện chạm đất trong cuộn dây rôto máy phát điện dùng nguồn điện áp phụ 1 Hz có dạng sóng chữ nhật (a), và dạng sóng đặt vào bộ phận đo U_M đối với các trị số điện trở chạm đất khác nhau (b và c).

Lưu ý rằng $R_M \ll R$ và bỏ qua điện trở của bản thân cuộn dây rôto, ta có:

$$U_M \approx U \cdot \frac{R_M}{R_D + R} \quad (5-25)$$

Điện dung đối với đất của mạch kích từ C_D mắc song song với điện trở R_D sẽ làm tăng tức thời trị số dòng điện I và điện áp U_M ở thời điểm đầu mỗi nửa chu kỳ của nguồn điện áp U .

Điện trở R_D có tác dụng làm suy giảm trị số của I và U_M . R_D càng bé, độ suy giảm càng nhanh, trên hình 5.21,b và hình 5.21,c trình bày dạng sóng U_M đo được cho hai trị số của R_D khác nhau.

Bảo vệ được chỉnh định để tác động báo hiệu khi điện trở rô R_D tụt dưới $80 \text{ k}\Omega$ (mức 1) và tác động cắt máy phát điện khi $R_D \leq 5 \text{ k}\Omega$ (mức 2).

5.1.6. Bảo vệ chống dòng điện thứ tự nghịch

Dòng điện thứ tự nghịch có thể xuất hiện trong cuộn dây stato máy phát điện khi có đứt dây (hoặc hở mạch) một pha (xem chương 1, mục 1. 3) khi có phụ tải không đối xứng hoặc ngắn mạch không đối xứng trong hệ thống.

Nguy hiểm của dòng điện thứ tự nghịch đối với máy phát điện là nó tạo nên từ thông thứ tự nghịch Φ_2 cắt rôto với vận tốc 2ω làm cảm ứng trong thân rôto cũng như các phụ kiện kim loại trên thân rôto dòng điện lớn đốt nóng rôto và cả máy phát điện.

Dòng thứ tự nghịch I_2 càng lớn thì thời gian cho phép tồn tại càng bé, vì vậy bảo vệ chống dòng điện thứ tự nghịch thường có quan hệ thời gian t phụ thuộc tỷ lệ nghịch:

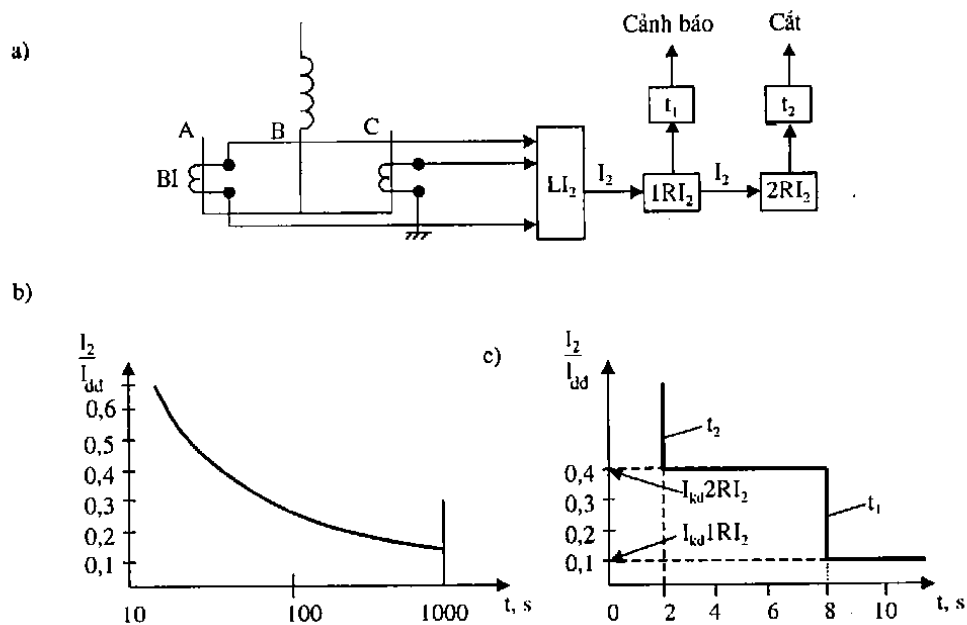
$$t = \frac{K_1}{\left(\frac{I_2}{I_{dd}}\right)^2 - K_2^2} \quad (5-26)$$

trong đó: K_1 và K_2 là các hệ số tỷ lệ; $K_2 = \alpha \cdot \frac{I_{2CP}}{I_{dd}}$

α là hằng số đối với từng loại role cụ thể;

I_{2CP} - dòng thứ tự nghịch cho phép vận hành lâu dài, nó phụ thuộc vào chủng loại máy phát điện, công suất và hệ thống làm mát của cuộn dây rôto;

I_{dd} - dòng điện danh định của máy phát điện.



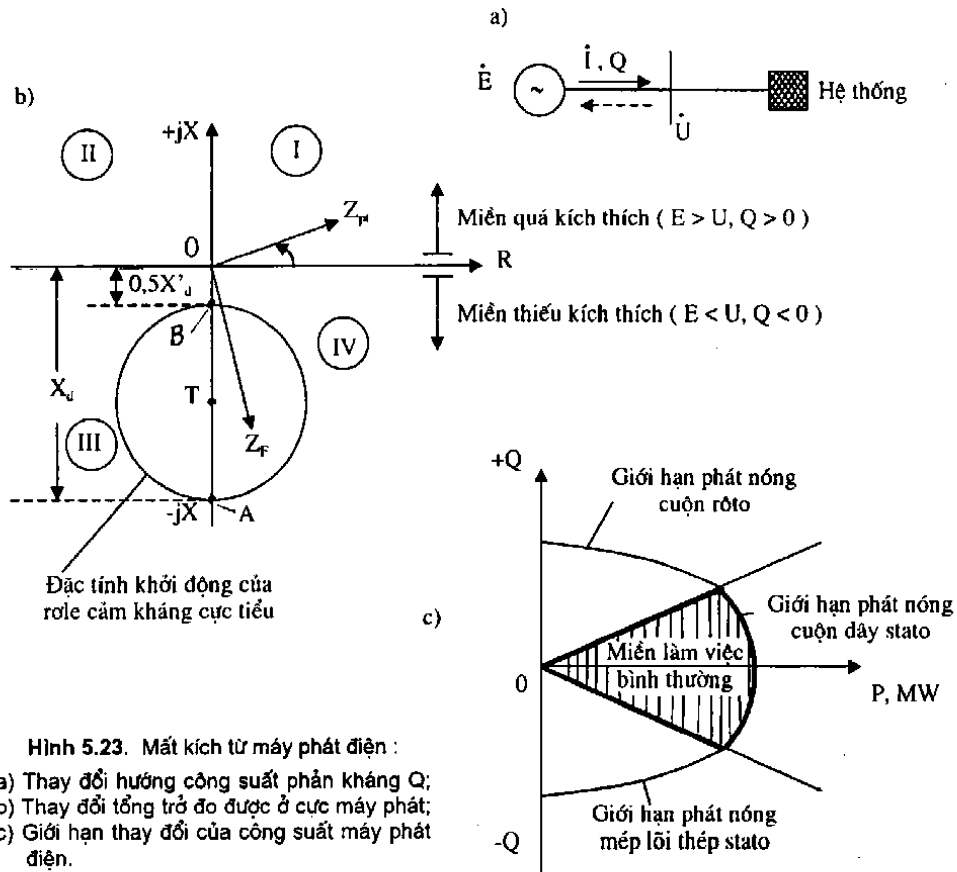
Hình 5.22. Bảo vệ chống dòng điện thứ tự nghịch đặt ở máy phát điện (a), đặc tính thời gian phụ thuộc tỷ lệ nghịch (b) và độc lập có 2 cấp (c).

Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống dòng điện thứ tự nghịch trình bày trên hình 5.22,a. Bảo vệ có thể có đặc tính thời gian phụ thuộc tỷ lệ nghịch theo quan hệ (5-26) (H.5.22, b) hoặc đặc tính thời gian độc lập 2 cấp : cấp 1 cảnh báo và cấp 2 tác động cắt (H.5.22, c).

5.1.7. Bảo vệ chống mất kích từ

Trong quá trình vận hành máy phát điện có thể xảy ra mất kích từ do hư hỏng trong mạch kích thích (do ngắn mạch hoặc hở mạch), hư hỏng trong hệ thống tự động điều chỉnh điện áp, thao tác sai của nhân viên vận hành v.v... Khi máy phát bị mất kích từ thường dẫn đến mất đồng bộ, gây phát nóng cục bộ ở stato và rôto. Nếu hở mạch kích thích có thể gây quá điện áp trên cuộn dây rôto nguy hiểm cho cách điện của cuộn dây.

Ở chế độ vận hành bình thường, máy phát điện đồng bộ làm việc với sức điện động E cao hơn điện áp đầu cực máy phát U (chế độ quá kích thích, đưa công suất phản kháng Q vào hệ thống, $Q > 0$).



Hình 5.23. Mất kích từ máy phát điện :

- a) Thay đổi hướng công suất phản kháng Q ;
b) Thay đổi tổng trở đo được ở cực máy phát;
c) Giới hạn thay đổi của công suất máy phát điện.

Khi máy phát làm việc ở chế độ thiếu kích thích hoặc mất kích thích, sức điện động E thấp hơn điện áp U , máy phát điện nhận công suất phản kháng từ hệ thống ($Q < 0$) (H.5.23a,c).

Như vậy khi mất kích từ, tổng trở đo được ở đầu cực máy phát sẽ thay đổi từ Z_{pt} (tổng trở phụ tải nhìn từ phía máy phát) nằm ở góc phần tư thứ nhất trên mặt phẳng tổng trở phức sang Z_F (tổng trở của máy phát nhìn từ đầu cực của nó trong chế độ tiêu thụ công suất phản kháng) nằm ở góc phần tư thứ tư trên mặt phẳng tổng trở phức (H.5.23,b).

Khi xảy ra mất kích từ, điện kháng của máy phát điện sẽ thay đổi từ trị số X_d (điện kháng đồng bộ) đến trị số X'_d (điện kháng quá độ) và có tính chất dung kháng. Vì vậy để phát hiện mất kích từ ở máy phát điện, ta có thể sử dụng một

role điện kháng cực tiểu có $X'_d < X_{kd} < X_d$ với đặc tính vòng tròn có tâm nằm trên trục $-jX$ của mặt phẳng tổng trở phức (H.5.23,b).

Đặc tính khởi động của role cảm kháng cực tiểu hình 5.23,b có thể nhận được từ sơ đồ nguyên lý trên hình 5.24,a.

Tín hiệu đầu vào của role là điện áp dây $\dot{U}_{BC}$ ở đầu cực máy phát và dòng điện pha $\dot{I}_B$ và $\dot{I}_C$ của các pha tương ứng.

Điện áp $\dot{U}_{BC}$ được đưa qua máy biến điện áp trung gian BUG với cuộn thứ cấp có nhiều đầu ra để có thể lấy ra các đại lượng $a \dot{U}_{BC}$ và $b \dot{U}_{BC}$ (với $b > a$) tương ứng với các điểm A và B trên đặc tính điện kháng khởi động ở hình 5. 23,b.

Khi mất kích từ, dòng điện chạy vào máy phát mang tính điện dung và vượt trước các điện áp pha tương ứng một góc 90° .

Hiệu dòng điện các pha B và C ($\dot{I}_{BC} = \dot{I}_B - \dot{I}_C$) thông qua máy biến dòng cảm kháng BIG tạo nên ở phía thứ cấp điện áp $\dot{U}_D$ vượt trước dòng điện $\dot{I}_{BC}$ một góc 90° . Như vậy góc lệch pha giữa hai vectơ điện áp $\dot{U}_D$ và $\dot{U}_{BC}$ là 180° (H.5.24,b).

Điện áp được đưa vào các bộ biến đổi dạng sóng (hình sin sang hình chữ nhật) S_1 và S_2 tương ứng bằng :

$$\dot{U}_1 = a. \dot{U}_{BC} - \dot{U}_D \quad (5-27)$$

$$\dot{U}_2 = b. \dot{U}_{BC} - \dot{U}_D \quad (5-28)$$

Góc lệch pha α giữa $\dot{U}_1$ và $\dot{U}_2$ được kiểm tra, nếu ở chế độ bình thường $\alpha = 0$, role không làm việc, khi mất kích từ $\alpha = 180^\circ$, role sẽ tác động. Góc khởi động α_{kd} được chọn khoảng 90° .

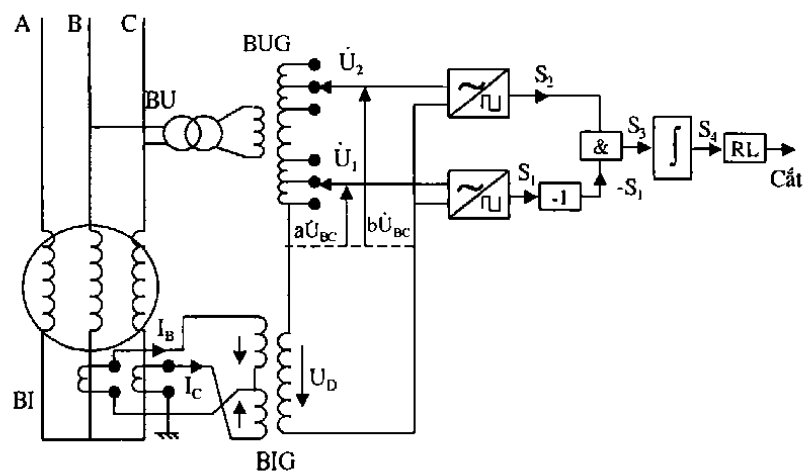
Các hệ số a và b được chọn (bằng cách thay đổi đầu phân áp của BUG) sao cho các điểm A và B (trên hình 5. 23b) thoả mãn điều kiện :

$$b. \dot{U}_{BC} > \dot{U}_D > a. \dot{U}_{BC} \quad (5-29)$$

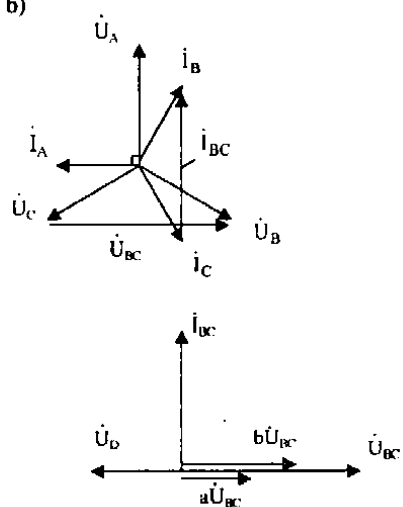
Khi mất kích thích, góc pha dòng điện thay đổi, góc lệch pha α giữa $\dot{U}_1$ và $\dot{U}_2$ được kiểm tra thông qua độ dài của tín hiệu $S_3 = - S_1. S_2$.

Nếu $\alpha > \alpha_{kd}$ (H.5.24,c) bảo vệ sẽ tác động cắt máy phát trong khoảng từ 1 đến 2 giây.

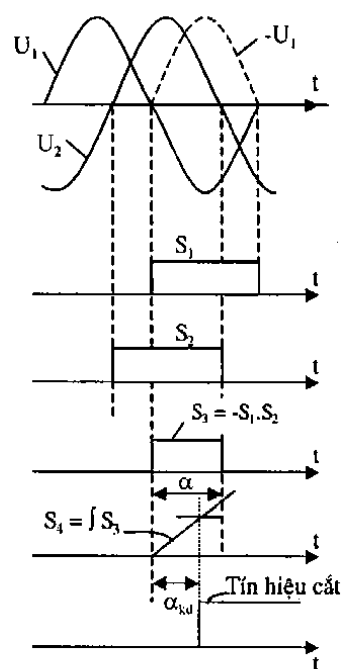
a)



b)



c)



Hình 5.24. Sơ đồ bảo vệ chống mất kích thích ở máy phát điện sử dụng rơle điện kháng cực tiểu.

a) sơ đồ nguyên lý; b) đồ thị vectơ; c) dạng sóng của các đại lượng trên hình 5.24, a.

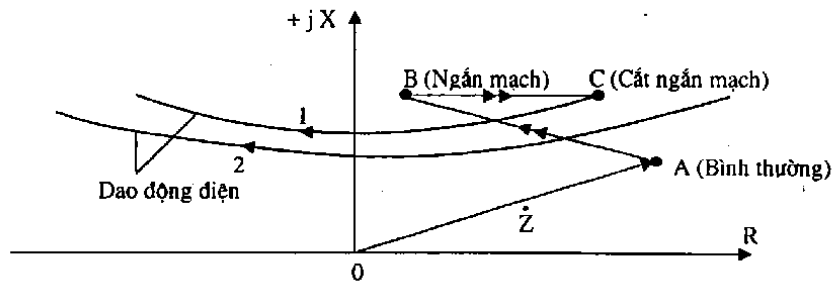
5.1.8. Bảo vệ chống mất đồng bộ

Bảo vệ chống mất đồng bộ đôi khi còn có tên gọi là bảo vệ chống trượt cực từ (pole -slipping protection). Trên đây đã nói khi máy phát điện đồng bộ bị mất kích từ, rôto của máy phát điện có thể mất đồng bộ với từ trường quay. Việc mất đồng bộ cũng có thể xảy ra khi hệ thống kích thích máy phát làm việc bình thường, chẳng hạn khi có dao động công suất trong hệ thống do sự cố kéo dài hoặc do một số đường dây truyền tải bị cắt khỏi hệ thống. Hậu quả của việc mất đồng bộ gây nên dao động công suất trong hệ thống có thể làm mất ổn định và gây ứng suất cơ nguy hiểm trên một số phần tử của máy phát điện, gây dao động điện áp và tần số trong hệ thống ảnh hưởng xấu đến các hộ tiêu thụ (xem chương 1, mục 1.7 và chương 4, hình 4.27), đặc biệt đối với các động cơ điện trong hệ thống tự dùng của nhà máy điện.

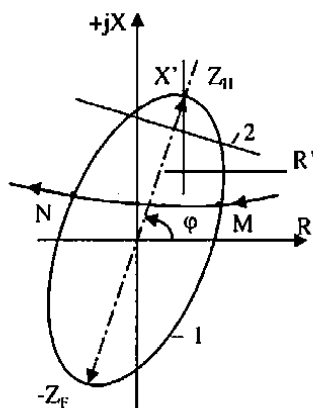
Để phát hiện dao động điện có thể sử dụng nguyên lý đo tổng trở đầu cực máy phát điện.

Trên hình 5.25 trình bày đặc tính biến thiên của mút vectơ tổng trở đo được trên đầu cực máy phát điện trong quá trình sự cố và xảy ra dao động điện trong hệ thống. Ở chế độ vận hành bình thường, mút vectơ tổng trở nằm ở vị trí điểm A. Khi xảy ra ngắn mạch mút vectơ dịch chuyển từ A đến B, sau khi bảo vệ cắt ngắn mạch vectơ tổng trở nhảy từ B sang C và nếu xảy ra dao động, mút vectơ ở chu kỳ đầu tiên sẽ dịch chuyển theo quỹ đạo 1, ở chu kỳ dao động tiếp theo sẽ dịch chuyển theo quỹ đạo 2 v.v... Hành vi này của vectơ tổng trở khi có dao động điện có thể được phát hiện bằng một rơle với đặc tính khởi động như trên hình 5.26. Đặc tính khởi động có dạng hình elip hoặc thấu kính 1 và dạng điện kháng 2 kết hợp với nhau theo nguyên lý "và". Khi có dao động nếu quỹ đạo của mút vectơ Z sẽ đi vào miền khởi động ở điểm M và ra khỏi miền khởi động ở điểm N dưới đặc tuyến 2 (như trên hình 5.26) có nghĩa là tâm dao động (tâm điện) nằm trong miền tổng trở của hợp bộ máy phát điện - máy biến áp, bảo vệ sẽ tác động cắt máy phát ngay trong chu kỳ dao động đầu tiên.

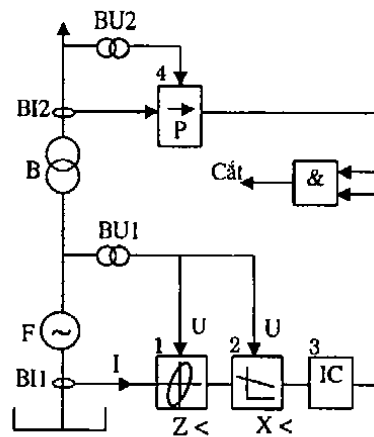
Nếu tâm dao động nằm ở phía hệ thống quỹ đạo của mút vectơ Z sẽ nằm cao hơn đặc tuyến 2, khi ấy bảo vệ sẽ tác động cắt sau một số chu kỳ định trước.



Hình 5.25. Hành vi của véc tơ tổng trở Z khi xảy ra sự cố và dao động điện.



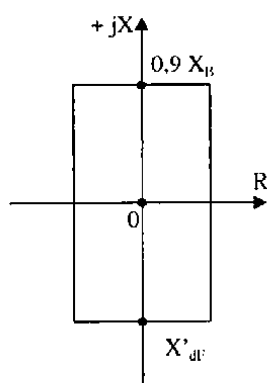
Hình 5.26. Đặc tính khởi động hình thấu kính để phát hiện dao động điện.



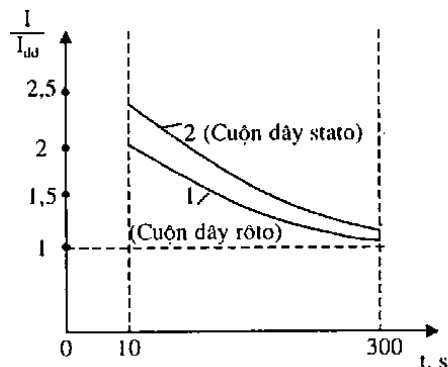
Hình 5.27. Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống trượt cực từ (dao động điện).

Trên hình 5.27 trình bày sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống trượt cực từ (dao động điện), bảo vệ gồm bộ phận đo khoảng cách với đặc tuyến thấu kính 1 kết hợp với bộ phận hạn chế theo điện kháng 2 để giới hạn miền tác động từ phía hệ thống, bộ phận đếm chu kỳ dao động 3 để cắt máy phát khi số chu kỳ đạt trị số đặt trước. Ở phía cao áp của máy biến áp tăng có đặt thêm bộ phận định hướng công suất 4 thực hiện chức năng giống như bộ phận 2 và làm nhiệm vụ dự phòng cho bộ phận này.

Thay vì đặc tuyến tổng trở kết hợp 1 và 2 trên hình 5.26 người ta có thể sử dụng đặc tuyến hình chữ nhật như trên hình 5.28 để phát hiện dao động điện.



Hình 5.28. Đặc tính khởi động hình chữ nhật để phát hiện dao động điện.



Hình 5.29. Quan hệ giữa mức quá tải và thời gian quá tải cho phép của các cuộn dây máy phát điện.

5.1.9. Bảo vệ chống quá tải cho cuộn dây stato và rôto máy phát điện

Quá tải gây phát nóng cuộn dây stato có thể do nhiều nguyên nhân như máy phát điện vận hành với hệ số công suất thấp, thành phần công suất phản kháng vượt quá mức cho phép, có trục trặc hoặc hư hỏng trong hệ thống làm mát hoặc hệ thống điều chỉnh điện áp làm cho máy phát điện bị quá kích thích. Hai nguyên nhân sau cũng làm cho cuộn dây rôto bị phát nóng quá mức. Cuộn dây rôto cũng có thể bị quá tải ngắn hạn trong quá trình điều chỉnh điện áp khi máy phát tải đầy công suất tác dụng.

Thời gian chịu đựng quá tải của các cuộn dây máy phát điện có giới hạn và phụ thuộc vào mức độ quá tải, kết cấu của máy phát, hệ thống làm mát và cơ công suất của máy phát điện.

Thường các nhà chế tạo cho sẵn quan hệ giữa mức quá tải ($I/I_{dđ}$) với thời gian quá tải cho phép cho từng loại máy phát điện (H.5.29).

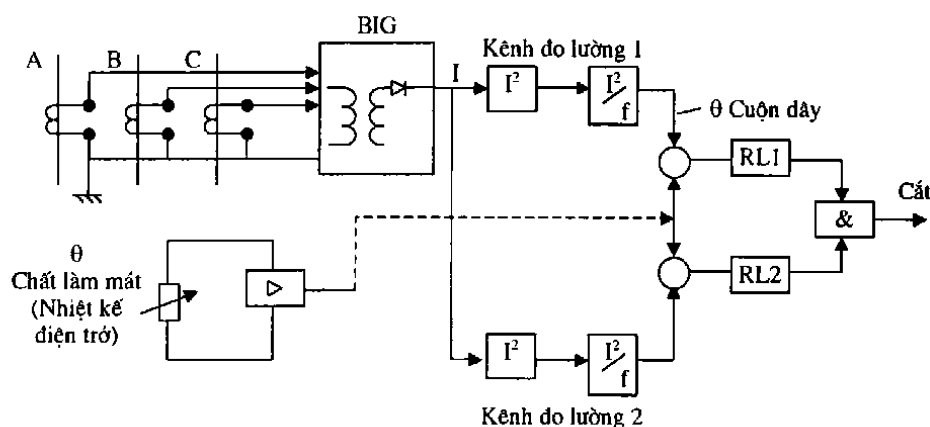
Chẳng hạn từ đặc tuyến đối với các máy phát điện có công suất lớn trên hình 5.29, có thể nhận thấy nếu mức quá tải nằm trong khoảng từ 1,05 (mức quá tải lâu dài cho phép là 1,04) đến 1,15 bảo vệ sẽ tác động với thời gian không đổi 300 s. Quá giới hạn này (1,15) thời gian tác động sẽ giảm nhanh tỷ lệ nghịch với mức quá tải. Thông thường với một thời gian quá tải như nhau, mức quá tải cho phép của cuộn dây stato (đường 2 trên hình 5.29) cao hơn của cuộn dây rôto (đường 1).

Ở giới hạn trên của mức quá tải (2,3 đối với cuộn dây stato và 2,1 đối với cuộn dây rôto) thời gian tác động không vượt quá 10 s.

Có nhiều nguyên lý khác nhau có thể được áp dụng để thực hiện bảo vệ chống quá tải cho cuộn dây của máy phát điện: theo số đo trực tiếp của nhiệt độ cuộn dây, nhiệt độ của chất làm mát hoặc gián tiếp qua trị số dòng điện chạy qua cuộn dây.

Sơ đồ nguyên lý trình bày trên hình 5.30 sử dụng kết hợp hai phép đo : đo trực tiếp nhiệt độ của môi chất làm mát và đo gián tiếp qua bình phương trị số hiệu dụng của dòng điện.

Hệ thống đo lường gồm hai kênh làm việc song song, bảo vệ chỉ tác động khi cả hai rơle RL1 và RL2 cùng tác động.



Hình 5.30. Sơ đồ nguyên lý bảo vệ chống quá tải cuộn dây máy phát điện với 2 kênh đo lường độc lập.

5.1.10. Bảo vệ chống quá điện áp

Điện áp đầu cực máy phát điện có thể tăng cao quá mức cho phép khi có trục trặc trong hệ thống tự động điều chỉnh kích từ hoặc khi máy phát bị mất tải đột ngột.

Khi mất tải đột ngột mức quá điện áp ở các máy phát thủy điện có thể đạt đến 200% trị số danh định là do hệ thống tự động điều chỉnh tốc độ quay của tuabin nước có quán tính lớn, khả năng vượt tốc của rôto máy phát cao hơn

nhiều so với máy phát điện tuabin hơi. Ở các máy phát nhiệt điện (tuabin hơi hoặc tuabin khí) các bộ điều tốc làm việc ở tốc độ cao, có quán tính bé hơn nên có thể khống chế mức vượt tốc thấp hơn, ngoài ra các tuabin khí và hơi còn được trang bị các van STOP có thể đóng nguồn năng lượng đưa vào tuabin trong vòng vài mili giây khi mức vượt tốc cao hơn mức chỉnh định.

Ngoài ra, các máy phát thủy điện thường nằm xa trung tâm phụ tải và bình thường phải làm việc với các mức điện áp ở đầu cực cao hơn điện áp danh định để bù lại điện áp giáng trên hệ thống truyền tải, khi mất tải đột ngột mức quá áp lại càng cao.

Quá điện áp ở đầu cực máy phát điện có thể gây tác hại cho cách điện cuộn dây, của các thiết bị đấu nối ở đầu cực máy phát, còn đối với máy phát điện làm việc hợp bộ với máy biến áp sẽ làm bão hòa mạch từ của máy biến áp tăng, kéo theo nhiều tác dụng xấu (xem mục 5. 3).

Bảo vệ chống quá điện áp đặt ở máy phát điện thường gồm hai cấp (hình 5.31). Cấp 1 (RU1) với điện áp khởi động:

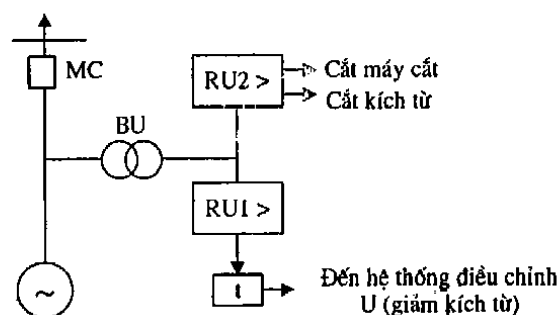
$$U_{kd\ RU1} = 1,1.U_{dd} \quad (5-29)$$

Cấp 1 làm việc có thời gian và tác động lên hệ thống tự động điều chỉnh kích từ để giảm kích thích của máy phát điện.

Cấp 2 (RU2) với điện áp khởi động :

$$U_{kd\ RU2} = (1,3 - 1,4).U_{dd} \quad (5-30)$$

Cấp 2 làm việc tức thời, tác động cắt máy cắt điện đầu cực máy phát và tự động diệt từ trường của máy phát điện.



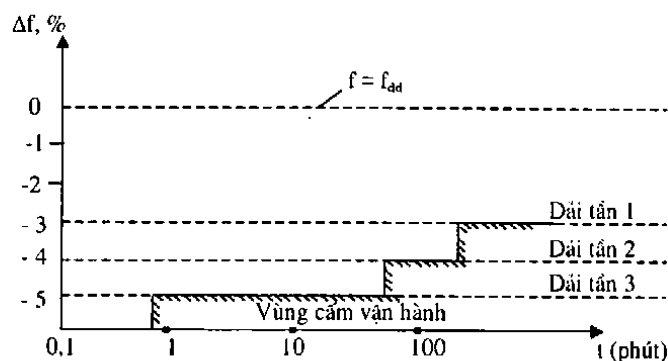
Hình 5.31. Bảo vệ chống quá điện áp hai cấp đặt ở máy phát điện.

5.1.11. Bảo vệ chống tần số giảm thấp

Tần số của hệ thống điện có thể bị giảm thấp do mất cân bằng (thiếu) công suất tác dụng trong hệ thống hoặc do hệ thống tự động điều chỉnh tần số đặt ở các máy phát điện bị hư hỏng. Tần số thấp có thể gây nhiều hậu quả xấu:

- Làm hỏng cánh tuabin do bị rung.
- Giảm năng suất của các thiết bị tự dùng như bơm, quạt, hệ thống cấp nhiên liệu, hệ thống làm mát v.v... do các động cơ bị giảm công suất dẫn đến mất cân bằng càng trầm trọng thêm, có thể gây nên hiện tượng *thác tần số* làm tan rã hệ thống.
- Làm tăng nhiệt độ của máy điện quá mức cho phép do tổn thất thép tăng lên và hệ thống làm mát bị giảm năng suất.
- Gây bão hoà mạch từ của các máy biến áp.

Thời gian cho phép vận hành máy phát điện với tần số thấp hơn trị số danh định phụ thuộc vào mức giảm tần số. Trên hình 5.32 trình bày quan hệ giữa thời gian tích hợp cho phép vận hành máy phát điện ở tần số thấp hơn trị số danh định. Phần phía dưới đường bậc thang là vùng cấm vận hành vì có thể gây nguy hại cho tuabin.



Hình 5. 32. Thời gian tích hợp cho phép vận hành máy phát điện ở tần số thấp.

Bảo vệ chống tần số giảm thấp thường có 2 mức tác động, cấp thứ nhất với tần số khởi động:

$$f_{kd} = 47,5 \text{ Hz} , \quad (5-31)$$

tác động tức thời cách ly máy phát điện ra khỏi hệ thống. Cấp thứ 2 sẽ tác động dừng tổ máy nếu sau khi máy phát bị cách ly ra khỏi hệ thống một khoảng thời gian xác định mà tần số không thể khôi phục lại trị số bình thường.

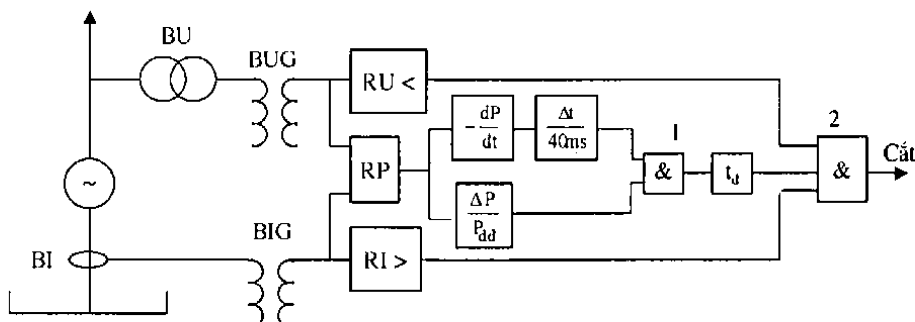
5.1.12. Bảo vệ tách nhà máy điện ra khỏi hệ thống

Khi ngắn mạch 3 pha xảy ra gần nhà máy điện, điện áp đầu cực máy phát điện giảm thấp công suất tác dụng của máy phát truyền vào hệ thống bị giảm đột ngột, rôto của máy phát bị tăng tốc và góc pha của trục rôto vượt trước từ trường quay nhiều hơn so với trạng thái trước khi xảy ra sự cố.

Nếu sau đó ngắn mạch được cắt ra và điện áp đầu cực máy phát được phục hồi (thông qua những đường dây liên lạc hệ thống không bị sự cố hoặc sau khi thiết bị TĐL tác động nhanh của đường dây bị sự cố làm việc), do sự khác nhau khá lớn về biên độ và góc pha giữa điện áp của máy phát điện so với điện áp của hệ thống nên xung lực tạo nên mômen hãm tác động lên máy phát điện có thể rất lớn, gây ảnh hưởng đến tuổi thọ của tuabin và máy phát điện.

Kết quả nghiên cứu trên các máy phát điện công suất lớn cho thấy, ứng lực tác động lên các cơ phận của máy phát và tuabin trong trường hợp này có thể cao hơn khoảng 50% so với trường hợp ngắn mạch 3 pha trực tiếp xảy ra trên đầu cực máy phát điện, nếu trước đó máy phát điện làm việc với tải danh định.

Mức độ tác hại phụ thuộc vào độ thay đổi công suất tác dụng của máy phát và thời gian tồn tại sự cố.

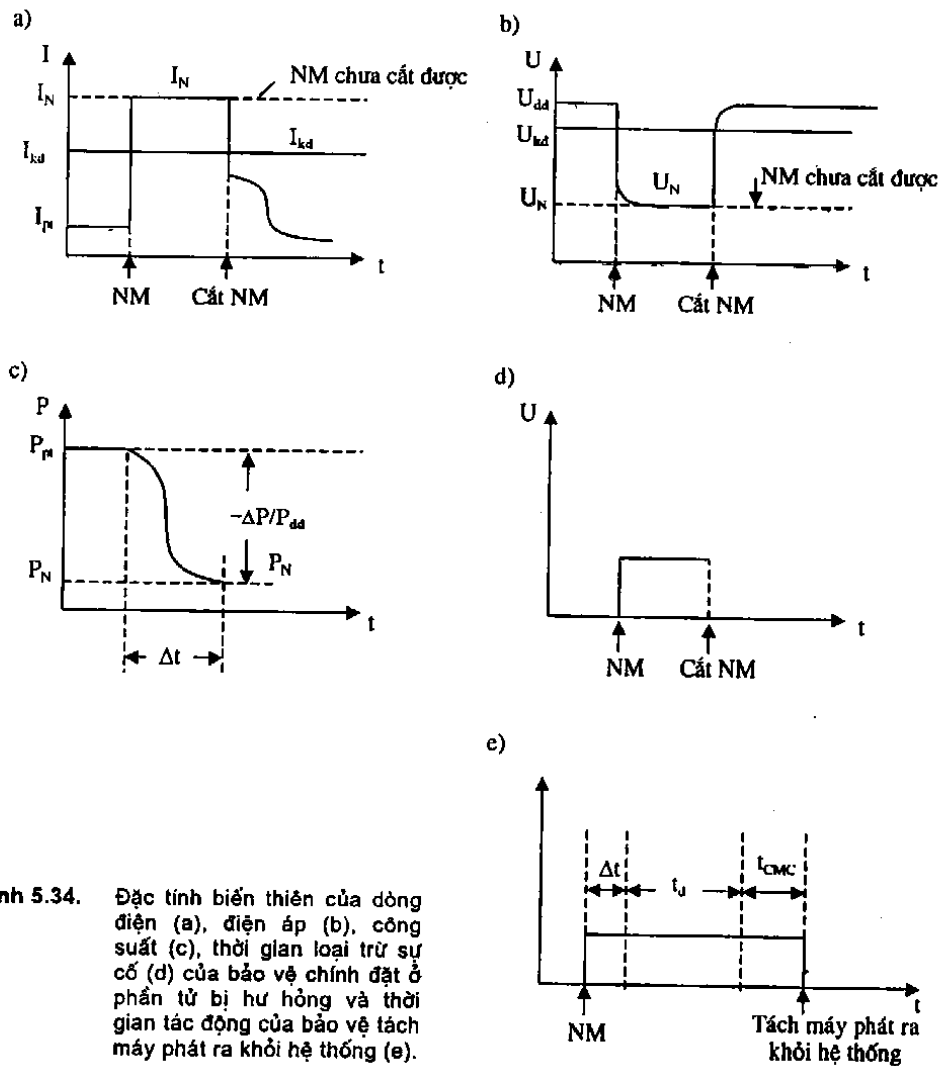


Hình 5.33. Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ tách nhà máy điện ra khỏi hệ thống.

Để thực hiện việc tách nhà máy điện ra khỏi hệ thống và ngăn chặn các xung lực nguy hiểm tác động lên máy do biến động đột ngột của công suất tác dụng, người ta có thể sử dụng đại lượng biến thiên âm $-\Delta P/P_{dd}$ (với P_{dd} là công suất danh định của máy phát điện).

Ngoài ra cũng có thể sử dụng tín hiệu quá dòng điện và trượt điện áp để làm bảo vệ dự phòng tách nhà máy điện ra khỏi hệ thống sau một khoảng thời gian, nếu bảo vệ chính $(-\Delta P/P_{dd})$ không làm việc.

Trên hình 5.33 trình bày sơ đồ nguyên lý thực hiện bảo vệ tách nhà máy điện ra khỏi hệ thống.



Hình 5.34. Đặc tính biến thiên của dòng điện (a), điện áp (b), công suất (c), thời gian loại trừ sự cố (d) của bảo vệ chính đặt ở phần tử bị hư hỏng và thời gian tác động của bảo vệ tách máy phát ra khỏi hệ thống (e).

Tín hiệu dòng và áp được đưa vào bộ nhân để tính công suất tác dụng P , lượng thay đổi công suất tác dụng $-\Delta P/P_{dd}$ và tốc độ biến thiên của công suất tác dụng $-dP/dt$.

Nếu quá trình giảm công suất tác dụng $-dP/dt$ kéo dài quá $\Delta t = 40 \text{ ms}$ thì kết hợp với tín hiệu $-\Delta P/P_{dd}$ thông qua khâu logic "VÀ" 1 với độ trì hoãn t_d , thông tin về biến động công suất được đưa đến khâu logic "VÀ" 2, ở đây kết hợp với tín hiệu quá dòng ($RI >$) và tụt áp ($RU <$) bảo vệ sẽ tác động cắt máy phát điện ra khỏi hệ thống.

Trên hình 5.34 trình bày đặc tính biến thiên theo thời gian của dòng điện (a) điện áp (b) và công suất (c) cũng như thời gian tác động của bảo vệ chính đặt ở phân tử bị sự cố (d) và thời gian cắt máy phát (e) bởi bảo vệ tách máy phát ra khỏi hệ thống.

Điện áp khởi động của role điện áp thấp:

$$U_{kd\ RU<} = 0,3 U_{dd}, \quad (5-32)$$

trong đó : U_{dd} - điện áp danh định của máy phát.

Ngưỡng khởi động của đại lượng thay đổi công suất tác dụng:

$$\Delta P_{kd} = -\Delta P/P_{dd} = 0,6 \div 0,76 \quad (5-33)$$

5.1.13. Bảo vệ chống luồng công suất ngược

Công suất sẽ chạy từ hệ thống vào máy phát nếu việc cung cấp năng lượng cho tuabin (dầu, khí, hơi nước hoặc nước, bị gián đoạn. Khi ấy máy phát điện sẽ làm việc như một động cơ điện tiêu thụ công suất của hệ thống. Nguy hiểm của chế độ này đối với các máy phát nhiệt điện là tuabin sẽ làm việc ở chế độ máy nén, nén lượng hơi thừa trong tuabin làm cho cánh tuabin có thể nóng quá mức cho phép. Đối với các máy phát diesel chế độ này có thể làm nổ máy.

Để bảo vệ chống chế độ công suất ngược, người ta kiểm tra hướng công suất tác dụng của máy phát điện. Yêu cầu role hướng công suất phải có độ nhạy cao để phát hiện được luồng công suất ngược với trị số khá bé (thường chỉ để bù đắp lại tổn thất cơ của máy phát trong chế độ này). Với các máy phát điện tuabin hơi, công suất khởi động bằng :

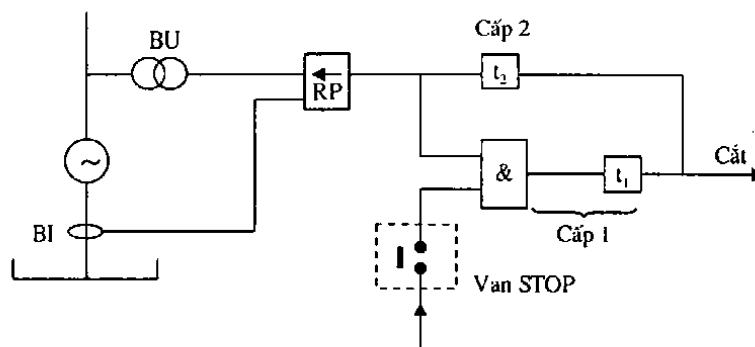
$$\overleftarrow{\Delta P}_{kd} = (0,01 \div 0,03)P_{dd}; \quad (5-34)$$

Với các máy phát thủy điện và tuabin khí:

$$\overleftarrow{\Delta P}_{kd} = (0,03 \div 0,05)P_{dd}.$$

Để đảm bảo độ nhạy của bảo vệ chống công suất ngược của các máy phát điện có công suất lớn, mạch dòng điện của bảo vệ thường được đấu vào lõi đo lường của máy biến dòng (thay cho lõi bảo vệ thường dùng cho các thiết bị bảo vệ khác).

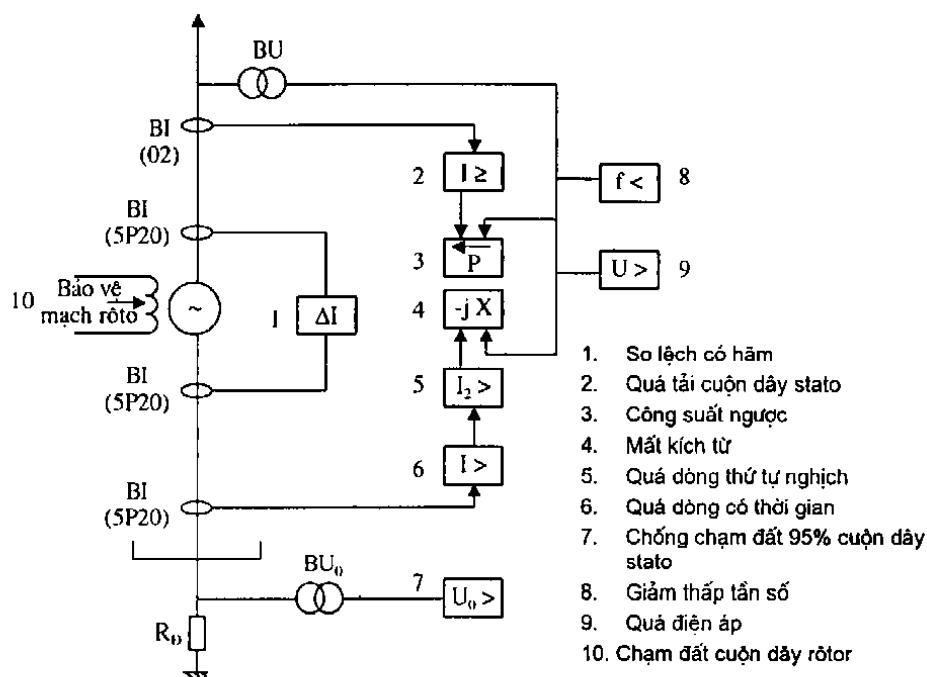
Bảo vệ chống công suất ngược thường có 2 cấp tác động: Cấp thứ nhất với thời gian khoảng 2 - 5 giây sau khi van STOP khẩn cấp làm việc và cấp thứ 2 với thời gian cắt máy khoảng vài chục giây không qua tiếp điểm của van STOP (hình 5.35).



Hình 5.35. Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống công suất ngược.

5.1.14. Chọn phương thức bảo vệ máy phát điện

Không có tiêu chuẩn thống nhất để lựa chọn sơ đồ bảo vệ cho từng loại máy phát điện. Tùy theo chủng loại của máy phát (thủy điện, nhiệt điện, tuabin khí, thủy điện tích năng v.v ...) công suất của máy phát, vai trò của máy phát và sơ đồ đấu dây của nó với các phần tử khác trong hệ thống mà người ta lựa chọn phương thức bảo vệ cho máy phát điện.



Hình 5.36. Sơ đồ phương thức bảo vệ máy phát điện có công suất bé (< 50 MVA).

Bảng 5.1 trình bày phương thức bảo vệ thường gặp đối với các cỡ công suất danh định khác nhau của máy phát điện.

Hình 5.36 giới thiệu một phương án thực hiện bảo vệ cho máy phát điện có công suất bé (< 50 MVA) thường dùng cho các khu công nghiệp. Trong sơ đồ này bảo vệ chống quá tải cho cuộn dây stator (2) và bảo vệ chống công suất ngược (3) được đấu với máy biến dòng điện có cấp chính xác 0,2 dùng cho mạch đo lường, các bảo vệ khác đấu với lõi biến dòng dùng cho bảo vệ với cấp 5P20 như thông lệ.

Bảng 5.1. Phương thức bảo vệ máy phát điện

Loại bảo vệ	Công suất danh định của máy phát điện (MVA)				Ký hiệu theo ANSI
	< 5	5 ÷ 50	50÷200	> 200	
Chạm đất 95% cuộn dây stato	+	+	+	+	59N
Chạm đất 100% cuộn dây stato			+	+	64
Sơ lệch có hãm		+	+	+	87G
Quá dòng có thời gian	+	+			50/51
Khoảng cách			+	+	21
Chập các vòng dây		+ 1)	+ 1)		59
Chạm đất cuộn dây rôto		+	+	+	64R
Quá dòng thứ tự nghịch		+	+	+	46
Mất kích từ		+	+	+	40
Mất đồng bộ				+	40
Quá tải cuộn dây stato	+	+	+	+	49
Quá tải cuộn dây rôto				+	49R
Quá điện áp	+	+	+	+	59
Điện áp thấp	+ 2)	+ 2)	+ 2)	+ 2)	27
Tần số thấp		+	+	+	81
Tách máy phát ra khỏi hệ thống				+	
Công suất ngược	+ 3)	+ 4)	+ 4)	+	32

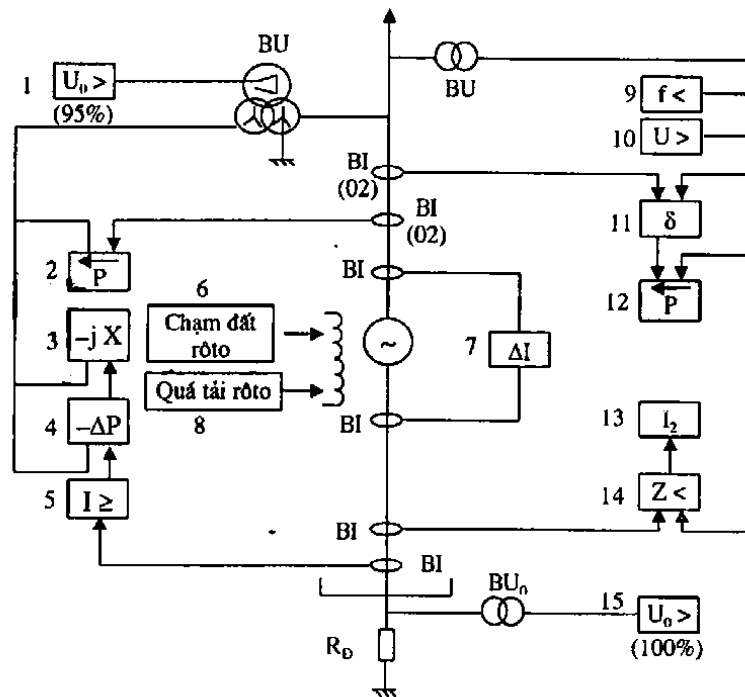
Ghi chú:

1. Chỉ cần đặt khi cuộn dây stato của máy phát điện có nhiều thanh dẫn đặt trong một rãnh.
2. Chỉ đặt đối với các máy phát của nhà máy thủy tích điện hoặc đối với các máy phát thủy điện làm việc trong chế độ bù công suất phản kháng.
3. Chỉ đặt cho máy phát tuabin hơi và máy phát điện điêzen
4. Không cần đặt cho máy phát thủy điện tuabin PELTON.

Các máy phát điện công suất lớn thường làm việc theo sơ đồ hợp bộ với máy biến áp, người ta sử dụng hai hệ thống bảo vệ hoàn toàn độc lập nhau được cách ly với nhau về điện với nguồn điện thao tác riêng biệt nhau. Việc sử dụng hai hệ thống bảo vệ độc lập nhau cho phép tăng độ tin cậy của sơ đồ bảo vệ hiệu theo quan điểm dự phòng và có thể tiến hành kiểm tra, sửa chữa từng hệ thống bảo vệ mà không ảnh hưởng đến sự làm việc liên tục của máy phát điện được bảo vệ.

Trên hình 5.37 giới thiệu một phương án thực hiện bảo vệ cho máy phát điện có công suất lớn với các bảo vệ được chia thành hai hệ thống độc lập: hệ thống I gồm các bảo vệ từ 1 đến 7 và hệ thống II từ 8 đến 15 với các nguồn dòng điện (BI), nguồn điện áp (BU) và nguồn thao tác riêng biệt nhau.

Những đặc điểm của việc thực hiện bảo vệ bộ máy phát điện- máy biến áp sẽ trình bày trong mục 5.3.



Hình 5.37. Sơ đồ phương thức bảo vệ máy phát điện có công suất lớn.

- 1- Chống chạm đất 95% cuộn dây stato ; 2- Công suất ngược (1) ; 3- Mất kích từ ; 4- Tách khỏi hệ thống ; 5- Quá tải cuộn dây stato ; 6- Chống chạm đất cuộn dây rôto ; 7- So lệch có hãm ; 8- Quá tải cuộn dây rôto ; 9- Tần số thấp ; 10- Quá điện áp ; 11- Chống mất đồng bộ (trượt cực từ) ; 12- Công suất ngược (2) ; 13- Quá dòng thứ tự nghịch ; 14- Khoảng cách ; 15- Chống chạm đất 100% cuộn dây stato.

5.2. BẢO VỆ MÁY BIẾN ÁP VÀ MÁY BIẾN ÁP TỰ NGẪU

5.2.1. Các dạng hư hỏng và những loại bảo vệ thường dùng

Cũng giống như đối với máy phát điện, những hư hỏng thường xảy ra đối với máy biến áp và máy biến áp tự ngẫu có thể phân ra thành hai nhóm: hư hỏng bên trong và hư hỏng bên ngoài.

Hư hỏng bên trong máy biến áp bao gồm:

- chạm chập giữa các vòng dây;
- ngắn mạch giữa các cuộn dây;
- chạm đất (vỏ) và ngắn mạch chạm đất;
- hỏng bộ chuyển đổi đầu phân áp;
- thùng dầu bị thủng hoặc rò dầu.

Những hư hỏng và chế độ làm việc không bình thường bên ngoài máy biến áp bao gồm:

- ngắn mạch nhiều pha trong hệ thống;
- ngắn mạch một pha trong hệ thống;
- quá tải;
- quá bão hoà mạch từ.

Tùy theo công suất của máy biến áp, vị trí và vai trò của máy biến áp trong hệ thống mà người ta lựa chọn phương thức bảo vệ thích hợp cho máy biến áp. Những loại bảo vệ thường dùng để chống các loại sự cố và chế độ làm việc không bình thường của máy biến áp được giới thiệu trong bảng 5.2.

Bảng 5. 2. Các loại bảo vệ thường dùng cho máy biến áp

Loại hư hỏng	Loại bảo vệ
Ngắn mạch một pha hoặc nhiều pha chạm đất .	So lệch có hãm (bảo vệ chính). Khoảng cách (bảo vệ dự phòng). Quá dòng có thời gian (chính hoặc dự phòng tùy theo công suất). Quá dòng thứ tự không.
Chạm chập các vòng dây, thùng dầu thủng hoặc bị rò dầu.	Rơle khí (BUCHHOLZ)
Quá tải.	Quá dòng điện. Hình ảnh nhiệt.
Quá bão hoà mạch từ.	Chống quá bão hoà.

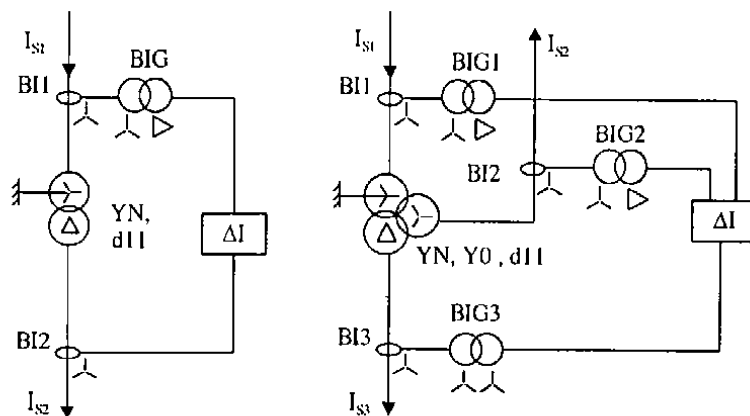
5.2.2. Các bảo vệ chống ngắn mạch

1. Bảo vệ so lệch có hãm

Khác với bảo vệ so lệch của máy phát điện, dòng điện sơ cấp ở hai (hoặc nhiều) phía của máy biến áp thường khác nhau về trị số (theo tỷ số biến giữa điện áp các phía) và về góc pha (theo tổ đấu dây: YN,Y0 ; YN, d11 ; Y,d5 v.v...).

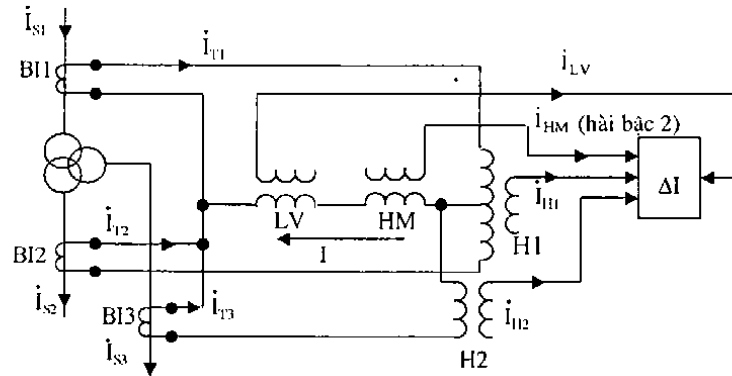
Vì vậy để cân bằng dòng điện thứ cấp ở các phía của bảo vệ so lệch trong chế độ làm việc bình thường, người ta sử dụng máy biến dòng trung gian BIG (hình 5.38) có tổ đấu dây phù hợp với tổ đấu dây của máy biến áp và tỷ số biến đổi được chọn sao cho các dòng điện đưa vào so sánh trong rơle so lệch có trị số gần bằng nhau.

Một đặc điểm nữa của bảo vệ so lệch máy biến áp là dòng điện từ hoá của máy biến áp sẽ tạo nên dòng điện không cân bằng chạy qua rơle. Trị số quá độ của dòng điện không cân bằng này có thể rất lớn trong chế độ đóng máy biến áp không tải hoặc cắt ngắn mạch ngoài. Vì vậy, để hãm bảo vệ so lệch của máy biến áp người ta sử dụng dòng điện từ hoá của biến áp.



Hình 5.38. Cân bằng pha và trị số của dòng điện thứ cấp trong bảo vệ so lệch máy biến áp 2 và 3 cuộn dây bằng máy biến dòng trung gian BIG.

Ngoài ra, tùy theo tổ đấu dây của máy biến áp được bảo vệ cần sử dụng biện pháp để loại trừ ảnh hưởng của dòng điện thứ tự không khi trung điểm của cuộn dây máy biến áp nối đất và có ngắn mạch chạm đất xảy ra trong hệ thống.



Hình 5.39. Sơ đồ nguyên lý bảo vệ so lệch có hãm dùng cho máy biến áp 3 cuộn dây.
HM - hãm theo thành phần hài bậc 2 trong dòng điện từ hóa máy biến áp.

Gần đây, trong các role so lệch hiện đại người ta có thể thực hiện việc cân bằng pha và trị số của dòng điện thứ cấp ở các phía của máy biến áp ngay trong role so lệch.

Trên hình 5.39 trình bày sơ đồ nguyên lý của bảo vệ so lệch có hãm dùng cho máy biến áp 3 cuộn dây.

Giả sử phía cuộn dây 1 của máy biến áp nối với nguồn cung cấp, phía cuộn dây 2 và 3 nối với phụ tải. Bỏ qua dòng điện kích từ của máy biến áp, trong chế độ làm việc bình thường ta có:

$$I_{S1} = I_{S2} + I_{S3} \quad (5-35)$$

Dòng điện đi vào cuộn dây làm việc bằng:

$$I_{LV} = I_{T1} - (I_{T2} + I_{T3}) \quad (5-36)$$

Các dòng điện hãm:

$$I_{H1} = I_{T1} + I_{T2} \quad (5-37)$$

$$I_{H2} = I_{T3} \quad (5-38)$$

Các dòng điện hãm được cộng với nhau theo trị số tuyệt đối để tạo nên hiệu ứng hãm theo quan hệ :

$$I_H = (|I_{T1} + I_{T2}| + |I_{T3}|)K_H, \quad (5-39)$$

trong đó : $K_H \leq 0,5$ là hệ số hãm của bảo vệ so lệch.

Ngoài ra để ngăn chặn tác động sai do ảnh hưởng của dòng điện từ hoá khi đóng máy biến áp không tải và khi cắt ngắn mạch ngoài, bảo vệ còn được cài đặt bằng thành phần hài bậc hai trong dòng điện từ hoá I_{HM} .

Để đảm bảo được tác động hãm khi có ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ cần thực hiện điều kiện:

$$|I_H| > |I_{LV}|. \quad (5-40)$$

2. Bảo vệ quá dòng điện có thời gian

Bảo vệ quá dòng điện có thời gian thường được dùng làm bảo vệ chính cho các máy biến áp có công suất bé và làm bảo vệ dự phòng cho máy biến áp có công suất trung bình và lớn để chống các dạng ngắn mạch bên trong và bên ngoài máy biến áp.

Với máy biến áp 2 cuộn dây dùng một bộ bảo vệ đặt ở phía nguồn cung cấp. Với máy biến áp nhiều cuộn dây thường mỗi phía đặt một bộ.

Dòng điện khởi động của bảo vệ chọn theo dòng điện danh định của biến áp có xét đến khả năng quá tải. Thời gian làm việc của bảo vệ chọn theo nguyên tắc bậc thang, phối hợp với thời gian làm việc của các bảo vệ lân cận trong hệ thống.

Nếu máy biến áp nhiều cuộn dây nối với nguồn từ nhiều phía thì cần đặt bộ phận định hướng công suất ở phía nối với nguồn có thời gian tác động bé hơn.

3. Bảo vệ khoảng cách

Đối với những máy biến áp công suất lớn (> 100 MVA), người ta thường dùng bảo vệ khoảng cách để làm bảo vệ dự phòng thay cho bảo vệ quá dòng điện.

Trên hình 5.40 trình bày nguyên lý sử dụng bảo vệ khoảng cách để bảo vệ cho máy biến áp (hoặc máy biến áp tự ngẫu) hai cuộn dây. Bảo vệ khoảng cách được đặt ở cả 2 phía của máy biến áp với 3 vùng tác động về phía trước (hướng thuận) và một vùng tác động về phía sau (hướng nghịch).

Bảo vệ khoảng cách ở hai phía của máy biến áp làm nhiệm vụ dự phòng cho bảo vệ so lệch của máy biến áp và cho các bảo vệ chính đặt ở thanh góp và các đường dây lân cận với máy biến áp.

Tổng trở khởi động và thời gian làm việc của các vùng được chọn như sau:

Vùng thứ nhất:

$$\left. \begin{aligned} Z_{kd}^I &= 0,7 X_B \\ t^I &= (0,4 \div 0,5) \text{ s} \end{aligned} \right\} \quad (5-41)$$

trong đó X_B là điện kháng của máy biến áp.

Vùng thứ hai:

$$\left. \begin{array}{l} Z_{kd}^{II} = 1,3 X_B \\ t^{II} = t^I + \Delta t \end{array} \right\} \quad (5-42)$$

Với $\Delta t = (0,3 + 0,5) \text{ s}$.

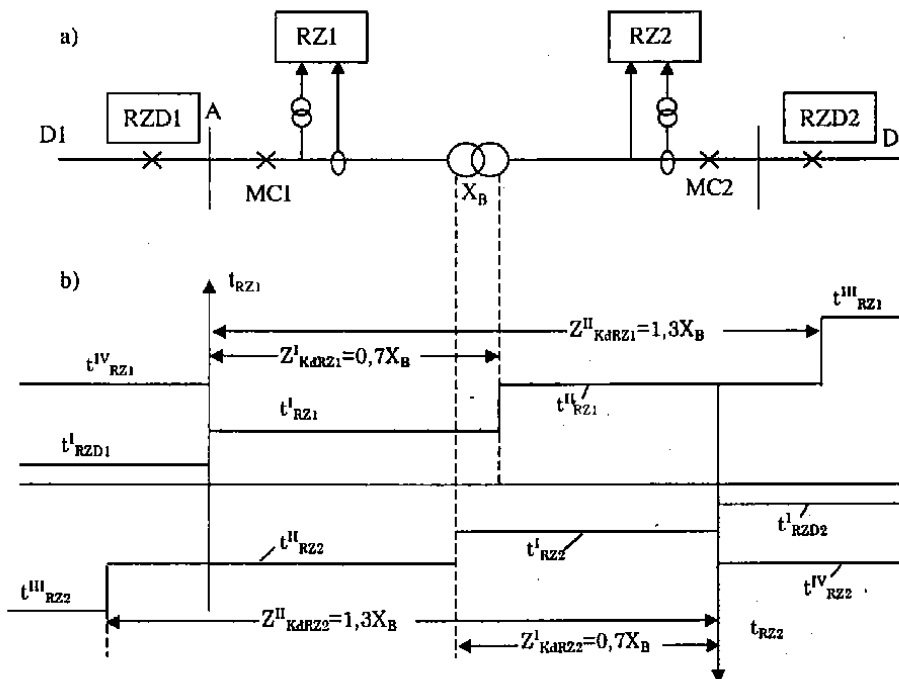
Vùng thứ ba được phối hợp với vùng thứ hai của các bảo vệ khoảng cách RZD1 và RZD2 đặt ở các đường dây D1 và D2 lân cận với máy biến áp.

4. Bảo vệ chống chạm đất

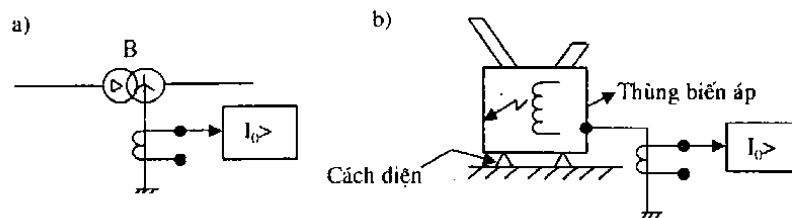
Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất đơn giản nhất đặt ở máy biến áp có trung điểm nối đất trình bày trên hình 5.41,a. Sơ đồ dùng một máy biến dòng đặt trên dây trung tính của máy biến áp và một role quá dòng với dòng điện khởi động:

$$I_{kd} = (0,2 + 0,4) I_{dd}, \quad (5-43)$$

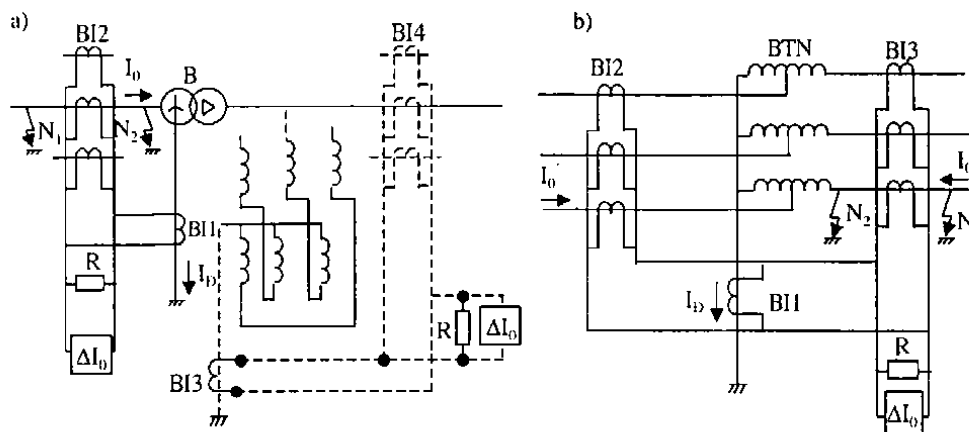
trong đó : I_{dd} là dòng điện danh định của máy biến áp.



Hình 5.40. Sơ đồ nguyên lý (a) và đặc tính thời gian (b) của bảo vệ khoảng cách đặt ở máy biến áp 2 cuộn dây (hoặc máy biến áp tự ngẫu).



Hình 5.41. Bảo vệ chống chạm đất (a) và chạm thùng (b) máy biến áp.



Hình 5.42. Bảo vệ chống chạm đất có giới hạn dùng cho máy biến áp 2 cuộn dây (a) và máy biến áp tự ngẫu (b).

Thời gian làm việc chọn theo nguyên tắc bậc thang phối hợp với thời gian của bảo vệ chống chạm đất đặt ở các phần tử lân cận.

Bảo vệ quá dòng với trị số khởi động chọn theo (5-43) đảm bảo loại trừ được tất cả các trường hợp chạm đất xảy ra trong cuộn dây nối hình sao của máy biến áp và vùng lân cận của lưới điện nối với cuộn dây này.

Sơ đồ dạng hình 5.41,a cũng có thể được sử dụng để bảo vệ chống chạm vỏ (thùng) máy biến áp. Trong trường hợp này thùng máy biến áp được cách điện

đối với đất và máy biến dòng được đặt trên dây nối giữa thùng và với đất (H.5.41,b). Bình thường khi không có chạm vỏ (thùng) dòng điện đi qua biến dòng bằng không nên có thể chỉnh định dòng khởi động của bảo vệ với trị số khá bé và bảo vệ có độ nhạy cao.

Với các máy biến áp có công suất lớn, để bảo vệ chống chạm đất trong cuộn dây nối hình sao của máy biến áp, người ta dùng sơ đồ bảo vệ chống chạm đất có giới hạn. Thực chất đây là loại bảo vệ so lệch dòng điện thứ tự không có miễn bảo vệ được giới hạn giữa máy biến dòng đặt ở dây trung tính của máy biến áp và tổ máy biến dòng nối theo bộ lọc dòng điện thứ tự không đặt ở phía đầu ra của cuộn dây nối hình sao của máy biến áp (H.5.42,a). Rơle so lệch tổng trở cao được mắc song song với điện trở R có trị số khá lớn.

Trong chế độ làm việc bình thường và ngắn mạch chạm đất ngoài vùng bảo vệ (điểm N1), ta có :

$$\Delta \dot{I}_0 = 3 \dot{I}_0 - \dot{I}_D = 0, \quad (5-44)$$

trong đó : $\dot{I}_0$ - dòng thứ tự không chạy trong cuộn dây máy biến áp;

$\dot{I}_D$ - dòng điện chạy qua cuộn dây trung tính máy biến áp.

Nếu bỏ qua sai số của các máy biến dòng, ta có dòng điện thứ cấp chạy qua điện trở R bằng không và điện áp đặt trên rơle so lệch cũng bằng không.

Khi ngắn mạch trong vùng (điểm N2) toàn bộ dòng chạm đất sẽ chạy qua điện trở R tạo nên điện áp đặt trên rơle so lệch rất lớn, rơle sẽ tác động.

Để bảo vệ chống chạm đất cho cả cuộn dây nối tam giác của máy biến áp, người ta có thể đặt thêm máy biến áp tạo trung điểm nối đất ở đầu ra cuộn tam giác và một bộ bảo vệ thứ hai tương tự.

Nguyên lý so lệch dòng điện thứ tự không cũng có thể được sử dụng để bảo vệ chống chạm đất cho các máy biến áp tự ngẫu (H.5.42,b).

5.2.3. Bảo vệ chống quá tải

Quá tải làm tăng nhiệt độ của máy biến áp. Nếu mức quá tải cao và kéo dài, máy biến áp bị tăng nhiệt độ quá mức cho phép, tuổi thọ của máy biến áp bị suy giảm nhanh chóng. Để bảo vệ chống quá tải ở các máy biến áp có công suất bé có thể sử dụng loại bảo vệ quá dòng điện thông thường, tuy nhiên rơle quá dòng điện không thể phản ánh được chế độ mang tải của máy biến áp trước khi xảy ra quá tải.

Vì vậy đối với máy biến áp công suất lớn người ta sử dụng nguyên lý *hình ảnh nhiệt* để thực hiện bảo vệ chống quá tải. Bảo vệ loại này phản ánh mức

tăng nhiệt độ ở những điểm kiểm tra khác nhau trong máy biến áp và tùy theo mức tăng nhiệt độ mà có nhiều cấp tác động khác nhau: cảnh báo, khởi động các mức làm mát bằng tăng tốc độ tuần hoàn của không khí hoặc dầu, giảm tải máy biến áp. Nếu các cấp tác động này không mang lại hiệu quả và nhiệt độ của máy biến áp vẫn vượt quá giới hạn cho phép và kéo dài quá thời gian quy định thì máy biến áp sẽ được cắt ra khỏi hệ thống.

5.2.4. Bảo vệ bằng rơle khí (BUCHHOLZ)

Những hư hỏng bên trong thùng của máy biến áp có cuộn dây ngâm trong dầu đều làm cho dầu bốc hơi và chuyển động. Các máy biến áp dầu có công suất lớn hơn 500 kVA thường được bảo vệ bằng rơle khí có 1 cấp tác động (với máy biến áp từ 500 kVA đến 5 MVA) hoặc 2 cấp tác động (lớn hơn 5 MVA). Rơle khí thường đặt trên đoạn ống nối từ thùng dầu đến bình dẫn dầu của máy biến áp. Rơle với 2 cấp tác động gồm có 2 phao bằng kim loại mang bầu thủy tinh con có tiếp điểm thủy ngân hoặc tiếp điểm từ. Ở chế độ làm việc bình thường trong bình rơle đầy dầu, các phao nổi lơ lửng trong dầu, tiếp điểm của rơle ở trạng thái hở. Khi khí bốc ra yếu (chẳng hạn vì dầu nóng do quá tải), khí tập trung lên phía trên của bình rơle đẩy phao số 1 xuống, rơle gửi tín hiệu cấp 1 cảnh báo. Nếu khí bốc ra mạnh (chẳng hạn do ngắn mạch trong thùng dầu) luồng dầu vận chuyển từ thùng lên bình dẫn dầu xô phao thứ 2 chìm xuống gửi tín hiệu đi cắt máy biến áp. Rơle khí còn có thể tác động khi mức dầu trong bình rơle hạ thấp do dầu bị rò hoặc thùng biến áp bị thủng. Để rơle khí làm việc được dễ dàng người ta tạo một độ nghiêng nhất định của ống dẫn so với mặt phẳng ngang. Góc nghiêng α khoảng từ 2 đến 5° đối với rơle khí có một phao và từ 3 đến 7° đối với rơle có 2 phao. Cấp cảnh báo thường tác động với lượng khí tập trung phía trên của bình dầu rơle từ 100 đến 250 cm³, cấp 2 tác động cắt máy biến áp khi tốc độ di chuyển của dầu qua rơle từ 70 đến 160 cm/s. Để tránh ảnh hưởng chuyển động rối của dầu qua rơle, chiều dài của đoạn ống từ thùng đến rơle phải lớn hơn 5 lần đường kính của nó và từ rơle đến bình dẫn dầu phải lớn hơn 3 lần.

Rơle khí có thể làm việc khá tin cậy chống tất cả các loại sự cố bên trong thùng dầu, tuy nhiên kinh nghiệm vận hành cũng phát hiện một số trường hợp tác động sai do ảnh hưởng của chấn động cơ học lên máy biến áp (chẳng hạn do động đất, do các vụ nổ gần nơi đặt máy biến áp v.v...).

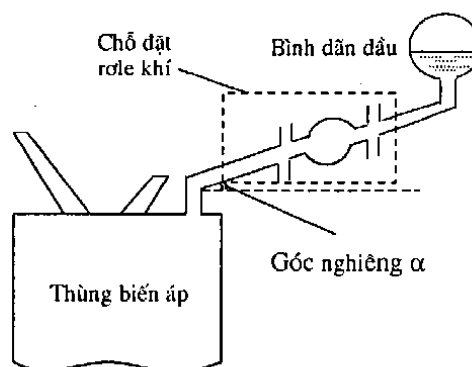
Đối với máy biến áp lớn, bộ điều chỉnh điện áp dưới tải thường được đặt trong thùng dầu riêng và người ta dùng 1 bộ rơle khí riêng để bảo vệ cho bộ điều áp dưới tải.

5.2.5. Lựa chọn phương thức bảo vệ máy biến áp

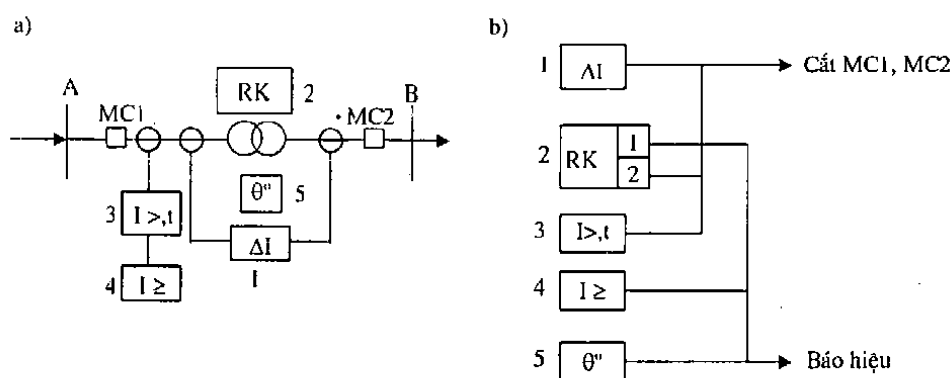
Cũng như đối với máy phát điện đã xét trước đây, phương thức bảo vệ máy biến áp phụ thuộc vào công suất, chủng loại, số cuộn dây, vị trí và sơ đồ đấu dây của máy biến áp.

Hiện nay cũng không có những tiêu chuẩn thống nhất để lựa chọn phương thức bảo vệ cho máy biến áp. Sau đây chỉ nêu một số ví dụ thường gặp trong thực tế. Trên hình hình 5.44 trình bày sơ đồ phương thức bảo vệ đối với các máy biến áp

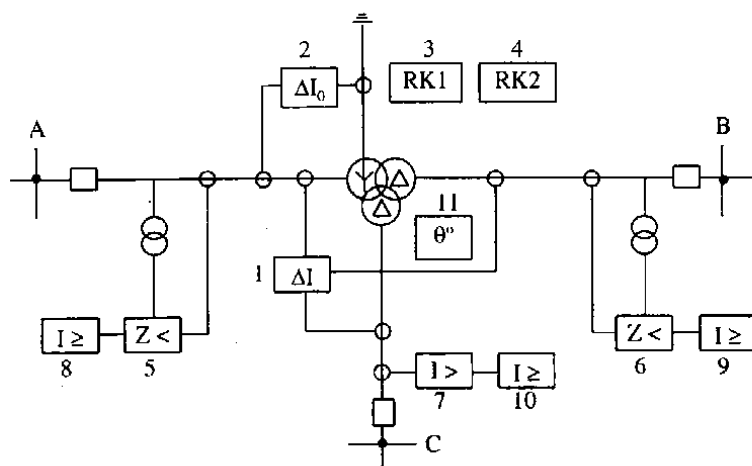
hai cuộn dây công suất bé (đến vài chục MVA), để chống ngắn mạch giữa các pha và sự cố bên trong thùng dầu người ta thường dùng bảo vệ so lệch có hãm (1) và role khí (2) làm bảo vệ chính. Bảo vệ quá dòng điện có thời gian (3) được sử dụng làm bảo vệ dự phòng. Để chống quá tải và nhiệt độ dầu tăng cao người ta sử dụng bảo vệ quá dòng (4) và bảo vệ phản ứng theo nhiệt độ (5).



Hình 5.43. Vị trí đặt role khí ở máy biến áp.



Hình 5.44. Phương thức bảo vệ máy biến áp hai cuộn dây công suất bé (đến vài chục MVA).

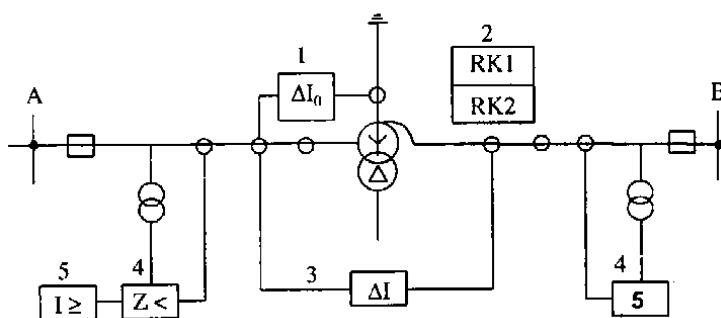


Hình 5.45. Phương thức bảo vệ máy biến áp ba cuộn dây công suất lớn.

Đối với máy biến áp ba cuộn dây công suất lớn (H.5.45), người ta dùng bảo vệ so lệch có hãm (1), bảo vệ so lệch dòng thứ tự không (2), rơle khí (3) và (4) làm bảo vệ chính, bảo vệ khoảng cách (5), (6) và bảo vệ quá dòng có thời gian (7) làm bảo vệ dự phòng.

Để chống quá tải dùng bảo vệ quá dòng (8), (9), (10), đặt riêng cho các phía và bảo vệ phản ứng theo nhiệt độ của dầu (11).

Trên hình 5.46 trình bày phương thức bảo vệ cho các máy biến áp tự ngẫu công suất lớn. Các loại bảo vệ và chức năng của từng loại cũng tương tự như trên hình 5.45 đối với máy biến áp 3 cuộn dây. Riêng bảo vệ so lệch thường người ta sử dụng loại rơle so lệch tổng trở cao.

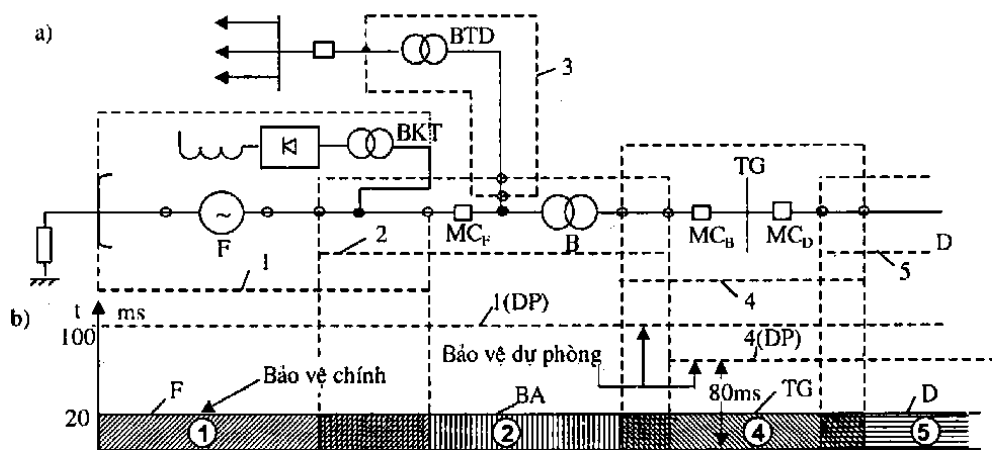


Hình 5.46. Phương thức bảo vệ máy biến áp tự ngẫu công suất lớn.

5.3. BẢO VỆ BỘ MÁY PHÁT ĐIỆN - MÁY BIẾN ÁP

Trong các hệ thống điện hiện đại, những tổ máy phát điện có công suất lớn thường làm việc hợp bộ với máy biến áp tăng áp, máy biến áp tự dòng cho hợp bộ cùng với máy biến áp chỉnh lưu cấp nguồn một chiều cho hệ thống kích thích của máy phát điện. Đối với những phần tử chính trong hợp bộ (máy phát điện, máy biến áp tăng, máy biến áp tự dòng ...) người ta sử dụng bảo vệ so lệch có hãm làm bảo vệ chính với vị trí đặt của các nhóm máy biến dòng sao cho các vùng bảo vệ giao nhau (H.5.47 và H.5.48). Như vậy với sự cố xảy ra ở bất kỳ điểm nào trong hợp bộ cũng sẽ được loại trừ với thời gian tác động ngắn nhất của bảo vệ so lệch (khoảng 20 ms H.5.47). Các bảo vệ dự phòng đặt ở từng phần tử có thể làm nhiệm vụ dự phòng cho các phần tử lân cận, chẳng hạn bảo vệ chống chạm đất cuộn dây stator có thể phản ứng khi có chạm đất ở các cuộn sơ cấp của máy biến áp tăng, biến áp tự dòng và biến áp cấp nguồn kích thích; bảo vệ chống ngắn mạch ngoài của máy phát điện có thể phản ứng khi có ngắn mạch sau máy biến áp tăng hoặc trong máy biến áp tự dòng v.v...

Những bảo vệ riêng cho máy phát điện và máy biến áp đã đề cập ở các mục trước, ở đây chỉ nêu một số đặc điểm cũng như một số bảo vệ sử dụng chung cho hợp bộ máy phát điện - máy biến áp.

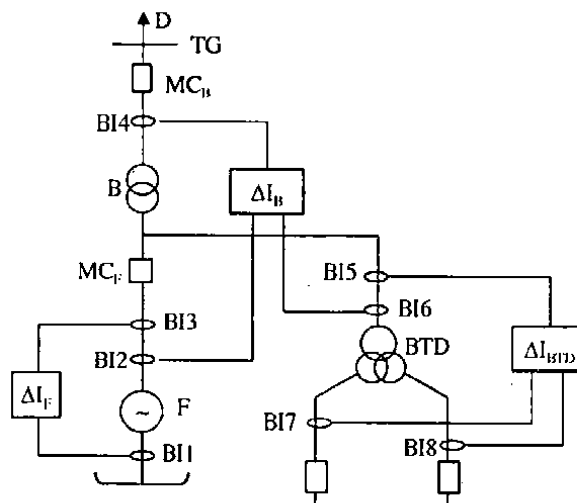


Hình 5.47. Phân vùng bảo vệ (a) và thời gian làm việc (b) của các bảo vệ bộ máy phát điện - máy biến áp.

5.3.1. Bảo vệ so lệch có hãm

Bảo vệ so lệch có hãm, như trên đã nói, là loại bảo vệ chính đặt ở tất cả các phần tử chủ yếu của hợp bộ.

Với các hợp bộ có công suất lớn người ta dùng 3 bộ so lệch có hãm đặt cho máy phát điện (1), máy biến áp tăng (2) và máy biến áp tự dùng (3). Bằng cách chọn vị trí đặt của máy biến dòng có thể tạo được các vùng bảo vệ giao nhau (H. 5. 48) đảm bảo loại trừ tất cả các sự cố trên hợp bộ với thời gian ngắn nhất của bảo vệ so lệch.



Hình 5.48. Vị trí đặt của máy biến dòng dùng cho bảo vệ so lệch các phần tử trong bộ máy phát điện (F), máy biến áp tăng (B) và máy biến áp tự dùng (BTD).

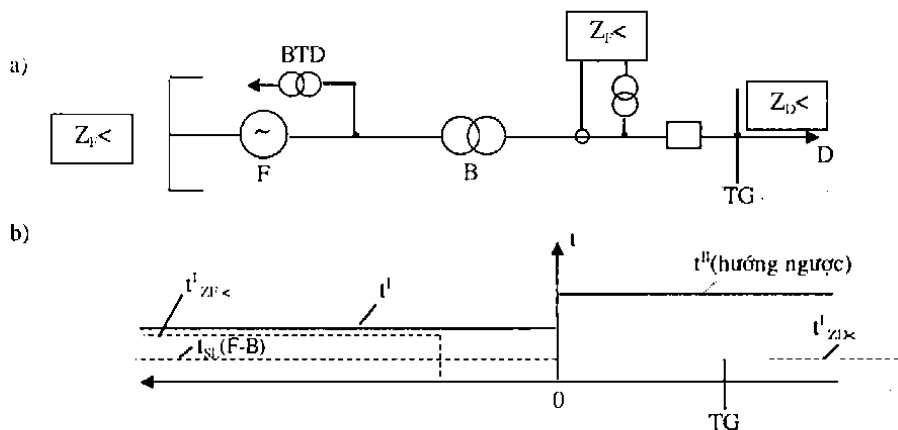
5.3.2. Bảo vệ khoảng cách đặt ở phía cao áp của máy biến áp để làm dự phòng

Với các máy phát điện công suất lớn, như đã nêu trong mục 5.1 người ta sử dụng bảo vệ khoảng cách làm bảo vệ dự phòng cho bảo vệ so lệch. Vùng thứ nhất của bảo vệ này bao gồm cuộn dây stator của máy phát điện và khoảng 70% tổng trở của cuộn dây biến áp. Như vậy phần còn lại của cuộn dây cao áp và đoạn thanh dẫn đến máy cắt sẽ được bảo vệ với thời gian của vùng thứ hai. Để giảm thời gian loại trừ sự cố của bảo vệ dự phòng trên đoạn này có thể đặt thêm một bảo vệ khoảng cách dự phòng ở phía cao áp của máy biến áp tăng (H.5.49,a).

Vùng thứ nhất của bảo vệ khoảng cách dự phòng này bao gồm toàn bộ các cuộn dây của máy biến áp và máy phát điện, vùng thứ hai (hướng ngược) làm nhiệm vụ dự phòng cho bảo vệ thanh góp và bảo vệ đường dây (H.5.49,b).

5.3.3. Bảo vệ chống quá bão hoà mạch từ máy biến áp tăng

Hiện tượng mạch từ của máy biến áp tăng bị quá bão hoà có thể xảy ra khi máy biến áp đang mang đầy tải bị cắt đột ngột phía cao áp hoặc khi khởi động tổ máy không đúng, máy biến áp nối với máy phát điện ở tần số thấp kèm theo trục trặc trong hệ thống tự động điều chỉnh điện áp và tốc độ quay của tuabin.



Hình 5.49. Vị trí đặt (a) và đặc tính thời gian (b) của bảo vệ khoảng cách dự phòng phía cao áp của máy biến áp.

Hậu quả của hiện tượng quá bão hoà mạch từ máy biến áp là nó làm tăng mức phát nóng của lõi thép, tăng từ thông rò sang các bộ phận khác làm xuất hiện những dòng điện xoáy trong chúng, gây tổn thất phụ và làm nóng thêm máy biến áp.

Theo quy định hiện hành, tỷ số giữa độ từ cảm bão hoà lâu dài cho phép B_{bh} và độ từ cảm danh định B_{dd} không được vượt quá 1,1. Vì vậy trị số khởi động của bảo vệ chống bão hoà mạch từ có thể chọn trong khoảng $B_{bh}/B_{dd} = 1,2 \div 1,4$.

Nguyên lý đo lường của bảo vệ dựa trên quan hệ cơ bản sau đây giữa độ từ cảm B , tần số f và điện áp U cảm ứng trong cuộn dây máy biến áp:

$$B = \frac{1}{4,44 W.S f} U, \quad (5-45)$$

trong đó: W - số vòng của cuộn dây máy biến áp ;

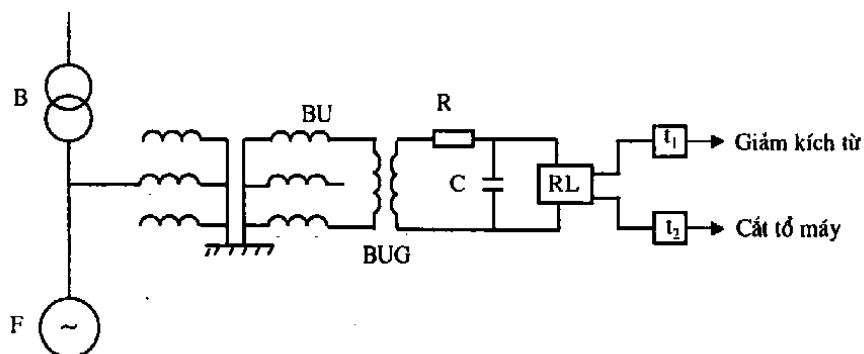
S - tiết diện lõi thép máy biến áp.

Từ (5-45) ta có tương quan sau:

$$\frac{B_{bh}}{B_{dd}} = \frac{U}{U_{dd}} \cdot \frac{f_{dd}}{f}, \quad (5-46)$$

trong đó : U_{dd} , f_{dd} - tương ứng là điện áp và tần số danh định của máy biến áp.

Theo (5-46) quan hệ giữa điện áp và tần số U/f được sử dụng trong nguyên lý làm việc của rơle chống bão hoà mạch từ.



Hình 5.50. Bảo vệ chống quá bão hoà mạch từ máy biến áp tăng.

Trên hình 5.50 trình bày sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống bão hoà mạch từ máy biến áp tăng. Tín hiệu đầu vào của bảo vệ là điện áp dây lấy từ phía thứ cấp của máy biến điện áp BU, thông qua một máy biến áp trung gian BUG, điện áp này đặt vào bộ phân áp RC với điện áp lấy ra trên cực tụ C khá bé.

Vì $R \gg 1/\omega C$, nên ta có:

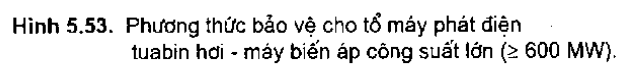
$$U_C \approx U/f. \quad (5-47)$$

Điện áp U_C đặt vào role phản ánh quan hệ U/f , tức mức bão hoà mạch từ theo (5-46). Bảo vệ có hai cấp tác động: cấp 1 với thời gian t_1 khoảng 1 s tác động đi giảm kích từ máy phát điện; cấp 2 với thời gian từ 10 đến 20 s tác động cắt và dừng tổ máy nếu hiện tượng quá bão hoà vẫn tiếp tục duy trì.

5.3.4. Những bảo vệ khác đặt ở bộ máy phát điện - máy biến áp

Ngoài những bảo vệ chính đặt riêng cho máy phát điện, máy biến áp và những bảo vệ chung cho cả bộ đã xét trên đây, tùy theo loại tuabin kéo máy phát (tuabin hơi, tuabin khí, tuabin thủy...) và chế độ làm việc của tổ tuabin máy phát (chẳng hạn máy phát làm việc ở chế độ bù công suất phản kháng, máy phát ở nhà máy thủy điện tích năng thường xuyên chuyển chế độ từ máy phát sang động cơ và ngược lại...) mà cần đặt thêm một số bảo vệ khác cho thích hợp như bảo vệ chống tốc độ giảm thấp hoặc tăng cao để chống quá tải khi làm việc ở chế độ bơm, bảo vệ chống điện áp thấp khi làm việc ở chế độ động cơ hoặc bù công suất phản kháng v.v...

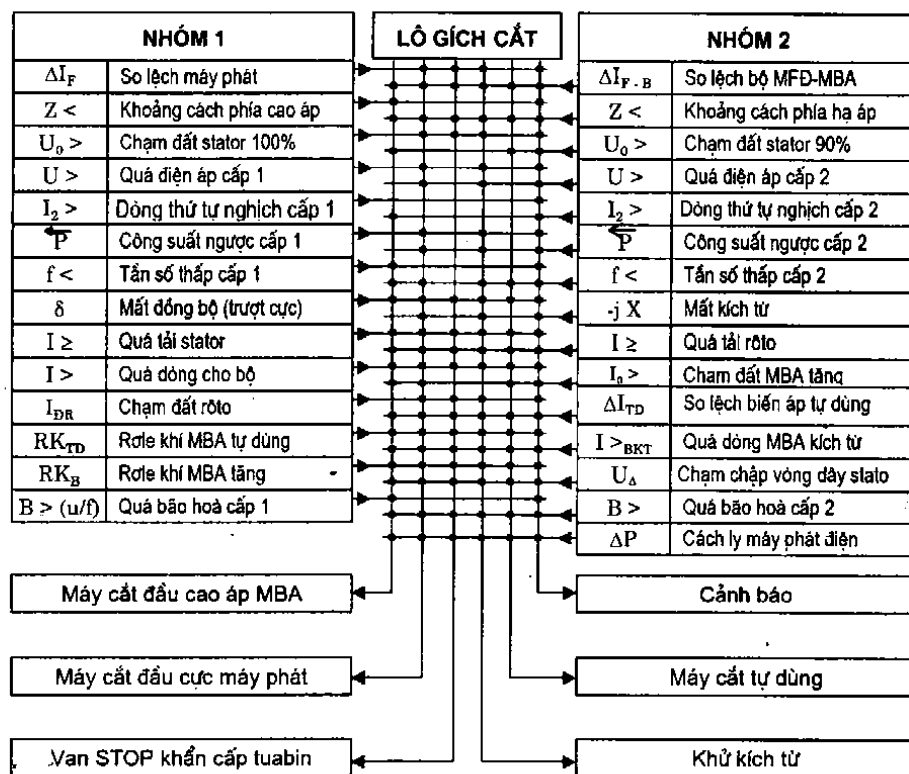
Đối với máy phát điện của nhà máy thủy điện tích năng và máy phát điện tuabin khí, người ta dùng mạch khởi động tổ máy thông qua hệ thống điện một chiều (H.5.51).



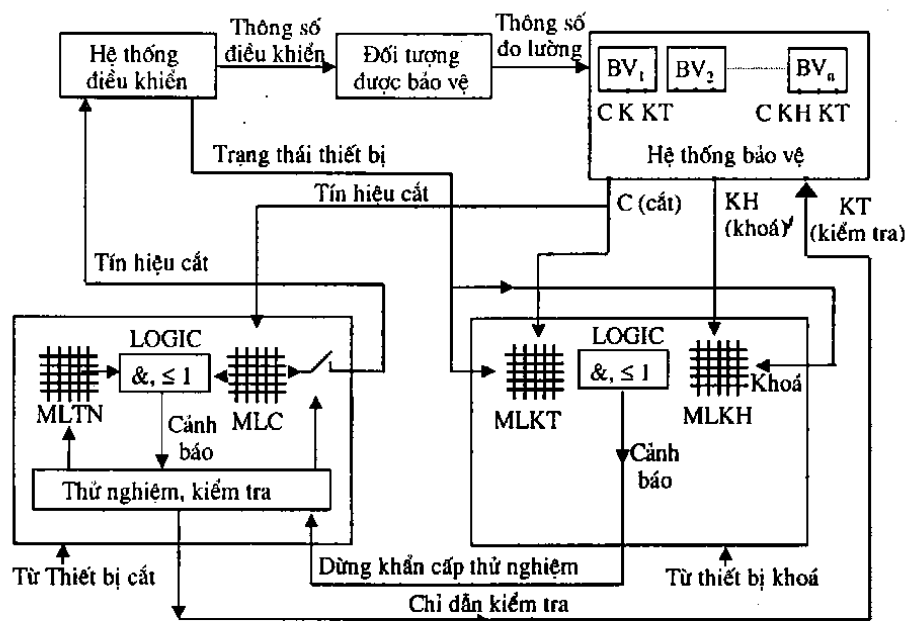
- Cắt máy cắt điện đầu cực máy phát.
- Cắt máy cắt điện phía cao áp của máy biến áp.

- Cắt máy cắt điện phía tự dùng.
- Đóng van STOP khẩn cấp.
- Khử kích từ máy phát điện.
- Cảnh báo.

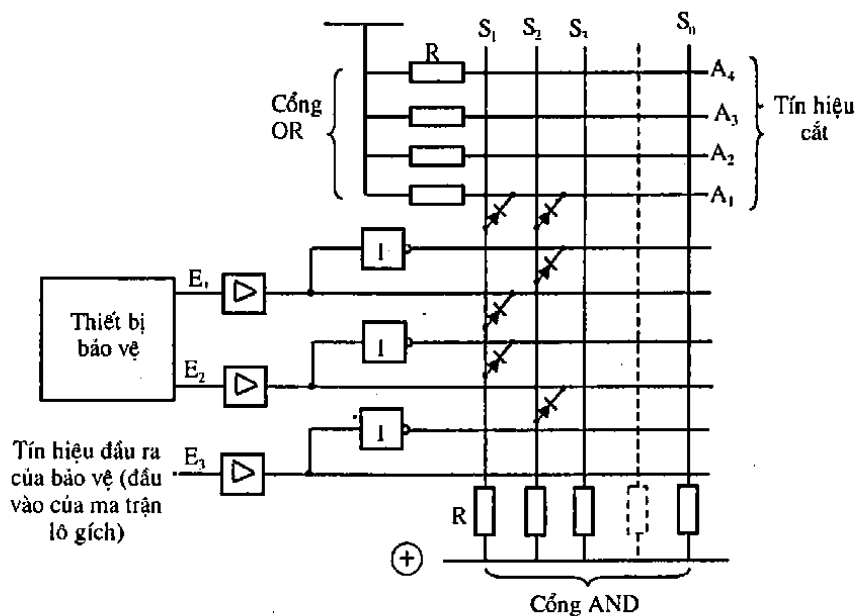
Sơ đồ liên hệ tín hiệu đầu ra của các thiết bị trong hai nhóm bảo vệ cho tổ máy phát điện tuabin hơi công suất lớn - máy biến áp tăng áp trình bày trên hình 5.54. Đầu ra của các thiết bị bảo vệ được liên hệ với các thiết bị thừa hành thông qua *mạch lô gích cắt* MLC. Đôi khi để ngăn chặn tác động nhầm của bảo vệ và các thiết bị tự động, cũng như để đảm bảo phối hợp một trình tự làm việc xác định giữa bảo vệ rơle và các thiết bị tự động khác, người ta còn dùng các tín hiệu khoá, chúng được liên hệ với nhau thông qua *mạch lô gích khoá*. Trên hình 5.55 trình bày sơ đồ nguyên lý mối liên hệ giữa hai mạch lô gích này.



Hình 5. 54. Liên hệ tín hiệu đầu ra của các bảo vệ bộ máy phát điện - máy biến áp với thiết bị thừa hành thông qua mạch lô gích cắt.



Hình 5.55. Sơ đồ cấu trúc biểu diễn liên hệ giữa các tín hiệu của hệ thống logic cắt và lò gích khóa.



Hình 5.56. Sơ đồ đơn giản biểu diễn nguyên lý làm việc của ma trận lò gích cắt theo chương trình.

Từ hình 5.55 có thể nhận thấy rằng, tín hiệu phản ánh trạng thái của đối tượng được bảo vệ đặt vào nhóm thanh cái ngang của ma trận lô gích kiểm tra MLKT và ma trận lô gích khoá MLKH. Theo cách bố trí của điôt chuyển mạch, tín hiệu khoá được đưa vào nhóm thanh cái đứng của ma trận lô gích khoá MLKH để lựa chọn loại thiết bị bảo vệ.

Trên hình 5.56 trình bày sơ đồ nguyên lý của ma trận lô gích cắt. Tín hiệu đầu ra của thiết bị bảo vệ BV có cực tính dương. Phần trên của ma trận tạo nên cổng lô gích “HOẶC LÀ” (OR) còn phần dưới tạo nên cổng lô gích “VÀ” (AND). Có thể thấy rằng kênh cắt A1 chỉ mang cực tính dương khi và chỉ khi một trong hai tín hiệu đầu vào ma trận từ thiết bị bảo vệ E1 và E2 có cực tính dương, nghĩa là:

$$A_1 = 1 \text{ khi } E_1 = 1 \text{ và } E_2 = 0 ; \text{ hoặc}$$

$$\text{khi } E_1 = 0 \text{ và } E_2 = 1 .$$

Về mặt lô gích có thể viết:

$$A_1 = (E_1 . \overline{E_2}) \vee (\overline{E_1} . E_2)$$

Số hạng đầu tiên của vế phải được hình thành bởi thanh cái S1, thanh cái này mang cực tính dương nếu $E_1 = 1$ và $E_2 = 0$ v.v...

Trong sơ đồ bảo vệ bộ máy phát điện - máy biến áp công suất lớn, ma trận lô gích cắt có thể có hàng mấy chục đầu vào và cỡ vài chục đầu ra.

5.4. BẢO VỆ CÁC HỆ THỐNG THANH GÓP VÀ BẢO VỆ DỰ PHÒNG MÁY CẮT HỎNG

Nhiệm vụ của bảo vệ hệ thống thanh góp nhằm loại trừ các sự cố xảy ra trên bản thân các thanh góp, cũng như trên các đoạn thanh dẫn nối thanh góp đến máy cắt điện của các phần tử liên hệ trực tiếp với thanh góp.

Khi xảy ra ngắn mạch duy trì trong vùng tác động của bảo vệ thanh góp, bảo vệ gửi tín hiệu đi cắt tất cả các máy cắt nối với thanh góp bị hư hỏng.

Khi ngắn mạch xảy ra trên một phần tử nào đó nối với thanh góp mà máy cắt của phần tử này không cắt được vì hư hỏng thì bảo vệ thanh góp phải tác động cắt tất cả các máy cắt có liên quan. Chính vì vậy mà bảo vệ thanh góp và bảo vệ dự phòng chống máy cắt hỏng thường được kết hợp vào cùng một hệ thống.

So với máy phát điện, máy biến áp và các thiết bị khác thì xác suất hư hỏng của thanh góp bé hơn nhiều, tuy nhiên do thanh góp là đầu mối liên hệ của nhiều phần tử trong hệ thống, sự cố xảy ra trên thanh góp nếu không được loại trừ một cách nhanh chóng và tin cậy thì có thể dẫn đến những hậu quả rất nghiêm trọng và làm tan rã hệ thống.

Vì vậy bảo vệ thanh góp cần thỏa mãn những đòi hỏi rất cao về chọn lọc, độ tác động nhanh, tin cậy và thích ứng với mọi cấu hình của thanh góp.

Để thực hiện bảo vệ thanh góp người ta thường sử dụng những nguyên lý sau đây: so sánh dòng điện có hãm; so lệch dòng điện dùng role có tổng trở cao, so sánh pha dòng điện, kết hợp bảo vệ thanh góp với bảo vệ các phần tử nối với thanh góp.

5.4.1. Bảo vệ so lệch dòng điện có hãm

Nguyên lý so lệch dòng điện có hãm đã trình bày trước đây, ở đây chỉ xét thêm một số đặc điểm khi áp dụng nguyên lý này để thực hiện bảo vệ thanh góp.

Trên hình 5.57 trình bày sơ đồ nguyên lý của bảo vệ so lệch dòng điện có hãm dùng cho hệ thống thanh góp đơn.

Dòng điện làm việc I_{LV} bằng tổng véc tơ của dòng điện thứ cấp tất cả n phần tử nối với thanh góp :

$$I_{LV} = \left| \sum_{i=1}^n \dot{I}_{Ti} \right| = \left| \dot{I}_{T1} + \dot{I}_{T2} + \dots + \dot{I}_{Tn} \right| \quad (5-48)$$

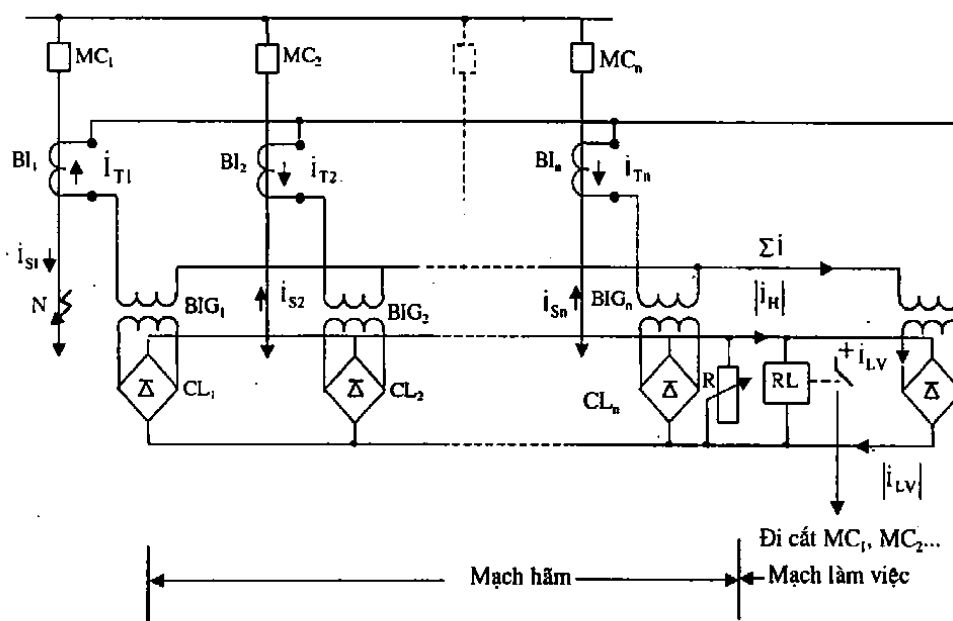
Dòng điện hãm I_H tỉ lệ với tổng đại số của dòng điện thứ cấp tất cả n phần tử:

$$I_H = K_H \cdot \sum_{i=1}^n \dot{I}_{Ti} = K_H (\dot{I}_{T1} + \dot{I}_{T2} + \dots + \dot{I}_{Tn}) \quad (5-49)$$

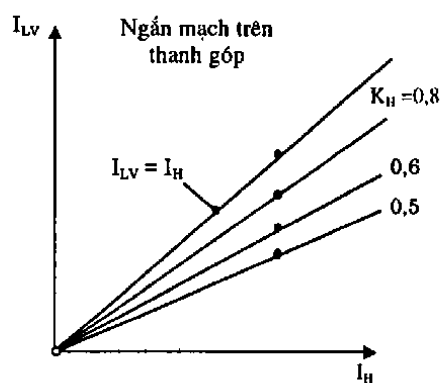
trong đó : K_H là hệ số hãm, biểu thị quan hệ:

$$K_H = \frac{I_{LV}}{I_H} \quad (5-50)$$

Hệ số hãm có thể được điều chỉnh (bằng cách thay đổi trị số của điện trở R trên hình 5.57) để có thể đảm bảo hiệu ứng hãm tin cậy khi có ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ, ngay cả khi mức độ bão hoà của máy biến dòng không giống nhau sao cho $I_H > I_{LV}$.



Hình 5.57. Sơ đồ bảo vệ hệ thống thanh góp đơn bằng nguyên lý so lệch dòng điện có hãm.

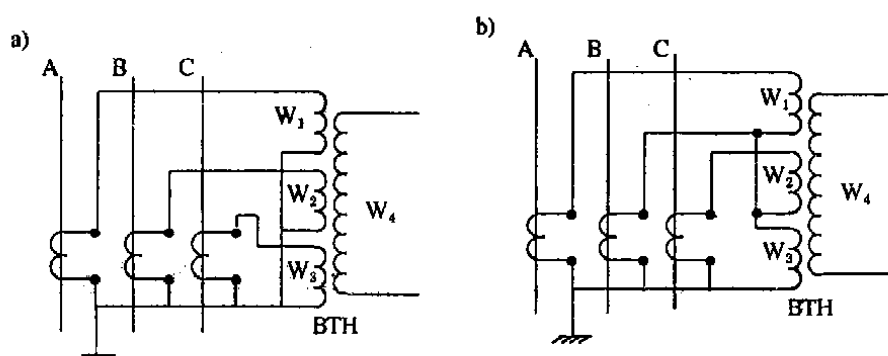


Hình 5.58. Đặc tính bảo vệ thanh góp dùng dòng điện hãm

Thông thường người ta chọn K_H từ 0,5 đến 0,9 (H.5.58). Trong trường hợp máy biến dòng đặt ở các phần tử nối với thanh góp có tỷ số biến đổi khác nhau cần phải dùng thêm máy biến dòng trung gian để cân bằng dòng điện thứ cấp.

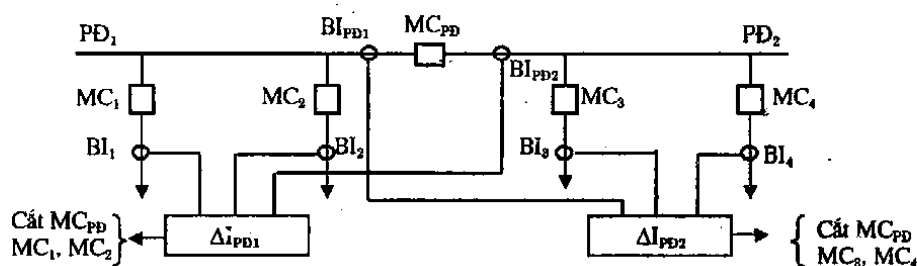
Để đơn giản sơ đồ nối dây phía thứ cấp của bảo vệ và tiết kiệm dây dẫn, người ta sử dụng các máy biến dòng tổ hợp để chuyển hệ dòng điện thứ cấp 3 pha thành hệ một pha. Trên hình 5.59 trình bày ví dụ hai phương án sử dụng biến dòng tổ hợp trong trường hợp thông thường (a) và để tăng độ nhạy khi có sự cố chạm đất (b).

Đối với trường hợp hệ thống thanh góp có phân đoạn (H.5.60), mỗi phân đoạn được bảo vệ riêng và máy cắt phân đoạn MC_{PD} được xem như thuộc cả hai phân đoạn.



Hình 5.59. Dùng máy biến dòng tổ hợp BTH để giảm số lượng dây dẫn phía thứ cấp.

a) Sơ đồ thông thường; b) Sơ đồ tăng độ nhạy chống ngắn mạch chạm đất.



Hình 5.60. Sơ đồ bảo vệ thanh góp có phân đoạn

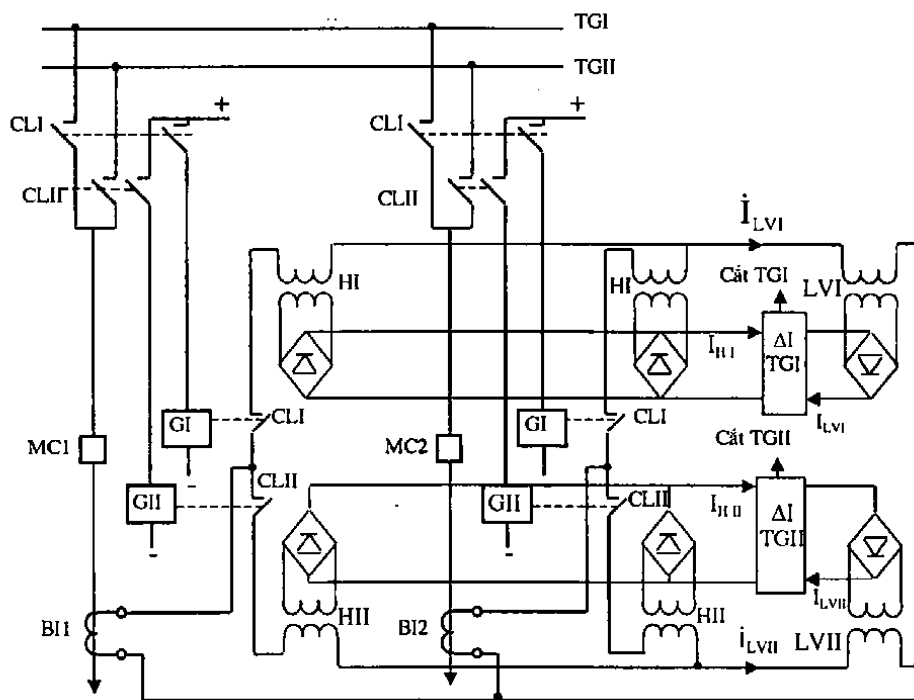
Đối với các hệ thống thanh góp phức tạp như hệ thống hai thanh góp (thanh góp kép); hệ thống hai thanh góp có thanh góp đường vòng; sơ đồ 1,5 máy cắt; sơ đồ đa giác v.v... Sơ đồ bảo vệ thanh góp cần được thiết kế sao cho có thể tự động thích ứng được với sự thay đổi cấu hình của các phần tử phía sơ cấp và tín

hiệu cắt chỉ gửi đi cắt máy cắt các phần tử liên hệ trực tiếp với phần thanh góp bị hư hỏng, máy cắt của các phần tử khác vẫn tiếp tục làm việc bình thường.

Để đảm bảo yêu cầu này người ta thường sử dụng phương pháp tổ hợp lô gích các tiếp điểm phụ phản ánh vị trí của các phần tử (qua dao cách ly) trong hệ thống thanh góp.

Trên hình 5.61 chỉ ra sơ đồ nguyên lý của bảo vệ hệ thống hai thanh góp liên hệ với nhau thông qua role phản ánh vị trí của dao cách ly nổi thanh góp. Thực tế việc chuyển đổi trong mạch thứ cấp của máy biến dòng không được làm hở mạch dòng điện.

Trong các bảo vệ hiện đại, vị trí của các phần tử được phản ánh qua hệ thống tín hiệu điện tử và vị trí của từng phần tử được “ghi nhớ” ngay cả trong trường hợp mất nguồn điện thao tác. Ngoài ra bảo vệ còn cảnh báo trong trường hợp hư hỏng mạch thứ cấp (đứt dây, chập mạch) hoặc cuộn dây của biến dòng sai cực tính khi chuyển đổi v.v...



Hình 5.61. Bảo vệ so lệch có hãm hệ thống hai thanh góp.

5.4.2. Bảo vệ so lệch thanh góp dùng role tổng trở cao

Nguyên lý làm việc của bảo vệ so lệch dùng role tổng trở cao đã xem xét trước đây. Trên hình 5.62 trình bày phương án thực hiện bảo vệ so lệch dùng role tổng trở cao đối với thanh góp. Để đơn giản, ta xét trường hợp sơ đồ thanh góp chỉ có hai phần tử với máy biến dòng có thông số hoàn toàn giống nhau. Dùng sơ đồ thay thế hình Γ của máy biến dòng, ta có mạch đẳng trị của sơ đồ hình 5.62 như trên hình 5.63. Nếu các máy biến dòng có thông số hoàn toàn giống nhau thì $R_1 = R_2$ (R là điện trở của cuộn dây máy biến dòng và dây nối trong bảo vệ) và $X_{\mu 1}, X_{\mu 2}$ là điện kháng mạch từ hoá. Ở chế độ ngắn mạch ngoài, nếu các máy biến dòng không bị bão hoà thì X_{μ} có trị số khá lớn (H.5.63,a) dòng điện trong mạch từ hoá có thể bỏ qua, vì phía sơ cấp của máy biến dòng dòng điện ra vào nút cân bằng nhau nên phía thứ cấp dòng điện “tuần hoàn” không chạy qua role, role không tác động.

Trường hợp tồi tệ nhất là máy biến dòng đặt trên phần tử có sự cố bão hoà hoàn toàn.

Trường hợp này có thể xem $X_{\mu 1} = 0$ (H.5.63,b), mạch thứ cấp của BI_1 coi như bị nối tắt và phụ tải phía thứ cấp của BI_2 bằng 2 điện trở ghép song song nhau, điện trở cao của mạch role R và điện trở R_1 của cuộn dây máy biến dòng bị bão hoà cộng với dây nối từ máy biến dòng này đến role.

Điện trở của mạch role R (còn gọi là điện trở ổn định) được chọn sao cho điện áp giáng trên R_1 (cũng là điện áp đặt trên role U_R) không vượt quá điện áp khởi động của role.

Ta có điện áp đặt trên role bằng:

$$U_R = I_{TN \max} \cdot R_1, \quad (5-51)$$

trong đó : $I_{TN \max}$ - dòng ngắn mạch ngoài lớn nhất ở phía thứ cấp của máy biến dòng.

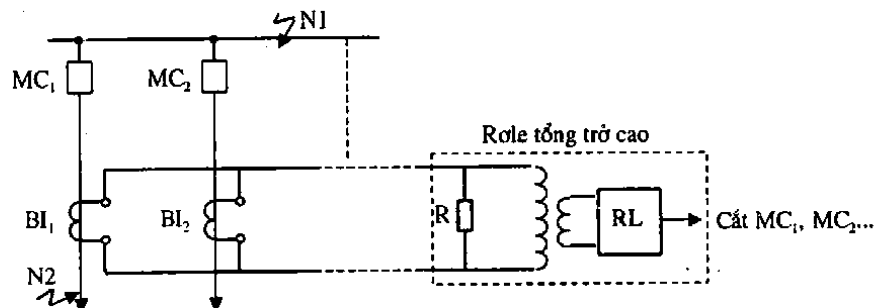
Để tránh bảo vệ tác động nhầm do máy biến dòng bị bão hoà người ta thường chọn:

$$U_{kd} \geq 2,5 \cdot I_{TN \max} (R_{BI} + 2R_{dd}). \quad (5-52)$$

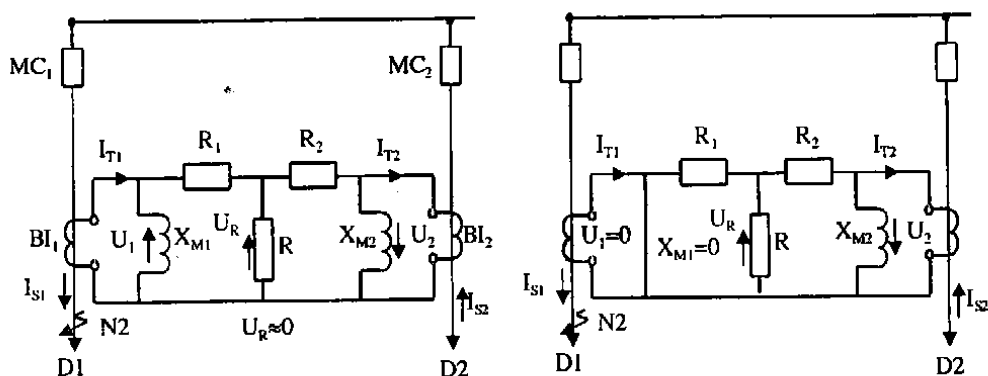
trong đó : R_{BI} - điện trở của cuộn dây máy biến dòng ;

R_{dd} - điện trở dây nối từ máy biến dòng xa nhất đến role.

Muốn tăng độ nhạy của bảo vệ cần chọn máy biến dòng có điện trở cuộn dây R_{BI} bé và giảm đến mức thấp nhất điện trở của dây nối.



Hình 5.62. Bảo vệ thanh gáp bằng role so lệch có tổng trở cao.



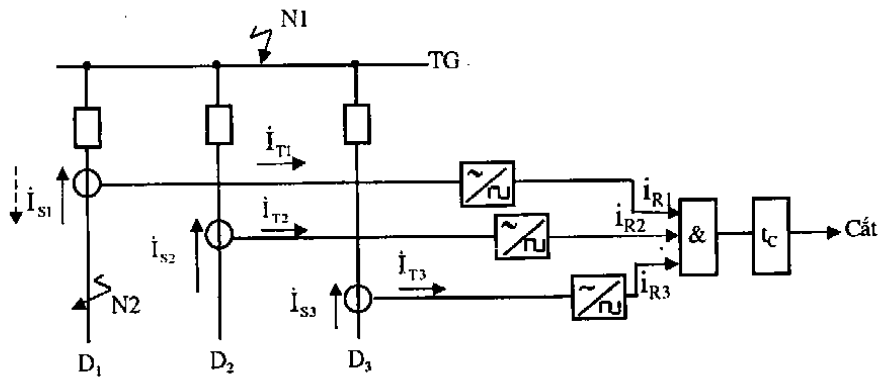
Hình 5.63. Mạch điện đẳng trị của bảo vệ so lệch dùng role tổng trở cao khi có ngắn mạch ngoài.

- a) Chế độ bình thường và ngắn mạch ngoài khi các máy biến dòng không bị bão hoà;
b) Khi ngắn mạch ngoài và máy biến dòng ở phần tử sự cố bị bão hoà hoàn toàn.

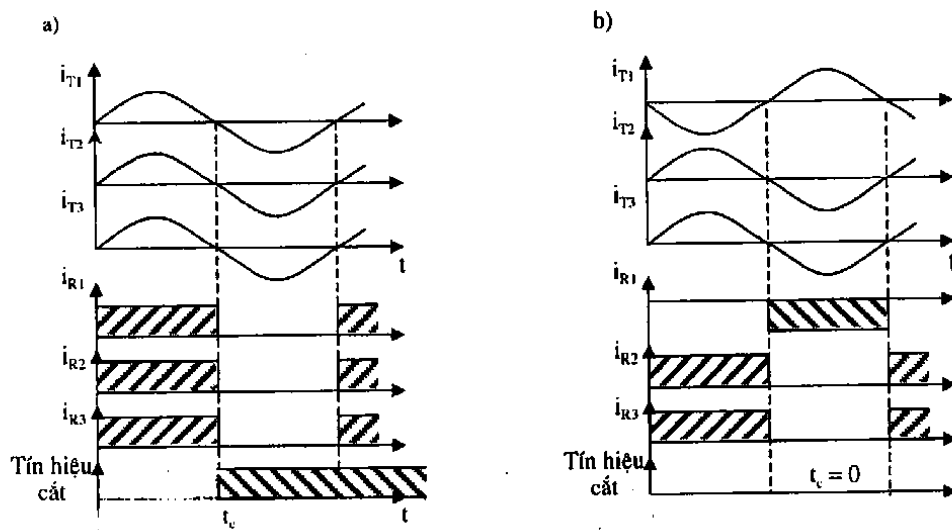
Khi ngắn mạch trên thanh gáp, tất cả dòng điện phía sơ cấp đều chạy vào thanh gáp, ở phía thứ cấp tất cả dòng điện đều chạy qua role, có thể gây quá điện áp trên cực của role. Để bảo vệ chống quá áp cho role có thể mắc song song với role một điện trở phi tuyến.

5.4.3. Bảo vệ thanh gáp dùng nguyên lý so sánh pha dòng điện

Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ thanh gáp bằng cách so sánh pha dòng điện trình bày trên hình 5.64. Khi ngắn mạch trên thanh gáp (điểm N1) dòng điện sơ cấp và thứ cấp của BI ở tất cả các phần tử có pha giống nhau (H.5.65,a) thời gian trùng hợp tín hiệu t_c cho nửa chu kỳ (dương hoặc âm) lớn (đối với hệ thống có $f_{dd} = 50$ Hz thời gian $t_{c\max} = 10$ ms) đủ cho bảo vệ tác động ($t_c \geq t_d$).



Hình 5.64. Sơ đồ nguyên lý so sánh pha dòng điện để thực hiện bảo vệ thanh góp.



Hình 5.65. Pha dòng điện khi ngắn mạch bên trong (a) và bên ngoài (b) thanh góp.

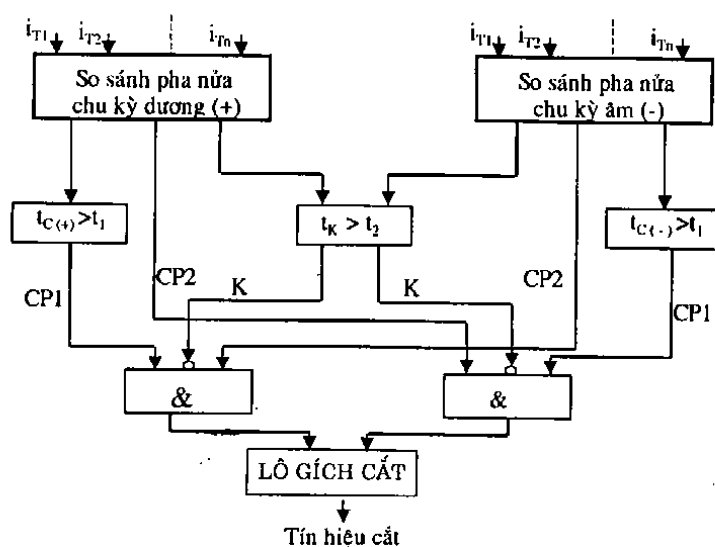
Khi ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ thanh góp (điểm N2), dòng điện chạy qua máy biến dòng của phần tử sự cố có pha ngược với dòng điện trong các máy biến dòng khác, thời gian trùng hợp tín hiệu cùng cực tính bằng không, bảo vệ sẽ không làm việc (H.5.65,b). Trên thực tế do sai số của máy biến dòng, do sự có mặt của thành phần một chiều trong dòng điện sự cố, đặc biệt do hiện tượng bão hoà khác nhau của biến dòng mà thời gian trùng hợp tín hiệu cùng cực tính

có thể thay đổi, vì vậy phải bổ sung thêm một số điều kiện trong lô gích tác động của bảo vệ nhằm đảm bảo tính chọn lọc cao.

Trên hình 5.66 trình bày sơ đồ nguyên lý của lô gích tác động khi so sánh pha dòng điện trong bảo vệ thanh góp. Cần thoả mãn ba điều kiện sau đây khi hình thành tín hiệu tác động cắt:

- Thời gian trùng hợp tín hiệu nửa chu kỳ dương $t_{C(+)}$ và nửa chu kỳ âm $t_{C(-)}$ của dòng điện ở tất cả các phần tử nối với thanh góp cần phải lớn hơn t_1 ($t_1 > 5$ ms) để phát đi tín hiệu cho phép CP1.
- Thời gian không trùng hợp tín hiệu t_k phải bé hơn t_2 ($t_2 < 3,33$ ms), nếu không sẽ có tín hiệu khoá KH.
- Ở nửa chu kỳ ngược cực tiếp theo, thời gian trùng hợp tín hiệu phải vượt quá 1- 2 ms để phát đi tín hiệu cho phép CP2.

Trong trường hợp BI bị bão hoà nặng, các điều kiện đề ra trên đây có thể vẫn không đảm bảo được chọn lọc, khi ấy thay vì các đại lượng dòng điện I_{T1} , I_{T2} ... cần phải lấy đạo hàm của chúng $\frac{dI_{T1}}{dt}$, $\frac{dI_{T2}}{dt}$, ... để so sánh.

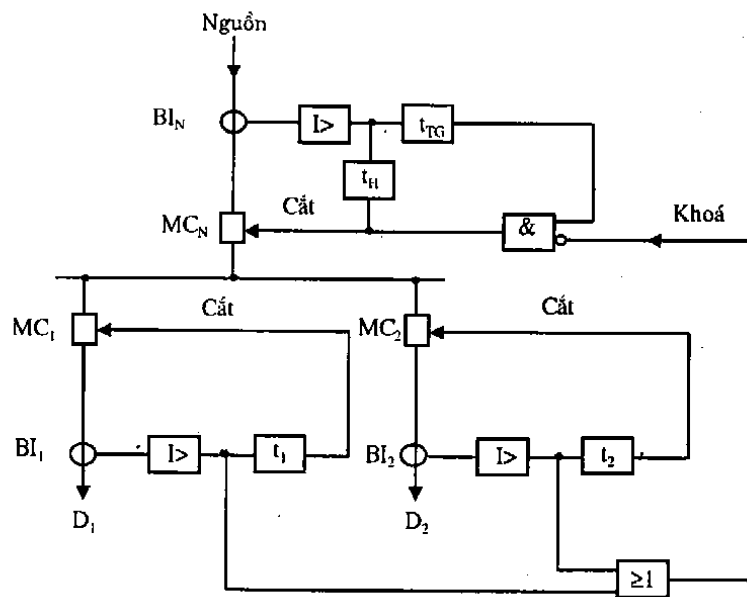


Hình 5.66. Cấu trúc lô gích của sơ đồ so sánh pha dòng điện dùng trong bảo vệ so lệch thanh góp.

5.4.4. Kết hợp bảo vệ quá dòng điện của các phần tử lân cận để bảo vệ thanh góp

Đối với các thanh góp đơn trong mạng trung áp được cấp điện từ một nguồn, có thể kết hợp bảo vệ quá dòng điện của các phần tử lân cận để bảo vệ thanh góp. Để giảm thời gian loại trừ sự cố trên thanh góp xuống mức thấp nhất, cần khoá bảo vệ của phần tử nối với nguồn bằng các rơle của các lộ ra cấp điện cho phụ tải. Mối liên hệ giữa các bảo vệ liên quan đến thanh góp trình bày trên hình 5.67. Rơle quá dòng của phần tử nguồn (lộ tổng) có hai cấp thời gian tác động t_H và t_{TG} . Cấp thời gian t_H chọn theo nguyên tắc phối hợp thời gian tác động với các phần tử khác trong hệ thống, còn cấp thời gian t_{TG} để loại trừ sự cố trên thanh góp, bé hơn nhiều so với t_H , thường chọn t_{TG} khoảng vài chục mili giây.

Khi sự cố trên các lộ ra D1, D2, bảo vệ quá dòng ở các lộ này khởi động và gửi ngay tín hiệu khoá qua cổng “HOẶC LÀ” (≥ 1) khoá mạch cắt với thời gian t_{TG} của máy cắt nguồn MC_N . Thông thường sự cố trên đường dây ra sẽ được cắt với thời gian t_1 (MC_1) hoặc t_2 (MC_2) tùy theo vị trí điểm ngắn mạch. Nếu các bảo vệ hoặc máy cắt tương ứng từ chối tác động thì sau thời gian t_H bảo vệ quá dòng ở phần tử nguồn sẽ tác động cắt MC_N .



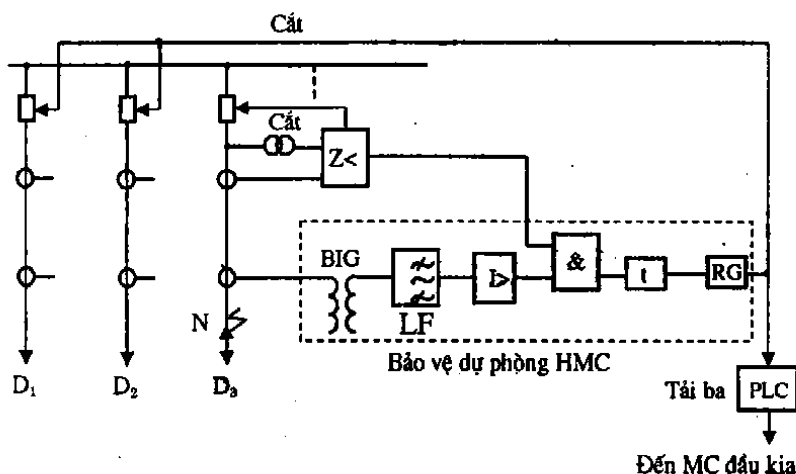
Hình 5. 67. Kết hợp bảo vệ quá dòng ở các phần tử để thực hiện bảo vệ thanh góp.

5.4.5. Bảo vệ dự phòng máy cắt hỏng

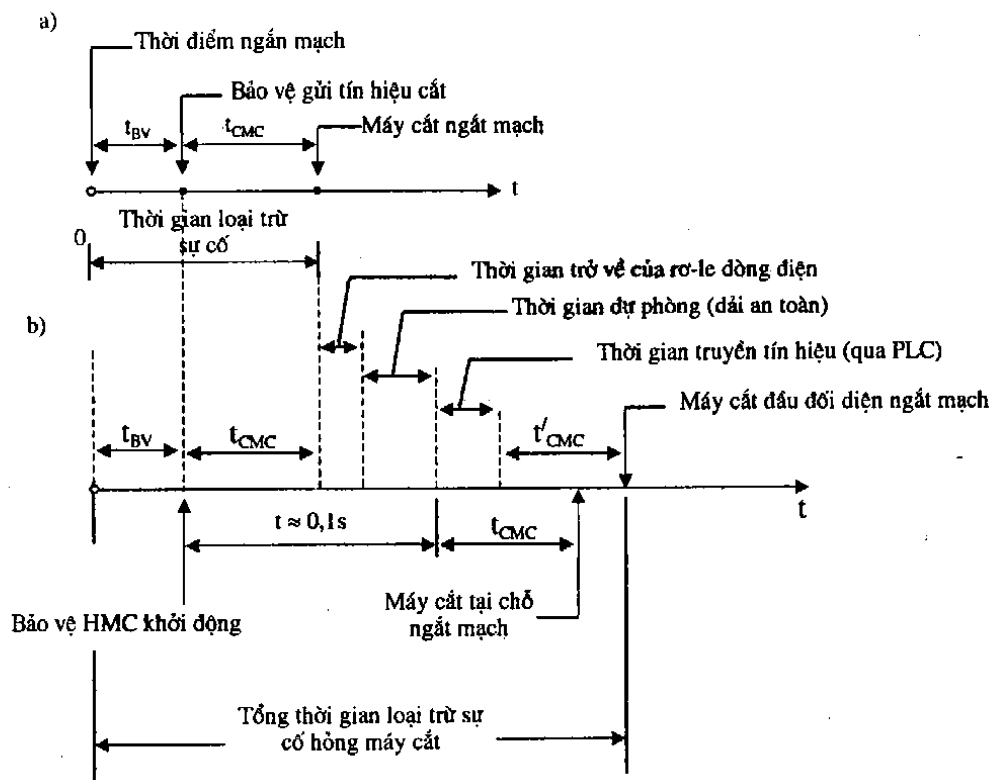
Máy cắt là phần tử thừa hành cuối cùng trong hệ thống bảo vệ có nhiệm vụ cách ly phần tử hư hỏng ra khỏi hệ thống. Vì máy cắt khá đắt tiền nên không thể tăng cường độ tin cậy bằng cách đặt thêm máy cắt dự phòng làm việc song song với máy cắt chính được. Nếu máy cắt từ chối tác động thì hệ thống bảo vệ dự phòng phải tác động cắt tất cả những máy cắt lân cận với chỗ hư hỏng nhằm loại trừ dòng ngắn mạch đến chỗ sự cố. Hệ thống bảo vệ này có tên gọi là *bảo vệ dự phòng máy cắt hỏng*.

Khi xảy ra sự cố, nếu bảo vệ ở phần tử bị hư hỏng đã gửi tín hiệu đi cắt máy, nhưng sau một khoảng thời gian nào đó dòng điện sự cố vẫn còn tồn tại, có nghĩa là máy cắt đã từ chối tác động.

Hình 5.68 trình bày nguyên lý phối hợp tác động giữa bảo vệ của phần tử nối với thanh góp (bảo vệ khoảng cách chẳng hạn) với bảo vệ dự phòng máy cắt hỏng HMC. Trên hình 5.69 biểu diễn đặc tính thời gian loại trừ sự cố cho hai trường hợp : a) Khi máy cắt làm việc bình thường và b) Khi máy cắt từ chối tác động. Một yêu cầu quan trọng là role quá dòng trong bảo vệ dự phòng chống máy cắt hỏng phải có thời gian trở về càng bé càng tốt ($< 20\text{ ms}$) ngay cả khi máy biến dòng bị bão hoà mạnh.



Hình 5.68. Sơ đồ nguyên lý bảo vệ dự phòng hỏng máy cắt (HMC).



Hình 5.69. Biểu đồ thời gian loại trừ sự cố khi máy cắt làm việc bình thường (a) và khi hư hỏng máy cắt (b).

Từ hình 5.68 có thể nhận thấy rằng, khi sự cố xảy ra trên D3 nếu máy cắt MC3 làm việc bình thường thì sau khi bảo vệ gửi tín hiệu cắt, máy cắt MC₃ sẽ cắt và dòng điện đầu vào của bảo vệ dự phòng hỏng máy cắt HMC bằng không, bảo vệ sẽ không thể khởi động được.

Nếu máy cắt MC₃ hỏng, từ chối tác động thì dòng điện sự cố sẽ liên tục đưa vào bảo vệ HMC, rơle quá dòng được giữ ở trạng thái tác động, sau khoảng 100 ms bảo vệ HMC gửi tín hiệu đi cắt tất cả các máy cắt nối trực tiếp với phân đoạn thanh góp có máy cắt hỏng, cũng như máy cắt ở đầu đối diện của đường dây bị sự cố D3.

Như trên đã nói, hiện nay người ta kết hợp bảo vệ dự phòng máy cắt hỏng vào hệ thống bảo vệ thanh góp để có thể sử dụng các chức năng của bảo vệ thanh góp, đặc biệt là với các hệ thống thanh góp phức tạp, cần tự động thích

ngiht với cấu hình cụ thể của thanh góp thông qua hệ thống tiếp điểm phụ phản ánh vị trí của các dao cách ly nối thanh góp.

5.5. BẢO VỆ CÁC ĐỘNG CƠ ĐIỆN BA PHA ĐIỆN ÁP CAO

Các loại sự cố bên trong, bên ngoài động cơ cũng như chế độ vận hành không đúng đều có thể gây nguy hại cho động cơ điện.

Những sự cố bên trong bao gồm ngắn mạch giữa các cuộn dây, chạm chập giữa các vòng dây và cuộn dây bị chạm đất. Những sự cố bên ngoài động cơ điện gồm các dạng ngắn mạch trong lưới điện làm trụt điện áp của nguồn cung cấp, chế độ vận hành không đối xứng, đứt dây hoặc hở mạch 1 pha ... Chế độ vận hành không đúng có thể xảy ra do điện áp đặt vào động cơ bị tụt thấp, quá tải khi khởi động và trong quá trình làm việc, phụ tải không đối xứng do hệ thống điện áp nguồn mất cân bằng, ngắn mạch giữa các pha và ngắn mạch chạm đất trên đường dây cấp điện cho động cơ, chế độ mất đồng bộ đối với động cơ đồng bộ v.v...

Chế độ sự cố, làm việc không bình thường và các thiết bị bảo vệ thường được sử dụng cho động cơ điện được liệt kê trong bảng 5-3.

Bảng 5.3. Các dạng sự cố, làm việc không bình thường và các loại bảo vệ thường dùng cho động cơ 3 pha điện áp cao

Dạng sự cố, không bình thường		Loại bảo vệ
Ngắn mạch giữa các cuộn dây, giữa các pha trên đường cấp điện cho động cơ.		Quá dòng điện hoặc so lệch dòng điện
Chạm chập giữa các vòng dây		Quá dòng hoặc quá dòng có hướng
Quá tải	Khi khởi động	Kiểm tra thời gian khởi động
	Khi làm việc bình thường	Chống quá tải
Mất cân bằng giữa các pha		Dòng thứ tự nghịch
Tụt điện áp		Điện áp thấp
Động cơ đồng bộ vận hành mất đồng bộ		Chống mất đồng bộ

Cần lưu ý rằng trong bảng 5.3, đối với dạng sự cố chạm chập giữa các vòng dây trong nhiều trường hợp khó phát hiện bằng bảo vệ quá dòng, vì khi xảy ra loại sự cố này dòng điện pha bên ngoài động cơ có thể thay đổi không đáng kể,

nhưng thông thường khi các vòng dây chạm nhau, cách điện dây quấn bị hỏng và có thể kèm theo chạm đất, khi ấy có thể sử dụng bảo vệ quá dòng thứ tự không có hướng có độ nhạy cao để phát hiện sự cố.

5.5.1. Bảo vệ quá dòng điện

Để thực hiện bảo vệ quá dòng điện cho các động cơ điện ba pha điện áp cao người ta thường sử dụng sơ đồ hình V với hai máy biến dòng đặt trên 2 pha. Trị số xung kích I_{XK} của dòng điện mở máy của động cơ điện lồng sóc có thể đạt đến 10÷15 lần dòng điện danh định của động cơ (H.5.70), tuy nhiên dòng điện xung kích này chỉ tồn tại không quá vài chu kỳ, vì vậy nếu cho bảo vệ quá dòng điện làm việc với độ trì hoãn khoảng 3 chu kỳ (khoảng 60 ms với tần số 50 Hz) thì dòng điện khởi động của bảo vệ có thể chọn theo trị số trung bình I_{mm} của dòng điện mở máy :

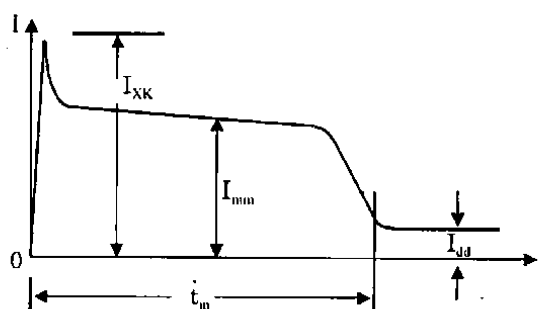
$$I_{kd} = K_{at} \cdot I_{mm} , \quad (5-53)$$

trong đó: K_{at} - hệ số an toàn, có thể chọn $K_{at} = 1,2 \div 1,3$; I_{mm} - trị số trung bình của dòng mở máy, thường bằng 3 ÷ 6 lần dòng điện danh định của động cơ.

Dòng điện khởi động chọn theo (5-53) thường có trị số rất lớn và bảo vệ quá dòng sẽ không đủ độ nhạy khi ngắn mạch xảy ra ở gần trung điểm cuộn dây động cơ, đặc biệt là khi nguồn cung cấp có công suất bé.

Đối với động cơ có rôto dây quấn, dòng điện mở máy của động cơ thường bé hơn động cơ lồng sóc và phần được bảo vệ của cuộn dây động cơ sẽ rộng hơn.

Hình 5.70. Dòng điện của stator của động cơ không đồng bộ khi mở máy.



5.5.2. Bảo vệ so lệch dòng điện

Để chống ngắn mạch giữa các pha trong động cơ lồng sóc cũng như động cơ đồng bộ công suất lớn, người ta thường dùng bảo vệ so lệch dòng điện có hãm.

Dòng khởi động của bảo vệ so lệch thường chọn:

$$I_{kd} \geq 0,5 \cdot I_{dd} , \quad (5-54)$$

trong đó I_{dd} là dòng điện danh định của động cơ.

Bảo vệ so lệch có dòng khởi động chọn theo (5-54) có độ nhạy cao hơn nhiều so với bảo vệ quá dòng với dòng khởi động chọn theo (5-53).

Hệ số hãm K_H (xem hình 5.58) được chọn sao cho khi có ngắn mạch trong hệ thống cấp điện bảo vệ so lệch của động cơ không tác động sai.

5.5.3. Bảo vệ chống chạm đất cuộn dây stato

Tùy theo hệ thống nối đất của lưới cung cấp điện mà chọn loại bảo vệ chống chạm đất cuộn dây stato.

Trong lưới điện có trung điểm nối đất trực tiếp hoặc nối đất qua điện trở bé sơ đồ bảo vệ quá dòng ba pha nối hình sao dễ dàng phát hiện chạm đất trong cuộn dây stato của động cơ vì dòng điện chạm đất lớn gấp nhiều lần dòng điện danh định của động cơ.

Trong lưới điện có trung điểm cách ly với đất hoặc nối đất qua điện kháng lớn, người ta có thể dùng một trong hai nguyên lý sau để phát hiện chạm đất cuộn dây stato của động cơ điện:

- Quá dòng thứ tự không.
- Hướng của công suất thứ tự không.

Khi dòng điện điện dung do chạm đất chạy qua bảo vệ có trị số lớn hơn hai lần dòng điện chỉnh định của rơle quá dòng, có thể sử dụng sơ đồ *bảo vệ quá dòng thứ tự không* với máy biến dòng có lõi hình xuyên đặt ở đoạn cấp cấp điện cho động cơ. Bảo vệ quá dòng thứ tự không thoả mãn điều kiện này có thể bảo vệ được khoảng 70-80% cuộn dây stato, có nghĩa là khi chạm đất xảy ra ở khoảng 20-30% cuộn dây gần trung điểm, bảo vệ không tác động. Nếu dòng điện điện dung chạm đất bé hơn, vùng bảo vệ càng bị thu hẹp lại.

Nếu dòng điện điện dung quá bé, người ta có thể phát hiện chạm đất theo *hướng của công suất thứ tự không*. Đối với lưới điện có trung điểm không nối đất, bảo vệ được chỉnh định theo công suất biểu kiến còn đối với lưới có đặt cuộn Petersen - theo thành phần tác dụng của công suất thứ tự không. Trong sơ đồ xác định hướng công suất thứ tự không, điện áp được lấy từ đầu ra của cuộn tam giác hở máy biến điện áp đặt ở thanh góp cấp điện cho động cơ.

Cả hai loại bảo vệ nói trên đều tác động cắt động cơ với thời gian khá bé.

5.5.4. Bảo vệ chống quá tải

Từ hình 5.70 có thể thấy rằng, khi mở máy động cơ dòng điện khởi động lớn gấp nhiều lần dòng điện làm việc bình thường, do vậy ứng suất nhiệt tác động lên động cơ cũng cao hơn so với khi làm việc bình thường.

Các động cơ ba pha công suất lớn thường được thiết kế trên cơ sở tính toán với khả năng chịu quá tải rất gần giới hạn cho phép tương ứng với ba lần khởi động liên tiếp từ trạng thái nguội và hai lần từ trạng thái nóng với thời gian mở máy không được vượt quá giới hạn cho phép đối với mỗi lần khởi động.

Khi quá tải, nhiệt độ ở cả rôto và stato của động cơ điện đều tăng cao. Để chống quá tải phía stato người ta kiểm tra thời gian mở máy t_m của động cơ để bảo vệ cho động cơ trong trường hợp bị kẹt không khởi động được. Sơ đồ gồm có role quá dòng có đặc tính thời gian độc lập với dòng điện khởi động được chọn bé hơn dòng điện mở máy trung bình I_{mm} và thời gian làm việc lớn hơn thời gian mở máy bình thường t_m .

Như vậy khi mở máy bình thường role quá dòng có thể khởi động nhưng động cơ không bị cắt, vì thời gian tác động của bảo vệ lớn hơn thời gian mở máy bình thường t_m . Sau thời gian t_m role quá dòng sẽ trở về. Nếu động cơ bị kẹt hoặc quá trình mở máy kéo dài hơn thời gian đặt, động cơ sẽ được cắt ra khỏi lưới.

Trong chế độ vận hành bình thường cũng có thể xảy ra quá tải nhiệt đối với động cơ do hư hỏng về cơ của các máy móc nối với động cơ hoặc ở ngay trong động cơ, do điện áp nguồn bị giảm thấp hoặc do hệ thống làm mát bị trục trặc. Ở hai trường hợp đầu quá tải thường kèm theo tăng dòng điện và thiết bị bảo vệ chống quá tải cũng có thể làm việc dựa trên hình ảnh nhiệt với sơ đồ tương tự như sơ đồ bảo vệ chống quá tải cho máy phát điện đã trình bày trên hình 5.30.

Để bảo vệ chống quá tải rôto cần phối hợp đặc tính tác động với phía stato theo quan hệ đã trình bày trên hình 5.29.

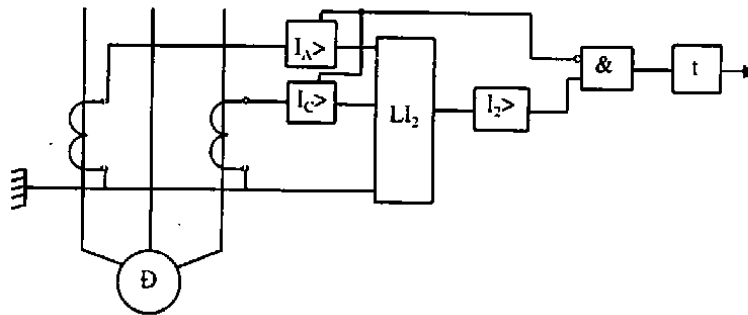
5.5.5. Bảo vệ chống mất đối xứng

Chế độ mất đối xứng giữa các pha thường xảy ra do mất đối xứng của điện áp nguồn điện hoặc hiếm thấy hơn là do đứt dây, hở mạch trong đường dây cấp điện, đứt dây trong cuộn dây stato.

Trong chế độ không đối xứng sẽ xuất hiện thành phần dòng điện thứ tự nghịch với trị số khá lớn, vì điện kháng thứ tự nghịch của động cơ thấp hơn điện kháng thứ tự thuận từ 5 đến 7 lần. Chẳng hạn đối với động cơ không đồng bộ với tương quan $I_{mm}/I_{dd} = 5$ (trong đó I_{mm} là dòng điện mở máy trung bình, I_{dd} là dòng danh định của động cơ) nếu điện áp thứ tự nghịch là 3% thì dòng thứ tự nghịch là 15%.

Dòng thứ tự nghịch, như đã nói trước đây, tạo nên từ thông nghịch quay ngược chiều rôto với tốc độ tương đối 2ω , gây nên dòng cảm ứng rất lớn đốt nóng rôto và ảnh hưởng tăng nhiệt độ đến cả phía stato của động cơ.

Bảo vệ dòng điện thứ tự nghịch đặt ở các động cơ ba pha cao áp thường có dòng điện khởi động được chỉnh định khoảng 10 - 20% dòng danh định với một cấp thời gian tác động khoảng vài giây.



Hình 5. 71. Sơ đồ khối của bảo vệ dòng thứ tự nghịch đặt cho động cơ ba pha cao áp.

Trên hình 5.71 trình bày sơ đồ nguyên lý của bảo vệ dòng thứ tự nghịch dùng cho các động cơ ba pha cao áp. Qua bộ lọc dòng thứ tự nghịch LI_2 đấu với máy biến dòng đặt trên 2 pha của động cơ dòng thứ tự nghịch được đưa đến role quá dòng RI_2 . Hai role quá dòng khác (RI_A và RI_C) kiểm tra dòng pha I_A và I_C . Nếu chúng vượt quá $5.I_{dd}$ (khi mở máy động cơ) các role này thông qua cổng "VÀ" sẽ khoá bảo vệ dòng thứ tự nghịch để ngăn chặn tác động nhầm khi mở máy (có thể do ảnh hưởng của thành phần một chiều trong dòng điện mở máy).

Cần nói thêm rằng bảo vệ dòng thứ tự nghịch cũng có thể tác động với độ nhạy cao chống ngắn mạch giữa các pha trong cuộn dây động cơ, đặc biệt trong vùng gần trung điểm cuộn dây.

5.5.6 Bảo vệ chống điện áp thấp

Nhiệm vụ của bảo vệ chống điện áp thấp là tác động cắt động cơ hoặc một nhóm động cơ ra khỏi lưới điện khi điện áp nguồn xuống thấp dưới giới hạn cho phép hoặc khi bị mất nguồn điện. Sở dĩ phải cắt động cơ ra khỏi lưới trong các trường hợp trên là vì:

- 1) Có một số động cơ điện theo quy trình công nghệ hoặc kỹ thuật an toàn không cho phép tự khởi động trở lại khi nguồn cung cấp được phục hồi sau sự cố.

- 2) Cắt một số các động cơ không quan trọng để đảm bảo điều kiện tự khởi động cho các động cơ không đồng bộ quan trọng khi điện áp nguồn được phục hồi.

Động cơ điện đồng bộ bị cắt do nguyên nhân thứ nhất vì khi trục điện áp thường kéo theo mất đồng bộ.

Để bảo vệ chống điện áp thấp người ta có thể dùng 2 (H.5.72) hoặc 3 role điện áp cực tiểu làm việc qua role thời gian.

Điện áp khởi động :

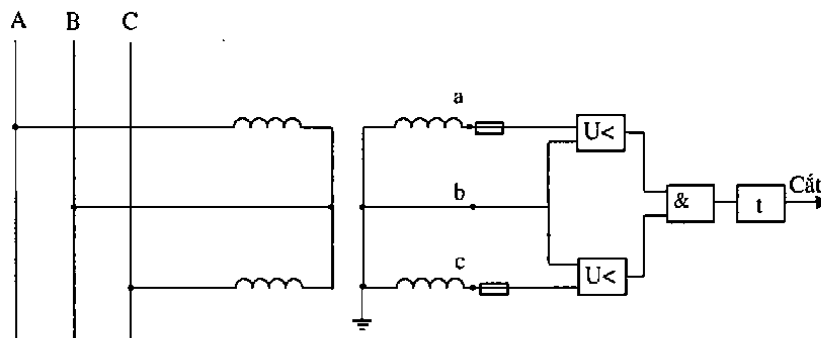
$$U_{kd} = 0,6 U_{dd} , \quad (5-55)$$

trong đó : U_{dd} là điện áp danh định của động cơ.

Thời gian tác động :

$$t = 0,5 \div 0,7 \text{ sec.}$$

Để ngăn ngừa tác động nhầm của bảo vệ khi có hư hỏng trong mạch thứ cấp của máy biến điện áp (nổ cầu chì hoặc nhảy ô-tômát) người ta dùng hai role điện áp cực tiểu liên hệ với nhau theo lô-gíc "VÀ" (H.5.72).



Hình 5. 72. Bảo vệ chống điện áp thấp đặt cho động cơ điện ba pha cao áp.

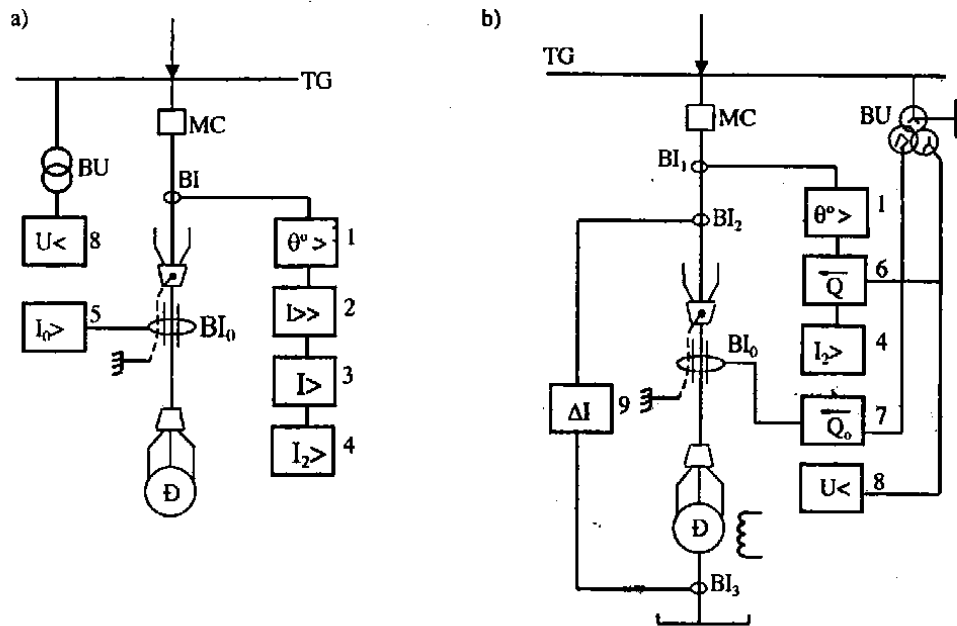
5.5.7. Bảo vệ chống mất đồng bộ đối với động cơ đồng bộ

Động cơ đồng bộ có thể rơi vào chế độ mất đồng bộ khi điện áp nguồn giảm thấp, quá tải cơ, dao động điện hoặc hỏng mạch kích từ. Hậu quả của chế độ mất đồng bộ là: tăng ứng suất nhiệt trong rô-tô, gây ứng lực trên trục động cơ và các máy móc kéo theo và nếu hệ kích từ kiểu chỉnh lưu có thể gây quá áp cho cuộn kích thích.

Có nhiều phương pháp phát hiện mất đồng bộ. Một phương pháp thường dùng dựa trên hiện tượng động cơ sẽ tiêu thụ công suất phản kháng từ lưới điện khi chạy

ở chế độ không đồng bộ. Nếu đặt role công suất (phản kháng) ngược có góc đặc trưng 90° nối vào dòng điện pha và điện áp trên thanh góp của động cơ, bảo vệ sẽ làm việc có thời gian (chừng vài giây) tác động cắt động cơ và khử kích từ.

Một phương pháp khác dựa trên hiện tượng “đập mạch” của dòng điện stato khi làm việc ở chế độ không đồng bộ.



Hình 5.73. Ví dụ về phương thức bảo vệ động cơ 3 pha, điện áp cao, công suất trung bình và lớn (vài MW).

a) Động cơ không đồng bộ; b) Động cơ đồng bộ.

1. Chống quá tải lâu dài; 2. Quá dòng điện; 3. Chống khởi động kéo dài (quá tải mở máy); 4. Dòng thứ tự nghịch; 5. Dòng chạm đất; 6. Mất đồng bộ; 7. Dòng chạm đất có hướng; 8. Điện áp thấp; 9. So lệch dòng điện.

5.5.8. Lựa chọn phương thức bảo vệ động cơ ba pha cao áp

Tùy theo loại động cơ, công suất và công dụng của nó mà chọn phương thức bảo vệ cho thích hợp.

Trên hình 5.73 giới thiệu hai ví dụ về phương thức bảo vệ cho động cơ không đồng bộ 3 pha công suất trung bình (H.5.73,a) và động cơ đồng bộ công suất lớn (vài MW- hình 5.73,b). Với động cơ đồng bộ rất lớn, sơ đồ bảo vệ gần tương tự như máy phát điện đồng bộ.

CÂU HỎI ÔN TẬP

- 5.1. Các dạng hư hỏng và chế độ làm việc không bình thường của máy phát đồng bộ.
- 5.2. Bảo vệ chống chạm đất trong cuộn dây stato máy phát điện đồng bộ.
- 5.3. Bảo vệ chống chạm chập giữa các pha cuộn dây stato máy phát điện.
- 5.4. Bảo vệ chống các vòng dây trong cuộn stato chập nhau.
- 5.5. Bảo vệ chống chạm đất trong cuộn dây rôto của máy phát điện.
- 5.6. Bảo vệ chống dòng điện thứ tự nghịch trong cuộn dây stato máy phát điện.
- 5.7. Bảo vệ chống mất kích từ của máy phát điện.
- 5.8. Bảo vệ chống mất đồng bộ (trượt cực từ).
- 5.9. Bảo vệ chống quá tải cho cuộn dây stato và rôto của máy phát điện.
- 5.10. Lựa chọn phương thức bảo vệ máy phát điện.
- 5.11. Các dạng hư hỏng và chế độ làm việc không bình thường của máy biến áp và máy biến áp tự ngẫu.
- 5.12. Các loại bảo vệ đặt ở máy biến áp và biến áp tự ngẫu.
- 5.13. Lựa chọn phương thức bảo vệ cho bộ máy phát điện - máy biến áp.
- 5.14. Liên hệ tín hiệu đầu ra giữa các bảo vệ bộ máy phát điện máy biến áp với các thiết bị thừa hành.
- 5.15. Các loại bảo vệ thanh góp của nhà máy điện và trạm biến áp.
- 5.16. Bảo vệ dự phòng máy cắt hỏng.
- 5.17. Bảo vệ các động cơ điện 3 pha cao áp.

Phần 3

SỬ DỤNG KỸ THUẬT SỐ VÀ MÁY TÍNH TRONG BẢO VỆ VÀ ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG ĐIỆN

Những vấn đề chung về ứng dụng kỹ thuật số trong bảo vệ và điều khiển hệ thống điện

6.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Các loại rơle điện cơ và rơle tĩnh ngày nay hầu như không còn được sản xuất nữa, thay vào đó là những rơle số với những ưu việt rất lớn:

- Tích hợp được nhiều chức năng vào một bộ bảo vệ, nhờ đó mà kích thước của hệ thống bảo vệ và giá thành tương đối có thể giảm rất đáng kể.
- Độ tin cậy và độ sẵn sàng cao nhờ giảm được yêu cầu để bảo trì các chi tiết cơ khí và trạng thái của rơle có thể được tự động kiểm tra thường xuyên.
- Độ chính xác cao nhờ các bộ lọc số và các thuật toán đo lường tối ưu.
- Công suất tiêu thụ bé: ~ 0,1 VA (RL tĩnh ~ 1 VA, RL điện cơ ~ 10 VA).
- Ngoài chức năng bảo vệ còn có thể thực hiện nhiều chức năng đo lường và tự động khác như hiển thị và ghi chép các thông số của hệ thống trong chế độ tải bình thường và chế độ tải sự cố, lưu trữ các dữ liệu cần thiết để giúp ích cho việc phân tích sự cố, xác định vị trí điểm sự cố,....
- Dễ dàng lấy ra được các thông tin đã lưu trữ thông qua cổng nối tiếp của rơle với máy vi tính.
- Dễ dàng liên kết với các thiết bị bảo vệ khác và với mạng thông tin đo lường, điều khiển và bảo vệ toàn HTĐ.

Các rơle số hiện đại thường được chế tạo theo quan điểm “mỗi phần tử của HTĐ được bảo vệ bằng một rơle tổ hợp”. Chẳng hạn để bảo vệ các đường dây tải điện, người ta kết hợp trong một rơle các chức năng sau đây:

- Bảo vệ khoảng cách có tính năng được bổ sung và mở rộng.
- Bảo vệ quá dòng, quá dòng thứ tự không, quá dòng có hướng, quá điện áp, mất đồng bộ v.v...
- Bộ phận ghép nối để thực hiện liên động giữa các bảo vệ.
- Tự động đóng trở lại máy cắt điện.
- Kiểm tra đồng bộ.

Từ bộ nhớ của role có thể nhận được các thông tin sau đây:

- Khoảng cách đến chỗ sự cố.
- Dòng và áp sự cố.
- Thông số khởi động của role, các đại lượng chỉnh định và thời gian làm việc.
- Thông số của phụ tải (U, I, P, Q, f).

Để làm nhiệm vụ dự phòng, có thể sử dụng một bộ bảo vệ khác với tính năng và nguyên lý làm việc, hoặc nhà sản xuất khác với bộ bảo vệ chính.

Thông số làm việc của role có thể xác định trực tiếp (bằng các phím bấm trên role), từ xa (thông qua kênh thông tin) hoặc chỉnh định tự động theo nguyên lý tự thích nghi với chế độ làm việc và cấu hình của hệ thống.

6.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA ROLE SỐ

Role số làm việc trên nguyên tắc đo lường số. Các trị số của đại lượng tương tự dòng và áp nhận được từ phía thứ cấp của máy biến dòng điện và máy biến điện áp là những biến đầu vào của role số.

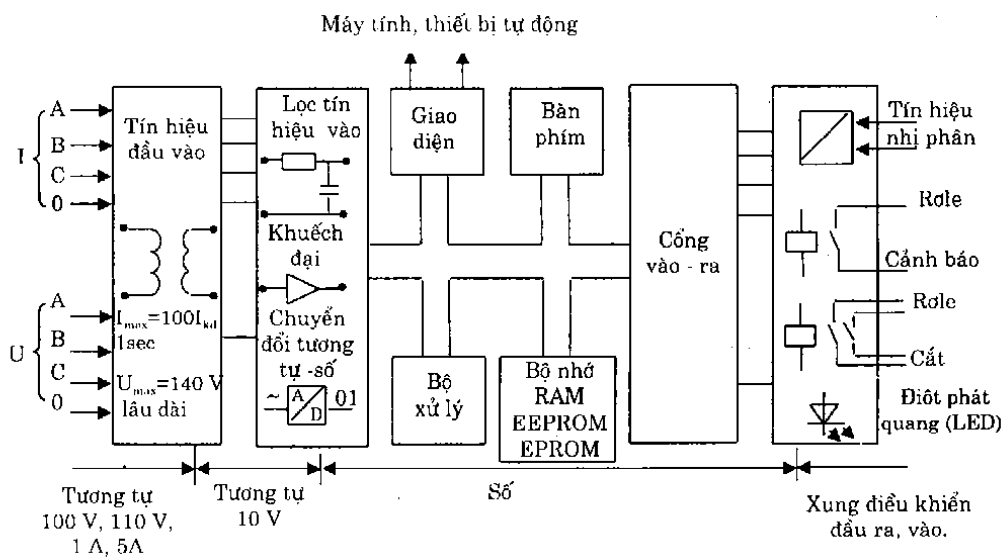
Sau khi qua các bộ lọc tương tự, bộ lấy mẫu (chặt hoặc băm đại lượng tương tự theo một chu kỳ nào đó), các tín hiệu này sẽ được chuyển thành các tín hiệu số. Tùy theo nguyên tắc bảo vệ, tần số lấy mẫu có thể thay đổi trong khoảng từ 12 đến 20 mẫu trong một chu kỳ của dòng điện công nghiệp.

Đối với một số role (thường dùng cho các bảo vệ máy phát điện) tần số lấy mẫu có thể được kiểm tra liên tục tùy thuộc vào trị số hiện hữu của tần số hệ thống.

Nguyên lý làm việc của role dựa trên giải thuật tính toán theo chu trình các đại lượng điện (chẳng hạn như tổng trở mạch điện) từ trị số của dòng và áp đã lấy mẫu. Trong quá trình tính toán liên tục này sẽ phát hiện ra chế độ sự cố sau một vài phép tính nối tiếp nhau, khi đó bảo vệ sẽ tác động, bộ xử lý sẽ gửi tín hiệu đến các role đầu ra để điều khiển cắt máy cắt.

Sơ đồ khối của role số trình bày trên hình 6.1. Một ưu điểm quan trọng của role số là có thể thực hiện việc tự kiểm tra và cảnh báo trạng thái của từng khối chức năng trong role: Từ trị số của đại lượng tương tự đầu vào đến bộ chuyển đổi tương tự/số (so sánh với các trị số chuyển đổi chuẩn), bộ vi xử lý (phần cứng

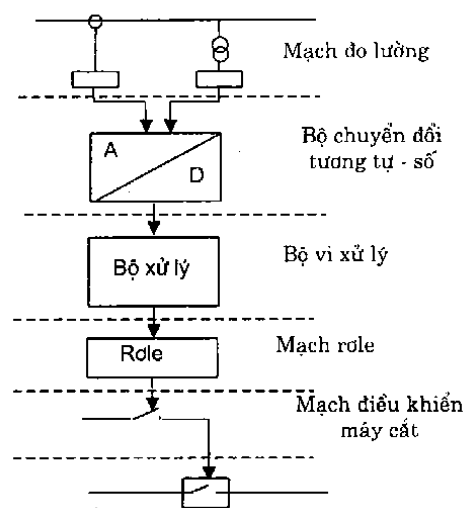
và phần mềm, kể cả bộ nhớ của bộ vi xử lý), rơle đầu ra và mạch điều khiển đóng cắt máy cắt điện (H.6.2).



Hình 6.1. Sơ đồ khối của rơle số.

Các đại lượng chỉnh định được nạp vào bộ nhớ EEPROMS để đề phòng khả năng mất số liệu chỉnh định khi mất nguồn điện thao tác.

Trong các rơle số việc tổ chức ghi chép và lưu trữ các dữ liệu về sự cố rất dễ dàng theo trình tự diễn biến về thời gian với độ chính xác đến miligiây (ms). Để giảm dung lượng bộ nhớ của bộ phận ghi sự cố, thường người ta không chế số lượng các lần sự cố còn lưu lại trong bộ nhớ tối đa khoảng 8 - 10. Khi xuất hiện sự cố mới vượt quá số lần cho phép lưu trữ, thì số liệu của sự cố cũ nhất trong quá trình lưu trữ sẽ bị xóa khỏi bộ nhớ để nhường chỗ cho số liệu của sự cố mới vừa xảy ra.



Hình 6.2. Sơ đồ tự kiểm tra các khối chức năng trong rơle số.

Tất cả các thông tin về vận hành, thao tác và sự cố đều được bảo vệ để ngăn ngừa trường hợp nguồn thao tác có thể bị trục trặc.

Đầu ra của role có các đèn tín hiệu LED để cảnh báo về trạng thái của role cũng như thao tác mà role đã tiến hành.

Các role số hợp bộ thường có một phần mềm đi kèm rất thuận tiện cho việc sử dụng PC để chỉnh định, theo dõi hoạt động của role và trao đổi các thông tin vào, ra với role, cũng như để giúp nhân viên vận hành có thể phân tích sự cố từ các số liệu đã ghi chép được trong quá trình sự cố.

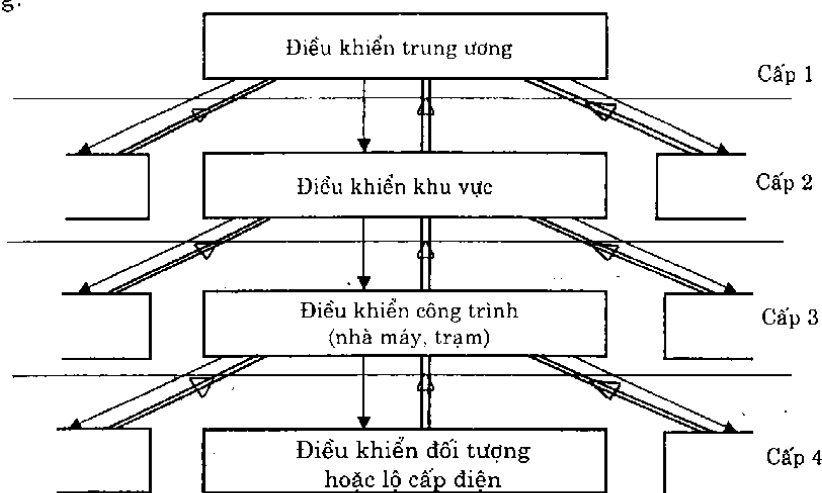
Cổng vào, ra của role số cho phép dễ dàng ghép nối với các thiết bị thông tin, đo lường, điều khiển và bảo vệ ở cùng cấp điều độ hoặc cấp điều độ cao hơn, đến tận điều độ quốc gia hoặc liên quốc gia.

6.3. PHÂN CẤP MẠNG LƯỚI BẢO VỆ VÀ ĐIỀU KHIỂN, ĐIỀU ĐỘ HỆ THỐNG ĐIỆN

Mạng lưới bảo vệ, điều khiển và điều độ hệ thống điện thông thường được phân làm 4 cấp (H.6.3) :

- Cấp trung ương.
- Cấp khu vực.
- Cấp công trình (nhà máy điện, trạm biến áp lớn).
- Các lộ cấp điện lớn.

Nhiệm vụ của từng cấp được xác định cho từng chế độ làm việc của hệ thống.



Hình 6.3. Cơ cấu phân cấp điều khiển hệ thống điện

Luồng dữ liệu;
 Luồng tín hiệu điều khiển

Ba chế độ sau được xem xét:

- *Chế độ vận hành bình thường*: Nhiệm vụ chính của các cấp bảo vệ, điều khiển và điều độ trong chế độ này là đảm bảo cấp điện liên tục với chi phí thấp nhất (để phát điện, truyền tải và phân phối) với chất lượng điện áp và tần số nằm trong giới hạn cho phép.

- *Chế độ sự cố*: Nhiệm vụ chính của các cấp bảo vệ và điều khiển trong chế độ sự cố là hạn chế đến mức thấp nhất tác hại của hư hỏng, cách ly và loại trừ phần tử sự cố ra khỏi hệ thống càng nhanh càng tốt. Nhiệm vụ này thường do các thiết bị bảo vệ ở cấp thấp nhất (các lộ cấp điện) hoặc ở cấp công trình (trạm, nhà máy điện) thực hiện một cách tự động. Có thể trong tương lai hệ thống bảo vệ bằng máy tính ở cấp cao hơn.

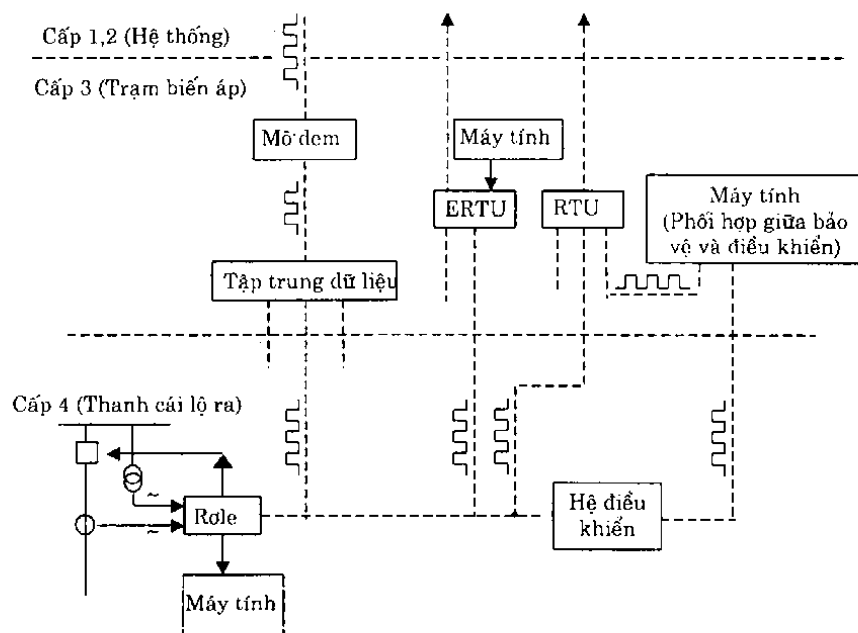
- *Chế độ khôi phục lại hệ thống*: Nhằm nhanh chóng khôi phục lại việc cấp điện cho các hộ tiêu thụ ở các lộ hoặc một phần hệ thống bị bảo vệ cắt ra trong chế độ sự cố. Hiện nay chỉ có một phần nhỏ thiết bị tự động được sử dụng cho chế độ này. Có thể trong tương lai mạng điện điều khiển bằng máy tính sẽ tham gia nhiều hơn vào nhiệm vụ khôi phục lại hệ thống sau sự cố.

Trong bảng 6.1 tóm tắt các nhiệm vụ của cấp điều khiển trung ương và khu vực trong các chế độ khác nhau của hệ thống. Nhiệm vụ của cấp điều khiển công trình và các lộ cấp điện tóm tắt trong bảng 6.2.

Mức độ tự động hoá và máy tính hoá ở cấp cơ sở từ các lộ cấp điện và trạm biến áp ngày càng cao. Trong giai đoạn quá độ chuyển từ role điện cơ và công nghệ thủ cấp truyền thống sang các hệ role số hoàn toàn có thể tiêu chuẩn hoá dần việc sử dụng các bộ vi xử lý vào thiết bị bảo vệ, đo lường và điều khiển để có thể làm việc song song với các thiết bị điện cơ hiện hữu.

Các thiết bị số và máy tính có thể nhận tín hiệu đầu vào dưới dạng tương tự, số hoặc nhị phân (H.6.4). Tín hiệu tương tự nhận từ phía thứ cấp của máy biến dòng điện, máy biến điện áp hoặc cũng có thể từ các thiết bị cảm biến khác như nhiệt độ, áp suất, độ dịch chuyển,... Tín hiệu nhị phân có thể nhận được từ trạng thái của máy cắt điện, dao cách ly, bộ chuyển đổi đầu phân áp,...

Tín hiệu số có thể nhận được từ các thiết bị viễn thông sử dụng kỹ thuật số hoặc từ bàn điều khiển.



Hình 6.4. Tổ chức thông tin giữa các cấp điều khiển .

Tín hiệu đầu ra của hệ điều khiển bằng máy tính để điều khiển đóng cắt máy cắt điện (cấp điện cho cuộn đóng và cuộn cắt), thay đổi vị trí đầu phân áp của máy biến áp, thay đổi trị số chỉnh định của các thiết bị bảo vệ, thay đổi ngưỡng tác động của các thiết bị tự động, hiển thị lên màn hình những lệnh điều khiển, điều khiển máy in và máy ghi sự cố, truyền dữ liệu đến các đối tượng khác, v.v...

6.4. NHỮNG ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN VÀ THÔNG TIN ĐIỆN LỰC

Cùng với những thành tựu mới của công nghệ thông tin, hệ thống bảo vệ, điều khiển và thông tin điện lực cũng phát triển nhanh chóng từ chức năng SCADA (thu thập và hiển thị dữ liệu) đến giải tích lưới điện, phân bố tối ưu công suất trong hệ thống đến chức năng quản lý, điều hành kinh doanh. Để thoả mãn các yêu cầu phát triển vừa nêu, ngoài việc tăng nhanh khả năng tính toán và xử lý (H.6.5), hệ thống điều khiển điện lực cần phải thoả mãn những yêu cầu cơ bản sau đây:

1. Tính linh hoạt

Bản thân HTĐ cũng như hệ thống thông tin, đo lường, điều khiển, bảo vệ và tự động luôn luôn phát triển, những thiết bị mới có tính năng tốt hơn luôn

xuất hiện để thay thế các thiết bị cũ lỗi thời. Hệ thống quản lý và kinh doanh điện năng cũng luôn thay đổi nhằm tăng tính cạnh tranh, tính phi điều tiết để phục vụ việc cấp điện cho khách hàng ngày càng tốt hơn với giá rẻ hơn, yêu cầu hệ thống điều khiển và điều độ cũng phải rất linh hoạt trong việc thu thập và xử lý thông tin, linh hoạt trong giao tiếp với nhiều đối tượng khác nhau. Vì vậy khi thiết kế hệ thống phải làm sao cho nó có tính thích nghi cao trong quá trình phát triển cả phần cứng lẫn phần mềm, đặc biệt đối với các sản phẩm mới của công nghệ tin học.

2. Khả năng xử lý dữ liệu

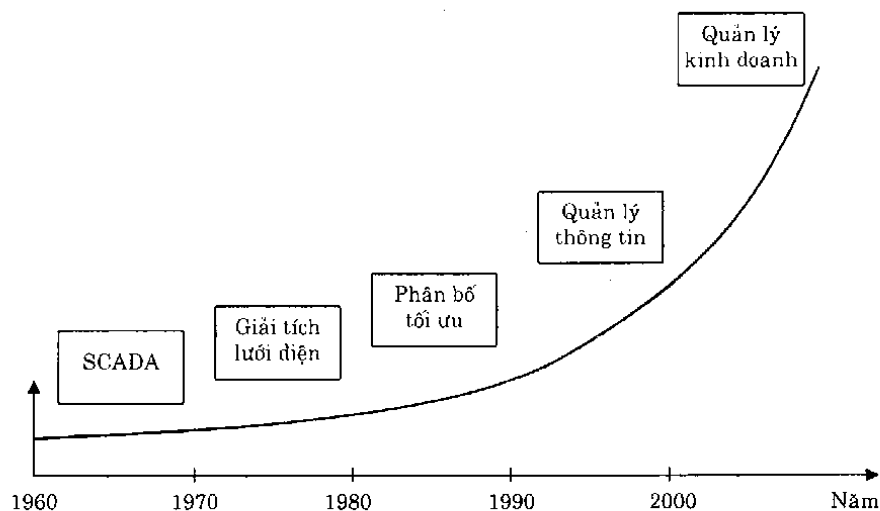
Khả năng xử lý dữ liệu đối với hệ thống đòi hỏi ngày càng cao và đa dạng bao gồm nhiều lĩnh vực:

Bảng 6.1. Nhiệm vụ của các cấp điều khiển trung ương và khu vực

Nhiệm vụ	Chế độ		
	Bình thường	Sự cố	Sau sự cố
Trao đổi dữ liệu giữa các hệ thống máy tính	•	•/	•
Thu thập và kiểm tra số liệu	•	•/	•
Xác định cấu hình của hệ thống	•	•/	•
Xác định luồng công suất và điện áp nút	•	•/	•
Chọn nhà máy điện hoặc tổ máy phát	•	•/	•
Kiểm tra dự phòng nóng (quay)	•		•
Điều chỉnh công suất tác dụng	•	•/	
Điều chỉnh công suất phản kháng	•		
Đánh giá độ tin cậy vận hành	•		•
Đánh giá hiệu quả thay đổi cấu hình hệ thống	•		•
Ghi thông số sự cố	•	•	•
Mức dự phòng cao cho bảo vệ		•	
Hạn chế tác hại của sự cố		•	
Phân tích xu thế phát triển của quá trình	•		•
Đo lường và lưu giữ một số thông số chọn trước	•	•	•
Phân tích sự cố			•
Lập báo cáo	•		•
Giao diện với các thiết bị điều khiển khác	•	•	•
Tự động kiểm tra và chẩn đoán	•		
•/ - Chỉ dùng cho chức năng bảo vệ			

Bảng 6.2. Nhiệm vụ của các cấp điều khiển công trình (3) và lộ cấp điện (4)

Nhiệm vụ	Chế độ				Cấp điều khiển
	Bình thường	Sự cố		Phục hồi hệ thống	
		Khi sự cố	Sau sự cố		
Trao đổi dữ liệu giữa các hệ thống máy tính	•	•/	•/	•	3,4
Thu nhập, kiểm tra và tập trung dữ liệu	•	•/	•/	•	3,4
Phát tín hiệu cảnh báo		•	•		3,4
Bảo vệ lộ cấp điện		•			4
Bảo vệ thanh góp		•			3
Bảo vệ dự phòng		•			3,4
Dự phòng hư hỏng máy cắt		•			3
Kiểm tra đại lượng đặt của bảo vệ		•		•	3
Tự động đóng lại máy cắt			•	•	3,4
Tự động cắt nguồn điện			•	•	3,4
Tự động sa thải phụ tải			•	•	3,4
Điều khiển công suất phát và phụ tải	•		•	•	3
Kiểm tra quá tải của đường dây và trạm	•		•	•	3,4
Tối ưu hoá mức ổn định	•		•	•	3
Tự động phục hồi hệ thống				•	3
Xác định trình tự cắt và khoá liên động	•			•	3
Ghi thông số sự cố	•	•	•	•	3
Phát hiện và ghi chép dao động của hệ thống		•	•		3,4
Xác định vị trí điểm sự cố		•			4
Đo và ghi các tín hiệu tương tự	•				3,4
Điều chỉnh điện áp	•				3
Tối ưu hoá phụ tải của trạm biến áp	•				3
Kiểm tra các thiết bị phụ trợ	•				3
Phân tích chức năng hệ thống máy tính	•				3
Giao diện với các thiết bị điều khiển khác	•				3
Tự động kiểm tra và chẩn đoán	•				3,4
•/ - Chỉ dùng cho chức năng bảo vệ					

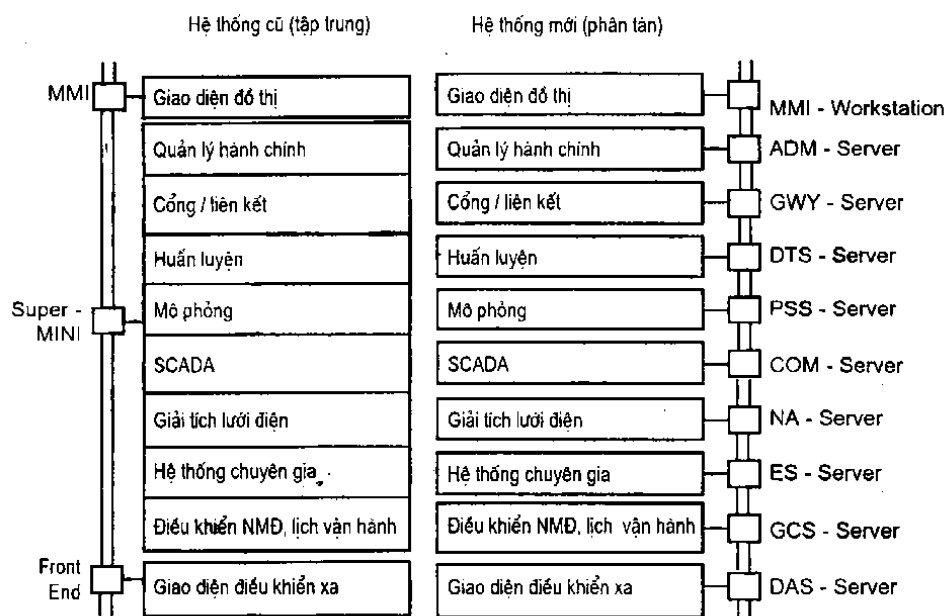


Hình 6.5. Sự phát triển chức năng của các trung tâm điều khiển

- SCADA
- Giải tích lưới điện
- Phân tích các chế độ sự cố
- Điều độ phụ tải điện
- Dự báo phụ tải
- Giải đáp các sự kiện xảy ra trong hệ thống
- Lịch trình sửa chữa thiết bị
- Hệ thống thông tin địa lý (GIS) về cấu hình hệ thống
- Quản lý nhu cầu điện (DSM)

Phạm vi xử lý và thu nhập dữ liệu ngày càng mở rộng tùy theo mức độ phát triển của hệ thống và trình độ tự động hoá và điều khiển hoá.

Trong quá trình thu thập và xử lý dữ liệu, hệ thống thông tin điện lực phải giao tiếp không những với nhiều đầu mối khác nhau trong nội bộ ngành điện (các nhà máy điện, công ty truyền tải và phân phối, cơ quan quy hoạch và thiết kế, các công ty bán buôn, bán lẻ điện, ...) và với nhiều đầu mối khác trong nước và ngoài nước.



Hình 6.6. Phân bố các chức năng của hệ thống điều khiển.

3. Hệ thống mở

Sự cạnh tranh quyết liệt và có hiệu quả giữa những nhà sản xuất thiết bị thông tin đã nâng cao rất nhanh các tính năng của máy tính. Để các trung tâm điều khiển có thể thích ứng với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ thông tin, hệ thống phải được thiết kế và lắp đặt như là một hệ thống mở.

Hệ thống mở ở đây được hiểu như là một hệ thống không bị ràng buộc về các thiết bị giao diện, về khả năng liên kết với các hệ thống khác cả phần cứng lẫn phần mềm, có khả năng vận hành với các hệ thống địa phương và hệ thống từ xa khác, có khả năng kết nối với nhiều khách hàng mà không đòi hỏi khách hàng phải thay đổi quá nhiều các phần cứng và phần mềm của mình.

Phần tử chính trong hệ thống xử lý dữ liệu là *máy tính*. Hiện nay, các nhà sản xuất máy tính Mỹ đang dẫn đầu thế giới với các bộ xử lý Intel, Motorola/IBM/Apple (Power PC), DEC (Alpha), SUN (Sparc), HP (PA-RISC) hoặc MIPS. Một số đặc tính của các máy tính chủ cho trong bảng 6.3.

Các *kênh thông tin* tương tự đang được thay thế dần dần bằng mạch thông tin số đi từ PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy: 644 Kbit/s - 155 Mbit/s)

đến SDH (Synchronous Digital Hierarchy: 155 Mbit/s - 2.5 Gbit/s) đến ATM (Asynchronous Transfer Mode).

Mạng thông tin số cho phép nối các mạng cục bộ (LANs) với các mạng khu vực rộng lớn (WANs) mà không có ràng buộc gì về tính năng.

Cáp quang được sử dụng ngày càng rộng rãi như dạng kênh truyền chính để thay thế cáp đồng và các loại kênh truyền khác. Cáp quang kết hợp với các multiplexer tích hợp cho phép sử dụng nhiều phương tiện truyền tin khác nhau như điện thoại, video và các dạng truyền tín hiệu khác (cho bảo vệ, kiểm tra và bảo vệ từ xa...).

4. Quản lý dữ liệu phân tán

Việc mở rộng khả năng thu thập số liệu đòi hỏi đầu tư lớn, để tăng hiệu quả của việc sử dụng số liệu và tính tương thích của dữ liệu thu thập được cần phải có một hệ thống quản lý dữ liệu hợp lý. Bởi vì các trung tâm máy tính trong hệ thống có thể có tuổi đời khác nhau nên không phải trung tâm nào cũng được thiết kế theo nguyên tắc mở, vì vậy cần phải có chiến lược trung và dài hạn để làm cho các hệ sử dụng có thể tương thích với nhau trong việc thu thập và quản lý dữ liệu.

Chế độ quản lý dữ liệu phân tán đòi hỏi một cơ sở dữ liệu phân tán tương ứng. Trong hệ thống quản lý dữ liệu phân tán, mỗi hệ thống con có thể gửi hoặc nhận các thông tin cần thiết từ các hệ thống con khác, mỗi cuộc trao đổi hoặc thay đổi thông tin đều được ghi lại và các hệ thống con trong hệ thống đều có thể sử dụng các thông tin mới này.

Bảng 6.3. Sự phát triển tính năng của máy tính chủ

Tính năng/ Giai đoạn	1994 - 1995	1995 - 1998	Sau năm 2000
Tính năng của CPU (RISC Procesor)	150 MIPs	>300 MIPs	>2000 MIPs
SPEC int -95	>1	>10	>100
Tần số chuẩn	40 - 125MHz	>150MHz	>1000MHz
CPU - buswidth	32/64 bit	64 bit	≥64 bit
Dung lượng bộ nhớ chính	512MB	1 - 2GB	>10GB
Dung lượng đĩa cứng (bên trong)	2 - 4GB	4 - 8GB	>40GB
Giao diện thao tác	Bàn phím, chuột	Bàn phím, chuột, tiếng nói	Bàn phím, chuột, tiếng nói, cử động của tay/mắt

Ưu điểm của hệ thống quản lý dữ liệu phân tán là:

- Mỗi phần tử cơ sở dữ liệu thuộc về một hệ thống con.
- Mỗi hệ thống con chịu trách nhiệm về dữ liệu thuộc lĩnh vực mình quản lý.
- Các hệ thống con có thể xử lý dữ liệu song song nhau.
- Việc mở rộng hoặc đổi mới các hệ thống con không làm ảnh hưởng đến cơ sở dữ liệu chung toàn hệ thống.

5. Cấu trúc phân tán của các trung tâm điều khiển

Vào những năm 70, 80, các trung tâm điều khiển có cấu trúc tập trung kinh điển bao gồm các máy tính chủ và máy tính dự phòng, các máy tính làm nhiệm vụ nối kết và giao diện người - máy (Front-End Computers and Workstations). Ngày nay ở các trung tâm điều khiển hiện đại người ta sử dụng cấu trúc phân tán theo mô đun dưới dạng các server (H.6.6). Các mô đun trong cấu trúc phân tán này được phân cấp theo chức năng và có thể làm dự phòng cho nhau.

Ngoài ra một hệ thống điều khiển lớn có thể phân bố trên nhiều địa điểm khác nhau trên một vùng lãnh thổ rộng lớn được liên kết với nhau bằng một WAN có tính năng cao.

6. Tích hợp giữa SCADA và GIS

SCADA xử lý các dữ liệu của hệ thống điện cao và trung áp và hiển thị trên màn hình dưới dạng sơ đồ kết dây một sợi với các số liệu đặc trưng trên sơ đồ. Có thể phóng đại từng phần của sơ đồ (Zoom) để xem xét các dữ liệu chi tiết.

GIS (Geographical Information Systems) thường được sử dụng cho lưới hạ áp để biểu diễn vị trí địa lý của từng đối tượng (đường dây trên không hoặc cáp, vị trí của các trạm biến áp phân phối với kích thước chi tiết, đường dây thông tin, v.v...).

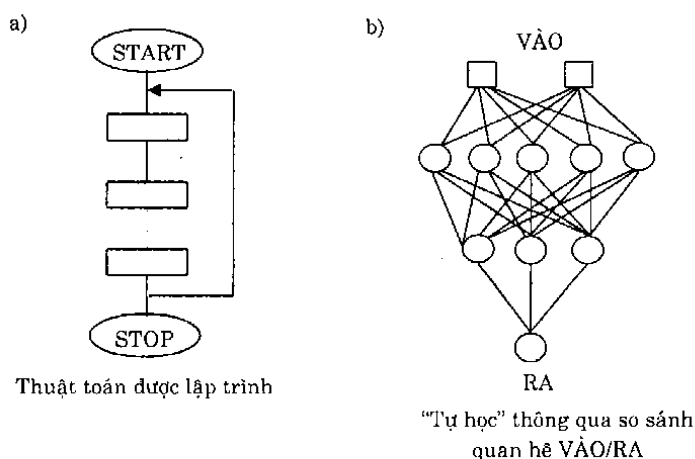
Việc tích hợp giữa SCADA và GIS có thể phục vụ tốt cho việc điều hành sửa chữa, thay thế thiết bị cũng như thiết kế cải tạo và xây dựng mới lưới điện.

7. Một số hướng công nghệ mới

a) Hệ thống chuyên gia (Expert Systems): Kinh nghiệm của chuyên gia được hệ thống hoá và áp dụng để đánh giá trạng thái, xử lý các tình huống vận hành trong chế độ bình thường cũng như sự cố và sau sự cố.

Kiến thức và kinh nghiệm chuyên gia cho phép từ một lượng lớn thông tin thụ được trong khi sự cố xác định đúng phần tử hư hỏng hoặc bình thường trong hệ thống.

Chuyên gia cũng dự kiến trước khả năng phục hồi hệ thống trong chế độ sau sự cố và xây dựng một trình tự thao tác hợp lý để hướng dẫn cho nhân viên vận hành cách phản ứng đúng đối với những chế độ này.



Hình 6.7. Lưu đồ thuật toán (a) và mạng nơ-ron (b).

b) Mạng nơ-ron: Các mạng thông tin "thông minh" tự học, tự thích nghi ngày càng được sử dụng rộng rãi trong công nghệ điều khiển.

Sử dụng các mạng nơ-ron (H. 6.7) (có tên gọi là mạng mô-đun Kohonen) cho phép nâng cao chất lượng điều khiển và dự báo so với phương pháp lưu đồ thuật toán thông thường (bảng 6.4).

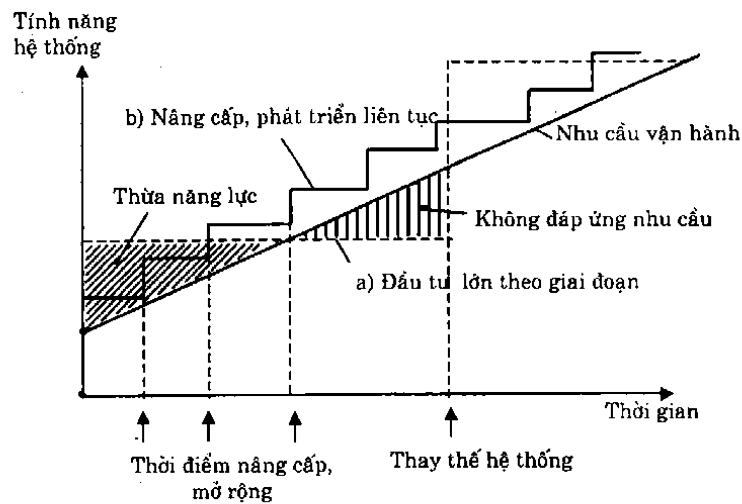
Bảng 6.4. So sánh kết quả dự báo phụ tải theo các phương pháp khác nhau

	Phương pháp Kohonen	Phương pháp hồi quy	Phương pháp lọc Kalman
Sai số tuyệt đối, % mùa hè	1.28	<u>1.23</u>	1.33
Sai số tuyệt đối, % mùa đông	<u>1.75</u>	2.89	2.52
Sai số chung, %	<u>1.55</u>	2.18	2.01

8. Chiến lược phát triển liên tục và thay thế hệ thống

Như trên đã nói, công nghệ thông tin là lĩnh vực công nghệ phát triển rất nhanh trong giai đoạn hiện nay và dự báo còn nhanh hơn trong tương lai. Vì

vậy cả phần cứng lẫn phần mềm đều rất nhanh chóng trở nên lỗi thời. Nếu đầu tư theo chiến lược cho từng giai đoạn dài hạn với chi phí lớn thì sẽ nhanh chóng bị lạc hậu và hệ thống có thể không đáp ứng được nhu cầu vận hành suốt cả giai đoạn chờ đợi đầu tư lớn tiếp theo. Vì thế đối với những lĩnh vực phát triển nhanh nên có chiến lược phát triển liên tục từng bước vừa phải để đáp ứng kịp thời nhu cầu vận hành cũng như tận dụng hợp lý các thành tựu mới của công nghệ (H.6.8).



Hình 6.8. Chiến lược phát triển hệ thống

a) Đầu tư lớn theo giai đoạn dài hạn; b) Nâng cấp và phát triển liên tục.

CÂU HỎI ÔN TẬP

- 6.1. Phân cấp hệ thống điều khiển và bảo vệ trong hệ thống điện, nhiệm vụ của từng cấp.
- 6.2. Nguyên lý làm việc của rơle số và ưu điểm của chúng so với loại rơle điện cơ.
- 6.3. Định hướng phát triển hệ thống điều khiển và thông tin điện lực.

Chuyển đổi tương tự - số của các đại lượng đầu vào và lọc tín hiệu số

7.1. KHÁI NIỆM CƠ BẢN

Quá trình đặc trưng của việc chuyển đổi tương tự - số với đại lượng đầu vào biến thiên được trình bày trên hình 7.1. Những tín hiệu biến thiên liên tục (thường là các dòng điện hoặc điện áp hình sin) được đặt lên đầu vào của một bộ chuyển đổi. Những tín hiệu này không chỉ chứa những tín hiệu cơ bản mà còn có thể bao gồm cả nhiều tần số cao, các hài, hài con và cả thành phần một chiều. Công thức tổng quát cho tín hiệu đầu vào có dạng sau:

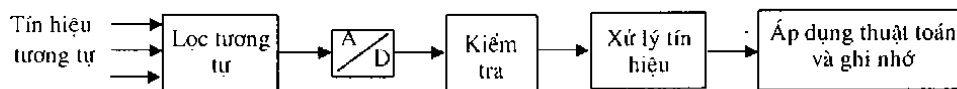
$$V(t) = V_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1) + V_0 e^{-t/T_a} + \sum_{k=2}^p V_k \cos(k\omega_1 t - \alpha_k), \quad (7-1)$$

trong đó:

V_1 - biên độ của sóng cơ bản với tần số danh định.

$V_2, \dots, V_p$ - biên độ của các hài bậc k của tần số danh định.

V_0 - giá trị ban đầu của thành phần DC (thành phần này giảm dần theo thời gian với hằng số T_a).



Hình 7.1. Quá trình biến đổi các tín hiệu tương tự.

Trong số các thành phần tín hiệu trong công thức (7.1) chỉ có rất ít thành phần được sử dụng trong quá trình điều khiển. Trong đó quan trọng nhất là thành phần cơ bản với vận tốc góc ω_1 . Trong một vài trường hợp đặc biệt, một

hài nào đó có thể được sử dụng (bậc 2, 3 hoặc 5), hoặc ít gặp hơn là dao động hãm của thành phần có tần số cao. Trước khi thực hiện chuyển đổi tương tự - số, điều quan trọng là phải xác định thành phần nào của tín hiệu đầu vào mang thông tin cần thiết và cần phải được chuyển đổi chính xác, và thành phần nào bị coi là nhiễu và cần phải loại bỏ.

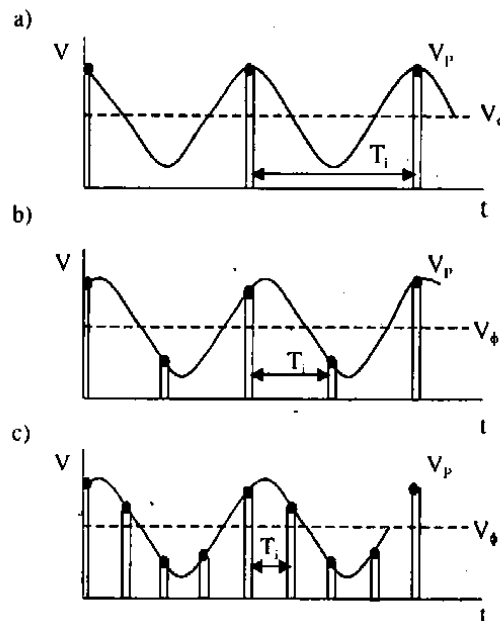
7.2. BỘ LỌC TÍN HIỆU TƯƠNG TỰ

Phân tích trên hình 7.2 cho thấy sự cần thiết của việc lọc tín hiệu tương tự. Ta giả thiết rằng đầu vào bao gồm thành phần không đổi V_0 và một tín hiệu hình sin V_p với vận tốc góc ω_1 . Nếu như tần số của tín hiệu này bằng tần số chốt (lấy mẫu) của bộ chuyển đổi A/D (H.7.2), thì bộ chuyển đổi sẽ tạo ra một dãy tín hiệu cố định bằng $V_0 + V_p$, có nghĩa là ta sẽ thu được kết quả với sai số không đổi V_p . Sai số có thể nhận các giá trị khác trong khoảng $\pm V_p$ khi quá trình lấy mẫu bắt đầu tại các thời điểm khác. Trong trường hợp tần số lấy mẫu lớn gấp 2 lần tần số của thành phần V_p (bằng tần số giới hạn xác định bởi công thức Shannon cho các hàm tín hiệu theo thời gian), sai số gây ra bởi thành phần DC có thể loại bỏ bằng cách lấy giá trị trung bình của một lần lấy mẫu. Mặc dù vậy tốc độ lấy mẫu vẫn còn quá thấp để có thể xác định được cả hai giá trị V_0 và biên độ V_p .

Khi chọn tần số lấy mẫu gấp 4 lần V_p (H.7.2,c) các mẫu thu được cho phép tính toán cả giá trị V_0 và biên độ V_p . Tuy vậy như trên hình 7.2,a ta thấy rằng, vẫn tồn tại một sai số không tránh khỏi khi đầu vào chứa một dao động với tần số cao hơn tần số chốt. Để tránh những trường hợp này, các tham số sau phải được lựa chọn cẩn thận:

- Tần số lấy mẫu của bộ chuyển đổi A/D là $f_i = 1/T_i$.
- Đặc tính của bộ lọc dải để loại bỏ tần số cao hơn $0,5f_i$.

Việc xem xét ảnh hưởng của hai thông số đến sai số tách tín hiệu cho thấy rằng:



Hình 7.2. Ảnh hưởng của tần số băm (lấy mẫu) đến sai số.

- Tần số lấy mẫu f_s ít nhất phải lớn hơn 4 lần tần số của các thành phần của đầu vào cần được chuyển đổi chính xác để tiếp tục xử lý, có nghĩa là $f_s \geq 4f_p$.

- Đặc tính của bộ lọc dải phải chấp nhận tất cả các thành phần chứa tần số f_p trong tín hiệu đầu vào và tất cả các thành phần tín hiệu khác với tần số cao hơn $(f_s - f_p)$ phải bị loại bỏ. Trong thực tế điều đó có nghĩa là tần số loại bỏ $f_c = (f_s - f_p)/3$. Bộ lọc như vậy được gọi là bộ lọc anti-aliasing.

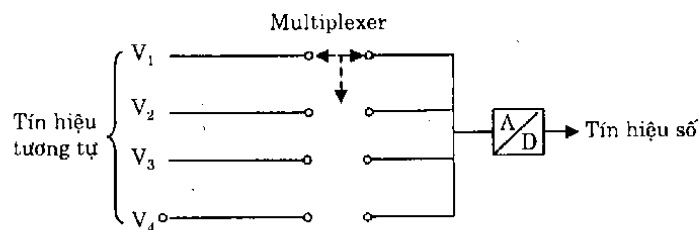
Nếu như ta thấy rằng không thể thoả mãn tất cả các điều kiện trên hoặc có yêu cầu một độ chính xác rất cao thì khi đó cần phải xem xét tỉ mỉ để đánh giá về mặt định lượng của việc tách tín hiệu.

Các tín hiệu đầu vào sử dụng trong bộ chuyển đổi A/D phải được điều chỉnh nằm trong khoảng cho phép của nó. Ví dụ bộ chuyển đổi A/D với đầu ra là điện áp thường có giá trị tối đa 10 V, và bộ có đầu ra cường độ dòng điện tối đa 5 mA. Bộ lọc dải trên được hiểu là bộ lọc anti-aliasing.

7.3. CHUYỂN ĐỔI TÍN HIỆU TƯƠNG TỰ - SỐ (A/D)

Trong thực tế người ta sử dụng những bộ chuyển đổi A/D với multiplexer cho vài tín hiệu đầu vào. Mục đích sử dụng multiplexer là để lần lượt đưa các tín hiệu vào quá trình chốt.

Multiplexer có thể chia ra làm 2 nhóm. Nhóm thứ nhất bao gồm những khoá đơn giản để chốt tín hiệu bằng cách lần lượt nối chúng với bộ chuyển đổi. Mô hình của nhóm này được mô tả trên hình 7.3. Những tín hiệu riêng rẽ được đọc tại các thời điểm bằng thời gian vận hành tối thiểu của bộ chuyển đổi A/D. Chu trình xử lý tín hiệu phải tính đến chuyện đó.



Hình 7.3. Nguyên lý bộ chuyển đổi A/D kết hợp với multiplexer.

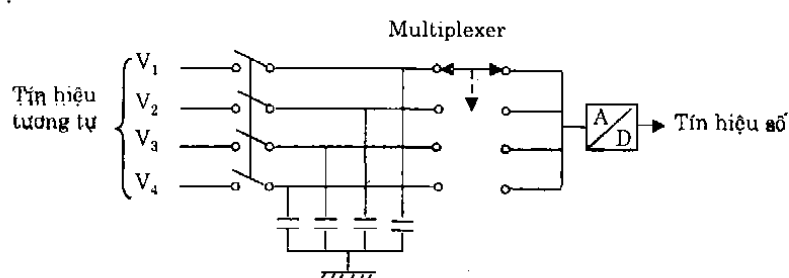
Nhóm multiplexer thứ 2 ghi nhớ các giá trị tức thời của tất cả các đầu vào tại thời điểm bắt đầu của mọi chu trình. Trên hình 7.4 việc đó được thực hiện bằng cách đóng mở khoá K_1 . Các giá trị đã ghi nhớ sau đó được lần lượt đưa vào bộ chuyển đổi A/D qua multiplexer. Việc xử lý cũng cần thời gian như trước,

nhưng trong trường hợp này các giá trị đầu vào được lấy tại cùng một thời điểm và điều đó cho phép ta so sánh chúng nếu cần. Các khoá trên hình 7.3 và 7.4 trên thực tế được thay bằng các thiết bị điện tử không tiếp điểm.

Có rất nhiều phương pháp để xử lý bộ chuyển đổi A/D, nhưng trong tất cả các trường hợp thì hai tham số cơ bản sau đóng vai trò rất quan trọng:

- Tần số lấy mẫu $f_i = 1/T_i$ ảnh hưởng trực tiếp đến việc tối ưu hoá bộ lọc tương tự.

- Độ dài tín hiệu (số bit) được sử dụng để xác định các mẫu của tín hiệu tương tự.



Hình 7.4. Phối hợp bộ chuyển đổi A/D và Multiplexer với bộ nhớ.

Với độ dài m bit (không để bit dấu) số khoảng lớn nhất có thể là

$$N = 2^m - 1 \quad (7-2)$$

Có nghĩa là khoảng cách giữa hai giá trị số liên kế là:

$$dB_e = \frac{B_e}{N}, \quad (7-3)$$

trong đó B_e - giá trị tối đa của tín hiệu.

Nếu tại thời điểm lấy mẫu giá trị tín hiệu nằm giữa hai giá trị số thì mẫu đó sẽ được làm tròn. Việc làm tròn lên hoặc xuống có thể tạo ra sai số $+0,5dB_e$ hoặc $-0,5dB_e$ tương ứng.

Khoảng giá trị của B_e phải lớn hơn hoặc bằng giá trị tối đa có thể đạt được của tín hiệu, trong khi sai số cực đại được tính tại giá trị cực tiểu đo được của tín hiệu và độ chính xác tại điểm đó. Những điều kiện trên dẫn đến các bất đẳng thức sau:

$$\left. \begin{aligned} B_e &\geq X_{\max} \\ \epsilon &\geq \frac{\Delta B_e}{2X_{\min}} \end{aligned} \right\} \quad (7-4)$$

trong đó: $X_{\min}$, $X_{\max}$ - giá trị tối thiểu, tối đa của tín hiệu.

ε - sai số tương đối cho phép tại giá trị nhỏ nhất của tín hiệu.

Sử dụng (7-3) ta thu được biểu thức:

$$N \geq \frac{X_{\max}}{2\varepsilon X_{\min}} \quad (7-5)$$

dùng để tính độ dài (số bit) m .

Ví dụ đo cường độ dòng điện và điện áp sau đây được sử dụng để kiểm tra việc thoả mãn các điều kiện bảo vệ.

Ví dụ 7.1. Đo điện áp

Khoảng cần thiết để đo giá trị hiệu dụng của điện áp thứ cấp cần biết là 0,1.100 V đến 2.100 V. Sai số của biên độ tại giá trị cực tiểu đầu vào không được vượt quá 5%.

Ta có $X_{\max} = 2.100 \cdot \sqrt{2} \text{ V}$; $X_{\min} = 0,1.100\sqrt{2} \text{ V}$; $\varepsilon = 0,05$.

Từ đó áp dụng công thức (7-5) nhận được $N \geq 200$, theo công thức (7-2) ta có $m = 8$.

Ví dụ 7.2. Đo cường độ dòng điện

Giá trị hiệu dụng của một dòng điện thứ cấp của máy biến dòng điện là 1 A và được đo với độ chính xác 1%. Giá trị hiệu dụng của dòng sự cố là 40A và thành phần DC làm cho giá trị này tăng lên 2 lần.

Ta có $X_{\max} = 40.2\sqrt{2} \text{ A}$; $X_{\min} = \sqrt{2} \text{ A}$; $\varepsilon = 0,01$

Từ đó $N \geq 4000$ và $m = 12$.

Khoảng đo rộng là rất cần thiết, đặc biệt đối với cường độ dòng điện, nhưng nó yêu cầu độ dài tín hiệu (m) lớn. Việc này có thể được khắc phục bằng cách sử dụng khoảng đo tự động điều chỉnh mà trong các dụng cụ đo thông thường tương đương với việc chuyển thang tự động. Trong tất cả các phương pháp, đầu ra của bộ chuyển đổi A/D là tín hiệu số dưới dạng những "từ" với độ dài xác định và thời điểm mà quá trình xử lý số bắt đầu.

7.4. HIỆU CHỈNH

Hiệu chỉnh là quá trình kiểm tra độ xác định của tín hiệu đầu vào (H.7.1). Nếu như xuất hiện sai số thì quá trình hiệu chỉnh phải khắc phục nếu có thể. Việc khắc phục phải dựa trên các số liệu phụ trợ ngoài những lượng thông tin tối thiểu cần thiết. Các thông tin phụ trợ có thể được tạo ra bằng các cách sau:

- Lập lại việc đo tín hiệu đầu vào hoặc đo các đại lượng phụ để xác định một cách gián tiếp.

- Sử dụng các thông tin về khoảng giá trị của biến hoặc quan hệ của nó với các biến khác.

- Mở rộng các vùng thông tin và xác lập những vùng cấm.

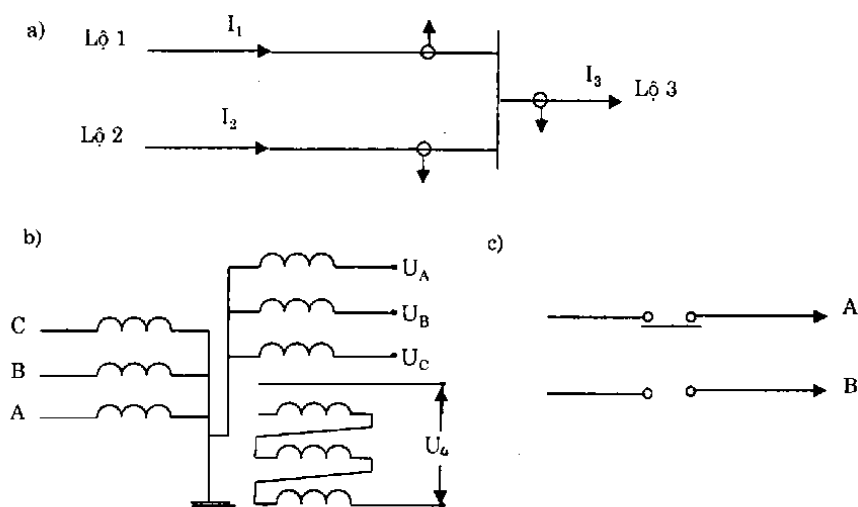
Những nguyên nhân chủ yếu gây ra sai số gồm:

- Lỗi rõ ràng gây ra bởi mạch thứ cấp của BI và BU (mất tín hiệu điện áp khi nổ cầu chì mạch BU) hoặc hỏng hóc kênh truyền thông;

- Các sai số trong thiết bị truyền thông và biến đổi tín hiệu khi quá tải (ví dụ khi bão hoà BI);

- Sai số các bit trong truyền tín hiệu số.

Các phương pháp đánh giá trạng thái đã được sử dụng nhiều năm trong thực tế trong hệ thống điện bao gồm cả phương pháp phát hiện và hiệu chỉnh sai số của dữ liệu đã được sử dụng ở mức các trạm biến áp. Các phương pháp này hiện nay tạo thành mức thấp nhất để đánh giá trạng thái điện. Các ví dụ sau đây trên hình 7.5 mô tả phương pháp hiệu chỉnh sai số.



Hình 7.5. Phương pháp đơn giản để kiểm tra tín hiệu.

Hình 7.5,a mô tả một phương pháp kiểm tra việc đo dòng điện tại ba nút sử dụng định luật Kirchhoff, có nghĩa là tổng của ba dòng điện phải bằng 0:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

Điều này dĩ nhiên được áp dụng với các điều kiện tải thông thường.

Phương pháp thứ 2 trên hình 7.5,b sử dụng mức vượt trội của tín hiệu. Các điện áp thứ cấp U_A , U_B , U_C được đo và với giả thiết tỉ số biến đổi của BU chuẩn thì điều kiện sau đây phải được thoả mãn:

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = \sqrt{3}U_A$$

Khi điều kiện này không được thoả mãn có nghĩa đã xuất hiện lỗi.

Phương pháp thứ 3 rất đơn giản. Ta kiểm tra trạng thái của một máy cắt điện bằng cách so sánh tín hiệu của 2 công tắc phụ (H.7.5,c). Cả hai công tắc ở cùng một vị trí có nghĩa là có sai số vì ta nhận thấy rằng $A \neq B$. Trong phân tích ta quy ước rằng khoá A đóng tương đương giá trị lô gích 1 và giá trị lô gích 0 khi A mở, và tương tự đối với B.

Phương pháp kiểm tra bằng cách xác định các vùng cấm bao gồm việc xác định các mã khi đánh giá sai số khi truyền tín hiệu từng bit một. Cách mã đơn giản nhất cho mục đích này là sử dụng bit “chặn” được thêm vào mỗi “từ” sao cho số bit 1 trong từ là chẵn. Các bit “chặn” cho các số từ 0 đến 9 có dạng như sau:

Số	Từ	Bit chặn
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	1
3	0011	0
4	0100	1
5	0101	0
6	0110	0
7	0111	1
8	1000	1
9	1001	0

Phương pháp mã này cho phép phát hiện các lỗi đơn nhưng không có tác dụng đối với các lỗi kép.

Một phương pháp mã hiệu quả hơn nhưng phức tạp đó là phương pháp “mã đồng chỉ số”. Nó dựa trên cơ sở là số bit 1 trong mọi từ đều bằng nhau. Với giả thiết mỗi từ có m bit và số bit 1 không thay đổi là k, ta có số từ có thể thu được bằng cách này là :

$$\left(\frac{m}{k}\right) = \frac{m!}{k!(m-k)!} \quad (7-6)$$

Để so sánh ta có số từ có thể thu được với m bit bình thường là 2^m .

Trong thực tế người ta thường sử dụng mã "2 trong 5", trong đó mỗi từ 5 bit luôn có 2 bit bằng 1. Sau đây là mã này cho 10 số đầu tiên:

Số	Từ
0	11000
1	00011
2	00101
3	00110
4	01001
5	01010
6	01100
7	10001
8	10010
9	10100

Các mã này phát hiện phần lớn các lỗi kép cũng như lỗi đơn. Tuy nhiên ta cũng nhận thấy rằng, các vùng cấm ở trong trường hợp này rộng gấp hai lần các vùng cho phép. Điều này làm giảm số trạng thái có thể thể hiện.

7.5. XỬ LÝ TÍN HIỆU SỐ

Xử lý tín hiệu là quá trình chuẩn bị một tín hiệu để sử dụng cho các ứng dụng thuật toán. Trong trường hợp các quá trình điều khiển các trạm cung cấp năng lượng, nó bao gồm trước hết là lọc tín hiệu và ít gặp hơn là phân tích tương quan hoặc xác định các thành phần đối xứng.

Các bộ lọc cho phép tách các thành phần tín hiệu trong một khoảng thông qua xác định và giữ lại hoặc giảm đến mức tối thiểu các thành phần còn lại của tín hiệu. Cũng như các bộ lọc tương tự, các bộ lọc số có thể được chia ra thành các nhóm sau :

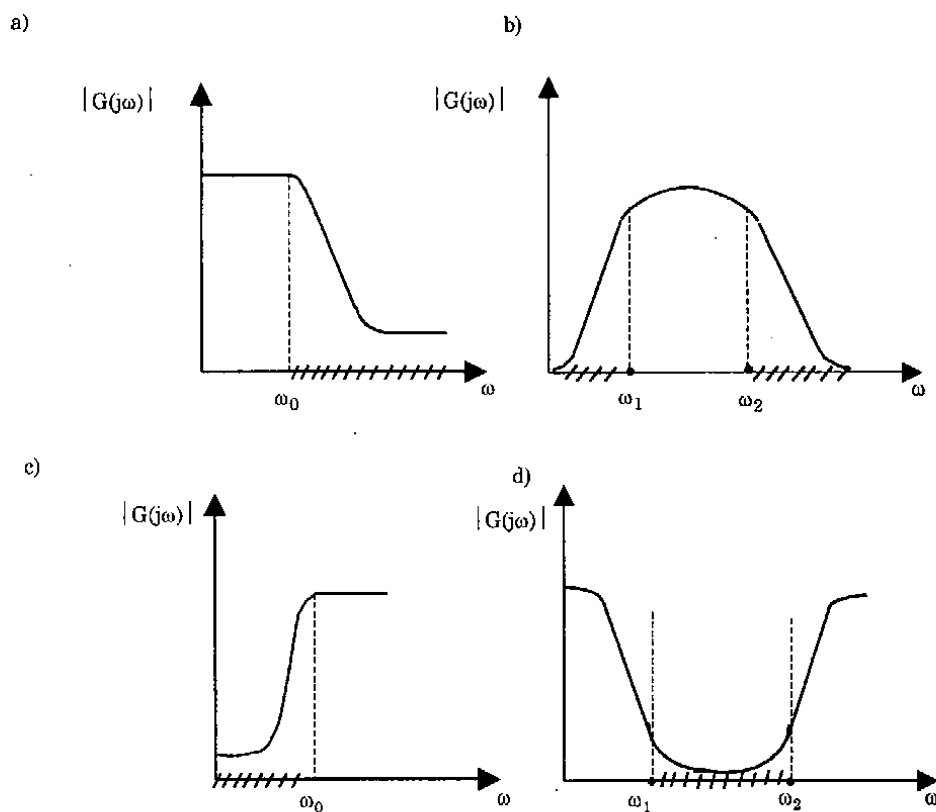
- Lọc tần số thấp
- Lọc dải
- Lọc tần số cao
- Lọc loại bỏ một dải tần số nào đó (lọc chắn).

Các đáp ứng tần số của các loại lọc trên được mô tả trên hình 7.6 và đáp ứng tần số chính xác hơn của lọc tần số thấp trên hình 7.7. Trường hợp lý tưởng, các bộ lọc phải có đường đáp ứng thẳng trong dải truyền, cạnh thẳng đứng tại các tần số cắt. Một thông số quan trọng của bộ lọc số trong truyền thông là độ lệch pha/đáp ứng tần số của chúng phải tuyến tính tối đa có thể. Yêu cầu này trong

các ứng dụng bảo vệ không quan trọng bằng trong hoạt động của bộ lọc theo thời gian. Tín hiệu đáp ứng của mỗi bộ lọc cũng rất quan trọng và phải giảm rất nhanh không kèm theo quá tải.

Có ba chỉ tiêu cơ bản để đánh giá hoạt động của một bộ lọc số trong các ứng dụng bảo vệ và điều khiển:

1. Truyền các thành phần cần thiết của tín hiệu với độ chính xác thoả đáng và loại bỏ có hiệu quả tất cả các nhiễu.
2. Tín hiệu đầu ra nhanh chóng ổn định khi tín hiệu đầu vào thay đổi mạnh.
3. Sử dụng tối thiểu các khả năng của hệ thống (ví dụ việc tính toán là ít nhất).



Hình 7.6. Đáp ứng của những loại bộ lọc cơ bản.
a) cho qua tần số thấp; b) cho qua 1 dải;
c) cho qua tần số cao; d) chặn 1 dải

Đáng tiếc là các yêu cầu trên lại mâu thuẫn với nhau và mỗi bộ lọc đều phải hoà hợp chúng.

Một đặc tính chung của tất cả các bộ lọc tương tự là tín hiệu đáp ứng của chúng kéo dài vô hạn mặc dù tín hiệu tiến đến 0 theo thời gian. Nhưng đối với bộ lọc số ta có hai loại với :

- Đáp ứng xung vô hạn.
- Đáp ứng xung hữu hạn.

Một thuật toán đặc trưng của một bộ lọc với đáp ứng xung vô hạn (hồi qui) là:

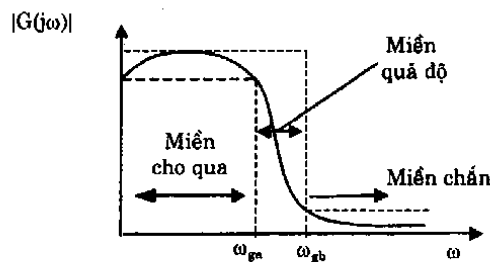
$$y(n) = \sum_{k=0}^p a_k x(n-k) - \sum_{k=1}^r b_k y(n-k), \quad (7-7)$$

trong đó: $y(n)$ - tín hiệu đầu ra thứ n .

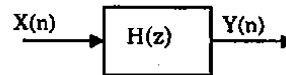
$x(n)$ - tín hiệu đầu vào thứ n .

a_k, b_k - hằng số.

Bộ lọc loại này (được mô tả trên hình 7.8) tạo ra các tín hiệu đầu ra theo công thức tổng có trọng số của $(p+1)$ mẫu tín hiệu đầu ra và đầu vào trước đó.



Hình 7.7. Đáp ứng tần số của bộ lọc cho qua tần số thấp.



Hình 7.8. Ký hiệu bộ lọc số.

Bộ lọc và xung đáp ứng hữu hạn (bất hồi qui) tạo ra tín hiệu đầu ra chỉ trên cơ sở các mẫu tín hiệu đầu vào. Thuật toán đó được mô tả dưới dạng

$$y(n) = \sum_{k=0}^p a_k x(n-k). \quad (7-8)$$

Khái niệm "cửa sổ số liệu" được đưa ra cho bộ lọc thuộc loại này và được xác định bởi quan hệ sau:

$$T_w = (p + 1)T_r \quad (7-9)$$

Việc tổng hợp hai loại trên được thực hiện chi tiết trong các phần tiếp theo.

7.6. TỔNG HỢP CÁC BỘ LỌC VỚI XUNG ĐÁP ỨNG VÔ HẠN

Một bộ lọc số có thể được mô tả bằng hàm truyền tần số của nó, được xác định bằng tỷ số biến đổi Z của hai vế của phương trình (7-7). Đây là một phương pháp đơn giản khi ta thấy rằng việc làm trễ một tín hiệu mẫu tương đương với nhân nó với z^{-1} . Do đó nếu $Y(z)$ là biến đổi Z của $y(n)$ thì $z^{-1}Y(z)$ là biến đổi của $y(n-1)$. Khi xác định được biến đổi Z của biểu thức (7-7) thì hàm truyền có thể được định nghĩa như sau:

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = H(z) = \frac{\sum_{k=0}^p a_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^r b_k z^{-k}} \quad (7-10)$$

Tần số đáp ứng của bộ lọc có thể thu được bằng cách thay thế z^{-1} bằng $\exp(j\omega T_r)$. Đối với bộ lọc có tín hiệu đáp ứng vô hạn như công thức (7-10) tín hiệu đáp ứng được tính theo công thức:

$$H^*(j\omega) = \frac{\sum_{k=0}^p a_k \exp(-jk\omega T_r)}{1 + \sum_{k=1}^r b_k \exp(-jk\omega T_r)} \quad (7-11)$$

Trên cơ sở thuật toán trong công thức (7-7) ta có thể dễ dàng tính toán và vẽ đáp ứng tần số của bộ lọc. Việc tổng hợp bộ lọc là một quá trình ngược lại. Các hệ số a_k , b_k và phương trình (7-7) phải được tính toán và đưa ra trên cơ sở đường đặc tính của bộ lọc.

Có rất nhiều phương pháp để tổng hợp một bộ lọc có đáp ứng tín hiệu vô hạn. Một trong những phương pháp đơn giản được xây dựng trên cơ sở biến đổi hàm truyền của bộ lọc tương tự tần số thấp sang bộ lọc số sẽ được trình bày sau đây. Phương pháp này có hai ưu điểm. Trước hết lý thuyết về bộ lọc tương tự tần số thấp đã được nghiên cứu một cách toàn diện và có nhiều phương pháp tính xấp xỉ như Butterworth, Tschebyscheff và Bessel. Đồng thời cũng có nhiều công trình sử dụng các hàm truyền và đáp ứng tín hiệu của chúng. Thứ hai là phương pháp này rất đơn giản mặc dù kết quả thu được không phải luôn luôn là tối ưu.

7.6.1. Tổng hợp bộ lọc số tần số thấp

Ta giả thiết có một bộ lọc tương tự tần số thấp với hàm truyền $G(s)$ và vận tốc góc cắt là ω_{ga} , vấn đề đặt ra là tính toán bộ lọc số với đặc tính tương tự nhưng vận tốc cắt là ω_{gd} .

Thủ tục chính ở đây là thay thế toán tử z tương ứng vào toán tử s trong biểu thức $G(s)$:

$$s \Rightarrow \frac{A(1 - z^{-1})}{1 + z^{-1}} \quad (7-12)$$

Hệ số A được xác định bởi điều kiện giá trị vận tốc góc cắt trong hàm truyền của bộ lọc tương tự và bộ lọc số phải bằng nhau. Từ biểu thức (7-12) ta có:

$$\omega_{ga} = \frac{A |1 - \exp(-j\omega_{gd}T_i)|}{|1 + \exp(-j\omega_{gd}T_i)|}, \quad (7-13)$$

do đó :

$$A = \omega_{ga} \cosh\left(\frac{\omega_{gd}T_i}{2}\right). \quad (7-14)$$

Ví dụ 7.3.

Hãy tổng hợp một bộ lọc số tần số thấp với vận tốc góc cắt $\omega_{gd} = 628$ từ bộ lọc Butterworth tần số thấp bậc 2 với vận tốc góc $\omega_{ga}=1$ và hàm truyền.

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}$$

Tần số lấy mẫu $d_i = 1/T_i = 600$. Hệ số A tính theo công thức (7-14) bằng $A = \cosh(0,523) = 1,733$ và hàm truyền của bộ lọc số

$$H(z) = \left\{ \left[\frac{1,733(1 - z^{-1})}{(1 + z^{-1})} \right]^2 + \sqrt{2} \left[\frac{1,733(1 - z^{-1})}{(1 + z^{-1})} \right] + 1 \right\}^{-1}$$

đồng thời :

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = H(z) = \frac{1 + 2z^{-1} + z^2}{8,45 - 4z^{-1} + 1,55z^{-2}}$$

Vì việc nhân z^{-1} tương đương với làm trễ tín hiệu một mẫu ta có:

$$8,45y(n) - 4y(n-1) + 1,55y(n-2) = x(n) + 2x(n-1) - x(n-2)$$

do đó:

$$y(n) = 0,188x(n) + 0,237x(n-1) + 0,118x(n-2) + 0,473y(n-1) - 0,183y(n-2)$$

Như vậy ta có thể xây dựng một thuật toán hoàn chỉnh tính toán bộ lọc với đáp ứng xung vô hạn có đặc tính và tần số cắt cho trước. Đồng thời ta cần thiết phải xác định hoạt động của bộ lọc theo thời gian bằng cách kiểm tra các đáp ứng xung và bước đáp ứng thu được khi sử dụng các chương trình mô phỏng đơn giản.

7.6.2. Tổng hợp bộ lọc số tần số cao

Ta giả thiết có một bộ lọc tương tự tần số thấp với hàm truyền $G(s)$ và vận tốc góc cắt ω_{gn} , ta cần phải xây dựng thuật toán xác định bộ lọc số tần số cao với vận tốc góc cắt ω_{gd} . Trong trường hợp này ta thay thế toán tử so sánh trong hàm truyền $G(s)$ bằng một hàm số của toán tử z :

$$s \Rightarrow \frac{B(1+z^{-1})}{1-z^{-1}} \quad (7-15)$$

Biến đổi tương tự như trong trường hợp tổng hợp bộ lọc tần số thấp, hệ số B có thể tính theo công thức:

$$B = \omega_{gn} \tanh\left(\frac{\omega_{gd} T_1}{2}\right) \quad (7-16)$$

Các phần còn lại tương tự như trường hợp trước.

7.6.3. Tổng hợp bộ lọc dải

Một lần nữa ta giả thiết có bộ lọc tương tự tần số thấp với hàm truyền $G(s)$ và vận tốc góc cắt ω_{gn} , ta phải xây dựng thuật toán xác định bộ lọc dải với vận tốc góc ω_{d1} và ω_{d2} .

Bài toán được giải theo hai bước. Trong bước 1 bộ lọc tương tự tần số thấp được biến đổi thành bộ lọc tương tự dải bằng phép thay thế sau;

$$s \Rightarrow c_1 \left(s_1 + \frac{\omega_0^2}{s_1} \right), \quad (7-17)$$

trong đó:

s_1 - dạng mới của toán tử Laplace.

ω_0 - hằng số vận tốc góc của đặc tính dịch chuyển.

Trong bước 2 bộ lọc tương tự dải được chuyển thành bộ lọc số dải bằng cách thay thế:

$$s \Rightarrow \frac{C_2(1-z^{-1})}{(1+z^{-1})}. \quad (7-18)$$

Cả hai bước có thể được thực hiện đồng thời bằng phép thế:

$$s \Rightarrow \frac{C(1-2\alpha z^{-1}+z^{-2})}{(1-z^{-2})}, \quad (7-19)$$

trong đó:

$$C = \omega_{gn} \cosh \left[\frac{T_i(\omega_{d2} - \omega_{d1})}{2} \right]; \quad (7-20)$$

$$\alpha = \cos \left[\frac{T_i(\omega_{d2} + \omega_{d1})}{2} \right] / \cos \left[\frac{T_i(\omega_{d2} - \omega_{d1})}{2} \right]. \quad (7-21)$$

Các phép tính còn lại giống như trong các trường hợp trước nhưng bộ lọc này là bộ lọc bậc 2 nên cần nhiều thời gian tính hơn.

7.6.4. Tổng hợp bộ lọc loại chẵn

Trong thuật toán xác định bộ lọc số loại chẵn với vận tốc góc cắt ω_{d1} và ω_{d2} từ bộ lọc tương tự tần số thấp cho trước với hàm truyền $G(s)$ và vận tốc góc cắt ω_{gn} , phép thay thế được thực hiện như sau:

$$s \Rightarrow \frac{D(1-z^{-2})}{(1-2\alpha z^{-1}+z^{-2})} \quad (7-22)$$

trong đó:

$$D = \omega_{gn} \operatorname{tg} \left[\frac{T_i(\omega_{d2} - \omega_{d1})}{2} \right] \quad (7-23)$$

Trong tất cả các trường hợp, hàm truyền số $H(z)$ thu được từ phép thay thế hàm số tương ứng của toán tử so sánh trong hàm truyền $G(s)$. Thuật toán của bộ lọc có thể dễ dàng thu được từ hàm truyền $H(z)$.

Mặc dù rất có nhiều ưu điểm nhưng đáng tiếc là việc tổng hợp các bộ lọc số như trên cũng có một vài nhược điểm. Một trong số đó là các đặc tính của thuật toán không phải là tối ưu, chủ yếu là đặc tính động của chúng. Mặt khác các mẫu x và y phải được nhận riêng biệt với các hệ số a_k và b_k sẽ mất nhiều thời gian.

7.7. TỔNG HỢP CÁC BỘ LỌC CÓ ĐÁP ỨNG XUNG HỮU HẠN

Các bộ lọc với đáp ứng xung hữu hạn có thể được mô tả bằng công thức sau:

$$y(n) = \sum_{k=0}^p a_k x(n-k). \quad (7-24)$$

Thủ tục xác định hàm truyền của bộ lọc này tương tự như trước, có nghĩa là các biến đổi z của cả hai vế trong (7-24) được chia cho nhau, sau đó các tín hiệu trễ của một mẫu chập được thay bằng phép nhân với z^{-1} . Như vậy hàm truyền của bộ lọc này có dạng:

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = H(z) = \sum_{k=0}^p a_k z^{-k} \quad (7-25)$$

Đáp ứng tần số của bộ lọc có thể thu được khi thay thế $\exp(-jT_1)$ vào z^{-1} :

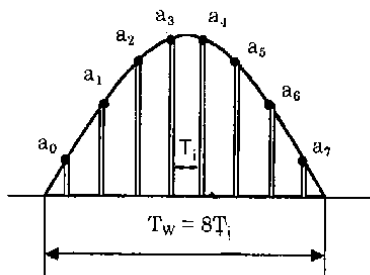
$$H^*(j\omega) = \sum_{k=0}^p a_k \exp(-jk\omega T_1). \quad (7-26)$$

Các đặc tính của pha và biên độ có thể tính được từ công thức này.

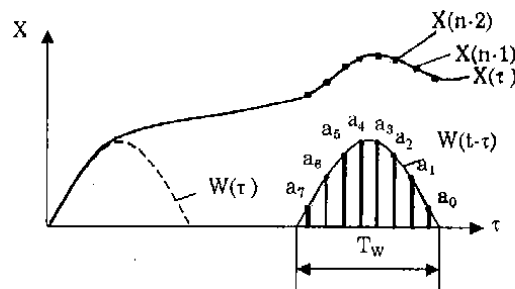
Phân tích biểu thức (7-24) cho thấy rằng, đáp ứng tần số của bộ lọc có thể tính đơn giản hơn nhiều vì công thức (7-24) chính là tích phân Euler của tín hiệu $x(t)$ nhân với hệ số a_k phân bố trên hình 7.9 dọc theo của số số. Công thức (7-24) là dạng số của tích phân:

$$y(n) = \sum_{k=0}^p a_k x(n-k) \Leftrightarrow y(t) = \frac{1}{T_1} \int_{-x}^{\infty} x(\tau) w(t-\tau) d\tau. \quad (7-27)$$

Đáp ứng đồ thị tương ứng được thể hiện trên hình 7.10.



Hình 7.9. Phân bố các hệ số trọng của số thông số



Hình 7.10. Biểu diễn bằng đồ thị thuật toán (7-23)

Tích phân trên là tích phân hợp của tín hiệu đầu vào $x(t)$ và hàm số $\omega(t)$ tạo ra khung của cửa sổ số. Công thức (7-24) là dạng số tương ứng của tích phân này.

Ta chú ý rằng dạng biến đổi Fourier của tích phân hợp bằng tích của các biến đổi, do đó:

$$Y(j\omega) = X(j\omega)W(j\omega), \quad (7-28)$$

trong đó: $Y(j\omega), X(j\omega)$ - biến đổi Fourier phổ của tín hiệu $y(\tau), x(\tau)$;

$W(j\omega)$ - biến đổi Fourier của cửa sổ số $w(\tau)$ chia cho khoảng xung T_i .

Ta có thể rút ra hai kết luận sau:

1. Cửa sổ $w(\tau)$ là đáp ứng xung (hàm trọng) của bộ lọc bị chia bởi thời gian tồn tại của tín hiệu.
2. Biến đổi Fourier của cửa sổ số $w(\tau)$ bằng phổ của bộ lọc chia bởi T_i .

Các kết luận này có những hệ quả thực tế, thay vì việc tính toán thủ công trên cơ sở công thức (7-26) phổ của bộ lọc có thể được xác định từ biến đổi Fourier của cửa sổ số $w(\tau)$. Nhưng ta phải chú ý rằng phương pháp đơn giản này bao gồm độ không chính xác nhất định vì nó không sử dụng các phương pháp số trong việc tính toán phân hợp. Hệ quả của việc này là các dải biên của phổ bị dịch chuyển $\omega_i = 2\pi/T_i$ của kết quả bị bỏ qua. Nhưng các dải biên có ảnh hưởng không đáng kể đối với tín hiệu ngắn so với các xung tần số cao ω_i .

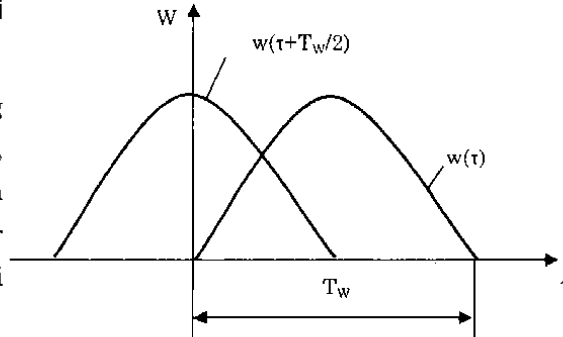
Về vấn đề tâm của các cửa sổ, nói chung $\omega(t)$ thường có dạng đối xứng hoặc là các hàm chẵn, lẻ và đó là một điểm thuận lợi khi tính biến đổi Fourier để đưa tâm của các hàm số về trùng với tâm điểm của hệ tọa độ như trên hình 7.11. Các hàm sau khi dịch chuyển có công thức $w_r(\tau) = w(\tau + T_w/2)$ do đó:

$$W(j\omega) = W(j\omega) \exp\left(\frac{-j\omega T_w}{2}\right). \quad (7-29)$$

Việc tổng hợp các bộ lọc có đáp ứng xung hữu hạn được thực hiện trên cơ sở xác định các hệ số a_k đặc trưng cho biên độ. Có rất nhiều những phương pháp khác (đơn giản hoặc phức tạp hơn) để tổng hợp bộ lọc. Phương pháp tổng hợp mô phỏng sẽ được trình bày dưới đây trên cơ sở phân tích các đặc tính của bộ lọc sử dụng các cửa sổ số thông dụng.

7.7.1. Bộ lọc tần số thấp với đáp ứng xung hữu hạn

Bộ lọc tần số thấp hay dùng nhất có cửa sổ số dạng chữ nhật, trong đó các hệ số a_k đều có giá trị 1 (H.7.12). Biến đổi Fourier của cửa sổ này tương đương với biên độ phổ của hàm số:

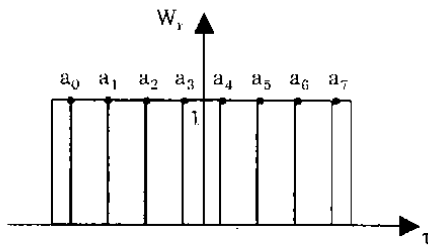


Hình 7.11. Dịch chuyển cửa sổ số liệu.

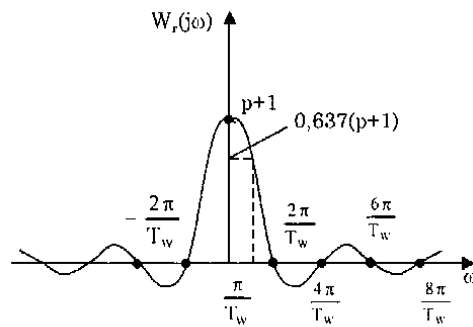
$$W_r(j\omega) = \frac{\frac{T_w}{T_s} \sin\left(\frac{\omega T_w}{2}\right)}{\frac{\omega T_w}{2}}, \quad (7-30)$$

do đó :

$$W_r(j\omega) = \frac{(p+1) \left[\sin\left(\frac{\omega T_w}{2}\right) \exp\left(\frac{-j\omega T_w}{2}\right) \right]}{\frac{\omega T_w}{2}}, \quad (7-31)$$



Hình 7.12. Cửa sổ số liệu hình chữ nhật.



Hình 7.13. Phổ biên độ của bộ lọc có cửa sổ số liệu hình chữ nhật.

Biên độ phổ tính theo (7-31) được mô phỏng trên hình 7.13. Đặc tính tần số thấp của bộ lọc được thể hiện rất rõ ràng mặc dù chúng bị ảnh hưởng của các dải biên có tần số cao hơn $2\pi/T_w$. Một ưu điểm rất quan trọng của bộ lọc này là sự đơn giản trong tính toán từ công thức:

$$y(n) = \sum_{k=0}^p x(n-k), \quad (7-32)$$

chỉ bao gồm phép cộng. Nếu cửa sổ chứa nhiều mẫu ta có thể tiếp tục đơn giản bằng cách sử dụng tương quan đáp ứng xung vô hạn cho công thức (7-32). Thay thế $y(n-1)$ vào công thức ta có:

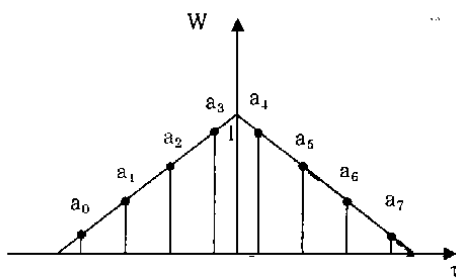
$$y(n) = y(n-1) + x(n) - x(n-p-1). \quad (7-33)$$

Như vậy việc tính toán mỗi mẫu tiếp theo chỉ cần hai phép cộng trừ so với số lượng lớn các mẫu trong cửa sổ.

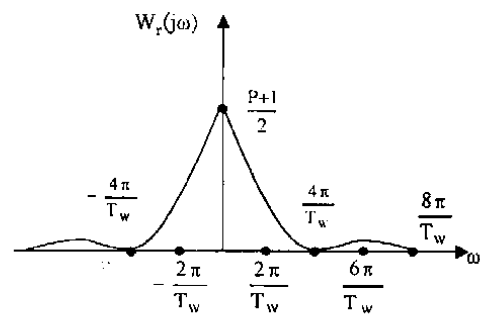
Các bộ lọc với cửa sổ chữ nhật thường được sử dụng vì chúng có các đặc tính lọc rất tốt và yêu cầu tính toán đơn giản. Khi cần giảm sự ảnh hưởng của các dải biên lên đáp ứng xung, ta lưu ý rằng chúng bị gây ra bởi bước nhảy của $\omega(t)$ tại các cạnh của cửa sổ. Giảm các nhiễu này làm thu hẹp các dải biên nhưng lại tăng độ rộng của phổ đưa ra. Ví dụ điển hình cho phương pháp này là bộ lọc tần số thấp với cửa sổ tam giác (H7.14) với phổ của biên độ tính theo công thức sau:

$$W_r(j\omega) = \frac{(p+1) \left[1 - \cos\left(\frac{\omega T_w}{2}\right) \right]}{\left(\frac{\omega T_w}{2}\right)^2} \quad (7-34)$$

Đường cong đáp ứng trên hình 7.15 cho thấy độ rộng của phổ yêu cầu lớn gấp 2 lần so với trường hợp cửa sổ chữ nhật nhưng thành phần dải biên lại không đáng kể.



Hình 7.14. Cửa sổ số liệu hình tam giác.



Hình 7.15. Phổ biên độ của bộ lọc có cửa sổ số liệu hình tam giác.

Cửa sổ trong các trường hợp bộ lọc tần số thấp có hình dạng khác nhau, ví dụ như cửa sổ Blackman, Hamming hay cửa sổ cô-sin. Tất cả các cửa sổ đó thường có độ lệch pha tuyến tính với tần số, có nghĩa là tín hiệu đầu vào với vận tốc ω_x xuất hiện ở đầu ra với biên độ tương ứng và lệch pha α_x trong đó :

$$\alpha_x = -\frac{\omega_x T_w}{2}. \quad (7-35)$$

Ví dụ 7.4. Một tín hiệu rời rạc, xác định bởi công thức:

$$x(n) = X_0 + X_1 \cos \omega_1 n T_i + X_2 \cos 2\omega_1 n T_i$$

được đưa vào bộ lọc số tần số thấp với cửa sổ chữ nhật có các hệ số $a_k = 1$. Trong cửa sổ với độ rộng $T_w/T_i = (p+1) = 6$. Hãy xác định đáp ứng của bộ lọc tại trạng thái ổn định.

Các biên độ có giá trị :

$$W_r(j0) = p+1 = 12$$

$$W_r(j\omega_1) = 0,637 (p+1) = 7,63$$

$$W_r(j2\omega_1) = 0$$

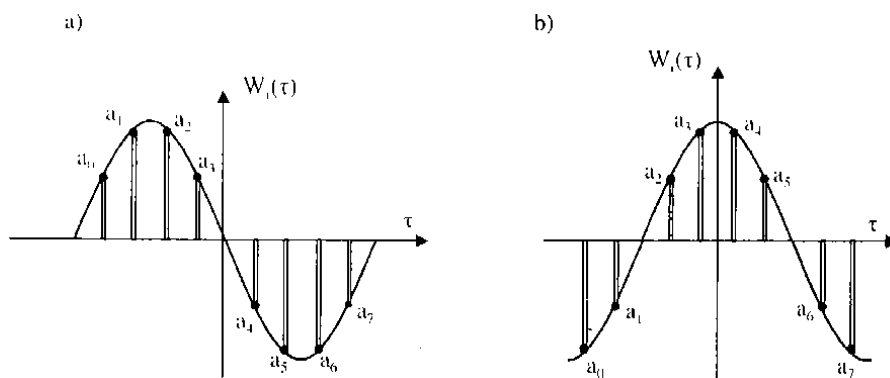
Độ lệch pha cho $\omega = \omega_1$ là: $\alpha_1 = -\omega_1 T_w/2 = \pi/2$

Từ đó ta có đáp ứng tại trạng thái ổn định là:

$$y(n) = 12X_0 + 7,63X_1 \cos \left(\omega_1 n T_i - \frac{\pi}{2} \right).$$

7.7.2. Bộ lọc dải với đáp ứng xung hữu hạn

1. Cửa sổ số dạng sin hoặc cô-sin



Hình 7.16. Cửa sổ số liệu hình sin (a) và cô-sin (b).

Các bộ lọc dải với cửa sổ dạng sin hay cô-sin đóng vai trò rất quan trọng vì nó cho phép lọc các tín hiệu có tần số cho trước. Các hàm số tuần hoàn được chọn sao cho hàm sin đạt min và hàm cô-sin đạt max tại tâm của cửa sổ. Hình 7.16 mô tả hai trường hợp cửa sổ hay dùng nhất tương ứng với một chu kỳ của hàm sin và cô-sin.

Các phổ biên độ của cửa sổ sin hay cô-sin có thể được tính toán theo các công thức sau không phụ thuộc vào độ rộng của cửa sổ.

- Cửa sổ sin:

$$W_s(j\omega) = j \frac{p+1}{2} \left\{ \frac{\sin \left[(\omega - \omega_0) \frac{T_w}{2} \right]}{(\omega - \omega_0) \frac{T_w}{2}} - \frac{\sin \left[(\omega + \omega_0) \frac{T_w}{2} \right]}{(\omega + \omega_0) \frac{T_w}{2}} \right\}; \quad (7-36)$$

- Cửa sổ cô-sin:

$$W_c(j\omega) = \frac{p+1}{2} \left\{ \frac{\sin \left[(\omega - \omega_0) \frac{T_w}{2} \right]}{(\omega - \omega_0) \frac{T_w}{2}} + \frac{\sin \left[(\omega + \omega_0) \frac{T_w}{2} \right]}{(\omega + \omega_0) \frac{T_w}{2}} \right\}, \quad (7-37)$$

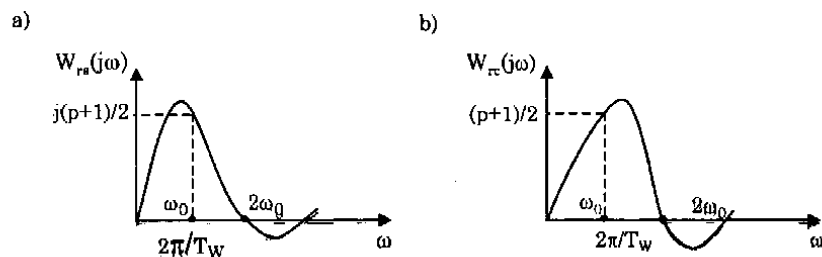
trong đó: $W_s(j\omega)$ - phổ biên độ của cửa sổ sin.

$W_c(j\omega)$ - phổ biên độ của cửa sổ cô-sin.

$\omega_0 = 2\pi/T_0$ - vận tốc góc của hàm sin hoặc cô-sin.

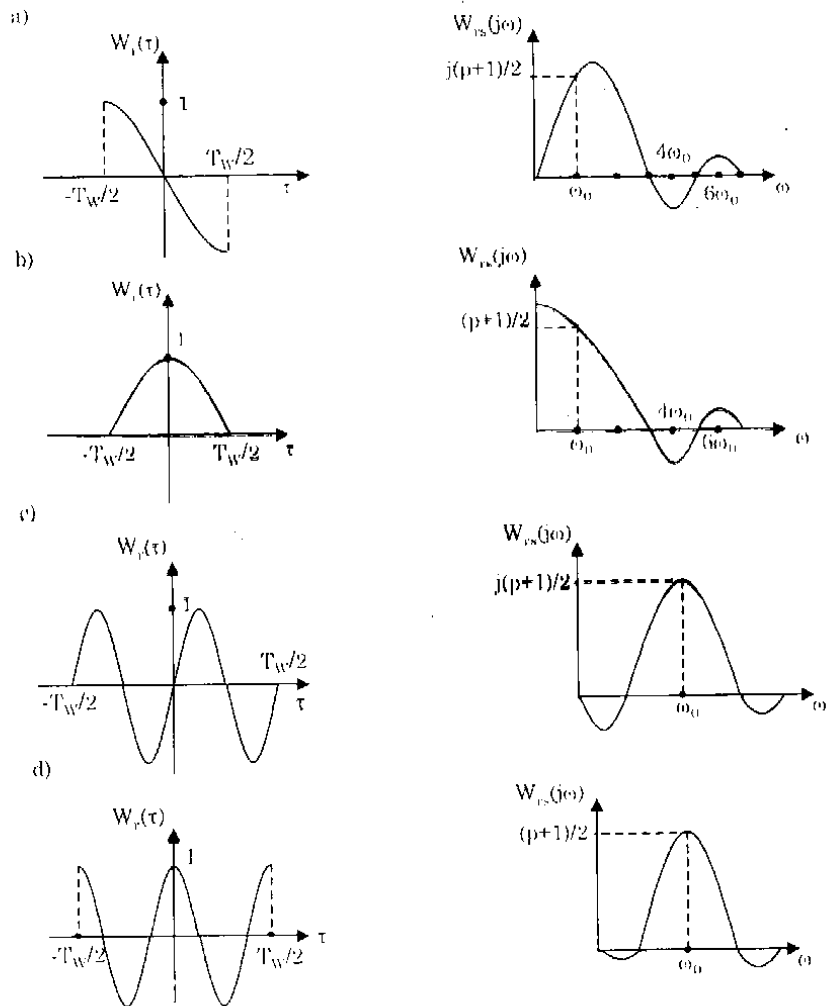
Trong các trường hợp trên hình 7.16 với $\omega_0 = 2\pi/T_w$ biên độ của các phổ xác định bởi công thức (7-36) và (7-37) được vẽ trên hình 7.17. Hình 7.18 cho ta thấy các ví dụ cho các phổ biên độ đặc trưng trong các trường hợp quan hệ khác nhau giữa độ rộng cửa sổ và chu kỳ của hàm sin hoặc cô-sin, cửa sổ được vẽ bên trái và phổ biên độ tương ứng ở bên phải.

Các bộ lọc với đường đặc tính trên hình 7.17 và 7.18 chấp nhận tần số ứng với vận tốc góc ω_0 .



Hình 7.17. Đáp ứng tần số với các hàm trên hình 7.16

a) Cửa sổ sổ liệu hình sin; b) cửa sổ sổ liệu hình cô-sin



Hình 7.18. Đáp ứng tần số của các cửa sổ số liệu hình sin và cô-sin.

Việc so sánh bộ lọc với đặc tính sin và cô-sin cho thấy rằng, đối với các cửa sổ có độ rộng $T_W < T_0$ thì bộ lọc với cửa sổ sin lọc rất tốt các thành phần có vận tốc góc $\omega < \omega_0$ nhưng kém đối với những thành phần có tần số lớn hơn ω_0 . Trường hợp của cửa sổ cô-sin thì ngược lại.

Một đặc điểm rất quan trọng của cả hai cửa sổ sin và cô-sin là độ lệch pha được tính theo công thức:

$$\alpha_s(j\omega) = -\frac{\omega T_W}{2} + \frac{\pi}{2}; \quad (7-38)$$

$$\alpha_c(j\omega) = -\frac{\omega T_w}{2}, \quad (7-39)$$

trong đó $\alpha_s(j\omega)$ và $\alpha_c(j\omega)$ là độ lệch pha gây ra bởi cửa sổ sin hay cô-sin đối với thành phần của tín hiệu có vận tốc góc ω .

Các bộ lọc số với cửa sổ tín hiệu như trên có thể được thiết kế khi sử dụng công thức sau:

$$y(n) = \sum_{k=0}^p a_k x(n-k), \quad (7-40)$$

trong đó đối với cửa sổ sin :

$$a_k = \sin \left[\omega_0 T_i \left(\frac{p}{2} - k \right) \right], \quad (7-41)$$

và đối với cửa sổ cô-sin :

$$a_k = \cos \left[\omega_0 T_i \left(\frac{p}{2} - k \right) \right]. \quad (7-42)$$

Tính toán theo công thức (7-40) bao gồm $(p+1)$ phép nhân với thời gian cần thiết khá lớn. Khi sử dụng những tính chất của hàm sin và cô-sin ta có thể giảm số lượng phép tính đi 2 lần. Ta có thể thực hiện việc đó bằng cách nhóm các số hạng trong công thức (7-40) và sử dụng những giá trị a_k được lập lại đồng thời dựa trên các công thức sau cho một cửa sổ sin:

$$y_s(n) = \sum_{k=0}^{\frac{(p-1)}{2}} \left[x \left(n - \frac{p}{2} + k + 0,5 \right) - x \left(n - \frac{p}{2} - k - 0,5 \right) \right] * \sin \omega_0 T_i (k + 0,5), \quad (7-43)$$

tương ứng cho cửa sổ cô-sin:

$$y_c(n) = \sum_{k=0}^{\frac{(p-1)}{2}} \left[x \left(n - \frac{p}{2} + k + 0,5 \right) - x \left(n - \frac{p}{2} - k - 0,5 \right) \right] * \cos \omega_0 T_i (k + 0,5). \quad (7-44)$$

Ta có thể tiếp tục đơn giản hoá khi cửa sổ tín hiệu rộng hơn một nửa chu kỳ của tín hiệu ω_0 . Trong trường hợp đặc biệt việc nhóm các phân tử có thể làm giảm số phép nhân cần thiết xuống tần số lấy mẫu mỗi một phần tư chu kỳ của ω_0 là $(p+1)T_0/4T_w$, trong đó $T_0 = 2\pi/\omega_0$. Việc cung cấp một lượng mẫu cho cửa sổ số nói chung là chậm, vì vậy những phép rút gọn tính toán này là rất đáng giá, nhưng nếu $(p+1)$ mẫu tương đối lớn và đặc biệt là trong trường hợp cửa sổ sin hay cô-sin ta nên sử dụng công thức (7.40) cho dạng đáp ứng tín hiệu vô hạn. Việc này yêu cầu sử dụng dạng phức của hàm sin và cô-sin:

$$g(n) = \sum_{k=0}^p x(n-k) \exp \left[j \left(\frac{p}{2} - k \right) \omega_0 T_i \right]. \quad (7-45)$$

Các bộ lọc với cửa sổ sin hay cô-sin khi đó có thể viết dưới dạng:

$$y_s(n) = \text{Im}(g(n)),$$

$$y_c(n) = \text{Re}(g(n)).$$

Có rất nhiều phương pháp xác định công thức của dạng đáp ứng xung vô hạn, sau đây chỉ trình bày một phương pháp đối với trường hợp độ dài T_w của cửa sổ là bội số của nửa chu kì $T_0/2$ cộng với một mẫu, nghĩa là :

$$T_w = \frac{kT_0}{2} + T_i = (p+1)T_i$$

Từ công thức này cho phép ta tính $g(n-1)$ và công thức (7-45) ta có:

$$g(n) = \left[g(n-1) - x(n-p-1) \exp \left(\frac{-j\omega_0 T_i p}{2} \right) \right] \exp(-j\omega_0 T_i) + x(n) \exp \left(\frac{-j\omega_0 T_i p}{2} \right). \quad (7-46)$$

Ưu điểm của công thức này là phần tử $\exp(j\omega_0 T_i p/2)$ chỉ nhận các giá trị là ± 1 hoặc $\pm j$ có nghĩa là việc tính phần thực và ảo của $g(n-1)$ chỉ cần 4 phép nhân số thực.

Ví dụ 7.5

Độ rộng của cửa sổ T_w trong các thiết bị xử lý số thường có giá trị gần bằng nửa vận tốc ω_0 . Giả sử $T_w = (p+1)T_i = T_0/2 + T_i$, $\exp(j\omega_0 T_i p/2) = j$, khi đó

$$g(n) = [g(n-1) + jx(n-p-1)] \exp(-j\omega_0 T_i) + jx(n).$$

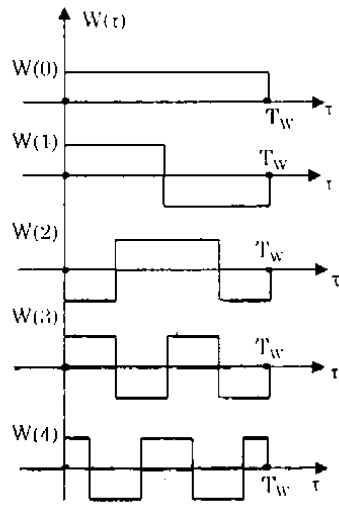
Từ đó suy ra:

$$y_s(n) = \text{Im}\{g(n)\} = [y_s(n-1) + x(n-p-1)] \cos \omega_0 T_i - y_c(n-1) \sin \omega_0 T_i + x(n)$$

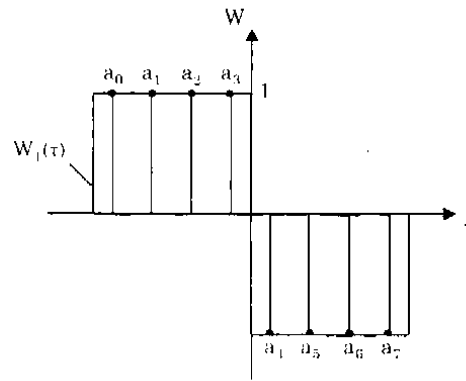
và
$$y_c(n) = \text{Re}\{g(n)\} = [y_s(n-1) + x(n-p-1)] \sin \omega_0 T_i + y_c(n-1) \cos \omega_0 T_i.$$

2. Các cửa sổ dạng Walsh

Trong lĩnh vực tự động hoá, các bộ lọc với cửa sổ dạng hàm Walsh thường được sử dụng. Bốn dạng đầu tiên của chúng được mô tả trên hình 7.19. Ưu điểm chính của các cửa sổ dạng hàm Walsh là chúng chỉ nhận các giá trị $+1$ hoặc -1 và điều đó đã làm giảm đáng kể lượng tính toán.



Hình 7.19. Năm hàm Walsh đầu tiên.

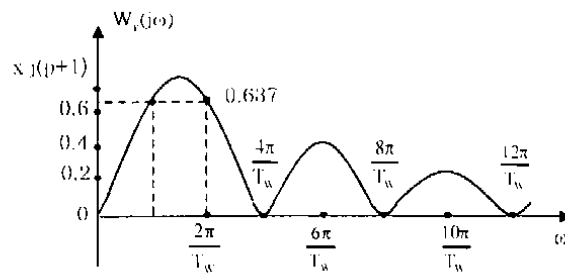


Hình 7.20. Cửa sổ số liệu tương ứng với hàm Walsh bậc nhất.

Trong mục trước ta đã mô tả cửa sổ số dưới dạng hàm Walsh bậc 0 trong bộ lọc tần số thấp (H. 7.12 và 7.13). Mặt khác cửa sổ trên hình 7.20 tương ứng với hàm Walsh bậc nhất với tâm tại gốc hệ toạ độ. Phổ của cửa sổ tín hiệu được tính bằng công thức sau:

$$W_1(j\omega) = j \frac{T_w}{T_1} \left[\frac{1 - \cos\left(\frac{\omega T_w}{2}\right)}{\frac{\omega T_w}{2}} \right] \quad (7-47)$$

ứng với đồ thị trên hình 7.21.



Hình 7.21. Phổ biên của cửa sổ số liệu hình 7.20.

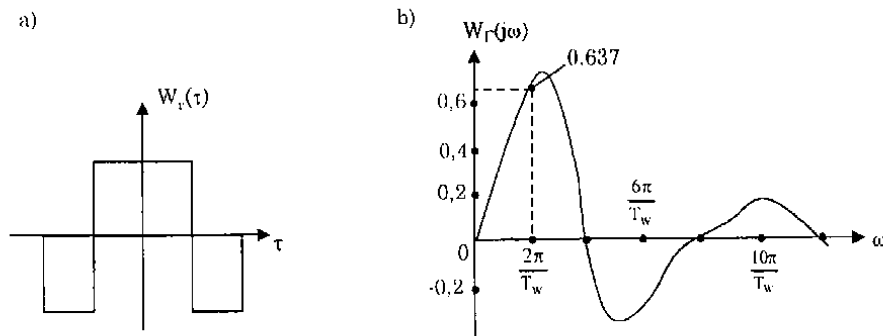
Dạng số hoá của bộ lọc với cửa sổ trên khá đơn giản và cho bởi công thức sau:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\frac{p-1}{2}} x(n-k) - \sum_{k=\frac{p+1}{2}}^p x(n-k) \quad (7-48)$$

và do đó không cần phải thực hiện các phép tính nhân, chỉ cần có p phép cộng trừ. Trong trường hợp số lượng mẫu trong cửa sổ lớn, ta có thể đơn giản việc tính toán bằng cách sử dụng dạng đạo hàm của công thức (7-48) dưới dạng:

$$y(n) = y(n-1) + x(n) + x(n-p-1) - 2x\left(n - \frac{p}{2} - 0,5\right). \quad (7-49)$$

Công thức trên cho thấy sự đơn giản của bộ lọc với cửa sổ Walsh trong tính toán và đặc tính lọc tốt như trên hình 7.21.



Hình 7.22. a) Cửa sổ số liệu tương ứng với hàm Walsh bậc hai; và
b) Phổ biên độ tương ứng.

Trên hình 7.22,a ta có cửa sổ số của hàm Walsh bậc 2 và đáp ứng tần số của nó trên hình 7.22,b theo công thức sau:

$$W_r(j\omega) = \frac{T_w}{T_i} \left[\frac{\sin\left(\frac{\omega T_w}{4}\right)}{\frac{\omega T_w}{4}} \right] \left[1 - \cos\left(\frac{\omega T_w}{4}\right) \right]. \quad (7-50)$$

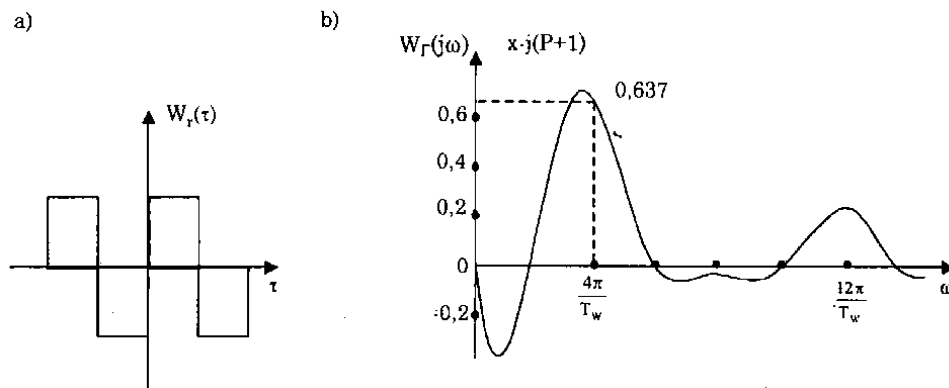
Dạng số hoá của biểu thức này rất đơn giản, được cho theo công thức:

$$y(n) = - \sum_{k=0}^{\frac{p+1}{4}} x(n-k) + \sum_{k=\frac{p+1}{4}}^{\frac{3(p+1)}{4}} x(n-k) - \sum_{k=\frac{3(p+1)}{4}}^p x(n-k). \quad (7-51)$$

Cửa sổ số này có thể xác định rất nhanh chóng vì theo (7-51) ta chỉ cần p phép cộng-trừ. Khi lượng mẫu trong cửa sổ lớn ta có thể tiếp tục đơn giản tính toán bằng cách sử dụng tương quan đáp ứng xung vô hạn sau:

$$y(n) = y(n-1) - x(n) + (n-p-1) - 2x\left[n - \frac{(p+1)}{4}\right] - 2x\left[n - \frac{3(p+1)}{4}\right].$$

Các bộ lọc rời rạc với cửa sổ số dưới dạng hàm Walsh bậc cao hơn có thể thu được bằng phương pháp tương tự trên hình 7.23.



Hình 7.23. a) Cửa sổ số liệu tương ứng với hàm Walsh bậc ba và b) Phổ biên tương ứng.

7.7.3. Các ứng dụng thực tế

Trong các thiết bị tự động và bảo vệ sử dụng trong hệ thống điện ta thường sử dụng các bộ lọc tần số thấp hoặc bộ lọc dải, là những bộ lọc cho phép thành phần cơ bản của tín hiệu đi qua nhưng loại bỏ hay làm suy yếu các tín hiệu có tần số lớn hơn hoặc nhỏ hơn ω_1 .

Các bộ lọc tần số thấp thường có cửa sổ số chữ nhật tương đương với hàm Walsh bậc 0 vì chúng rất đơn giản trong tính toán và có đặc tính lọc tốt (xem hình 7.12 và 7.13). Các cửa sổ khác ví dụ như cửa sổ tam giác (H.7.4 và 7.15) hoặc cửa sổ cô-sin với $T_w = 0,5T_0$ ít được dùng hơn.

Việc bỏ qua thành phần cơ bản ra khỏi tín hiệu đầu vào có thể gây tranh luận. Cửa sổ của các bộ lọc này có độ rộng bằng chu kỳ cơ sở $T_w = T_1$ và thường có dạng sin hay cô-sin. Tần số ứng với ω_0 của hàm trong cửa sổ chính là tần số cơ sở ($\omega_0 = \omega_1$). Một cửa sổ sin được chọn để loại bỏ các tần số nhiễu cao và cửa sổ cô-sin để loại bỏ những tần số thấp hơn ω_1 (hoặc thành phần DC tắt dần).

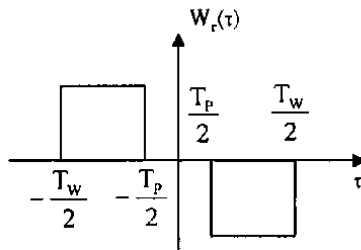
Trong vài trường hợp liên quan tới thiết bị bảo vệ phản ứng nhanh thì cửa sổ với độ rộng $T_w = T_1$ là quá rộng. Nếu độ rộng của cửa sổ giảm đi, ví dụ 2 lần ($T_w = 0,5T_1$) trong khi giữ nguyên liên hệ $\omega_0 = \omega_1$ thì bộ lọc tạo được sẽ có đường đặc tính đặc biệt. Nhược điểm của trường hợp cửa sổ cô-sin là thành phần DC không bị loại khỏi kết quả đo (H.7.18,b). Khi đó ta phải sử dụng cửa sổ sin với độ rộng bằng một phần chu kỳ để loại bỏ thành phần DC hay là những thành phần có tần số cao hơn ω_0 (H.7.17,a và 7.18,a).

Như đã nói ở mục trước, việc sử dụng cửa sổ cô-sin yêu cầu bộ vi xử lý tính toán mất nhiều thời gian vì phải thực hiện nhiều phép nhân. Ngược lại với vấn đề này việc sử dụng các hàm Walsh không thực hiện một phép nhân nào. Kết quả tốt nhất thu được đối với hàm Walsh bậc 2 khi độ rộng của cửa sổ $T_w = T_1$. Những bộ lọc như thế loại bỏ rất hiệu quả các thành phần có tần số $\omega < \omega_1$ bao gồm cả thành phần DC và các hài con. Các đặc tính dải tốt chỉ có thể thu được với các cửa sổ ngắn hơn và sử dụng hàm Walsh bậc 1 (H.7.20 và 7.21). Cửa sổ tối ưu trên quan điểm đặc tính lọc là đỉnh đầu tiên của đặc tính $W_r(j\omega)$ trên hình 7.21 ứng với $T_w = 3T_1/4$. Việc tiếp tục giảm T_w tới $0,5T_1$ chỉ làm giảm không đáng kể tính chất của bộ lọc với $\omega_1 = \pi/T_w$. Thấp hơn giá trị đó hoặc việc tăng T_w so với T_1 làm giảm mạnh tính chất của bộ lọc do sự giảm rõ ràng của tần số cơ bản.

Một nhược điểm của cửa sổ với các hàm Walsh bậc 1 là các dải biên rất lớn. Ví dụ đối với $T_w = 0,5T_1$ hài bậc 6 chỉ nhỏ hơn hài cơ sở có 3 lần. Điều này có thể thấy trên hình 7.20 trong khi phổ biên độ $W_r(j\omega_1) = j(p+1)0,637$ đối với ω_1 so với $W_r(j\omega_6) = j(p+1)0,21$ đối với ω_6 .

Các đường đặc tính của cửa sổ trên hình 7.24 có thể được đánh giá là rất tốt. Biên độ phổ tương ứng là:

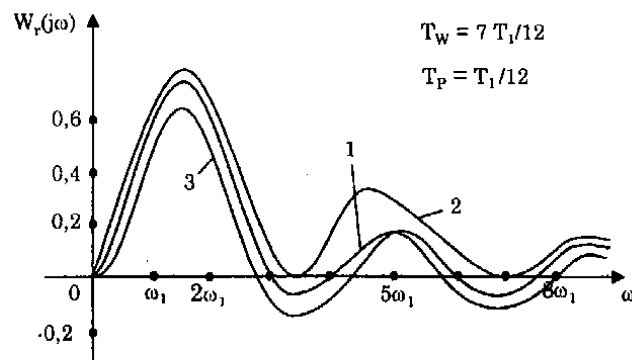
$$W_r(j\omega) = j \frac{T_w}{T_1} \left[\frac{\cos\left(\frac{\omega T_p}{2}\right) - \cos\left(\frac{\omega T_w}{2}\right)}{\frac{\omega T_w}{2}} \right] \quad (7-52)$$



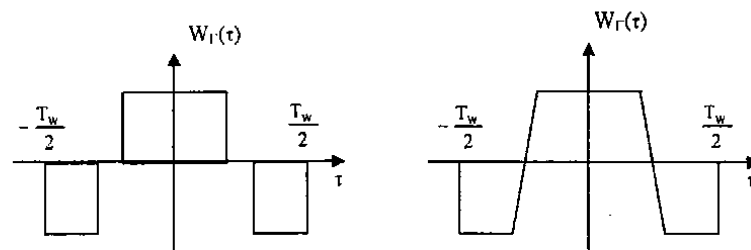
Hình 7.24. Hàm Walsh bậc nhất được cải biên.

Ta thu được các kết quả rất tốt cho $T_p = T_1/12$ như thấy trên hình 7.25, đồng thời cho thấy sự so sánh giữa hàm Walsh bậc 1 thông thường và hàm sin. Độ rộng của cửa sổ cho cả 3 trường hợp là $T_w = 7T_1/12$. Các cửa sổ Walsh cải biên có hiệu quả tương tự như cửa sổ sin nhưng lại tính toán đơn giản hơn.

Có rất nhiều phiên bản cải biên của các hàm Walsh để cải tiến đáp ứng tần số mà không cần tăng đáng kể yêu cầu tính toán. Hai ví dụ của các hàm bậc 2 được đưa ra trên hình 7.26.



Hình 7.25. Đáp ứng tần số với hàm Walsh bậc nhất cải biên (1) hàm Walsh bậc nhất bình thường (2) và hàm sin (3).



Hình 7.26. Hai ví dụ về hàm Walsh bậc hai cải biên.

7.8. BIỂU DIỄN BIẾN ĐẦU VÀO BẰNG CÁC THÀNH PHẦN TRỰC GIAO

Các thuật toán thường sử dụng các thành phần trực giao của biến đầu vào.

Ví dụ đối với đầu vào

$$x(t) = X_1 \cos(\omega_1 t - \beta) \quad (7-53)$$

các thành phần trực giao được mô tả bằng công thức:

$$x_a = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha), \quad (7-54)$$

$$x_r = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha - \frac{\pi}{2}). \quad (7-55)$$

Khi đó các thành phần trực giao có cùng biên độ với đầu vào nhưng bị dịch chuyển $\frac{\pi}{2}$ so với X_a .

7.8.1. Áp dụng của tích hợp trong các hàm trực giao

Việc đưa tín hiệu đầu vào qua các bộ lọc sin hay cô-sin (công thức (7-40) đến (7-42)) sẽ tạo ra những tín hiệu trực giao, một được tạo ra từ liên hệ với cửa sổ sin, một tạo ra từ liên hệ với cửa sổ cô-sin (xem công thức (7-36), (7-37), (7-38) và (7-39)). Vì vậy các tín hiệu trực giao của tín hiệu số $x(n)$ được đưa ra bởi công thức sau:

$$x_a(n) = \frac{2}{p+1} y_s(n), \quad (7-56)$$

$$x_r(n) = \frac{2}{p+1} y_c(n), \quad (7-57)$$

trong đó $y_s(n)$ và $y_c(n)$ xác định bởi công thức (7-43) và (7-44).

Các thành phần trực giao có thể được xác định một cách đơn giản khi sử dụng các bộ lọc từ hàm Walsh chẵn hoặc lẻ hay các hàm khác đối xứng hoặc bất đối xứng phân bố tại tâm của cửa sổ số.

7.8.2. Phép tính trực giao theo thời gian trễ đơn

a) Ví dụ 1

Một tín hiệu vào xác định bởi công thức (7-53) bị trễ một thời gian τ_1 có dạng:

$$x(t - \tau_1) = X_1 \cos(\omega_1 t - \beta - \omega_1 \tau_1) = X_1 \cos\left(\omega_1 t - \alpha - \frac{\omega_1 \tau_1}{2}\right), \quad (7-58)$$

trong đó: $\alpha = \beta + \frac{\omega_1 \tau_1}{2}$.

Từ công thức

$$x(t) + x(t - \tau_1) = 2X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha) \cos\left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2}\right) \quad (7-59)$$

và :

$$x(t) - x(t - \tau_1) = -2X_1 \sin(\omega_1 t - \alpha) \sin\left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2}\right), \quad (7-60)$$

ta có :

$$x_s(t) = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha) = \frac{x(t) + x(t - \tau_1)}{2 \cos\left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2}\right)} \quad (7-61)$$

và :

$$x_r(t) = X_1 \sin(\omega_1 t - \alpha) = \frac{x(t) - x(t - \tau_1)}{2 \sin\left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2}\right)} \quad (7-62)$$

Giá trị thời gian trễ τ_1 có thể chọn bất kì và là bội số của chu kì T_1 . Từ đó dạng số hoá của công thức (7-61) và (7-62) là :

$$x_s(n) = \frac{x(n) + x(n - h)}{2 \cos\left(\frac{\omega_1 h T_1}{2}\right)} \quad (7-63)$$

và :

$$x_r(n) = \frac{x(n) - x(n - h)}{2 \sin\left(\frac{\omega_1 h T_1}{2}\right)}, \quad (7-64)$$

trong đó $h = \tau_1 / T_1$.

Trong thực tế h được chọn trong khoảng 1 (một mẫu đơn) đến $m/4$.

b) Ví dụ 2

Tín hiệu trong công thức (7-53) bị trễ một khoảng τ_2 có công thức:

$$\begin{aligned} x(t - \tau_2) &= X_1 \cos(\omega_1 t - \beta - \omega_1 \tau_2) \\ &= X_1 [\cos(\omega_1 t - \beta) \cos \omega_1 \tau_2 + \sin(\omega_1 t - \beta) \sin \omega_1 \tau_2] \end{aligned} \quad (7-65)$$

Từ công thức (7-53) và (7-54):

$$X_1 \sin(\omega_1 t - \beta) = \frac{x(t - \tau_2) - x(t) \cos \omega_1 \tau_2}{\sin \omega_1 \tau_2} \quad (7-66)$$

và do vậy :

$$\begin{aligned}x_a(t) &= x(t), \\x_r(t) &= \frac{x(t - \tau_2) - x(t) \cos \omega_1 \tau_2}{\sin \omega_1 \tau_2}.\end{aligned}\quad (7-67)$$

Từ đó ta có :

$$\begin{aligned}x_a(n) &= x(n), \\x_r(n) &= \frac{x(n - h) - x(n) \cos \omega_1 h T_i}{\sin \omega_1 h T_i};\end{aligned}\quad (7-68)$$

h được chọn như trên trong khoảng 1 đến $m/4$.

7.8.3. Phép trực giao theo thời gian trễ kép

Tín hiệu trong (7-53) bị trễ bởi các khoảng thời gian τ_3 và $2\tau_3$:

$$x(t) = X_1 \cos(\omega_1 t - \beta) = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha + \omega_1 \tau_3), \quad (7-69)$$

$$x(t - \tau_3) = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha), \quad (7-70)$$

$$x(t - 2\tau_3) = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha - \omega_1 \tau_3), \quad (7-71)$$

trong đó: $\alpha = \beta + \omega_1 \tau_3$.

Từ công thức :

$$x(t - 2\tau_3) - x(t) = 2 X_1 \sin(\omega_1 t - \alpha) \sin \omega_1 \tau_3 \quad (7-72)$$

suy ra :

$$x_a(t) = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1) = x(t - \tau_3), \quad (7-73)$$

và :

$$x_r(t) = X_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1) = \frac{x(t - 2\tau_3) - x(t)}{2 \sin \omega_1 T_i}. \quad (7-74)$$

Theo công thức (7-68) :

$$x_a(n) = x(n - h), \quad (7-75)$$

$$x_r(n) = \frac{x(n - 2h) - x(n)}{2 \sin \omega_1 h T_i}, \quad (7-76)$$

trong đó $h = \tau_3/T_i$.

7.9. TƯƠNG QUAN SỐ

Tương quan số là phép thay thế biến đầu vào bằng chuỗi các hàm trực giao khả đảo, nhờ đó trong rất nhiều trường hợp chỉ có thành phần cơ sở được tính theo công thức:

$$x(t) = C_1 \sin \omega_1 t + C_2 \cos \omega_1 t. \quad (7-77)$$

Các hàm sin và cô-sin trực giao với nhau khi của số số là bội số chẵn của nửa chu kỳ ω_1 . Trong những trường hợp này các hệ số C_1 và C_2 có thể được biểu diễn bằng:

$$C_1 = \frac{\int_{t-T_n}^t x(\tau) \sin(\omega_1 \tau) d\tau}{\int_{t-T_n}^t \sin^2(\omega_1 \tau) d\tau} \quad (7-78)$$

và :

$$C_2 = \frac{\int_{t-T_n}^t x(\tau) \cos(\omega_1 \tau) d\tau}{\int_{t-T_n}^t \cos^2(\omega_1 \tau) d\tau} \quad (7-79)$$

Trong cả hai trường hợp mẫu số bằng $T_w/2$ do đó ta chỉ cần xác định tử số trong biểu thức (7-78) và (7-79) để thu được dạng tương quan số. Nếu phép tích phân được tính theo công thức Euler thì:

$$C_1(n) = \frac{2}{p+1} \sum_{k=0}^p x(n-k) \sin[\omega_1(n-k)T_1] \quad (7-80)$$

và :

$$C_2(n) = \frac{2}{p+1} \sum_{k=0}^p x(n-k) \cos[\omega_1(n-k)T_1]. \quad (7-81)$$

Các công thức trên giống với các bộ lọc với cửa sổ sin hay cô-sin (công thức (7-40), (7-41) và (7-42)) nhưng các hệ số a_k không phụ thuộc vào thứ tự tính toán các mẫu, có nghĩa là không phải là hàm số của n . Từ công thức (7-80) và (7-81) ta thấy trong việc tương quan hoá các hệ số thay đổi theo n và các công thức tính hệ số C_1 và C_2 có thể được coi như các bộ lọc số với hệ số biến thiên theo thời gian.

Các hệ số tương quan C_1 và C_2 có đặc tính rất quan trọng là giá trị của chúng theo thời gian là hằng số với điều kiện là đầu vào chỉ chứa một thành phần với tần số

ω_1 . Các thành phần với tần số là bội của ω_1 không có ảnh hưởng gì đối với độ lớn C_1 và C_2 .

Nếu trong khi tính toán ta thấy rằng các hệ số C_1 và C_2 thay đổi đối với n mẫu liên tiếp thì có nghĩa là:

- Biên độ hoặc góc pha của đầu vào với vận tốc góc ω_1 đã biến đổi trong thời gian của số cho trước.

- Tần số của sóng cơ sở đã thay đổi so với giá trị danh định ω_1 .

- Đầu vào chứa các thành phần với vận tốc góc không phải là bội số của ω_1 . Ta cần phải đặc biệt chú ý đến thành phần DC của đầu vào. Thành phần DC không có ảnh hưởng đến giá trị của C_1 và C_2 với điều kiện là độ rộng của cửa sổ là bội số của chu kỳ cơ sở (thường là bằng). Nếu điều kiện này không được thỏa mãn khi $T_w < T_1$ các hệ số sẽ được tính với sai số phụ thuộc thời gian.

Khối lượng tính toán theo công thức (7-80) và (7-81) khá lớn, nhưng có thể giảm đáng kể bằng việc sử dụng dạng công thức đáp ứng xung vô hạn cho cửa sổ là bội số của $T/2$ và giá trị k chẵn :

$$C_1(n) = C_1(n-1) + \frac{2}{p+1} [x(n) - x(n-p-1)] \sin(\omega_1 n T_1) \quad (7-82)$$

và

$$C_2(n) = C_2(n-1) + \frac{2}{p+1} [x(n) - x(n-p-1)] \cos(\omega_1 n T_1) \quad (7-83)$$

và với giá trị k lẻ :

$$C_1(n) = C_1(n-1) + \frac{2}{p+1} [x(n) + x(n-p-1)] \sin(\omega_1 n T_1) \quad (7-84)$$

và

$$C_2(n) = C_2(n-1) + \frac{2}{p+1} [x(n) + x(n-p-1)] \cos(\omega_1 n T_1) \quad (7-85)$$

Ta nhận thấy các giá trị liên tiếp của các hệ số $C_1(n)$ và $C_2(n)$ có thể thu được từ một phép nhân cho mỗi hệ số.

7.10. CÁC BỘ LỌC THÀNH PHẦN ĐỐI XỨNG

Các thành phần thuận, nghịch và không của các biến hình sin 3 pha được đo để xác định độ mất cân bằng của chúng. Vì độ mất cân bằng trong hệ thống điện 3 pha là chỉ số của độ nhiễu loạn nên các thành phần đối xứng thường được các thiết bị bảo vệ tiếp nhận để xác định các loại sự cố tương ứng.

Phiên bản số của các bộ lọc tương tự thành phần đối xứng có thể được xây dựng một cách dễ dàng, nhưng tốt hơn nếu ta lợi dụng các kỹ thuật số để thu được các độ lệch pha cần thiết. Một vài qui tắc sẽ được nêu ra dưới đây.

7.10.1. Qui tắc độ trễ tín hiệu

Quan hệ giữa các thành phần đối xứng x_1 , x_2 và x_0 và 3 giá trị pha x_A , x_B , x_C được đưa ra bởi công thức:

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_A \\ x_B \\ x_C \end{bmatrix} \quad (7-86)$$

trong đó :

x_1 , x_2 , x_0 - thành phần thuận, nghịch và không của biến pha x_A , x_B , x_C với chuẩn là pha A.

a - hệ số chuyển góc pha của đầu vào đi 120° .

Ta cần chú ý rằng dịch pha $+120^\circ$ tương đương với việc làm trễ 240° và dịch pha 240° tương đương với làm trễ 120° . Việc làm trễ góc pha, có nghĩa là làm trễ tín hiệu, có thể thu được ở dạng số rất đơn giản vì công thức bộ lọc cho các thành phần được cho như sau:

$$\begin{aligned} 3x_0(n) &= x_A(n) + x_B(n) + x_C(n) \\ 3x_1(n) &= x_A(n) + x_B\left(n - \frac{2m}{3}\right) + x_C\left(n - \frac{m}{3}\right) \\ 3x_2(n) &= x_A(n) + x_B\left(n - \frac{m}{3}\right) + x_C\left(n - \frac{2m}{3}\right) \end{aligned} \quad (7-87)$$

trong đó m là mẫu trong một chu kỳ cơ bản của biến đầu vào.

Việc tính toán theo công thức (7-87) có thể đơn giản khi theo hình 7.24 tương quan $i(n - 2m/3) = -i(n - m/6)$ được thỏa mãn. Từ kết quả này ta có dạng thứ hai của công thức:

$$\left. \begin{aligned} 3x_0(n) &= x_A(n) + x_B(n) + x_C(n) \\ 3x_1(n) &= x_A(n) - x_B\left(n - \frac{m}{6}\right) + x_C\left(n - \frac{m}{3}\right) \\ 3x_2(n) &= x_A(n) + x_B\left(n - \frac{m}{3}\right) - x_C\left(n - \frac{m}{6}\right) \end{aligned} \right\} \quad (7-88)$$

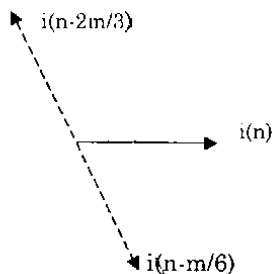
Với giả thiết $m/3$ trong (7-87) và $m/6$ trong (7-88) là số nguyên việc tính toán cả hai bộ công thức đều rất đơn giản. Khi điều kiện đó không được thoả mãn ta phải tiếp tục biến đổi như sau:

Giả thiết $m/6 = k + r$ trong đó k là số nguyên còn r là phần lẻ, ta có thể sử dụng phép gần đúng sau:

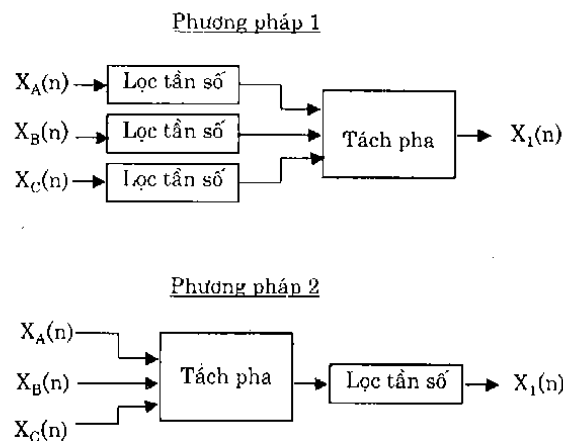
$$x\left(n - \frac{m}{6}\right) \cong x(n - k)(1 - r) + x(n - k - 1)r$$

Thông thường giá trị của r được chọn cho phép nhân được đơn giản và các khối lượng tính toán thấp.

Các công thức trên đều đơn giản, nhanh và chính xác với điều kiện là đầu vào là hình sin tuyệt đối và có vận tốc góc là ω_1 . Những sai số có thể đáng kể nên các tín hiệu thành phần đối xứng thu được từ các biến áp hỗn hợp phải được lọc bổ sung bằng các bộ lọc với đáp ứng tần số vô hạn và hữu hạn tương ứng (xem 7.6). Hai bộ lọc có thể kết hợp thành một bằng 2 cách trình bày trên hình 7.28.



Hình 7.27. Tách pha của tín hiệu đẳng trị.



Hình 7.28. Phương pháp tổ hợp các bộ lọc tần số và bộ lọc thành phần đối xứng.

7.10.2. Các bộ lọc thành phần trực giao

Các thành phần đối xứng của một hệ thống 3 pha có thể nhận được trực tiếp khi sử dụng các hàm trực giao. Điều đó có được từ khả năng biểu diễn tín hiệu lệch pha 120° như sau:

$$X_1 \cos\left(\omega_1 t - \alpha \pm \frac{2\pi}{3}\right) = -X_1 \left[0,5 \cos(\omega_1 t - \alpha) \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\omega_1 t - \alpha) \right] \quad (7-89)$$

Vế phải của biểu thức (7-89) là tổng của các thành phần trực giao do công thức thành phần thuận, nghịch của tín hiệu xoay chiều:

$$3x_1 = (x_A)_a - 0,5(x_B)_a - \frac{\sqrt{3}}{2}(x_B)_r - 0,5(x_C)_a + \frac{\sqrt{3}}{2}(x_C)_r, \quad (7-90)$$

$$3x_2 = (x_A)_a - 0,5(x_B)_a + \frac{\sqrt{3}}{2}(x_B)_r - 0,5(x_C)_a - \frac{\sqrt{3}}{2}(x_C)_r, \quad (7-91)$$

trong đó:

$(x_A)_a, (x_B)_a, (x_C)_a$ - các thành phần trực giao vượt của các pha x_A, x_B, x_C .

$(x_A)_r, (x_B)_r, (x_C)_r$ - các thành phần trực giao trễ của các pha x_A, x_B, x_C .

Các thành phần trực giao có thể được xác định theo một trong những phương pháp trong phần 7.8.

CÂU HỎI ÔN TẬP

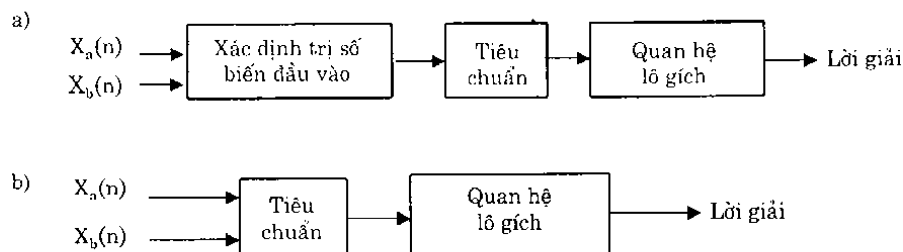
- 7.1. Lọc tín hiệu tương tự, chuyển đổi tương tự - số (A/D) và hiệu chỉnh tín hiệu đầu vào.
- 7.2. Tổng hợp các bộ lọc với đáp ứng xung vô hạn.
- 7.3. Tổng hợp các bộ lọc có đáp ứng xung hữu hạn.
- 7.4. Sử dụng phương pháp thành phần trực giao.

Các thuật toán bảo vệ số

8.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Các thuật toán sử dụng trong bảo vệ thường tương ứng với một trong hai cấu trúc cho trên hình 8.1. Cấu trúc thứ nhất (H.8.1,a) hoạt động trên cơ sở các giá trị tín hiệu đầu vào và các tương quan chung của chúng (ví dụ như biên độ, tần số, công suất tác dụng và phản kháng) được xác định bằng phương pháp số. Các tín hiệu kết quả được tính toán để xác định xem các biên độ của chúng có vượt quá giới hạn hay không, hoặc biên độ của một tín hiệu lớn hay nhỏ hơn tín hiệu khác, hoặc điều kiện của đặc tính hoạt động của role trở kháng được thoả mãn. Trong các phần sau của cấu trúc các tương quan lô gích giữa các tín hiệu được xem xét. Sự khác biệt giữa các cấu trúc số và tương tự là các tín hiệu đầu vào được đo và các tín hiệu trong cấu trúc được xử lý số hoá.

Cấu trúc thứ hai trên hình 8.1,b thường được sử dụng trong các role bảo vệ tương tự, trong đó ta không xác định giá trị số của tín hiệu đầu vào mà chỉ so sánh các biên độ với mức chuẩn để xác định xem các điều kiện cắt có thoả mãn hay không. Các thiết kế thực tế của các thiết bị bảo vệ số thường là tổng hợp của hai kết cấu trên.



Hình 8.1. Cơ cấu điển hình của phép đo sử dụng trong bảo vệ.

8.2. PHÉP ĐO BIÊN ĐỘ CỦA TÍN HIỆU HÌNH SIN

Như ta đã biết, có rất nhiều phương pháp đo biên độ của tín hiệu hình sin với độ chính xác, lọc nhiễu, khối lượng tính toán, khả năng tính toán khác nhau. Những phương pháp quan trọng nhất được mô tả sau đây.

8.2.1. Sử dụng các thành phần trực giao

Phương pháp 1

Biên độ X_1 của một tín hiệu hình sin có thể được xác định từ các thành phần trực giao x_a và x_r theo công thức (7-54) và (7-55). Công thức cho X_1 được tính theo:

$$X_1 = \sqrt{x_a^2 + x_r^2} \quad (8-1)$$

Phụ thuộc vào dạng của các hàm số trực giao (xem mục 7.8) mà công thức tính cuối cùng (8-1) có thể có nhiều dạng khác nhau và đồng thời các tham số trực giao cũng đóng vai trò quan trọng.

Khối lượng tính toán trong công thức (8-1) tương đối cao nên ta thường sử dụng các công thức đơn giản hơn để tính toán. Một trong những công thức đó được mô tả trên hình 8.2. Độ chính xác của công thức trong trường hợp này nhỏ hơn 2%.

Các tương quan sau đây thu được bằng cách làm trễ các thành phần trực giao trong công thức (7-54) và (7-55) đi khoảng τ_d :

$$x_a(t)x_r(t-\tau_d) = 0,5X^2[-\sin(\omega_1\tau_d) + \sin(2\omega_1t - 2\alpha - \omega_1\tau_d)]$$

$$x_a(t-\tau_d)x_r(t) = 0,5X^2[\sin(\omega_1\tau_d) + \sin(2\omega_1t - 2\alpha - \omega_1\tau_d)]$$

Sau khi trừ hai vế và nhóm lại ta có:

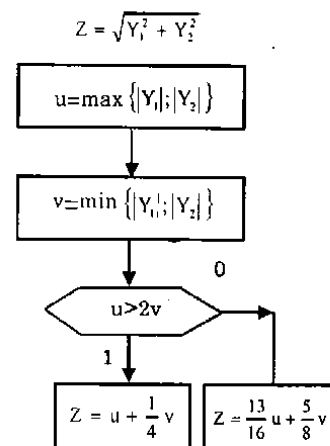
$$X_1 = \sqrt{\frac{x_a(t-\tau_d)x_r(t) - x_a(t)x_r(t-\tau_d)}{\sin(\omega_1\tau_d)}} \quad (8-2)$$

Dạng số hoá của công thức này là:

$$X_1(n) = \sqrt{\frac{x_a(n-l)x_r(n) - x_a(n)x_r(n-l)}{\sin(\omega_1 T_l)}} \quad (8-3)$$

trong đó $l = \tau_d/T_l$.

Ta thường chọn giữa $l = 1$ và $l = m/4$.



Hình 8.2. Thủ tục đã được đơn giản hoá để tính Z.

Từ công thức (8-3) ta có thể thu được rất nhiều phương pháp khác nhau phụ thuộc vào việc sử dụng các thành phần trực giao với các độ nhảy đối với méo tín hiệu khác nhau. Nói chung các công thức này kém nhạy với các thành phần một chiều hơn so với các phương pháp sử dụng công thức (8-1). Hai dạng công thức này có độ nhạy ngược nhau đối với thành phần cao tần.

Ta có một tương quan tỉ lệ nghịch giữa tốc độ tính toán và độ chính xác của phép tính, có nghĩa là tốc độ càng cao thì độ chính xác càng thấp. Tốc độ tính toán cao có thể thu được khi ta sử dụng các công thức độ trễ đơn hoặc kép. Trong trường hợp $h = 1$ (xem mục 7.8.2 và 7.8.3), giá trị đo có thể thu được sau từ 2 đến 4 lần chốt với giả thiết rằng tín hiệu đầu vào không chứa nhiễu. Ta có một công thức chậm hơn thu được từ phép trực giao tín hiệu đầu vào bằng cách tích phân hợp với các hàm sin hay cosin theo một cửa sổ có độ rộng bằng chu kỳ của tín hiệu cơ sở T_1 . Nhưng ưu điểm của phương pháp này là không bị ảnh hưởng khi tín hiệu bị méo.

8.2.2. Sử dụng các hệ số tương quan

Sự tương quan của hàm sin và cosin cần thiết để xác định các hệ số C_1 và C_2 được mô tả trong mục 7.6 trên cơ sở phép xấp xỉ:

$$x(t) \cong C_1 \sin \omega_1 t + C_2 \cos \omega_1 t.$$

Trong trường hợp này biên độ của tín hiệu cơ sở được tính như sau:

$$X_1 = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}. \quad (8.4)$$

Dạng rời rạc của X_1 có thể được xác định khi sử dụng công thức (xem phương trình (7-82) và (7-83)) để tính hệ số C_1 và C_2 hoặc các công thức (7-84), (7-85), (7-86) và (7-87) cho đáp ứng xung vô hạn và công thức sau:

$$X_1 = \sqrt{C_1^2(n) + C_2^2(n)}. \quad (8-5)$$

8.2.3. Lấy trung bình giá trị tuyệt đối của tín hiệu

Như ta đã biết, trong một hoặc một nửa chu kỳ, giá trị trung bình của một tín hiệu hình sin qua chỉnh lưu tỉ lệ thuận với biên độ X_1 , nhưng hệ số tỉ lệ phụ thuộc vào vị trí của cửa sổ. Điều đó được mô tả trên hình 8.3 và trong các công thức sau:

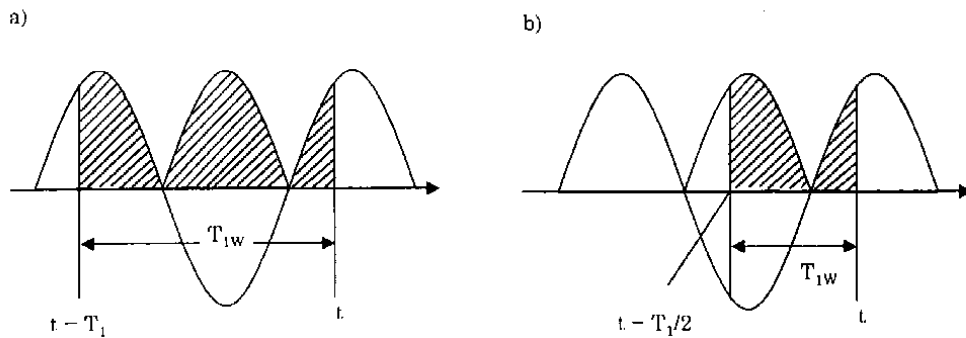
$$\int_{t-T_1}^t |x(\tau)| d\tau = \frac{4X_1}{\omega_1}, \quad (8-6)$$

$$\int_{t-\frac{T_1}{2}}^t |x(\tau)| d\tau = \frac{2X_1}{\omega_1} \quad (8-7)$$

Công thức sau thu được khi sử dụng dạng tính phân Euler đơn giản nhất:

$$X_1(n) = \frac{\pi}{2(p+1)} \sum_{k=0}^p |x(n-k)| \quad (8-8)$$

Với $T_w = T_1$ (công thức (8-6) và H. 8.3,a), $p+1 = m$ hoặc $T_w = 0.5T_1$ (công thức (8-7) và H. 8.3,b), $p+1 = m/2$.



Hình 8.3. Đo biên độ bằng tính trung bình giá trị tuyệt đối

a) Cửa sổ số liệu một chu kỳ; b) Cửa sổ số liệu nửa chu kỳ.

Việc tính toán theo công thức (8-8) khá đơn giản khi ta chỉ cần biết các giá trị tuyệt đối và thực hiện phép tính cộng để xác định giá trị tỉ lệ với X_1 theo hệ số $\pi/2(p+1)$. Phương trình (8-8) có thể tiếp tục đơn giản bằng cách sử dụng tương quan đáp ứng xung vô hạn:

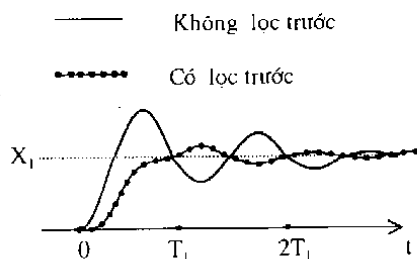
$$X_1(n) = X_1(n-1) + \frac{\pi}{2(p+1)} [|x(n)| - |x(n-p-1)|] \quad (8-9)$$

Ta cần thận trọng khi sử dụng công thức này vì việc thay đổi giá trị $X_1(n-1)$ lưu trong bộ nhớ do các nhiễu có thể gây ra sai số không khắc phục được và chương trình sẽ bị treo.

Công thức (8-8) rất đơn giản khi tính toán và ít bị ảnh hưởng của tần số cao hơn ω_1 , nhưng nó chịu ảnh hưởng có hại của bất kì thành phần một chiều nào. Vì vậy khi xuất hiện thành phần một chiều chúng phải được lọc loại bỏ trước đó. Hình 8.4 cho thấy các kết quả xác định giá trị tuyệt đối trong nửa chu kỳ $T_w = 0.5T_1$.

Quá trình lọc trước được thực hiện thông qua tích phân hợp với hàm Walsh bậc nhất. Các phép tính giả thiết tín hiệu đầu vào có dạng :

$$x(t) = X_1 \left[\cos(\omega t - \alpha_1) - b_0 \cos \alpha_1 \exp\left(-\frac{t}{T_a}\right) + b_k \sin(\omega_k t - \alpha_k) \right] \quad (8-10)$$



Hình 8.4. Biên độ X_1 với biến đầu vào dạng (8.10) tính theo phương trình (8-8).

$$b_0 = 1; b_k = 0,25; \alpha_1 = 0; \frac{\omega_k}{\omega_1} = 5,5.$$

1. Tính giá trị trung bình bằng phép dịch pha đơn

Công thức tính trung bình có thể được hiệu chỉnh bằng cách sử dụng không chỉ bản thân tín hiệu đầu vào $x(t)$ mà cả tín hiệu $x(t - \tau_1)$ bị trễ $T_1/4$ tức là:

$$x(t) = X_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1)$$

và

$$x(t - \tau_1) = X_1 \sin[\omega_1(t - \tau_1) - \alpha_1],$$

trong đó $\tau_1 = \pi/2\omega_1$.

Khi lấy max của giá trị tức thời của hai tín hiệu ta thu được đường cong đậm trên hình 8.5 với công thức $x^*(t)$ như sau:

$$x^*(t) = \max\{|x(t)|, |x(t - \tau_1)|\}.$$

Từ đó ta có:

$$\int_{t-\frac{T_1}{4}}^t x^*(\tau) d\tau = \sqrt{2} \frac{X_1}{\omega_1}. \quad (8-11)$$

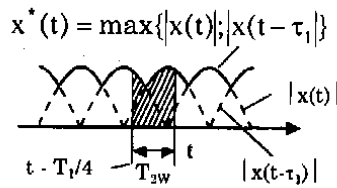
Lấy tích phân theo công thức Euler ta có:

$$x^*(n) = \max\left\{\left|x(n)\right|, \left|x\left(n - \frac{m}{4}\right)\right|\right\}, \quad (8-12)$$

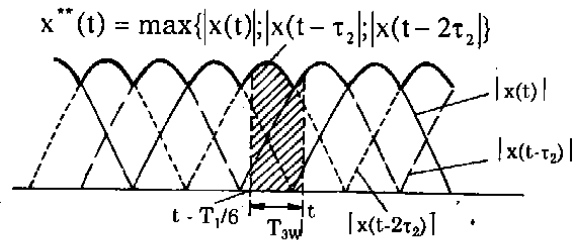
$$X_1(n) = \frac{\sqrt{2}\pi}{m} \sum_{k=0}^{\frac{m}{4}-1} x^*(n-k) \quad (8-13)$$

Trong công thức trên m là số mẫu chắt trong một chu kỳ T_1 . Khối lượng tính toán cần thiết để tính giá trị tỉ lệ với $X_1(n)$ theo hệ số $\sqrt{2} \pi/m$ không lớn vì chỉ cần thực hiện một phép so sánh và $[(m/4) - 1]$ phép cộng (công thức 8-13).

Theo lý thuyết, số phép cộng có thể được giảm khi sử dụng công thức với đáp ứng xung vô hạn nhưng hiệu quả thực tế nhỏ nên ta vẫn sử dụng công thức trên.



Hình 8.5. Tính trị số trung bình trên cơ sở tách pha đơn.



Hình 8.6. Tính trị số trung bình trên cơ sở tách pha kép.

2. Sử dụng phép dịch pha kép

Khi ta dịch chuyển pha của tín hiệu đầu vào đi $\pi/3$ và $2\pi/3$ thì kết quả thu được tương tự như khi ta thay tín hiệu một pha bằng tín hiệu 3 pha :

$$x(t) = X_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1);$$

$$x(t - \tau_2) = X_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1 - \frac{4\pi}{3});$$

$$x(t - 2\tau_2) = X_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1 - \frac{2\pi}{3}),$$

trong đó $\tau_2 = \pi/3\omega_1$.

Khi lấy max của giá trị tức thời của ba tín hiệu này ta thu được đường cong đậm trên hình 8.5 với công thức $x''(t)$ như sau:

$$x''(t) = \max\{|x(t)|, |x(t - \tau_2)|, |x(t - 2\tau_2)|\}.$$

Khi đó ta có:

$$\int_{t - \frac{T_1}{6}}^t x''(\tau) d\tau = \frac{X_1}{\omega_1}. \quad (8-14)$$

Lấy tích phân theo công thức Euler, ta thu được dạng rời rạc của công thức (8-14):

$$x^{**}(n) = \max \left\{ \left| x(n) \right|; \left| x(n - \frac{m}{6}) \right|; \left| x(n - \frac{m}{3}) \right| \right\}, \quad (8-15)$$

$$X_1(n) = \frac{2\pi}{m} \sum_{k=0}^{\frac{m}{6}-1} x^{**}(n-k). \quad (8-16)$$

Cũng như trên, công thức này yêu cầu khối lượng tính toán thấp, chỉ cần hai phép so sánh và $[(m/6) - 1]$ phép cộng.

3. Xác định max của tín hiệu bị chuyển pha

Giá trị cực đại trong nửa chu kỳ của tín hiệu hình sin có thể dễ dàng thu được khi tính cực đại của các giá trị tuyệt đối

$$X_1 = \max \{ |x(\tau)| \}_{\tau=0, \frac{T_1}{2}}. \quad (8-17)$$

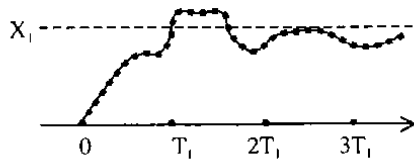
Theo dạng rời rạc, đáp số là giá trị tuyệt đối cực đại của $m/2$ mẫu chẵn cuối cùng của tín hiệu đầu vào x , có nghĩa là:

$$X_1(n) = \max \{ |x(n-k)| \}_{k=0}^{\frac{m}{2}-1}. \quad (8-18)$$

Ưu điểm của công thức này là chỉ cần $[(m/2) - 1]$ phép so sánh giá trị tuyệt đối. Một ưu điểm nữa là kết quả có giá trị bằng biên độ của tín hiệu, có nghĩa là hệ số tỉ lệ bằng 1. Nhược điểm của phương pháp là độ nhạy kém đối với các thành phần tần số cao trong tín hiệu, đồng thời khi tần số lấy mẫu thấp, sai số ΔX_1 trở nên đáng kể. Sai số cực đại được tính theo:

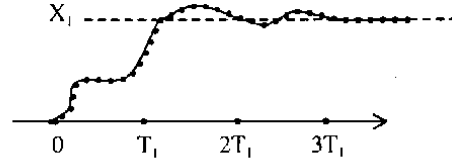
$$\Delta X_1 = X_1 \left[1 - \cos \frac{\omega_1 T_1}{2} \right].$$

Nhưng kết quả thu được từ công thức này chỉ phụ thuộc vào một khoảng sai số nhỏ của tần số so với tần số cơ sở.



Hình 8.7. Tính biên độ X_1 của tín hiệu theo phương trình (8-8).

Phương án 1: $b_0 = 1$, $\alpha_1 = 0$,
 $T_a = 0,02$, $b_k = 0$.



Hình 8.8. Tính biên độ X_1 của tín hiệu theo phương trình (8.8).

Phương án 2: $b_0 = 1$, $\alpha_1 = 0$,
 $T_a = 0,02$, $b_k = 0$.

8.2.4. Giới thiệu về các ứng dụng

Với rất nhiều phương pháp như đã nêu trên, vấn đề chúng ta quan tâm là chọn được một phương pháp thích hợp cho bài toán. Phương pháp đó phải dung hoà được một cách tốt nhất các yếu tố sau:

- Thời gian đạt được kết quả ổn định chấp nhận được.
- Các trạng thái ổn định và độ chuyển chính xác đặc biệt là việc tính toán quá tải khi tín hiệu đầu vào biến động mạnh.
- Tỷ lệ được dự tính của các thành phần tần số khác ω_1 và các thành phần khác kiểu (thành phần một chiều, các dao động hãm, các hài, v.v...)
- Khối lượng tính toán.

Mục tiêu chủ yếu trong bảo vệ là việc đo các tín hiệu cơ sở của dòng và áp. Các tín hiệu đầu vào này phải được xử lý riêng rẽ.

Đối với tín hiệu điện áp ta phải dự tính các thành phần có tần số khác với tần số cơ bản sau:

- a) Thành phần một chiều gây ra bởi một số sự cố pha gần với vị trí của rơle. Giá trị ban đầu của chúng thấp, thường chỉ bằng một phần của điện áp danh định, và giảm theo hàm mũ với hằng số thời gian là 0,01 đến 0,1 s.
- b) Các dao động tần số cao khi có sự thay đổi đột ngột như sự cố hoặc các thao tác đóng cắt. Các tần số của những thành phần này thường rất cao nên chúng có thể bị loại bỏ một cách dễ dàng bằng các bộ lọc tương tự (xem mục 7.2). Ít gặp hơn là tần số thấp hơn 600 Hz, ví dụ như sự cố tại đầu rất xa của đường dây cao áp hoặc siêu cao áp. Biên độ của các nhiễu cao tần này rất lớn, trong trường hợp đặc biệt có thể xấp xỉ bằng biên độ

của tín hiệu cơ sở, nhưng chúng giảm rất nhanh theo thời gian với hằng số thời gian tới 0,1 s.

c) Các hài gây ra bởi tính phi tuyến của trở kháng hệ thống.

Ta có thể rút ra kết luận từ trên là các thiết bị bảo vệ chỉ đo biên độ của điện áp mà không đo tương quan của chúng tới dòng thì không yêu cầu bất cứ quá trình lọc số sơ bộ nào. Ta thường dùng các thuật toán không nhạy với các thành phần cao tần và chỉ yêu cầu tính toán đơn giản. Các thuật toán mô tả trong các công thức (8-8) và (8-12) thuộc vào dạng này.

Xử lý tín hiệu bằng cách cho chúng đi qua những bộ lọc dải số trước khi tiếp tục là rất cần thiết cho các thiết bị bảo vệ có sử dụng tương quan giữa dòng và điện áp, ví dụ như role khoảng cách hay role góc pha. Hay được sử dụng nhất là các bộ lọc trên cơ sở tích phân hợp với hàm Walsh bậc nhất cải biên. Trong trường hợp này các kết quả tốt nhất thu được khi sử dụng những công thức (8-8), (8-12) hay (8-15) để tính toán biên độ của điện áp.

Thông thường các tín hiệu dòng được sử dụng trong thiết bị bảo vệ cũng chứa những thành phần không mong đợi như trong trường hợp của tín hiệu điện áp. Chúng chỉ khác nhau về độ lớn:

- a) Các thành phần một chiều có giá trị ban đầu bằng biên độ của dòng sự cố xoay chiều và giảm theo thời gian với hằng số thời gian khoảng 0,05 đến 0,8 s. Chúng có thể ảnh hưởng quan trọng đến kết quả tính toán.
- b) Các dao động cao tần thường có tần số ít khi bé hơn 600 Hz và biên độ ít khi lớn hơn 10% của tín hiệu cơ sở.
- c) Biên độ của các hài trong dòng sự cố ít khi vượt quá 10% giá trị tín hiệu cơ sở. Mặc dù vậy chúng có thể tăng bất tỉ lệ với sự bão hoà của máy biến dòng. Tỉ lệ lớn các hài lẻ (có thể có biên độ lớn hơn biên độ cơ sở) được dự tính trong dòng sự cố tiếp đất của các hệ thống cáp ngầm hay hệ thống với cuộn Petersen.

Kết luận trong trường hợp này là việc lọc số không cần thiết khi ta đo các dòng trong điều kiện trạng thái ổn định (ví dụ các role quá dòng với thời gian trễ lớn). Tất cả các công thức trong mục 8.2, mô tả trong các công thức (8-8), (8-12) và (8-15) thoả mãn các yêu cầu này và thường được sử dụng vì khối lượng tính toán thấp.

Việc lọc số không thể tránh khỏi khi ta cần phải đo dòng sự cố và xử lý khi sự cố xuất hiện bằng thiết bị quá dòng. Mục tiêu chính để loại bỏ thành phần một chiều có thể được thực hiện tốt nhất bằng cách sử dụng bộ lọc trên cơ sở

tổng hợp hàm Walsh cải biên bậc nhất với cửa sổ số $T_w = 0,5T_1$. Nếu thiết bị bảo vệ phải có thời gian trễ thấp cỡ mili giây thì cửa sổ dạng hàm Walsh bậc 2 hoặc các phiên bản của nó (xem hình 7.26) với $T_w = T_1$ là bộ lọc loại bỏ thành phần một chiều rất hữu hiệu.

Sau khi xử lý bằng bộ lọc số, ta phải sử dụng những thuật toán thích hợp để đo biên độ của một tín hiệu dòng. Các công thức cho vấn đề này với tốc độ lớn, khối lượng tính toán ít và sai số tính toán thấp nhất được cho trong (8-12) và (8-15).

Ví dụ 8.1

Tín hiệu đầu vào cho bởi công thức (8-8) với $b_1 = 1$ và $b_2 = 0,25$. Tần số lấy mẫu là f_s bằng 600 Hz, có nghĩa là 12 mẫu chặt trong một chu kỳ. Hai dạng lọc khác nhau được sử dụng để xác định biên độ của tín hiệu cơ sở.

Phương pháp 1:

Việc lọc sơ bộ được thực hiện bằng cách tổng hợp hàm Walsh cải biên bậc nhất với $T_w = 7T_1/12$ và $T_p = T_1/12$ (bỏ qua mẫu ở giữa). Biên độ được xác định bằng lấy trung bình và sử dụng phép dịch pha kép theo công thức (8-15) và (8-16). Ta thu được kết quả sau:

$$\begin{aligned} y(n) &= x(n) + x(n-1) + x(n-2) - x(n-4) - x(n-5) - x(n-6), \\ y''(n) &= \max \{ |y(n)|; |y(n-2)|; |y(n-4)| \}, \\ 8,98X_1(n) &= y''(n) + y''(n-1). \end{aligned}$$

Trên hình 8.7 là đường cong kết quả. Do tín hiệu đầu vào bị méo đáng kể nên kết quả này có thể được coi là rất chính xác, đặc biệt là cho quá tải với hằng số thời gian T_a của thành phần một chiều lớn không quá 12%.

Phương pháp 2:

Việc lọc sơ bộ được thực hiện bằng cách tổng hợp với hàm Walsh cải biên bậc 2 (H.7.26,b) có $T_w = T_1$. Biên độ được xác định bằng cách lấy trung bình và sử dụng phép dịch pha đơn (công thức (8-12) và (8-13)). Ta có kết quả sau:

$$\begin{aligned} y(n) &= -x(n) - x(n-1) + x(n-4) + x(n-5) + x(n-6) + x(n-7) - x(n-10) - \\ &\quad - x(n-11) + 0,5 [x(n-3) + x(n-8) - x(n-2) - x(n-9)], \\ y^*(n) &= \max \{ |y(n)|; |y(n-3)| \}, \\ 20,25X_1(n) &= y^*(n) + y^*(n-1) + y^*(n-2). \end{aligned}$$

Trên hình 8.8 là đường cong tương ứng với biên độ X_1 . Ta có thể nhận thấy rằng giá trị ổn định cuối cùng đạt được chậm hơn một chút so với phương pháp thứ nhất, nhưng độ chính xác lại cao hơn nhiều và sai số không quá 3%.

Cả hai phương pháp nêu trên đều được thường xuyên sử dụng trong các ứng dụng thực tế, đặc biệt là do khối lượng tính toán thấp.

Dòng điện trung tính có thể được đo phụ với các dòng pha chủ yếu nhằm mục đích bảo vệ sự cố chạm đất trong các hệ thống cáp ngầm và hệ thống với cuộn Petersen. Do dạng bảo vệ này nói chung thường tác động sau một thời gian trễ nên nó thích hợp với việc làm giảm ảnh hưởng của các hài lẻ lên độ chính xác của tính toán. Các đặc tính tốt nhất của bộ lọc thu được khi tổng hợp với các hàm sin hay cô-sin với cửa sổ có độ rộng $T_w = T_1$. Phương pháp này nói chung bao gồm khối lượng tính toán cao, mặc dù ta đã sử dụng một trong những công thức tính trung bình nhanh để xác định biên độ của tín hiệu đầu vào đã được xử lý. Một phương pháp khác là sử dụng tương quan giữa hàm sin và cô-sin với cửa sổ $T_w = T_1$ có khối lượng tính toán ít hơn cho đáp ứng xung vô hạn, và biên độ có thể được tính theo công thức (8-5). Cả hai phương pháp được giới thiệu này đều loại bỏ ảnh hưởng của dao động cao tần lên kết quả tính của I_1 .

8.3. ĐO CÁC THÀNH PHẦN TÁC DỤNG VÀ PHẢN KHÁNG

Ta giả thiết có hai tín hiệu đầu vào, một là tín hiệu dòng, hai là điện áp với đồ thị cho bởi công thức sau:

$$i(t) = I_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi);$$

$$u(t) = U_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1).$$

Tùy thuộc vào bài toán mà ta cần phải xác định thành phần của một tín hiệu so với tín hiệu còn lại đồng pha hoặc dịch pha $\pi/2$, có nghĩa là thành phần thực hoặc ảo cần phải được đo. Ví dụ đối với dòng hình sin đó là:

$$\begin{aligned} I_{re} &= I_1 \cos \varphi; \\ I_{im} &= I_1 \sin \varphi, \end{aligned} \quad (8-19)$$

trong đó: I_{re} - thành phần tác dụng của dòng;

I_{im} - thành phần phản kháng của dòng.

Các phần sau đây sẽ mô tả các phương pháp rời rạc để xác định thành phần tương ứng của tín hiệu.

8.3.1. Xác định thành phần tại điểm triệt tiêu của tín hiệu đầu vào

Một trong những phương pháp đơn giản và thường được sử dụng nhất để xác định thành phần ảo của một dòng biến thiên trong hệ thống tương tự là phương pháp đo giá trị của nó tại điểm triệt tiêu của điện áp tương ứng (hình 8.9). Từ liên hệ trên, dòng tại thời điểm t_1 (điện áp 0 đối với tín hiệu thuận chiều) được tính bởi:

$$i(t_1) = I_1 \sin \varphi.$$

Công thức tương quan cho điểm t_2 là:

$$i(t_2) = -I_1 \sin \varphi.$$

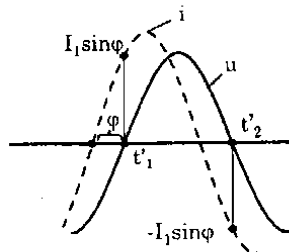
Nếu ta thế giá trị tại thời điểm $\tau = T/4$ vào vị trí $i(t)$ thì ta có:

$$i(t - \tau) = I_1 \sin \left(\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi - \frac{\pi}{2} \right).$$

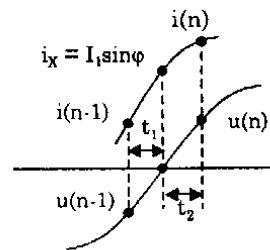
Dòng tại thời điểm t_1 là:

$$i(t_1 - \tau) = -I_1 \cos \varphi$$

và tại thời điểm t_2 là: $i(t_2 - \tau) = I_1 \cos \varphi.$



Hình 8.9. Quan hệ giữa áp và dòng khi xác định thành phần biểu kiến.



Hình 8.10. Xác định điểm cắt trục số không của biến đầu vào.

Công thức số hoá để tính các thành phần thực và ảo của tín hiệu có thể thu được từ những biểu thức trên. Nhưng ta cũng có khó khăn vì thời điểm điện áp triệt tiêu chỉ được biết gần đúng là ở giữa hai mẫu chẵn thứ (n) và $(n-1)$ (H.8.10). Ta có thể xác định thời điểm triệt tiêu của điện áp chính xác hơn nếu giả thiết điện áp biến thiên gần tuyến tính giữa hai lần lấy mẫu do sự đối cực. Trong trường hợp đó ta có:

$$t_2^* = \frac{t_2}{T_i} = \frac{u(n)}{u(n) - u(n-1)} \quad (8-20)$$

Đồng thời giả thiết rằng dòng điện cũng biến thiên tuyến tính trong cùng chu kỳ đó:

$$i_x = I_1 \sin \varphi = i(n) - [i(n) - i(n-1)]t_2. \quad (8-21)$$

Vì thành phần ảo phải được tính cho sóng điện áp triệt tiêu thuận chiều và nghịch chiều, dạng cuối cùng của công thức sẽ như sau:

$$I_1 \sin \varphi = \{i(n) - [i(n) - i(n-1)]t_2^*\} \operatorname{sgn}[u(n) - u(n-1)], \quad (8-22)$$

trong đó $\operatorname{sgn}[z]$ bằng 1, -1 hay 0.

Tính toán theo công thức (8-22) bao gồm 1 phép chia và 1 phép nhân tốn thời gian nhưng chỉ tính 2 lần trong 1 chu kỳ tại mỗi thời điểm triệt tiêu của điện áp chứ không phải sau mỗi lần chập.

Thành phần thực được xác định bằng cách tương tự với độ dịch pha $T_i/4$. Khi đó :

$$I_1 \cos \varphi = \left\{ i\left(n - \frac{m}{4}\right) - \left[i\left(n - \frac{m}{4}\right) - i\left(n - 1 - \frac{m}{4}\right) \right] t_2^* \right\} \operatorname{sgn}[u(n) - u(n-1)]. \quad (8-23)$$

Như vậy cần 1 phép chia và 2 phép nhân để xác định các phần thực và ảo.

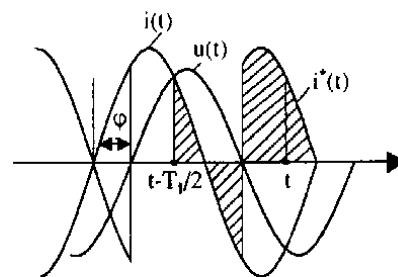
Một nhược điểm lớn của phương pháp này là sai số đáng kể trong trường hợp tín hiệu đầu vào bị méo. Do đó để có thể thu được kết quả mong muốn, trong trường hợp này tín hiệu đầu vào phải được đưa qua bộ lọc dải số. Đồng thời ta cần kiểm tra xem sai số của công thức (8-20) có quá lớn không.

8.3.2. Xác định các thành phần bằng tính trung bình

Ngoài các dạng sóng của điện áp và dòng, trên hình 8.11 còn có đường cong của hàm số :

$$i^*(t) = i(t) \operatorname{sgn}[u(t)].$$

Ta có thể dễ dàng chứng minh rằng các thành phần mong đợi có thể được tính khi sử dụng các công thức sau không phụ thuộc thời gian t:



Hình 8.11. Xác định thành phần thực bằng tính trị số trung bình.

$$\left. \begin{aligned} I_1 \cos \varphi &= \frac{\omega_1}{2} \int_{-\frac{T_1}{2}}^{\frac{T_1}{2}} i^*(\tau) d\tau, \\ I_1 \sin \varphi &= \frac{\omega_1}{2} \int_{-\frac{T_1}{2}}^{\frac{T_1}{2}} i^*(\tau - \tau_1) d\tau, \end{aligned} \right\} \quad (8-24)$$

trong đó $\tau_1 = T_1/4$.

Dạng đạo hàm của biểu thức (8-24) cũng khá đơn giản khi ta sử dụng qui tắc Euler hoặc qui tắc hình thang để chính xác hơn. Tuy nhiên có một lỗi đáng kể do việc không biết chính xác điểm triệt tiêu của điện áp. Vì lý do đó ta thực hiện một sự điều chỉnh trong vùng điện áp đổi dấu. Công thức sau dựa trên việc một biến mới $y(n)$ được tính cho mỗi mẫu điện áp và dòng mới tương ứng với tích phân dòng $i(t)$ trong khoảng chặt T_1 cuối cùng. Việc tích phân tuân theo qui tắc hình thang:

$$|u(n) + u(n-1)| \geq |u(n) - u(n-1)|,$$

Có nghĩa là nếu dấu của điện áp chưa bị thay đổi thì

$$y(n) = 0,5 [i(n) + i(n-1)] \operatorname{sgn}[u(n) + u(n-1)]. \quad (8-25)$$

Nhưng nếu như :

$$|u(n) + u(n-1)| < |u(n) - u(n-1)|,$$

có nghĩa là điện áp đã đổi dấu trong khoảng chặt cuối cùng, khi đó.

$$y(n) = 0,5 \{t_2^* [2i_x + i(n) - i(n-1)] - [i_x + i(n-1)]\} \operatorname{sgn}[u(n)], \quad (8-26)$$

trong đó t_2^* và i_x được cho bởi các công thức (8.20) và (8.21) tương ứng.

Thành phần thực của tín hiệu dòng bây giờ có thể được xác định từ tương quan:

$$I_1 \cos \varphi = \frac{\pi}{m} \sum_{k=0}^{\frac{m}{2}-1} y(n-k). \quad (8-27)$$

Thành phần ảo của tín hiệu dòng được xác định bằng phương pháp tương tự sử dụng các mẫu chặt bị trễ $m/4$ theo công thức (8-27). Phép thay thế sau đây cần thiết để tính $y(n)$ theo các công thức (8-25) và (8-26).

Ta có thể sử dụng việc giá trị tuyệt đối của dòng i_x bằng giá trị tuyệt đối của dòng ảo để chứng minh công thức :

$$|i_x| \equiv |I_1 \sin \varphi|.$$

Ta có khả năng đơn giản để đánh giá giá trị của t_2^* ; nếu $u(t)$ đổi dấu giữa mẫu chẵn thứ $(n-1)$ và (n) thì

$$s(n) = |u(n) - u(n-1)|.$$

Điều này được nối tiếp bằng chuỗi tính t_2 theo thứ tự như trên hình 8.12, trong đó các kết quả từ A đến H được ghi trong bảng 8.1

Bảng 8.1. Kết quả tính t_2^* theo thuật toán hình 8.12.

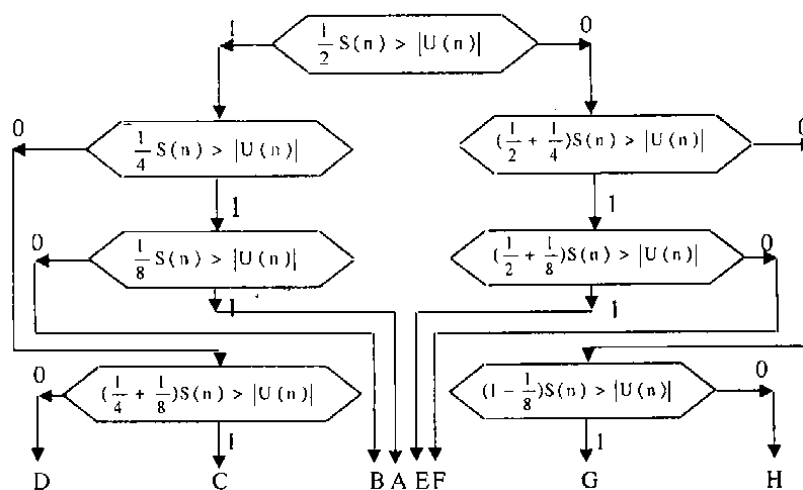
	A	B	C	D	E	F	G	H
t_2^*	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{4} - \frac{1}{16}$	$\frac{1}{4} + \frac{1}{16}$	$\frac{1}{2} - \frac{1}{16}$	$\frac{1}{2} + \frac{1}{16}$	$\frac{3}{4} - \frac{1}{16}$	$\frac{3}{4} + \frac{1}{16}$	$1 - \frac{1}{16}$

Phương pháp trên có hai ưu điểm sau:

- Giá trị xấp xỉ của t_2 thu được từ 3 phép so sánh.
- Giá trị của t_2 được xác định bằng tổng các số bình phương làm đơn giản hoá phép nhân cho t_2 và yêu cầu khối lượng tính toán thấp.

Việc xác định điểm triệt tiêu của điện áp một cách đơn giản tạo ra một sai số mà trong trường hợp trên nằm trong khoảng

$$\frac{\Delta t_2}{T_1} = \pm \frac{1}{16}.$$



Hình 8.12. Thuật toán đã được đơn giản hoá để tính t_2^*

8.4. PHÉP ĐO CÔNG SUẤT

8.4.1. Đo công suất bằng tương quan giữa dòng và áp

Tích của các tín hiệu đầu vào sau:

$$i(t) = I_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi); \quad (8-28)$$

$$u(t) = U_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1),$$

bằng
$$i(t)u(t) = \frac{1}{2} U_1 I_1 [\cos \varphi + \cos(2\omega_1 t - 2\alpha_1 + \varphi)].$$

Lấy tích phân biểu thức cuối cùng trong khoảng $(t - T_1/2, t)$ ta có:

$$P = \frac{1}{2} U_1 I_1 \cos \varphi = \frac{2}{T_1} \int_{t-\frac{T_1}{2}}^t u(\tau) i(\tau) d\tau. \quad (8-29)$$

Công suất phản kháng thu được khi ta làm trễ tín hiệu đi $\tau_1 = T_1/4$

$$Q = \frac{1}{2} U_1 I_1 \sin(-\varphi) = \frac{2}{T_1} \int_{t-\frac{T_1}{2}}^t u(\tau) i(\tau - \tau_1) d\tau. \quad (8-30)$$

Tương tự như vậy điện áp có thể bị làm trễ τ_1 thay cho dòng, có nghĩa là:

$$Q = \frac{1}{2} U_1 I_1 \sin(-\varphi) = \frac{2}{T_1} \int_{t-\frac{T_1}{2}}^t u(\tau - \tau_1) i(\tau) d\tau. \quad (8-31)$$

Tích phân các công thức (8-28), (8-30) và (8-31) theo công thức Euler rồi rạc ta có:

$$\begin{aligned} P &= \frac{2}{m} \sum_{k=0}^{\frac{m-1}{2}} u(n-k) i(n-k), \\ Q &= -\frac{2}{m} \sum_{k=0}^{\frac{m-1}{2}} u(n-k) i(n - \frac{m}{4} - k), \\ Q &= \frac{2}{m} \sum_{k=0}^{\frac{m-1}{2}} u(n - \frac{m}{4} - k) i(n-k). \end{aligned} \quad (8-32)$$

Những công thức này được sử dụng để tính công suất tác dụng và phản kháng.

8.4.2. Sử dụng các thành phần dòng và áp trực giao

1. Không có độ trễ tín hiệu

Nếu các tín hiệu dòng và áp được cho dưới dạng các thành phần trực giao như:

$$\begin{aligned}u_a(t) &= U_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1), \\u_r(t) &= U_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1), \\i_a(t) &= I_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi), \\i_r(t) &= I_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi).\end{aligned}\quad (8-33)$$

Từ tương quan giữa các hàm lượng giác và tích của chúng ta có:

$$\left. \begin{aligned}P &= 0,5 U_1 I_1 \cos \varphi = 0,5 [u_a(t) i_a(t) + u_r(t) i_r(t)] \\Q &= -0,5 U_1 I_1 \sin \varphi = 0,5 [u_r(t) i_a(t) - u_a(t) i_r(t)]\end{aligned} \right\} \quad (8-34)$$

Các công thức để xác định các thành phần trực giao được mô tả trong mục 7.8. Mỗi công thức có thể được sử dụng để tính giá trị của công suất. Các công thức khác nhau có thể thu được phụ thuộc vào phương pháp trực giao và số mẫu chốt h làm trễ tín hiệu. Các công thức nhanh nhất có h=1 và một trong số đó được cho theo tương quan sau:

$$P = 0,5 \frac{[i(n) + i(n-1)][u(n) + u(n-1)]}{4 \cos^2 \left(\frac{\omega_1 T_1}{2} \right)} + 0,5 \frac{[i(n) - i(n-1)][u(n) - u(n-1)]}{4 \sin^2 \left(\frac{\omega_1 T_1}{2} \right)} \quad (8-35)$$

$$P = 0,5 \frac{[i(n) + i(n-1)][u(n) - u(n-1)]}{2 \sin \omega_1 T_1} - 0,5 \frac{[i(n) - i(n-1)][u(n) + u(n-1)]}{2 \sin^2 \left(\frac{\omega_1 T_1}{2} \right)} \quad (8-36)$$

Các công thức này cho phép việc tính toán hoàn thành trong 2 chu kỳ chốt sau khi tín hiệu thay đổi nhưng trước tiên tín hiệu phải được lọc.

Công thức trực giao với $h = m/4$ mô tả trong 7.8.3 thường được sử dụng nhất trong thực tế. Khi đó:

$$P = 0,5 \left[i(n)u(n) + i\left(n - \frac{m}{4}\right)u\left(n - \frac{m}{4}\right) \right] \quad (8-37)$$

$$Q = 0,5 \left[i(n)u\left(n - \frac{m}{4}\right) - i\left(n - \frac{m}{4}\right)u(n) \right] \quad (8-38)$$

Đối với công thức này thì ảnh hưởng của nhiễu cao tần lên độ chính xác của phép đo là không đáng kể.

Phương pháp trực giao chậm nhất nhưng lại ít nhạy với nhiễu cao tần nhất được dựa trên sơ sở tổng hợp với hàm sin hay cô-sin hoặc các hàm Walsh bậc nhất hay bậc hai với cửa sổ số bằng T_1 . Các công thức sau dành cho hàm sin và cô-sin:

$$P = \frac{2}{(p+1)^2} [i_s(n)u_s(n) + i_c(n)u_c(n)], \quad (8-39)$$

$$Q = \frac{2}{(p+1)^2} [i_s(n)u_c(n) - i_c(n)u_s(n)], \quad (8-40)$$

trong đó: $i_s(n)$, $u_s(n)$ - các mẫu thu được từ việc tổng hợp của tín hiệu dòng và điện áp tương ứng với hàm sin.

$i_c(n)$, $u_c(n)$ - các mẫu thu được từ việc tổng hợp của tín hiệu dòng và điện áp tương ứng với hàm cô-sin.

$(p+1)$ - số mẫu trong cửa sổ số dành cho phép tổng hợp (lọc bằng tích phân hợp) theo công thức (7-43) và (7-44).

Các công thức cho hàm Walsh bậc nhất hay hai cũng tương tự.

2. Có độ trễ tín hiệu

Tương quan sau đây được sử dụng nếu các thành phần trực giao được cho theo công thức (8.33):

$$u_a(t - \tau_4)i_r(t) - u_a(t)i_r(t - \tau_4) = U_1 I_1 \cos \varphi \sin \omega_1 \tau_4; \quad (8-41)$$

$$u_a(t)i_r(t - \tau_4) - u_a(t - \tau_4)i_r(t) = U_1 I_1 \sin \varphi \sin \omega_1 \tau_4,$$

và rời rạc của nó là:

$$P = \frac{[u_a(n-1)i_r(n) - u_a(n)i_r(n-1)]}{2 \sin(\omega_1 T_1 \ell)} \quad (8-42)$$

$$Q = \frac{[u_a(n)i_a(n-1) - u_a(n-1)i_a(n)]}{2 \sin(\omega_1 T_1 \ell)} \quad (8-43)$$

trong đó $T_1 = \tau_4 / \ell$.

Hệ số ℓ thường được chọn giữa 1 và $m/4$.

8.4.3. Sử dụng hệ số tương quan

Các tín hiệu dòng và áp trong công thức (8-41) có thể được viết dưới dạng sau:

$$i(t) = C_{11} \sin \omega_1 t + C_{21} \cos \omega_1 t,$$

$$u(t) = C_{1u} \sin \omega_1 t + C_{2u} \cos \omega_1 t,$$

trong đó:

$$C_{1i} = I_1 \sin(\alpha_1 - \varphi),$$

$$C_{1u} = U_1 \sin \alpha_1,$$

$$C_{2i} = I_1 \cos(\alpha_1 - \varphi),$$

$$C_{2u} = U_1 \cos \alpha_1.$$

Từ đó ta có:

$$P = 0,5 U_1 I_1 \cos \varphi = 0,5 (C_{2u} C_{2i} + C_{1u} C_{1i}). \quad (8-44)$$

$$Q = -0,5 U_1 I_1 \sin \varphi = 0,5 (C_{1u} C_{2i} - C_{2u} C_{1i}). \quad (8-45)$$

Sự tương quan của các tín hiệu đầu vào được định nghĩa trong mục 7.6 với việc sử dụng các hàm sin và cosin. Tất cả các hệ số cần thiết để giải các phương trình (8-44) và (8-45) được xác định từ công thức (7-82) và (7-83) hoặc tương quan đáp ứng xung vô hạn của chúng (7-84) và (7-85).

8.5. ĐO KHOẢNG CÁCH THEO PHƯƠNG PHÁP SỐ

Phần lớn các công trình nghiên cứu về đề tài bảo vệ số tập trung vào vấn đề xác định khoảng cách giữa vị trí của rơle và điểm sự cố trên đường dây cao áp trên không. Tập hợp vấn đề này bao quát tới mức các công thức đo biên độ của tín hiệu đầu vào hình sin hay đo công suất thực và ảo chỉ là sản phẩm phụ trong khi phát triển các công thức tính toán điện kháng và điện trở.

Cũng như trong trường hợp các thiết bị bảo vệ tương tự, nguyên tắc hoạt động của phần lớn các thiết bị bảo vệ số khoảng cách dựa trên việc xác định xem giá trị của điện trở và điện kháng (hoặc điện trở và điện cảm) đo tại vị trí rơle có nằm trong đường đặc tính hoạt động hay không, có nghĩa là xác định vùng bảo vệ.

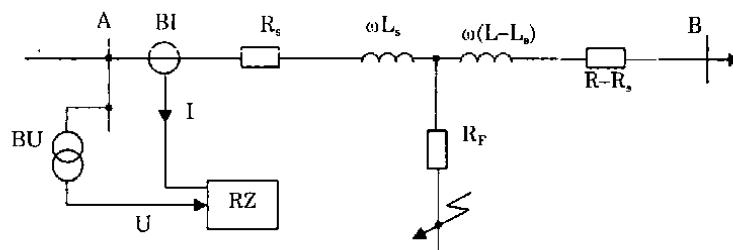
Phần lớn các rơle số khoảng cách thực hiện nhiệm vụ của mình bằng cách tính toán điện trở R_s và điện kháng $X_s = \omega_1 L_s$ từ các giá trị ban đầu của dòng $i(t)$ và điện áp $u(t)$, sau đó xác định xem các giá trị thu được có nằm trong đường đặc tính hoạt động trên biểu đồ R/X hay không.

Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến mức độ chính xác của giá trị được xác định của điện trở và điện kháng trong sự cố đường dây trên không. Trong số đó có:

- Độ méo đường cong dòng và điện áp gây ra bởi tín hiệu một chiều tắt dần và các dao động cao tần.

- Liên kết cảm ứng và hồng cách điện giữa các pha trên đường bị sự cố, giữa đường sự cố và đường còn hoạt động của đường dây kép.
- Điện trở sự cố (R_s trên hình 8.13).
- Các sai số của BU và BI, chủ yếu là các hiện tượng bão hoà gây ra bởi các thành phần một chiều tắt dần.

Các công thức tính R_s và X_s chủ yếu bắt nguồn từ yếu tố thứ nhất vì ta giả thiết rằng hồ cảm giữa các dây dẫn có thể được bù bằng thành phần thứ tự không, tương ứng bằng dòng điện của đường còn hoạt động. Đồng thời ta cũng giả thiết rằng sai số biên độ và pha của BU và BI và sai số gây ra bởi điện trở sự cố R_F là rất bé so với điện kháng X_s và có thể bị bỏ qua. Tuy vậy những giả thiết này không phải lúc nào cũng đúng. Các công thức cơ bản tính toán R_s và X_s sẽ là chủ đề của các mục tiếp sau.



Hình 8.13. Nguyên lý đo lường trong bảo vệ khoảng cách.

8.5.1. Sử dụng các giá trị công suất tác dụng và phản kháng

Các phương pháp khác nhau để đo công suất tác dụng và phản kháng trên cơ sở dòng và áp rơi rạc đã được mô tả trong mục 8.4. Tất cả các công thức đó giả thiết rằng tín hiệu đầu vào chỉ chứa tín hiệu cơ sở. Khi đã biết giá trị công suất này ta có thể tính R_s và X_s từ những công thức sau:

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{2P}{I_1^2}, \\ X_s &= \frac{2Q}{I_1^2}, \end{aligned} \quad (8-46)$$

trong đó: P, Q - công suất tác dụng và phản kháng.

I_1 - biên độ của tín hiệu cơ sở $i(t)$.

Từ tất cả những công thức tính P và Q (xem mục 8.4) và biên độ của đầu vào ta có thể thu được rất nhiều công thức tính R_s và X_s từ công thức (8-46) khác nhau về thời gian tính, khối lượng tính và độ chính xác khi có tín hiệu méo. Tốc độ và độ chính xác của phép đo khoảng cách sử dụng X_s và R_s phụ thuộc vào các yếu tố sau:

- Việc lọc sơ bộ các tín hiệu đầu vào,
- Phương pháp trực giao hoá được sử dụng,
- Phương pháp sử dụng để đo biên độ của dòng I_1 và công suất P và Q .

Việc lọc sơ bộ số là không thể thiếu được khi ta không thực hiện việc trực giao hoá bằng cách tổng hợp. Các bộ lọc có đáp ứng xung hữu hạn và của số dạng hàm Walsh bậc nhất với $T_w = 0,5T_1$ thường là thích hợp.

Phương pháp nhanh nhất xác định X_s và R_s thu được bằng cách trực giao tín hiệu trên cơ sở làm trễ tín hiệu với hệ số trễ h thấp. Nhưng h càng bé thì sai số tính toán cho đầu vào có tần số cao hơn ω_1 càng lớn. Trục giao bằng tích phân hợp (mục 7.8.1) có độ chính xác rất cao khi $T_w = T_1$, nhưng độ nhạy với thành phần một chiều lại tăng khi cửa sổ số ngắn lại.

Thời gian tính và độ chính xác của các thuật toán được sử dụng để tính I_1 , P và Q cũng thay đổi theo những yếu tố sau:

- Các công thức tính trung bình của tín hiệu đầu vào (công thức (8-8) và (8-32)) thường tính chậm nhưng không nhạy với nhiễu có vận tốc $\omega > \omega_1$.
- Các công thức (8-1) và (8-34) rất nhanh nhưng độ chính xác thấp khi có nhiễu cao tần.
- Các công thức xác định X_s và R_s bằng phép tương tự (các công thức (8-4), (8-44) và (8-45)) rất chính xác nhưng chậm.
- Việc sử dụng các thành phần trực giao (như (8-3), (8-42) và (8-43)) đạt được thời gian tính ngắn (đặc biệt là khi ℓ nhỏ) và ảnh hưởng của thành phần một chiều đến độ chính xác thấp nhưng độ nhạy với nhiễu cao tần lại cao.

8.5.2. Sử dụng các thành phần thực và ảo của dòng và điện áp

1. Xác định điện trở và điện kháng

Điện trở và điện kháng của chiều dài đường dây bị ngắn mạch giữa role và vị trí sự cố có thể được xác định theo các thành phần thực, ảo của tín hiệu điện áp hình sin như sau:

$$R_s = \frac{U_1 \cos(\varphi)}{I_1}, \quad (8-47)$$

$$X_s = \frac{U_1 \sin(-\varphi)}{I_1},$$

trong đó φ là góc pha mà tín hiệu dòng cơ sở vượt trước tín hiệu điện áp cơ sở.

Công thức xác định các thành phần thực và ảo của dòng điện đã được mô tả trong mục 8.3.1 và chính công thức đó có thể được sử dụng để tính toán các thành phần điện áp tương ứng. Các biểu thức tính toán điện trở và điện kháng sau mỗi lần triệt tiêu $i(t)$ của sóng dòng có thể thu được từ việc sắp xếp lại các công thức tương ứng (8-22) và (8-23). Dạng của chúng có thể phụ thuộc vào công thức tính biên độ I_1 . Các kết quả tốt nhất thu được khi dùng những công thức tính trung bình (xem công thức (8-8), (8-12), (8-13) hoặc (8-15) và (8-16) trong mục 8.2.3). Do khối lượng tính toán thấp mà ta cũng chú ý sử dụng công thức (8-8) với dấu vào được lọc trước.

2. Tính toán điện dẫn tác dụng và điện dẫn phản kháng

Một số role khoảng cách đo điện dẫn tác dụng G_s và điện dẫn phản kháng B_s thay cho điện trở và điện kháng. Các tương quan tương ứng là:

$$\left. \begin{aligned} G_s &= \frac{R_s}{R_s^2 + X_s^2} = \frac{I_1 \cos \varphi}{U_1}, \\ B_s &= \frac{X_s}{R_s^2 + X_s^2} = \frac{I_1 \sin(-\varphi)}{U_1}. \end{aligned} \right\} \quad (8-48)$$

Công thức tính toán số cho G_s và B_s tương tự như cho R_s và X_s . Các thành phần thực và ảo của dòng điện thu được như trong mục 8.3. Trong trường hợp điện áp ta có thể dùng bất kỳ phương pháp nào như trong mục 8.2.

Công thức dùng tính điện dẫn G_s đặc biệt quan trọng vì điều kiện :

$$G_s > \frac{1}{R_b} \quad (8-49)$$

xác định vùng bên trong vòng tròn đặc tính với bán kính R_b trong hệ tọa độ R_s/X_s như trên hình 8.14. Có giá trị của G_s việc kiểm tra điều kiện (8-49) không thành vấn đề nhưng lại rất quan trọng đối với vòng tròn đặc tính dùng trong role khoảng cách của hệ thống điện trung áp.

Việc quay vòng tròn điện dẫn (1) trên hình (8.4) đi một góc γ để thu được đường đặc tính quen thuộc MHO không khó khăn, ví dụ tín hiệu điện áp có thể bị làm trễ đi r lần chặt với :

$$r = \frac{\gamma m}{2\pi} \quad (8-50)$$

8.5.3. Phép đo dựa trên mô hình đường dây tuyến tính

Ta giả thiết đường dây với mô hình đơn giản trên hình 8.15. Một đường dây truyền tải bị ngắn mạch được mô tả bằng phương trình vi phân:

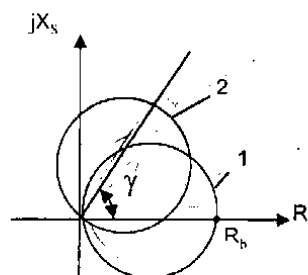
$$u(t) = R_s i(t) + L_s i'(t). \quad (8-51)$$

Trong khi việc tính dòng sự cố $i(t)$ thường dựa trên giá trị R_s và X_s và đường cong điện áp $u(t)$ thì thủ tục để đo khoảng cách lại ngược lại, có nghĩa là điện áp $u(t)$ và dòng $i(t)$ cùng với đạo hàm $i'(t)$ được đo và các giá trị R_s và X_s được tính trên cơ sở đó. Cần có hai phương trình độc lập để thực hiện được điều đó. Nhiều phương pháp khác nhau phụ thuộc vào cách biểu thị phương trình đã được đề xuất. Một trong số những phương pháp đó sẽ được mô tả dưới đây.

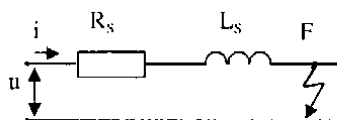
1. Xác định giá trị dòng và áp tại hai thời điểm khác nhau

Nếu công thức (8-51) được dùng cho hai thời điểm khác nhau t_1 và t_2 thì ta thu được hai phương trình độc lập sau:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= R_s i_1 + L_s i_1' \\ u_2 &= R_s i_2 + L_s i_2' \end{aligned} \right\} \quad (8-52)$$



Hình 8.14. Đặc tính khởi động MHO (2) và đặc tính điện dẫn (1) của role khoảng cách



Hình 8.15. Mô hình đơn giản của đường dây tải điện.

Từ đó :

$$\left. \begin{aligned} R_s &= \frac{u_1 i_2' - u_2 i_1'}{i_1 i_2' - i_2 i_1'} \\ L_s &= \frac{u_2 i_1 - u_1 i_2}{i_1 i_2 - i_2 i_1} \end{aligned} \right\} \quad (8-53)$$

Thông thường ta có thể chọn t_1 và t_2 tùy ý, nhưng để tối ưu hoá thời gian tính toán, khoảng Δt giữa t_1 và t_2 không nên quá lớn. Do đó ta thường chọn $\Delta t = T_i$.

Các giá trị của dòng, áp và đạo hàm dòng tại thời điểm t_2 bằng:

$$\begin{aligned} i_2 &= \frac{i(n) + i(n-1)}{2 \cos \frac{\omega_i T_i}{2}} \\ u_2 &= \frac{u(n) + u(n-1)}{2 \cos \frac{\omega_i T_i}{2}} \\ i_2' &= \frac{i(n) - i(n-1)}{2 \sin \frac{\omega_i T_i}{2}} \end{aligned}$$

Việc tính toán các giá trị tương ứng tại thời điểm t_1 cũng tương tự nhưng ta phải thay biểu thức $(n-r)$ vào chỗ của n trong đó $t_2 - t_1 = rT_i$.

Do chỉ cần ba mẫu liên tiếp để tính R_s và L_s nên công thức trên có thể tính rất nhanh. Một trong những hệ quả của mô hình tuyến tính là bất kỳ thành phần một chiều nào của dòng hay áp cũng không ảnh hưởng đến độ chính xác. Điều đó không áp dụng cho các dao động cao tần vì sai số đáng kể, do đó các bộ lọc tần số thấp phải được thêm vào đầu vào của cả hai hàm dòng và áp.

Một trong những nhược điểm của phương pháp này là khối lượng tính toán lớn do phải thực hiện nhiều phép nhân.

2. Phương pháp tích phân

Nhằm mục đích giảm ảnh hưởng của thành phần cao tần lên độ chính xác hai công thức độc lập đã được xây dựng từ các tích phân kép biểu thức (8-51)

$$\left. \begin{aligned} \int_{t_1}^{t_2} u(\tau) d\tau &= R_s \int_{t_1}^{t_2} i(\tau) d\tau + L_s [i(t_2) - i(t_1)] \\ \int_{t_3}^{t_4} u(\tau) d\tau &= R_s \int_{t_3}^{t_4} i(\tau) d\tau + L_s [i(t_4) - i(t_3)] \end{aligned} \right\} \quad (8-54)$$

Các ẩn số R_s và L_s có thể được xác định bằng phương pháp tương tự như trong hệ phương trình (8-52). Các phép tích phân được tính bằng phương pháp số theo công thức Euler hoặc qui tắc hình thang. Những ảnh hưởng của các hài và các dao động cao tần có thể được làm giảm bằng cách chọn riêng các cận tích phân. Ta lưu ý rằng các thời điểm t_1 và t_4 phải trùng với mẫu chốt. Cũng như trước đây mô hình tuyến tính loại trừ ảnh hưởng của thành phần một chiều có trong tín hiệu đầu vào.

3. Qui tắc sai số bình phương

Phương trình vi phân (8-51) của mô hình tuyến tính bậc nhất được biến đổi theo dạng:

$$u(t) = R_s i(t) + L_s i'(t) - e(t), \quad (8-55)$$

trong đó $e(t)$ là sai số xuất hiện trong mô hình đơn giản hoá của đường truyền tải (bỏ qua điện dung ngang và các điện trở rò).

Từ phương trình (8-55) ta có dạng bình phương của sai số $e^2(t)$

$$e^2(t) = R_s^2 i'^2(t) + L_s^2 i''^2(t) + u^2(t) + 2 \left[R_s L_s i(t) i'(t) - R_s i(t) u(t) - L_s i'(t) u(t) \right]. \quad (8-56)$$

Giá trị tối ưu của R_s và L_s chính là giá trị cực tiểu của bình phương sai số, có nghĩa là:

$$\left. \begin{aligned} 0,5 \frac{\partial}{\partial R_s} \int_{t_0}^t e^2(\tau) d\tau &= R_s \int_{t_0}^t i'^2(\tau) d\tau + L_s \int_{t_0}^t i(\tau) i'(\tau) d\tau - \int_{t_0}^t i(\tau) u(\tau) d\tau = 0, \\ 0,5 \frac{\partial}{\partial L_s} \int_{t_0}^t e^2(\tau) d\tau &= R_s \int_{t_0}^t i i'(\tau) d\tau + L_s \int_{t_0}^t i'^2(\tau) d\tau - \int_{t_0}^t i'(\tau) u(\tau) d\tau = 0. \end{aligned} \right\} \quad (8-57)$$

Phương pháp này là một trong những phương pháp chính xác nhất nhưng có khối lượng tính toán đáng kể do có nhiều phép tính nhân số thực.

4. Giải pháp phạm vi tần số

Phương trình sau đây thu được khi ta nhân cả hai vế của phương trình vi phân (8-51) với $\exp(-j\omega t)$ và lấy tích phân từ t_0 đến t .

$$\begin{aligned} \int_{t_0}^t u(\tau) \exp(-j\omega \tau) d\tau &= R_s \int_{t_0}^t i(\tau) \exp(-j\omega \tau) d\tau + \\ &+ j\omega L_s \int_{t_0}^t i(\tau) \exp(-j\omega \tau) d\tau - L_s i(t) \exp(-j\omega t) + L_s i(t_0) \exp(-j\omega t_0) \end{aligned} \quad (8-58)$$

Ta giải phương trình này bằng cách xác định biến đổi Fourier hữu hạn giữa các cận tích phân t_0 và t_1 . Các thành phần thực và ảo có thể thu được từ biểu thức (8-58) như sau:

$$\begin{aligned} \int_{t_0}^t u(\tau) \cos \omega \tau d\tau &= R_s \int_{t_0}^t i(\tau) \cos \omega \tau d\tau + L_s \left[\omega \int_{t_0}^t i(\tau) \sin \omega \tau d\tau - i(t) \cos \omega t + i(t_0) \cos \omega t_0 \right], \\ \int_{t_0}^t u(\tau) \sin \omega \tau d\tau &= R_s \int_{t_0}^t i(\tau) \sin \omega \tau d\tau + L_s \left[-\omega \int_{t_0}^t i(\tau) \cos \omega \tau d\tau - i(t) \sin \omega t + i(t_0) \sin \omega t_0 \right]. \end{aligned} \quad (8-59)$$

Hệ phương trình với ẩn số R_s và L_s có thể được giải bằng phương pháp tương tự như hệ (8-52). Mặc dù các hệ số của hệ phương trình trông phức tạp nhưng thực tế việc tính toán không khó khăn lắm vì tất cả các tích phân đều là tích phân của dòng và áp với hàm sin hay cosin. Số lượng phép nhân tối thiểu có thể được tính giảm khi sử dụng phương pháp tích phân Euler cho đáp ứng xung hữu hạn.

Theo lý thuyết, phương trình (8-59) cho phép xác định R_s và L_s với mọi giá trị của ω và mọi cửa sổ $(t-t_0)$. Trong thực tế ta giả thiết rằng vận tốc góc ω xấp xỉ với tần số cơ sở ω_1 và cửa sổ số không bé hơn $T_1/4$, có nghĩa là không nhỏ hơn một phần tư chu kỳ cơ sở.

Đây là phương pháp nhanh và chính xác nhưng có khối lượng tính toán khá lớn mặc dù đã áp dụng những công thức số đơn giản nhất có thể.

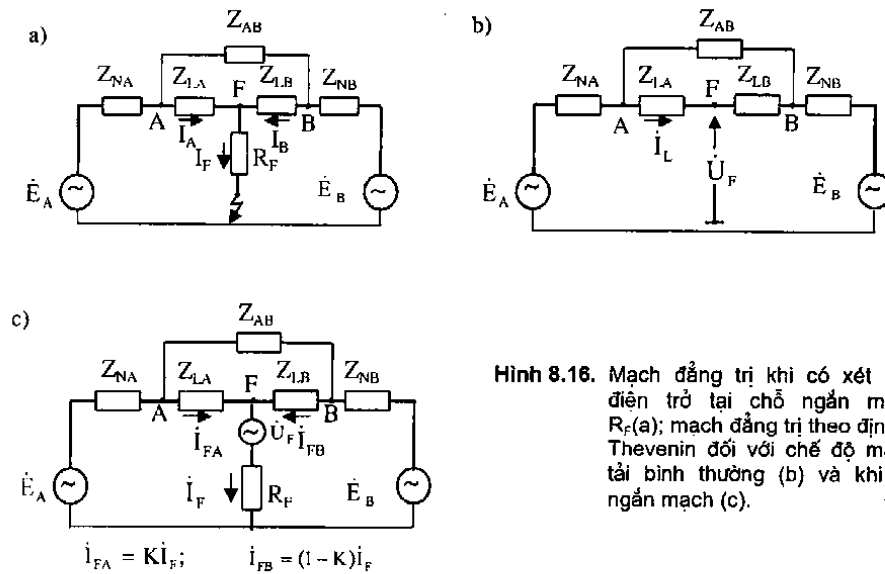
8.5.4. Tối ưu hoá ảnh hưởng của điện trở sự cố lên phép đo khoảng cách

Nói chung luôn luôn tồn tại điện trở tại vị trí sự cố của đường dây trên không. Đối với các sự cố pha đó là các điện trở hồ quang ít khi lớn hơn $0,5 \Omega$. Các sự cố chạm đất bao gồm cả điện trở đất trong mạch vòng dây dẫn-đất. Nếu các cột được nối đất bằng dây dẫn thì điện trở sự cố chính là điện trở tương đương của tất cả các điện trở chân cột. Khi tính đến tất cả các yếu tố đó thì điện trở sự cố thường có giá trị từ 1 đến 10Ω . Các giá trị lớn hơn đến hàng trăm Ω có thể xuất hiện trong sự cố qua cột gỗ hay cây cối (đường dây không có nối đất), hoặc các dây nối đứt nằm trên mặt đất.

Trên hình 8.16,a là mô hình đường dây đơn tương đương với mạch của sự cố 3 pha với điện trở sự cố R_F tại vị trí sự cố. Hình 8.16,b và 8.16,c biểu diễn mạch tương đương cho điều kiện tải bình thường và sự cố theo quy tắc Thevenin.

Ta giả thiết rằng role khoảng cách đặt tại A và đo dòng I_A , điện áp U_A . Điện trở sự cố khiến cho role đo trở kháng khác với giá trị thực tế tại vị trí sự cố

$\dot{Z}_{LA}$. Phép đo khoảng cách chứa sai số do sự lệch pha giữa dòng $\dot{I}_A$ và $\dot{I}_S$ làm sai lệch cả điện trở và điện kháng của vòng sự cố. Để tăng độ chính xác của phép đo ta phải thêm vào các thành phần hiệu chỉnh hoặc sử dụng các qui tắc đo không bị điện trở sự cố ảnh hưởng.



Hình 8.16. Mạch đẳng trị khi có xét đến điện trở tại chỗ ngắn mạch R_F (a); mạch đẳng trị theo định lý Thevenin đối với chế độ mang tải bình thường (b) và khi có ngắn mạch (c).

1. Hiệu chỉnh đo điện kháng

Trở kháng đo được từ role khoảng cách là:

$$\dot{Z}_A = \frac{\dot{U}_A}{\dot{I}_A} = \dot{Z}_{LA} + \left(\frac{\dot{I}_F}{\dot{I}_A} \right) R_F. \quad (8-60)$$

Từ mạch tương đương trong hình 8.16,b và c ta có:

$$\dot{I}_A = k_v \dot{I}_F + \dot{I}_L,$$

trong đó k_v là hệ số phân dòng. Trên cơ sở hình 8.16,c ta có:

$$\dot{Z}_A = \dot{Z}_{LA} + \frac{\frac{R_F}{k_v} (\dot{I}_A - \dot{I}_L)}{\dot{I}_A \exp(j\gamma)} \quad (8-61)$$

trong đó γ là agumen của hệ số k_v và thường xấp xỉ bằng 0.

Phương trình (8-61) cho phép tính được cả hai thành phần thực và ảo. Chỉ có 2 ẩn số là tỉ số R_F/k_V và điện kháng X_{LA} của đường dây đến vị trí sự cố. Trong đó ẩn số sau được tính từ điện trở R_{LA} và góc pha của đường dây φ_L (xem hình 8-17). Do vậy:

$$X_{LA} = X_A - \frac{R_A \tan \varphi_L - X_A}{\frac{h_1 \tan \varphi_L}{h_2} - 1}, \quad (8-62)$$

trong đó: R_A, X_A = điện trở và điện kháng đo được từ vị trí role A đến chỗ sự cố F.

φ_L = góc pha của đường dây.

h_1 = $\text{Re}[(I_A - I_L)/I_A \exp(j\gamma)]$ - thành phần thực.

h_2 = $\text{Im}[(I_A - I_L)/I_A \exp(j\gamma)]$ - thành phần ảo.

Chia h_1 cho h_2 ta có:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\text{Re}[(I_A - I_L)/I_A^* \exp(j\gamma)]}{\text{Im}[(I_A - I_L)/I_A^* \exp(j\gamma)]} \quad (8-63)$$

trong đó I_A^* là véc-tơ liên hiệp của véc-tơ I_A .

Từ đó ta có thể xác định điện kháng hiệu dụng của sự cố từ công thức (8-62) với giả thiết rằng ta biết nghiệm của phương trình (8-63) và việc xác định không mấy khó khăn vì các công thức tính các thành phần thực và ảo cũng tương tự như các công thức tính công suất thực và ảo (xem mục 8.4). Ta chú ý rằng dòng tải I_L bằng không tại thời điểm đo và ta phải lưu tâm tới điều này khi tính hiệu số $i_A - i_L$. Ví dụ như nếu tỷ số h_1/h_2 được xác định bằng tín hiệu tương tự (xem mục 8.4.1) và giả thiết rằng $\gamma = 0$ ta thu được phương trình sau;

$$\left(\frac{h_1}{h_2}\right)_n = \frac{\sum_{k=0}^{\frac{m}{2}-1} \{[i_A(n-k) - i_A(n-rm-k)]_A(n-k)\}}{-\sum_{k=0}^{\frac{m}{2}-1} \left\{[i_A(n-k) - i_A(n-rm-k)]_A\left(n - \frac{m}{4} - k\right)\right\}} \quad (8-64)$$

trong đó r là tổng số chu kỳ của tín hiệu cơ sở để xác định độ hồi qui cần để đảm bảo dòng tải trước sự cố, có nghĩa là $i_L(n) = i_A(n-rm)$.

Mặc dù công thức (8-62) tăng đáng kể độ chính xác của phép đo khoảng cách, nhưng việc sử dụng công thức này phải thận trọng bởi vì đòi hỏi phải chọn tối ưu các đặc tính khởi động để đảm bảo tính chọn lọc. Mặt khác cần phải loại

bỏ ảnh hưởng ngược của điện trở sự cố lên độ chính xác của phép đo đối với các bộ xác định vị trí sự cố trên nguyên tắc trở kháng.

2. Đo trực tiếp khoảng cách sự cố

Phương trình (8-61) có thể viết dưới dạng sau:

$$\frac{\dot{U}_A}{(\dot{I}_A - \dot{I}_L) \exp(-j\gamma)} - \frac{\dot{I}_A Z_{LA}}{(\dot{I}_A - \dot{I}_L) \exp(-j\gamma)} = \frac{R_F}{k_V} \quad (8-65)$$

Do vế phải của phương trình có giá trị thực cho nên ta có tương quan giữa các phần ảo của vế trái:

$$\text{Im} \left[\frac{\dot{U}_A \exp(j\gamma)}{\dot{I}_A - \dot{I}_L} \right] = \text{Im} \left[\frac{\dot{I}_A Z_{LA} \exp(j\gamma)}{\dot{I}_A - \dot{I}_L} \right] \quad (8-66)$$

Nhân cả hai vế của phương trình cuối cùng với $(\dot{I}_A^* - \dot{I}_L^*)$, trở kháng đến chỗ sự cố $\underline{Z}_{LA} = L \underline{Z}_1$ trong đó L là khoảng cách từ role đến chỗ sự cố và $\underline{Z}_1$ là trở kháng thứ tự thuận trên km. Từ phương trình (8-66) ta có:

$$L = \frac{\text{Im}[\dot{U}_A (\dot{I}_A^* - \dot{I}_L^*) \exp(j\gamma)]}{\text{Im}[\dot{I}_A \dot{Z}_{LA} (\dot{I}_A^* - \dot{I}_L^*) \exp(j\gamma)]} \quad (8-67)$$

Phần ảo của tử số và mẫu số có thể được tính từ các công thức trong mục 8.4.

3. Sử dụng độ thay đổi góc pha γ

Các công thức trên dựa trên giả thiết góc pha γ là hằng số và thường giả thiết là bằng 0. Trong thực tế góc pha thay đổi tỉ lệ với trở kháng giữa role và chỗ sự cố. Việc đó được thể hiện trong quá trình tính toán thông qua việc thay đổi hệ số phân bố dòng k_V trong phương trình (8-61) theo cấu trúc hệ thống điện. Ví dụ nếu:

$$\dot{Z}_{AB} = \dot{Z}_{LA} + \dot{Z}_{LB}$$

như trên hình 8.16, cố nghĩa là sự cố trên một trong hai đường dây, thì ta thu được liên hệ sau:

$$k_V = \frac{(L - L^*)(\dot{Z}_{LA} + \dot{Z}_{LB} + \dot{Z}_{AB}) + \dot{Z}_{NB}}{2(\dot{Z}_{NA} + \dot{Z}_{NB}) + \dot{Z}_{AB}}, \quad (8-68)$$

trong đó $L^* = Z_{LA}/Z_{AB}$ khoảng cách tương đối đến chỗ sự cố.

Thế phương trình (8-68) vào (8-61) và giả thiết rằng $Z_{LA} = L^* Z_{AB}$, ta có:

$$L^{*2} - L^* \dot{A} + \dot{B}_1 - R_F \dot{B}_2 = 0, \quad (8-69)$$

trong đó:

$$\dot{A} = 1 + \frac{\dot{Z}_A}{\dot{Z}_{AB}} + \frac{\dot{Z}_{NB}}{\dot{Z}_{NA} + \dot{Z}_{NB} + \dot{Z}_{AB}},$$

$$\dot{B}_1 = \frac{\dot{Z}_A}{\dot{Z}_{AB}} \left(1 + \frac{\dot{Z}_{NB}}{\dot{Z}_{NA} + \dot{Z}_{NB} + \dot{Z}_{AB}} \right),$$

$$\dot{B}_2 = \left(\frac{\dot{I}_A - \dot{I}_L}{\dot{I}_A} \right) \frac{2(\dot{Z}_{NA} + \dot{Z}_{NB}) + \dot{Z}_{AB}}{\dot{Z}_{AB}(\dot{Z}_{NA} + \dot{Z}_{NB} + \dot{Z}_{AB})}.$$

Do chỉ số $\dot{Z}_A$ và $(\dot{I}_A - \dot{I}_L)/\dot{I}_A$ phụ thuộc vào vị trí sự cố nên phần lớn các tính toán xác định hệ số $\dot{A}, \dot{B}_1$ và $\dot{B}_2$ có thể được thực hiện trước khi xảy ra sự cố.

Phương trình (8-69) là công thức tổng hợp cho các ẩn số L^* và R_F . Nếu ta phân ra thành các phần thực và ảo thì ta sẽ thu được phương trình sau từ thành phần ảo:

$$L^{*2} \text{Im}[\dot{B}_2^{-1}] - L^* [\dot{A}\dot{B}_2^{-1}] + \text{Im}[\dot{B}_1\dot{B}_2^{-1}] = 0 \quad (8-70)$$

mà nghiệm của nó là khoảng cách cần biết L đến chỗ sự cố.

4. Sử dụng giá trị tức thời của phương trình vi phân bậc nhất

Phương trình vi phân của mô hình tuyến tính trên hình 8.16,a là:

$$u_A = i_A R_{LA} + i'_A L_{LA} + i_F R_F. \quad (8-71)$$

Giả thiết hệ số phân dòng chỉ chứa thành phần thực (có nghĩa là $k_v = k_v$) ta có:

$$i_F = \frac{i_A - i_L}{k_v},$$

trong đó i_L là dòng tức thời trước sự cố.

Phương trình (8-71) có thể được viết dưới dạng:

$$u_A = L_{LA}(i_A \cot \varphi_L + i'_A) + \frac{R_F}{k_v}(i_A - i_L), \quad (8-72)$$

trong đó $\cot \varphi_L = R_{LA}/L_{LA}\omega$.

Phương trình (8-72) chứa hai ẩn L_{LA} và R_F/k_v . Giá trị L_{LA} có thể được tính theo phương pháp trong mục 8.5.3. Nếu phương trình được giải cho hai thời điểm khác nhau ta thu được hệ sau:

$$\left. \begin{aligned} u_{A1} &= L_{LA} (\dot{i}_{A1} \cot g \varphi_L + \dot{i}'_{A1}) + \frac{R_F}{k_v} (\dot{i}_{A1} - \dot{i}_{L1}), \\ u_{A2} &= L_{LA} (\dot{i}_{A2} \cot g \varphi_L + \dot{i}'_{A2}) + \frac{R_F}{k_v} (\dot{i}_{A2} - \dot{i}_{L2}), \end{aligned} \right\} \quad (8-73)$$

trong đó: u_{A1}, i_{A1}, i'_{A1} - điện áp, dòng và dòng vi phân tại thời điểm t_1 .

u_{A2}, i_{A2}, i'_{A2} - điện áp, dòng và dòng vi phân tại thời điểm t_2 .

i_{L1}, i_{L2} - các dòng tải giả định không có sự cố tại thời điểm t_1 và t_2 tương ứng.

Phương trình (8-73) cho phép tính L_{LA} theo công thức sau:

$$L_{LA} = \frac{u_{A1}(\dot{i}_{A2} - \dot{i}_{L2}) - u_{A2}(\dot{i}_{A1} - \dot{i}_{L1})}{(\dot{i}_{A1} \cot g \varphi_L + \dot{i}'_{A1})(\dot{i}_{A2} - \dot{i}_{L2}) - (\dot{i}_{A2} \cot g \varphi_L + \dot{i}'_{A2})(\dot{i}_{A1} - \dot{i}_{L1})}. \quad (8-74)$$

Tất cả các công thức được nhắc cho đến nay để giảm ảnh hưởng của điện trở sự cố lên đo khoảng cách được sử dụng trong sơ đồ tương đương một sợi của sự cố ba pha. Các phương trình cho sự cố nối đất cũng tương tự nhưng dòng tương ứng thay cho i_A phụ thuộc vào việc sử dụng bù thứ tự không hay bù dòng pha. Trong trường hợp bù thứ tự không phương trình cân bằng có dạng:

$$u_A = R_{LA} i_C + L_{LA} \dot{i}'_D + \frac{R_F}{k_v} (i_A - i_L), \quad (8-75)$$

trong đó: i_A - dòng trong đường dây sự cố;

i_L - dòng tải trước sự cố;

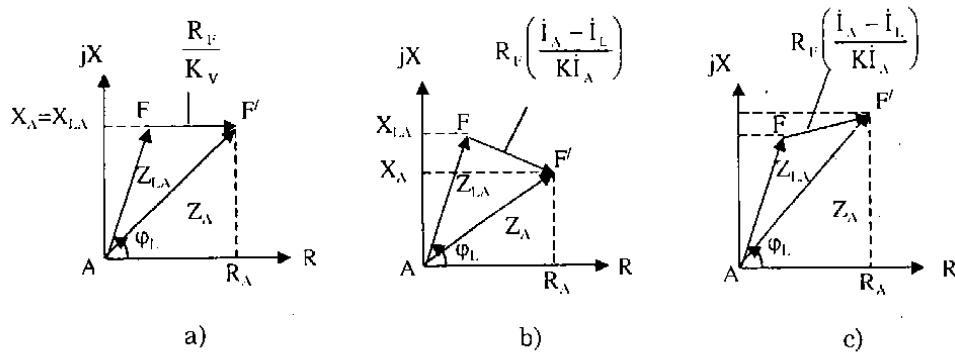
i_C - dòng của dây dẫn bị sự cố cộng với dòng thứ tự không i_0 để bù điện trở thứ tự không, có nghĩa là $i_C = i_A + k_R i_0$ trong đó $k_R = (R_{L0} - R_{L1})/R_{L0}$;

i_D - dòng của dây dẫn bị sự cố cộng với dòng thứ tự không i_0 để bù điện kháng thứ tự không, có nghĩa là $i_D = i_A + k_L i_0$ trong đó $k_L = (L_{L0} - L_{L1})/L_{L0}$;

R_{L0}, L_{L0} - điện trở và điện cảm thứ tự không;

R_{L1}, L_{L1} - điện trở và điện cảm thứ tự thuận.

Ta có thể tính giá trị của L_{LA} bằng cách tương tự như trong các công thức (8-71) và (8-72) khi giải hệ hai phương trình độc lập với hai ẩn số.



Hình 8.17. Ảnh hưởng của điện trở tại chỗ sự cố R_F lên phép đo của bộ phận khoảng cách:

- a) Chỉ có nguồn từ phía A; b) Nguồn ở hai phía A và B, luồng công suất từ A đến B;
c) Nguồn ở hai phía, luồng công suất từ B đến A.

8.6. ĐO TẦN SỐ BẰNG PHƯƠNG PHÁP SỐ

Phép đo tần số trong hệ thống điện tập trung chủ yếu dùng cho tần số cơ sở và một dải hẹp xung quanh nó. Cùng với việc đo giá trị tuyệt đối, tốc độ thay đổi tần số df/dt cũng được sử dụng trong các thao tác sa thải phụ tải khi có dấu hiệu thiếu hụt khả năng phát và nguy cơ hạ tần số.

Trong số rất nhiều qui tắc đo tần số, những qui tắc quan trọng nhất sẽ được mô tả sau đây.

8.6.1. Đo tần số bằng đếm xung tương ứng

Việc đếm các xung của một đồng hồ chuẩn trong một nửa hay cả chu kỳ tần số cần đo là một trong những phương pháp kinh điển và rõ ràng nhất.

Tương quan sau sử dụng để đếm số xung trong nửa chu kỳ của tần số cơ sở $f_{dd} = 50 \text{ Hz}$ và 60 Hz tương ứng:

$$f = \frac{50m}{2p} = \frac{25m}{p} [\text{Hz}], \quad f = \frac{60}{2p} = \frac{30m}{p} [\text{Hz}], \quad (8-76)$$

trong đó: $m = T_1/T_2$ - số xung tương đương với một chu kỳ cơ sở tại tần số danh định;

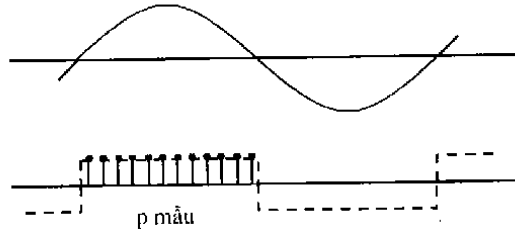
p - số xung đếm được trong nửa chu kỳ cơ sở.

Với công thức đơn giản này thì tần số của đồng hồ chuẩn phải đủ lớn để sai số Δf tính theo công thức sau có giá trị nhỏ

$$\Delta f' = \pm \frac{2}{m}.$$

Do khoảng đo nhỏ và độ lệch tần số thấp nên sai số cho phép nhỏ.

Song song với tần số đồng hồ cao, ta phải có khả năng xác định một cách chính xác điểm triệt tiêu của điện áp ứng với tần số cần đo. Ta có thể thực hiện điều này bằng cách lấy xấp xỉ đường cong điện áp giữa hai mẫu trái dấu bằng đường thẳng. Như trên hình 8.10 ta có:



Hình 8.18. Đo tần số bằng cách đếm số xung của đồng hồ chuẩn trong khoảng nửa chu kỳ của tần số cần đo

$$t_2 = \frac{T_p u(n)}{u(n) - u(n-1)},$$

$$t_1 = T_p - t_2.$$

Giả thiết rằng tần số được xác định khi đo khoảng cách chu kỳ của đường cong điện áp giữa hai điểm triệt tiêu khi chuyển sang trị số dương liên tiếp, ta có các điều kiện sau phải thoả mãn:

- Nếu $u(n) < 0$ hoặc $[u(n) + u(n-1)] > [u(n) - u(n-1)]$, có nghĩa là dấu của đường cong điện áp không thay đổi giữa hai mẫu chẵn thứ (n) và $(n-1)$ hoặc như là kết quả của phép điều biến thì $T_p = T_p + 1$.

- Nếu $u(n) > 0$ hoặc $[u(n) + u(n-1)] \leq [u(n) - u(n-1)]$, có nghĩa là đường cong điện áp cắt trục thời gian khi chuyển sang trị số dương giữa các mẫu chẵn thứ (n) và $(n-1)$, từ đó:

$$g = 0,5 \left[1 - \frac{u(n) + u(n-1)}{u(n) - u(n-1)} \right],$$

$$T_p = T_p + g,$$

$$f = \frac{50m}{T_p} [\text{Hz}], \text{ hoặc tương ứng } \frac{60m}{T_p} [\text{Hz}] \text{ với hệ thống có } f_{da} = 60 \text{ Hz}$$

$$T_p = 1 - g$$

Với tần số đồng hồ $f_i = 800 \text{ Hz}$, sai số trong vùng của tần số được đo không vượt quá $0,01 \text{ Hz}$.

Tốc độ biến đổi tần số được đưa ra bởi công thức :

$$\frac{\Delta f}{\Delta t} \cong \frac{f - f_r}{T_1},$$

trong đó: f - tần số của chu kỳ cuối cùng đo được;
 f_r - tần số của chu kỳ đang đo được.

8.6.2. Đo tần số sử dụng tích phân hợp với hàm Walsh

Độ lệch so với tần số danh định f_{dd} có thể được xác định bằng cách tổng hợp hàm Walsh bậc nhất với cửa sổ $T_w = T_1$. Trong trường hợp biến đầu vào

$$u(t) = U_1 \sin(\omega_k t + \alpha), \quad (8-78)$$

trong đó ω_k là vận tốc góc chưa biết, tích phân hợp với hàm Walsh có dạng:

$$F(t) = \frac{2U_1}{\omega_k} \sin\left(\frac{\omega_k T_1}{2}\right) \sin\left(\omega_k t - \frac{\omega_k T_1}{2} + \alpha\right). \quad (8-79)$$

Ta lưu ý rằng $\omega_k = (\omega_1 + \omega_d)$ với ω_d là vận tốc góc phụ, khi đó phương trình (8-79) có dạng:

$$F(t) = \frac{2U_1}{\omega_k} \sin\left(\frac{\omega_d T_1}{2}\right) \sin\left(\omega_k t - \frac{\omega_d T_1}{2} + \alpha\right). \quad (8-80)$$

Một tín hiệu hình sin thu được cùng tần số với đầu vào nhưng biên độ bằng:

$$F_1 = \frac{2U_1}{\omega_k} \sin\left(\frac{\omega_d T_1}{2}\right).$$

Khi khoảng lệch tần số nhỏ $\omega_d = \pm 0,1\omega_1$, ta lấy gần đúng như sau:

$$\sin\left(\frac{\omega_d T_1}{2}\right) \cong \frac{\omega_d T_1}{2},$$

từ đó độ lệch f_d khỏi tần số f_1 bằng:

$$f_d \cong \frac{F_1}{U_1 T_k T_1}, \quad (8-81)$$

trong đó T_k = chu kỳ ứng với vận tốc góc ω_k .

Đồ thị của $F(t)$ gần đồng pha với tín hiệu vào $u(t)$ khi tần số tăng ($\omega_k > \omega_1$) và gần như nghịch pha khi tần số giảm ($\omega_k < \omega_1$). Điều này có thể được áp dụng để xác định độ lệch tần số là âm hay dương.

Do giá trị T_k của đầu vào là ẩn số, ta thường giả định rằng $T_k = T_1$ với một sai số nhất định. Mặc dù vậy khi lấy tích phân phương trình (8-79) ta có :

$$H(t) = F'(t) = 2U_1 \sin\left(\frac{\omega_d T_1}{2}\right) \cos\left(\omega_k t - \frac{\omega_d T_1}{2} + \alpha\right) \quad (8-82)$$

Tiếp tục việc đơn giản hoá như hệ quả của phương trình (8-81), biên độ tín hiệu $H(t)$ có dạng:

$$H_1 \cong 2\pi U_1 T_1 f_d \quad (8-83)$$

và cho phép ta xác định tần số lệch f_d .

Tích phân số của tín hiệu $u(t)$ thu được khi sử dụng qui tắc hình thang và bằng:

$$F(n) = \left\{ 0,5[u(n) + u(n-m)] + \sum_{k=1}^{m-1} u(n-k) \right\} T_1. \quad (8-84)$$

Lấy vi phân tín hiệu này thu được:

$$H(n) = \frac{F(n) - F(n-1)}{T_1} = 0,5[u(n) + u(n-1) - u(n-m) - u(n-m-1)]. \quad (8-85)$$

Từ công thức (8-85) dễ dàng tính được H_1 nhưng việc xác định xem độ lệch tần số là dương hay âm phải được thực hiện riêng rẽ, có nghĩa là xem tần số lớn hơn hay nhỏ hơn tần số danh định. Có một vài cách đơn giản để thực hiện điều đó, cụ thể là:

- Đo tần số tương đối chính xác tại tốc độ chặt khá thấp.
- Khối lượng và thời gian tính thấp
- Không bao gồm việc tính toán.

Nhược điểm lớn nhất của chúng là độ nhạy đối với các tín hiệu đầu vào bị méo và phụ thuộc vào độ chính xác của biên độ U_1 .

8.6.3. Đo tần số sử dụng tương quan giữa các hàm sin và cô-sin

Nếu như ta phải đo tần số của một tín hiệu đầu vào cho bởi công thức (8-78) và $T_W = T_1$ thì tín hiệu có liên hệ tương quan với sin và cô-sin sao cho:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \int_{t=T_1}^t u(\tau) \sin \omega_1 \tau d\tau, \\ C_2 &= \int_{t=T_1}^t u(\tau) \cos \omega_1 \tau d\tau. \end{aligned} \right\} \quad (8-86)$$

Sau khi thế tín hiệu điện áp theo công thức (8.78) và lấy tích phân ta có:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{U_1 T_1}{2} \{K_1 \cos(\omega_d t + \alpha - \beta_1) - K_2 \cos(2\omega_1 + \omega_d)t + \alpha - \beta_2)\}, \\ C_2 &= \frac{U_1 T_1}{2} \{K_1 \sin(\omega_d t + \alpha - \beta_1) - K_2 \sin(2\omega_1 + \omega_d)t + \alpha - \beta_2)\}, \end{aligned} \right\} \quad (8-87)$$

trong đó:

$$\omega_d = \omega_k - \omega_1,$$

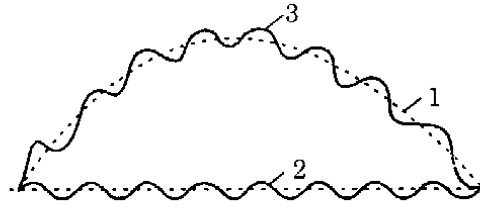
$$K_1 = \sin \frac{\omega_d T_1}{2} / \frac{\omega_d T_1}{2},$$

$$K_2 = \sin \frac{(2\omega_1 + \omega_d)T_1}{2} / \frac{(2\omega_1 + \omega_d)T_1}{2},$$

$$\beta_1 = \frac{\omega_d T_1}{2},$$

$$\beta_2 = \frac{(2\omega_1 + \omega_d)T_1}{2}.$$

Như vậy tất cả các hệ số tương quan đều là tổng của 2 thành phần, thành phần thứ nhất là vận tốc ω_d và thành phần thứ hai là hai lần vận tốc góc ω_1 . Từ hình 8.19 ta thấy rõ ràng rằng ngay cả khi độ lệch tần số lớn thì ảnh hưởng của thành phần $2\omega_1$ cũng rất nhỏ (đường 2). Thành phần này có thể được loại bỏ hoàn toàn khi dùng thêm bộ lọc số tần số thấp, trong trường hợp đó:



Hình 8.19. Các đường cong đối với hàm C_1 và C_2 khi $\omega_d = 0, 1\omega_1$

1- Số hạng đầu tiên của tổng trong phương trình (8-87); 2- Số hạng thứ hai của tổng trong phương trình (8-87); 3- Tổng đường cong 1 và 2.

$$\left. \begin{aligned} C_1^* &= \frac{KU_1 T_1}{2} \cos\left(\omega_d t + \alpha - \frac{\omega_d T_1}{2} - \varphi_p\right), \\ C_2^* &= \frac{KU_1 T_1}{2} \sin\left(\omega_d t + \alpha - \frac{\omega_d T_1}{2} - \varphi_p\right), \end{aligned} \right\} \quad (8-88)$$

trong đó: K - hệ số bù biến đổi biên độ gây ra bởi phép tích hợp;

φ_p - độ lệch pha gây bởi phép tích hợp;

Lấy vi phân biểu thức thứ hai và chia cho biểu thức thứ nhất ta có:

$$\frac{dC_2^*}{dt} \frac{1}{C_1^*} = \omega_d = 2\pi f_d. \quad (8-89)$$

Phương trình (8-89) được sử dụng trong trường hợp $C_1^* > C_2^*$. Khi điều kiện này ngược lại thì có phương trình chính xác hơn:

$$-\frac{dC_1^*}{dt} \frac{1}{C_2^*} = \omega_d = 2\pi f_d \quad (8-90)$$

Dạng số hoá của các biểu thức này là:

$$f_d = \frac{C_2^*(n) - C_2^*(n-1)}{\pi T_i [C_1^*(n) + C_1^*(n-1)]}, \quad (8-91)$$

$$f_d = -\frac{C_1^*(n) - C_1^*(n-1)}{\pi T_i [C_2^*(n) + C_2^*(n-1)]}. \quad (8-92)$$

Công thức này có độ chính xác cao ngay cả khi tần số chặt thấp và thời gian tính toán ngắn. Người ta thường sử dụng nó trong trường hợp các hệ số C_1 và C_2 phải luôn được xác định khi tính toán biên độ của tín hiệu điện áp.

8.7. CẤU TRÚC LÔ GÍCH CỦA ROLE SỐ

Ưu việt rất lớn của role số so với các loại role khác là khả năng tổ hợp các điều kiện lô gích rất thuận lợi và rộng lớn, việc trao đổi và xử lý thông tin với khối lượng lớn và tốc độ cao làm tăng độ nhạy, độ chính xác, độ tin cậy cũng như mở rộng tính năng của bảo vệ.

Cấu trúc lô gích của những bộ role số hiện đại nhằm đảm bảo thực hiện những chức năng sau đây:

- Phát hiện sự cố.
- Kiểm tra xem sự cố có nằm trong phạm vi tác động của bảo vệ hay không.
- Xác định pha của sự cố.
- Lưu giữ, trao đổi dữ liệu với bộ role ở đầu đối diện hoặc các bộ role khác.

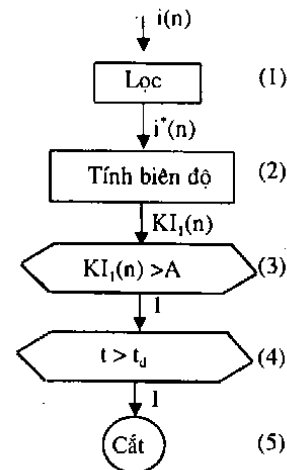
- Xác định vị trí điểm sự cố.
- Phối hợp với các thiết bị bảo vệ và tự động khác trong hệ thống.
- Thực hiện việc tự kiểm tra và giám sát.

8.7.1. Cấu trúc lô gic của các role đơn giản

Những role đơn giản, chẳng hạn như bảo vệ quá dòng điện có đặc tính thời gian, có giản đồ thuật toán không phức tạp (H.8.20).

Tín hiệu dòng điện $i(n)$ thông qua bộ lọc (1) và bộ tính biên độ (2) để xác định đại lượng tỷ lệ với biên độ $KI_1(n)$.

Điều kiện tác động được kiểm tra ở khâu (3) để xác định xem biên độ của dòng điện có vượt quá đại lượng chỉnh định A hay không. Khâu thời gian (4) sẽ được khởi động nếu điều kiện tác động kiểm tra ở khâu (3) được thoả mãn. Thời gian trễ của (4) được chọn theo điều kiện phối hợp chọn lọc với các bảo vệ quá dòng điện lân cận.

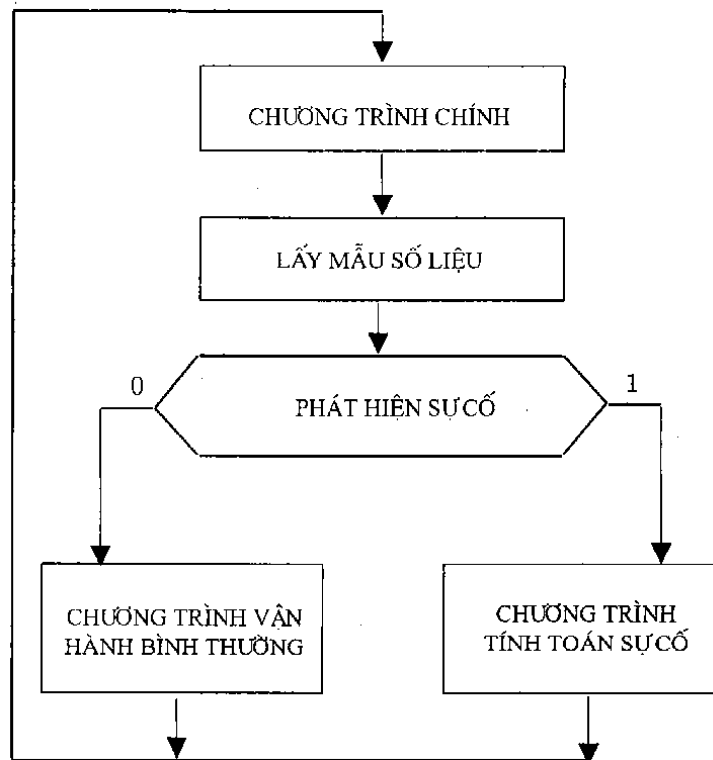


Hình 8.20. Giải đồ thuật toán của role quá dòng điện làm việc có thời gian

8.7.2. Cấu trúc lô gic của các role phức tạp

Những role hoặc bộ role số phức tạp thường thực hiện chức năng của nhiều loại bảo vệ và gồm có một số bộ vi xử lý, trong đó:

- 1 bộ vi xử lý làm nhiệm vụ điều hành chung và khởi động sơ đồ bảo vệ (cấp nguồn thao tác cho role đầu ra).
- 1 bộ vi xử lý làm chức năng của bảo vệ chính (so lệch hoặc khoảng cách).
- 1 bộ vi xử lý làm chức năng của bảo vệ (hoặc các bảo vệ) dự phòng và tự động đóng trở lại máy cắt điện.



Hình 8.21. Sơ đồ khối mô tả hoạt động của các bộ vi xử lý trong role số.

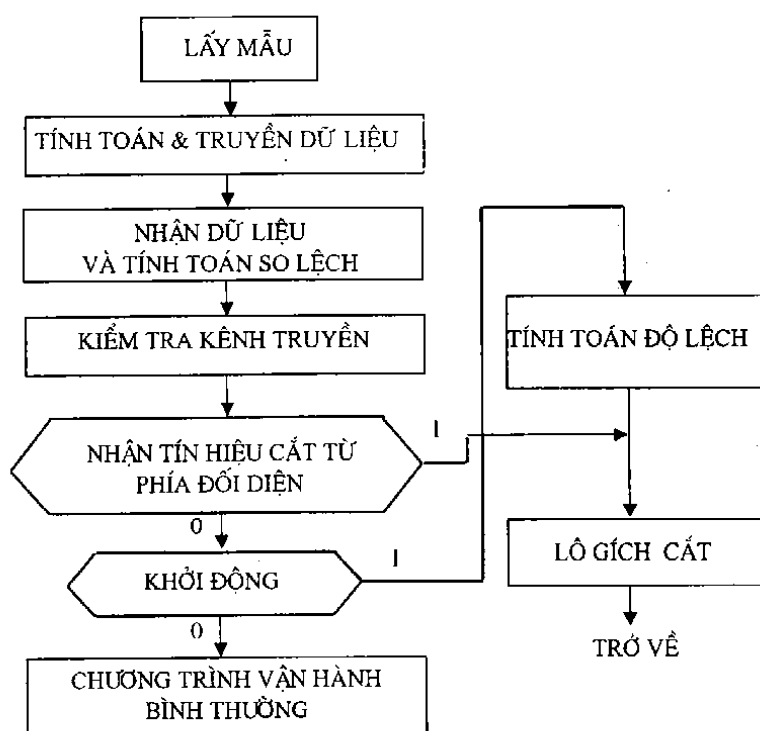
Cấu trúc lô gic cơ bản của giải đồ thuật toán hoạt động của mỗi bộ vi xử lý trình bày trên hình 8.21. Tín hiệu đầu vào sau khi được lấy mẫu và chuyển thành tín hiệu số để được tính toán và phân tích nhằm phát hiện sự cố. Nếu không phát hiện được sự cố, bộ vi xử lý sẽ tiến hành *chương trình vận hành bình thường* để thực hiện các chức năng sau:

- Hiển thị trạng thái của máy cắt điện.
- Kiểm tra điện áp.
- Kiểm tra trạng thái của các bộ thu phát và kênh truyền tín hiệu.
- Kiểm tra mức độ cân bằng của áp và dòng.

Nếu phát hiện được sự cố, bộ vi xử lý sẽ tiến hành *chương trình tính toán sự cố*. Chương trình tính toán sự cố thường được hoàn thành trong mỗi khoảng lấy mẫu. Đối với từng loại bảo vệ có chương trình tính toán sự cố riêng và được tính trong thời gian thực với tốc độ nhanh, đảm bảo cho rơle tác động nhanh và chính xác.

1. Cấu trúc lô gích của bảo vệ so lệch

Sơ đồ khối của bảo vệ so lệch dòng điện dùng cho đường dây được trình bày trên hình 8.22. Giải đồ thuật toán của rơle so lệch cho trên hình 8.23. Ở chế độ bình thường, dòng điện so lệch ΔI bằng hiệu số dòng điện ở hai đầu đường dây và bằng dòng điện dung I_C của đường dây. Để bảo vệ so lệch không tác động nhầm do ảnh hưởng của trị số quá độ của dòng điện dung I_C , phải thực hiện điều kiện (khâu (2) trên sơ đồ hình 8.23):



Hình 8.22. Sơ đồ khối của bảo vệ so lệch.

$$\Delta I = |\dot{I}_1 - \dot{I}_2| > K_1 I_C, \quad (8-93)$$

trong đó: K_1 - hệ số an toàn, có xét đến trị số quá độ của dòng điện dung I_C , đối với các đường dây dài có thể lấy $K_1 = 3 \div 4$;

$|\dot{I}_1 - \dot{I}_2|$ - dòng điện pha ở hai đầu đường dây.

Ngoài ra, dòng điện khởi động của rơle so lệch cần được chỉnh định lớn hơn dòng không cân bằng do sai số của máy biến dòng điện khi có dòng ngắn mạch ngoài lớn nhất chạy qua. Theo điều kiện này thì:

$$\Delta I > K_2 I_{dd}, \quad (8-94)$$

trong đó: K_2 - hệ số an toàn, có xét đến trị số quá độ của dòng không cân bằng khi có ngắn mạch ngoài, thường lấy $K_2 = 0,4 \div 0,5$;

I_{dd} - dòng điện danh định của máy biến dòng.

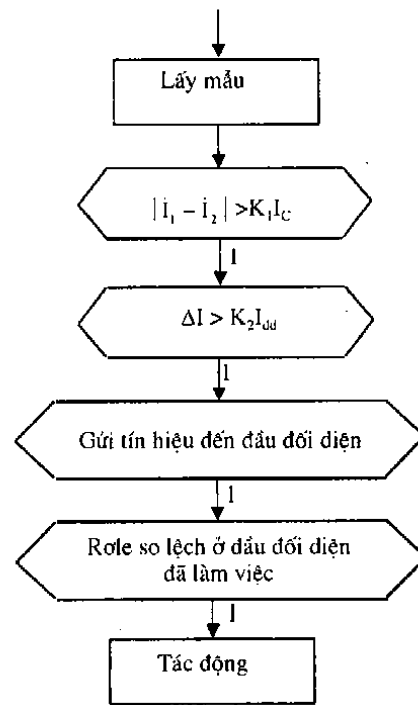
Điều kiện (8-94) được kiểm tra ở khâu (3) trên sơ đồ hình 8.23. Các khâu (4) và (5) trên sơ đồ này làm nhiệm vụ phối hợp tác động giữa rơle so lệch ở hai đầu đường dây.

Đối với bảo vệ so lệch máy biến áp (H.8.24) thường sử dụng các thông tin đầu vào sau đây:

- Dòng điện $i_1(n)$ và $i_2(n)$ ở hai phía của máy biến áp.
- Điện áp (pha hoặc dây) ở thanh cái phía nguồn của máy biến áp $U(n)$.
- Tín hiệu phản ánh vị trí của đầu phân áp h_p .

Thành phần dòng điện làm việc $i_{LV}(n)$ và dòng điện hãm $i_H(n)$ được tính ở khâu (1). Hệ số h_p có xét đến vị trí của đầu phân áp và tỷ số biến đổi của máy biến áp lực được bảo vệ. Khâu (2) so sánh tương quan giữa dòng điện làm việc và dòng điện hãm theo đặc tính hãm của rơle $i_{LV}(n) = f(i_H(n))$.

Khâu (3) kiểm tra khả năng bảo vệ tác động nhầm do ảnh hưởng của dòng không cân bằng vì sai số của biến dòng khi có ngắn mạch ngoài. Khâu (5) kiểm tra khả năng tác động nhầm do dòng điện từ hoá của máy biến áp, khâu (6) kiểm tra hiện tượng quá bão hoà của lõi thép máy biến áp do quá điện áp hoặc

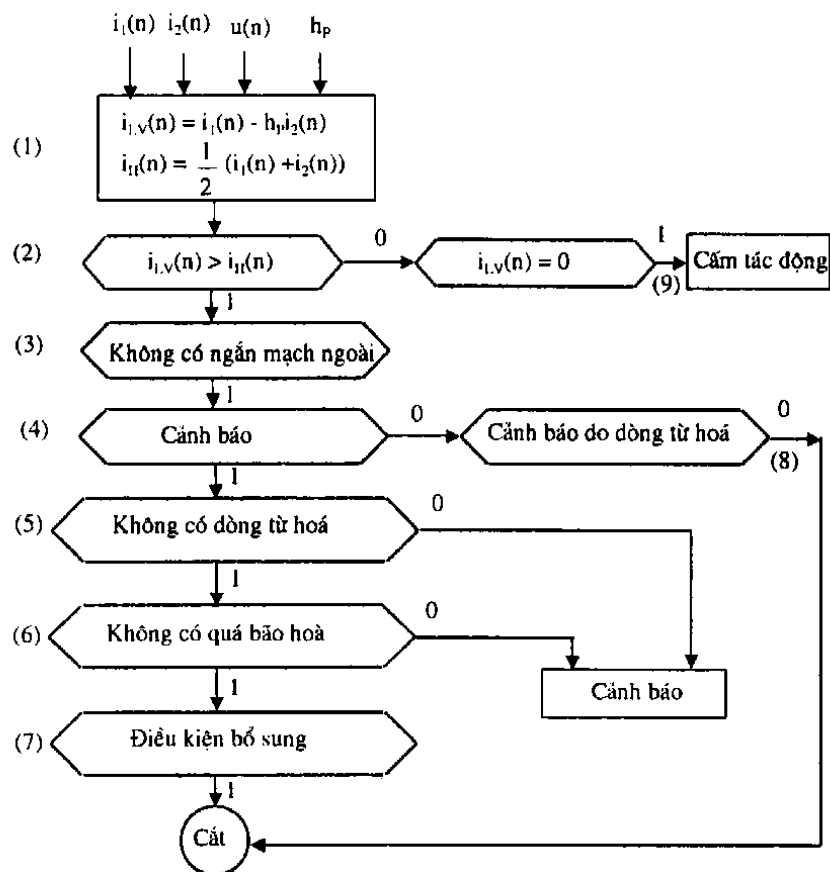


Hình 8.23. Giải đồ thuật toán của rơle so lệch dòng điện

tần số giảm thấp. Điều kiện bổ sung (7) thường quy định một số chu kỳ lặp lại có kết quả giống nhau trước khi gửi tín hiệu cắt. Nếu dòng điện từ hoá không loại trừ được qua các khâu (5) và (6) thì sẽ được kiểm tra lại bằng khâu (8) trên cơ sở phân tích các hài bậc 2 và bậc 5 hoặc các phương pháp phân tích khác để khẳng định xem có phải dòng điện làm việc phát sinh là do dòng điện từ hoá gây nên hay không.

Nếu dòng điện làm việc $i_{LV}(u)$ kéo dài không quá một chu kỳ cơ bản thì khâu (9) sẽ đưa role về lại trạng thái ban đầu.

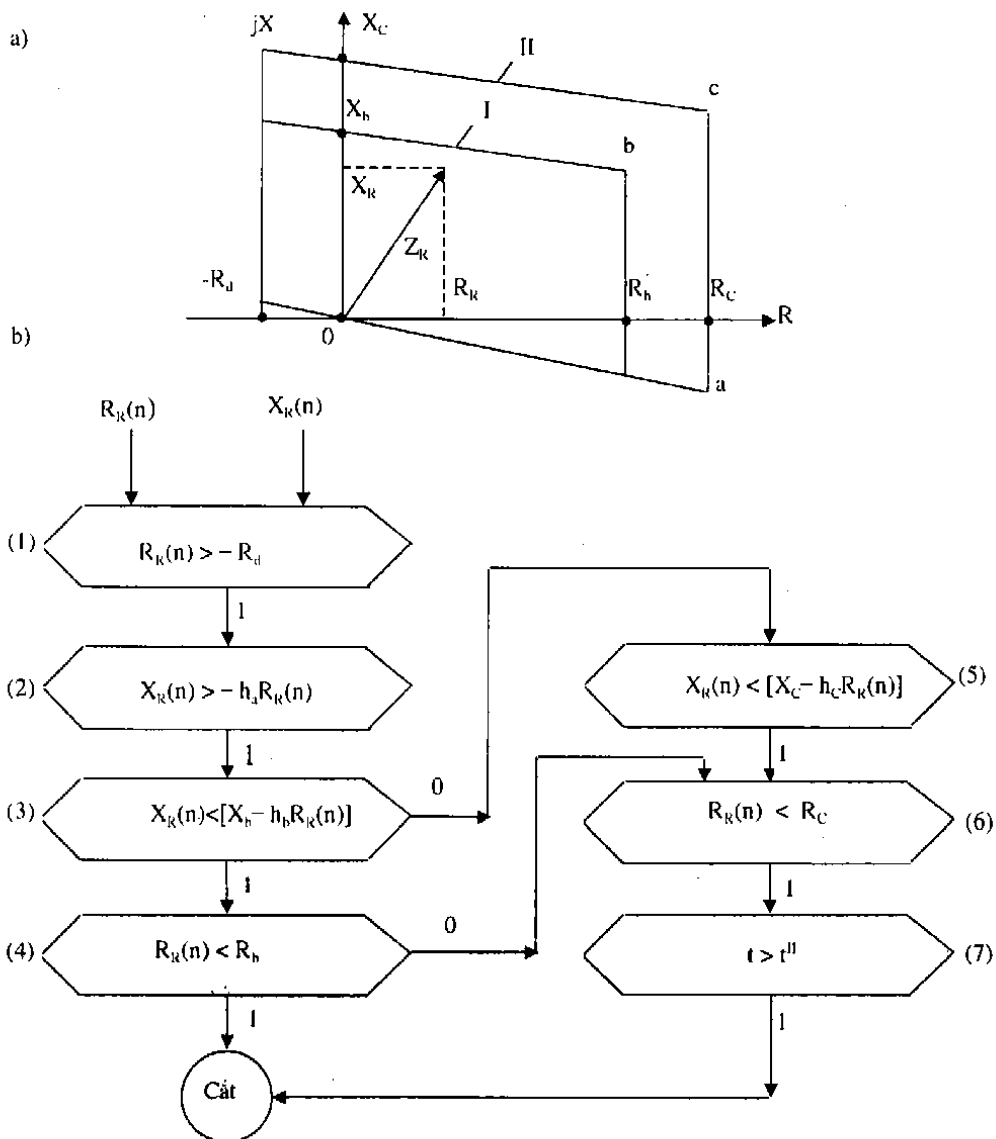
Cấu trúc lô gic trên hình 8.24 đảm bảo cho bảo vệ so lệch máy biến áp có độ nhạy cao, bảo vệ cho cả những trường hợp chạm chập giữa các vòng dây, bảo vệ có thể tác động nhanh vì thường khi có ngắn mạch trị số dòng điện từ hoá không cao.



Hình 8.24. Sơ đồ khối của bảo vệ so lệch máy biến áp.

2. Cấu trúc lô gích để xác định đặc tính khởi động của rơle khoảng cách

Rơle khoảng cách như đã đề cập trong chương 2 có đặc tính khởi động hết sức đa dạng. Rơle khoảng cách được chế tạo theo kỹ thuật số có thể có đặc tính khởi động với hình dáng rất phức tạp vì việc phối hợp các khâu lô gích được thực hiện khá dễ dàng.



Hình 8.25. Đặc tính khởi động của rơle khoảng cách (a) vào cấu trúc lô gích (b) của rơle.

Trên hình 8.25,a cho ví dụ đặc tính khởi động của role khoảng cách hình tứ giác có 2 vùng tác động với thời gian $t^I = 0$ và t^{II} tương ứng.

Trên hình 8.25,b giới thiệu một trong những cấu trúc lô gích có thể để tạo nên đặc tính khởi động hình 8.25,a. Khâu (1) kiểm tra điều kiện điện trở role đo được R_R có nằm bên phải của đường thẳng đứng $R = -R_d$ hay không. Tương tự như vậy, khâu (2) kiểm tra điều kiện điện kháng role đo được X_R có nằm phía trên đường thẳng (Oa) với hệ số hướng $-h_a$ hay không.

Nếu cả hai điều kiện R_R và X_R đều thỏa mãn, khâu (3) và (4) sẽ kiểm tra xem tổng trở mà role đo được Z_R có nằm trong vùng tác động thứ nhất với thời gian $t^I = 0$ hay không. Nếu không các khâu (5) (6) và (7) sẽ kiểm tra điều kiện tác động của vùng thứ II với thời gian t^{II} .

3. Sơ đồ cấu trúc tổng hợp của các role số hợp bộ

Các nhà chế tạo role ngày nay theo đuổi phương châm: mỗi phần tử của hệ thống điện sử dụng một bộ bảo vệ tổng hợp tương ứng.

Theo phương châm này người ta chế tạo ra những bộ bảo vệ tổng hợp dùng cho máy phát điện, máy biến áp, bộ máy phát điện - máy biến áp, thanh góp, đường dây tải điện (với các cấp điện áp khác nhau v.v...).

Trên hình 8.26 trình bày ví dụ về một bảo vệ dùng cho các đường dây tải điện cao áp và siêu cao áp.

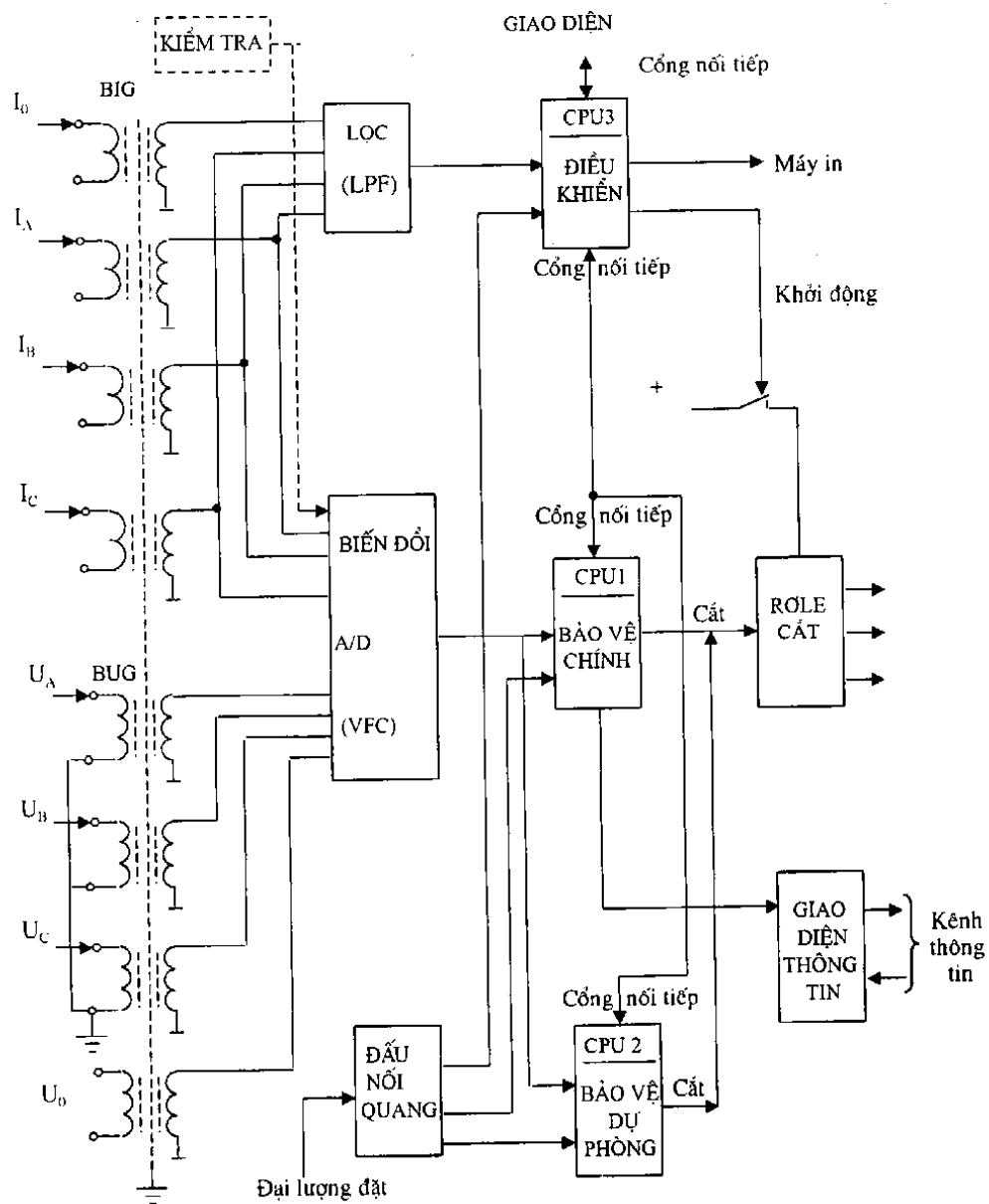
Các tín hiệu dòng và áp thông qua các biến dòng điện và biến điện áp trung gian BIG và BUG chuyển thành các tín hiệu điện áp thấp tiêu chuẩn. Thông qua các bộ chuyển đổi tương tự/số (A/D) các tín hiệu này được đưa vào các bộ vi xử lý (CPU).

Bộ vi xử lý CPU₁ thực hiện chức năng của bảo vệ chính 1 (chẳng hạn - bảo vệ so lệch), bộ CPU₂ thực hiện chức năng của bảo vệ chính 2 (chẳng hạn - bảo vệ khoảng cách) và một số bảo vệ dự phòng (quá dòng, quá dòng thứ tự không...).

Tín hiệu đầu ra của 2 bộ bảo vệ này sẽ khởi động role trung gian đầu ra để gửi tín hiệu cắt máy cắt.

Bộ vi xử lý CPU₃ có thể nhận tín hiệu tương tự thông qua bộ lọc dải tần thấp (LPF) và chuyển thành tín hiệu số bằng bộ chuyển đổi A/D trong nội bộ của CPU₃. CPU₃ làm nhiệm vụ điều hành hệ thống bảo vệ, đưa nguồn thao tác vào các role đầu ra, giao tiếp với các thiết bị ngoại vi và nhân viên điều hành.

Các CPU được nối với nhau qua các cổng nối tiếp và nối với thiết bị ngoại vi của hệ thống thông tin.



Hình 8.26. Sơ đồ nguyên lý bộ role số dùng để bảo vệ đường dây tải điện.

CÂU HỎI ÔN TẬP

- 8.1. Đo biên độ của tín hiệu hình sin.
- 8.2. Đo công suất trong xử lý tín hiệu số.
- 8.3. Đo khoảng cách theo phương pháp số.
- 8.4. Đo tần số bằng phương pháp số.
- 8.5. Cấu trúc lô gích của rơle số.

Phụ lục

**BẢO VỆ CÁC PHẦN TỬ
CỦA HỆ THỐNG TẢI ĐIỆN 500 kV
BẮC-TRUNG- NAM**

Yêu cầu và phương thức bảo vệ

PL.1.1. MỘT SỐ YÊU CẦU ĐỐI VỚI HỆ THỐNG BẢO VỆ VÀ TỰ ĐỘNG CỦA ĐƯỜNG DÂY SIÊU CAO ÁP (ĐDSCA)

Sơ đồ hệ thống tải điện 500 kV Bắc - Nam cho trên hình P.L.1.

Để đảm bảo độ tin cậy tối đa trong vận hành và khai thác ĐDSCA hợp nhất hệ thống, các thiết bị bảo vệ và tự động đặt cho đường dây và trạm 500 kV cần thoả mãn những yêu cầu đặc biệt về tác động nhanh, chọn lọc, nhạy và tin cậy.

1. Tác động nhanh: Thời gian loại trừ ngắn mạch trên các phần tử của ĐDSCA đối với các thiết bị bảo vệ và máy cắt điện hiện đại chừng 4 chu kỳ dòng điện công nghiệp (0,08 sec), trong đó 1/2 chu kỳ cho bộ phận thông tin và đo lường làm việc, 1 chu kỳ cho bảo vệ role chính của đường dây hoặc thiết bị làm việc và từ 2 đến 2,5 chu kỳ để cắt máy cắt. Thời gian để thực hiện đóng trở lại một pha từ 15 đến 25 chu kỳ.

2. Chọn lọc: Cấp bảo vệ chính của các phần tử chủ yếu như máy biến áp tự ngẫu, đường dây, kháng điện, v.v...phải sử dụng loại bảo vệ có tính chọn lọc tuyệt đối như bảo vệ so lệch dòng điện, so lệch pha ... các cấp bảo vệ dự phòng giữa các phần tử lân cận nhau phải được phối hợp về thời gian đảm bảo độ chọn lọc cần thiết.

3. Độ nhạy: Những bảo vệ chính phải có hệ số độ nhạy không được thấp hơn 2; các cấp đầu tiên của bảo vệ dự phòng phải có hệ số độ nhạy không được thấp hơn 1,5. Để đảm bảo độ nhạy cần thiết bản thân các thiết bị và kênh dẫn trong hệ thống role và tự động cần được bảo vệ chống ảnh hưởng của các hài bậc cao, nhiều do cảm ứng điện từ trong quá trình quá độ, trong quá trình đóng cắt máy cắt điện và thao tác các phần tử khác trong hệ thống.

4. Độ tin cậy: Sự làm việc tin cậy của thiết bị bảo vệ và máy cắt điện có ý nghĩa quyết định đối với độ tin cậy chung của toàn bộ hệ thống. Để tăng cường độ tin cậy của hệ thống bảo vệ và tự động ở các ĐDSCA người ta sử dụng rộng rãi nguyên tắc dự phòng bằng hai hoặc nhiều hơn hệ thống cùng làm việc song song đối với những phần tử chính.

- * Kênh truyền: Ít nhất phải có hai kênh, thường là cáp quang làm kênh chính và kênh tải ba (PLC) hoặc vi ba làm kênh thứ hai.
- * Role: Dùng hai hệ thống role có nguyên tắc tác động khác nhau, thường các role số (dùng các mạch tổ hợp cao) làm hệ thống chính và các role tĩnh làm hệ thống thứ hai, hoặc hai hệ thống role số nhưng có nguyên tắc hoạt động khác nhau.
- * Máy cắt điện: Phải có khả năng thao tác từng pha, có ít nhất là hai cuộn cắt độc lập nhau trong hệ thống truyền động.
- * Máy biến dòng, biến điện áp: Phải đảm bảo độ chính xác cần thiết đối với từng loại dụng cụ đo và role. Máy biến dòng điện phải có đủ số lõi cần thiết (thường 4-5) để dùng cho từng loại bảo vệ và mạch đo lường riêng biệt.
- * Van chống quá điện áp: Dùng cho máy biến áp, kháng điện, tụ bù dọc, đường dây, cần được kiểm tra theo điều kiện nhiệt độ của môi trường (đặc tính phi tuyến của điện trở và năng lực hấp thụ nhiệt khi sự cố có xét đến nhiệt độ làm việc trong môi trường nóng).

PL.1.2. CÁC THIẾT BỊ BẢO VỆ CHO MÁY BIẾN ÁP TỰ NGẪU 500/220/35 kV

Tổ máy biến áp tự ngẫu gồm 3 máy một pha với công suất tổng 450 MVA, được chọn giống nhau cho tất cả các trạm Hoà Bình (2), Phú Lâm (2) và Đà Nẵng (1).

Các tổ máy biến áp tự ngẫu có tổ đấu dây YN, Auto, d11. Cuộn dây thứ 3 đấu Δ ở các trạm có hai công dụng:

- Giảm biên độ của hài dòng điện bậc cao ở các phía 500 và 220 kV trong các chế độ quá độ.
- Đấu với các thiết bị bù (kháng điện, tụ điện) nhằm điều chỉnh điện áp trong quá trình vận hành. Công suất của cuộn thứ 3 là 150 MVA.
- Biến áp tự ngẫu có điều áp dưới tải với giới hạn điều chỉnh $U_{dd} \pm 8,1,25\%$.

1.2.1. Các loại bảo vệ chính cần đặt cho máy biến áp tự ngẫu (MBATN)

1. *Bảo vệ so lệch tác động nhanh (87B/ΔI)*: Là loại bảo vệ chính của biến áp tự ngẫu, nó cần thoả mãn những yêu cầu cơ bản sau đây:

- Chính định chắc chắn khỏi dòng điện không cân bằng khi đóng máy không tải và khi có ngắn mạch ngoài.
- Đảm bảo độ nhạy cao với các dạng ngắn mạch bên trong máy biến áp.
- Có biện pháp ngăn chặn tác động nhầm của bảo vệ so lệch do dòng điện từ hoá tăng cao khi có quá điện áp ở máy biến áp.

Có thể dùng rơle quá áp vào mục đích này vì nếu để máy biến áp tự ngẫu bị quá áp lâu dài có thể dòng từ hoá tăng cao sẽ làm cho nhiệt độ của máy biến áp vượt quá giới hạn cho phép.

2. Bảo vệ quá dòng điện đặt ở phía trung điểm nối đất của máy biến áp tự ngẫu

Bảo vệ này dùng để chống các dạng ngắn mạch chạm đất phía 220 và 500 kV. Có thể dùng loại có đặc tính thời gian phụ thuộc (tỷ lệ nghịch).

3. Bảo vệ chống chạm đất hạn chế của MBATN

Bảo vệ được nối theo sơ đồ so lệch phản ứng tức thời theo sự tăng dòng điện, dùng các loại rơle có thể điều chỉnh trơn (liên tục) đại lượng dòng điện khởi động, có khả năng chặn các hài bậc cao không cho vào rơle và không bị ảnh hưởng của hiện tượng bão hoà mạch từ của máy biến dòng.

4. Bảo vệ khí đặt ở MBATN

Các MBATN siêu cao áp thường được trang bị bảo vệ khí phản ứng theo thành phần khí bốc ra khi có hư hỏng xảy ra bên trong thùng dầu máy biến áp. Bộ phận phân tích thành phần khí có thể gắn trực tiếp trên thùng dầu máy biến áp. Kết quả phân tích được biến đổi thành tín hiệu tương tự hoặc số để điều khiển thiết bị báo hiệu về trạng thái dầu biến áp và hư hỏng xảy ra có liên quan đến việc phân huỷ dầu.

5. Bảo vệ chống quá tải ở phía 220 và 500 kV của MBATN

Bảo vệ có thể có hai cấp: cắt nhanh để chống các trường hợp quá dòng điện lớn (ngắn mạch trong vùng bảo vệ) và cấp báo hiệu với thời gian phụ thuộc (tỷ lệ nghịch với dòng điện quá tải).

6. Bảo vệ ở cuộn dây thứ ba của MBATN

Đầu ra của cuộn dây thứ ba MBATN thường chỉ sử dụng để đấu các thiết bị bù công suất phản kháng ở cấp điện áp 35 kV.

Để bảo vệ ở phía 35 kV chống quá dòng điện thường sử dụng bảo vệ dòng điện cực đại hai cấp: cấp cắt nhanh và cấp có thời gian phụ thuộc.

Để bảo vệ chống một pha chạm đất thường dùng role quá điện áp đấu vào đầu ra cuộn dây nối tam giác hở của máy biến điện áp ở phía 35 kV.

1.2.2. Các thiết bị phụ trợ trong hệ thống bảo vệ MBATN

Hệ thống bảo vệ MBATN cần được trang bị các thiết bị phụ trợ để cảnh báo, gửi tín hiệu cắt hoặc hiển thị trên màn hình của phòng điều khiển các thông tin chính sau đây về MBATN:

- Nhiệt độ một số điểm kiểm tra trong cuộn dây (hình ảnh nhiệt của cuộn dây).
- Chỉ báo về nhiệt độ dầu (OT).
- Chỉ báo về mức dầu (OL).
- Chỉ báo dòng dầu (khi dầu được đổi lưu cưỡng bức).
- Đo áp suất bên trong thùng dầu.

PL.1.3. CÁC THIẾT BỊ BẢO VỆ CHO KHÁNG ĐIỆN BÙ NGANG 500 kV

Kháng điện bù ngang có dung lượng tổng tính toán bằng khoảng 70% tổng công suất phản kháng do điện dung của đường dây phát ra.

Đường dây Hoà Bình - Phú Lâm với phương án dùng dây dẫn phân pha $4 \times 330 \text{ mm}^2$ (khoảng cách giữa các pha $D = 12,4 \text{ m}$, dây dẫn ba pha bố trí trên mặt phẳng ngang, khoảng cách giữa các dây dẫn trong một pha $a = 45 \text{ cm}$). Điện dung tính toán cho một đơn vị đường dây là:

$$C = 0,01276 \text{ } \mu\text{F/km}$$

Tổng công suất phản kháng do điện dung của đường dây phát ra là:

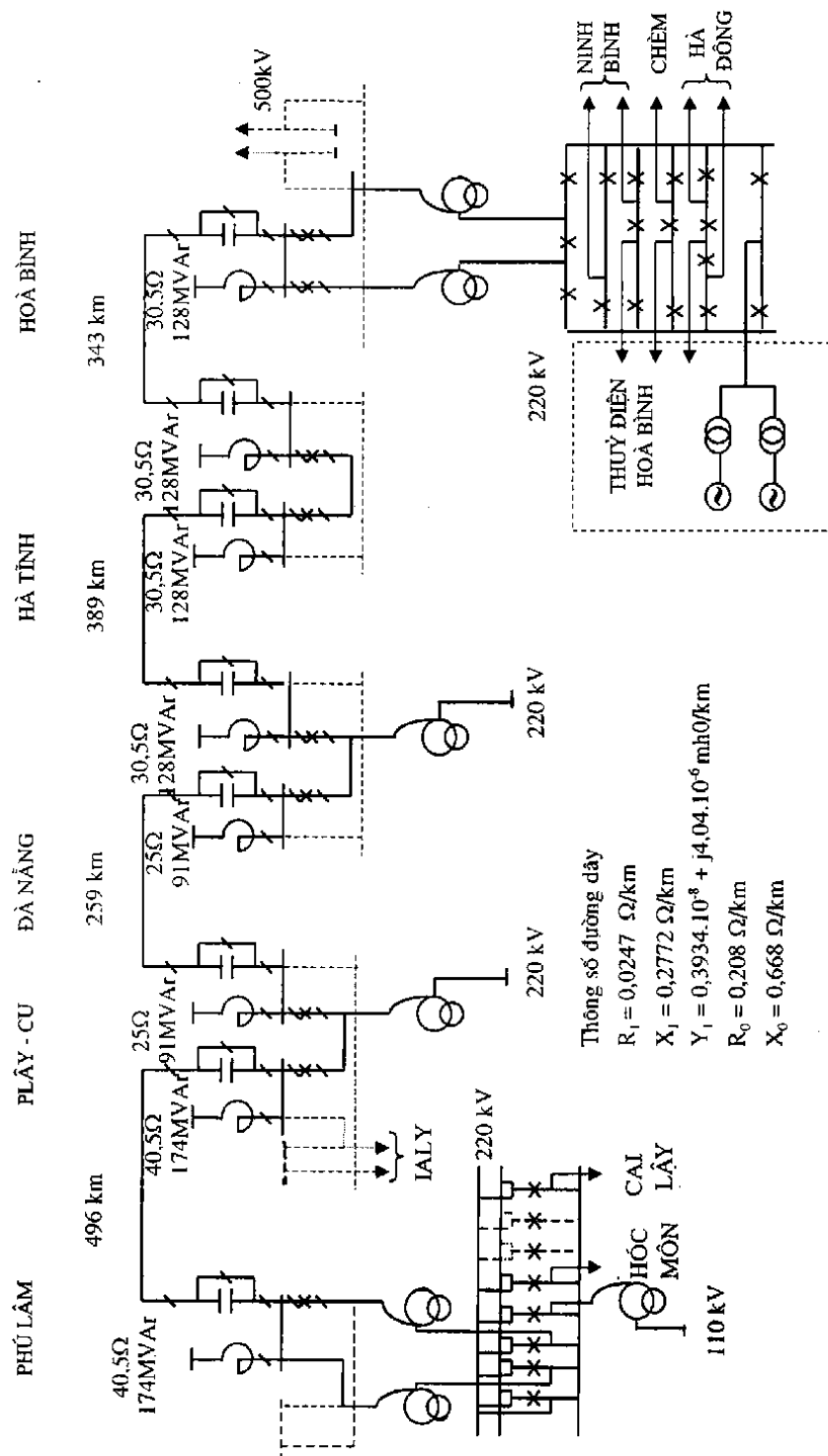
$$Q_{Y\Sigma} = U^2 \cdot \omega C \cdot l_{\Sigma} = 1490,2 \text{ MVar},$$

trong đó: U - điện áp dây danh định của đường dây, 500 kV.

ω - tần số quay của dòng điện xoay chiều, 314 rad/giây

C - điện dung đơn vị của đường dây, $0,01276 \cdot 10^{-6} \text{ F/km}$

l_{Σ} - chiều dài tổng của đường dây, 1487 km.



PL.1. Sơ đồ hệ thống tải điện 500-kV Bắc - Nam

Các kháng bù ngang được đặt rải trên cả 4 đoạn đường dây, ở các trạm đầu từng đoạn.

Trạm Hoà Bình	1x 128 MVar
Trạm Hà Tĩnh	1x 128 + 1 x 128 MVar
Trạm Đà Nẵng	1x 128 + 1 x 91 MVar
Trạm Plây - Cu	1x 91 + 1 x 174 MVar
Trạm Phú Lâm	1x 174 MVar

Tổng công suất đặt của kháng bù ngang là $Q_{K\bar{\Sigma}} = 1042 \text{ MVA}$; tỷ số bù ngang bằng:

$$K_L = \frac{Q_{K\bar{\Sigma}}}{Q_{y\bar{\Sigma}}} \cdot 100\% = \frac{1042}{1490,2} \cdot 100\% = 69,92\%$$

Kháng điện bù ngang 500 kV được nối trực tiếp vào đường dây, có thể xem là một bộ phận của đường dây và khi có hư hỏng trong kháng điện các bảo vệ của đường dây có thể tác động cắt đoạn đường dây bị hư hỏng ra khỏi hệ thống.

Tuy nhiên để nâng cao độ nhạy và dễ dàng xác định vị trí điểm hư hỏng, có thể trang bị những bảo vệ sau đây cho kháng điện.

1. Bảo vệ so lệch dọc cho kháng điện ($87K/\Delta I$)

Bảo vệ chỉ phản ứng đối với những hư hỏng xảy ra trong nội bộ kháng điện. Role so lệch loại có điện kháng lớn, có trang bị mạch đo lường điện áp có nội trở cao. Thời gian tác động khoảng 20 ms.

2. Bảo vệ chống chạm đất. ($50N, 51N/I_0 >>, I_0 >$)

Bảo vệ phản ứng tức thời theo sự tăng dòng điện, có khả năng điều chỉnh liên tục đại lượng dòng điện khởi động, không chịu ảnh hưởng của hiện tượng bão hoà mạch từ của máy biến dòng điện, có khả năng dập ảnh hưởng của hài bậc cao trong dòng điện quá độ, không phản ứng với các sự cố xảy ra bên ngoài kháng điện.

3. Bảo vệ chống quá áp trên kháng điện

Có thể kết hợp với bảo vệ chống quá áp đường dây bằng các van chống quá áp dùng điện trở phi tuyến ZnO. Trị số điện áp tác động của từng van quá áp ở từng vị trí trên đường dây cần được chọn trên cơ sở nghiên cứu các chế độ vận hành cụ thể của đường dây sao cho điện áp ở mọi điểm trên đường dây trong tất cả các chế độ vận hành không vượt quá giới hạn cho phép.

PL.1.4. BẢO VỆ CÁC BỘ TỤ ĐIỆN BÙ DỌC

1.4.1. Công dụng của tụ điện bù dọc

Thiết bị bù dọc thường được sử dụng để giảm tổng trở của đường dây nhằm giảm góc lệch pha giữa các vectơ điện áp ở đầu và cuối đường dây, tăng khả năng tải của đường dây, cải thiện điều kiện phân bố điện áp dọc đường dây, giảm tổn thất trên đường dây.

Thiết bị bù dọc có ảnh hưởng lớn đến chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của đường dây và cả lưới điện nói chung, nó ảnh hưởng nhiều đến chế độ vận hành lưới điện.

Những bộ bù dọc đầu tiên được sử dụng trong lưới điện trung áp vào những năm 30. Từ những năm 50 tụ bù dọc được sử dụng cho các lưới có điện áp từ 110 kV trở lên và hiện nay cho các lưới siêu cao áp 400, 500 và 800 kV.

Song song với việc sử dụng rộng rãi các thiết bị bù dọc trong hệ thống, vấn đề bảo vệ cho các bộ tụ trong những chế độ làm việc khác nhau (bình thường và sự cố) của lưới điện cũng được cải thiện rõ rệt. Trước đây, để bảo vệ cho các bộ tụ bù dọc đặt trên đường dây cao áp và siêu cao áp chống hiện tượng quá áp giữa các cực của tụ điện thường người ta dùng khe hở phóng điện. Những khe hở phóng điện này khi có dòng điện sự cố chạy qua bộ tụ, chúng sẽ nối tắt bộ tụ lại.

Gần đây để chống quá điện áp người ta dùng những loại điện trở phi tuyến khác nhau, đặc biệt là loại varistor ZnO, vấn đề bảo vệ và đặc tính làm việc của các bộ tụ bù dọc được cải thiện rõ rệt. Thiết bị bảo vệ dùng điện trở phi tuyến chỉ nối tắt bộ tụ bù trong khoảng thời gian khi mà điện áp giữa hai cực của bộ tụ vượt quá điện áp cho phép và bộ tụ vẫn có thể tiếp tục làm việc trong thời gian sự cố.

Bộ tụ sẽ trở lại làm việc bình thường khi chế độ ban đầu được thiết lập trở lại.

Đường dây 500 kV Hoà Bình - Phú Lâm có chiều dài rất lớn (1487 km), với các thông số về khoảng cách và dây dẫn đã chọn (4 x AC - 330), điện kháng của đường dây là 412,64 Ω , tương ứng với góc lệch pha giữa các vectơ điện áp trên thanh cái 220 kV của các trạm Hoà Bình và Phú Lâm khoảng 65° khi đường dây tải đến Phú Lâm 500 MW ($\cos\varphi = 0,9$) không đảm bảo được độ dự trữ cần thiết về ổn định tĩnh của hệ thống. Để giảm góc lệch pha giữa điện áp hai đầu đường dây, nâng cao khả năng tải và giới hạn ổn định tĩnh của hệ thống, trong đề án thiết kế đã chọn mức độ bù khoảng 60% ($K_c = X_c/X_L \cdot 100\% = (248/412,64) \cdot 100\% = 60,1\%$) phân rải và đặt ở hai đầu các đoạn dây tại các trạm tương ứng:

Hoà Bình	30,5 Ω
Hà Tĩnh	30,5 Ω + 30,5 Ω
Đà Nẵng	30,5 Ω + 21,5 Ω
PlâyCu	21,5 Ω + 41,5 Ω
Phú Lâm	41,5 Ω

Nếu chọn dòng điện danh định qua bộ tụ là 1000 A, tổng dung lượng tụ bù cho cả đường dây là:

$$Q_{c\Sigma} = 3 \times (1.000)^2 \times 248 = 744 \text{ MVar}$$

1.4.2. Hệ thống bảo vệ các bộ tụ bù dọc

Mắc nối tiếp một tụ điện vào một mạch RL làm giảm hiệu điện thế giữa hai đầu của mạch điện và giảm góc lệch pha giữa hai vectơ điện áp ở hai đầu mạch điện ứng với một trị số dòng điện I cho trước nào đó.

Điện áp trên hai cực của một bộ tụ bằng:

$$U = X_c \cdot I$$

Khi có ngắn mạch, dòng điện qua bộ tụ có thể tăng cao gấp nhiều lần. Ở thời điểm đầu, dòng điện sự cố là tổng dòng điện phóng của bộ tụ với dòng điện hư hỏng tần số công nghiệp.

Tùy theo công suất, hình dáng của lưới điện, dạng và vị trí điểm ngắn mạch mà trị số của dòng điện sự cố có thể đạt đến 10, 20 thậm chí 40 lần dòng điện làm việc bình thường; có nghĩa là điện áp giữa các cực của tụ điện cũng sẽ tăng lên số lần tương ứng. Công nghệ chế tạo tụ điện ngày nay không cho phép có mức quá điện áp như vậy đối với tụ điện, thậm chí chỉ trong một thời gian ngắn.

Vì vậy các bộ tụ bù dọc cần được bảo vệ chống lại chế độ quá áp này. Việc bảo vệ này được thực hiện bằng cách nối tắt bộ tụ trong thời gian quá áp (không thể bảo vệ bằng cách đặt cầu chì trong mạch tụ điện được).

Tùy theo việc dùng khe phóng điện hay varistor để bảo vệ, ta có sơ đồ bảo vệ tương ứng (H. PL.2).

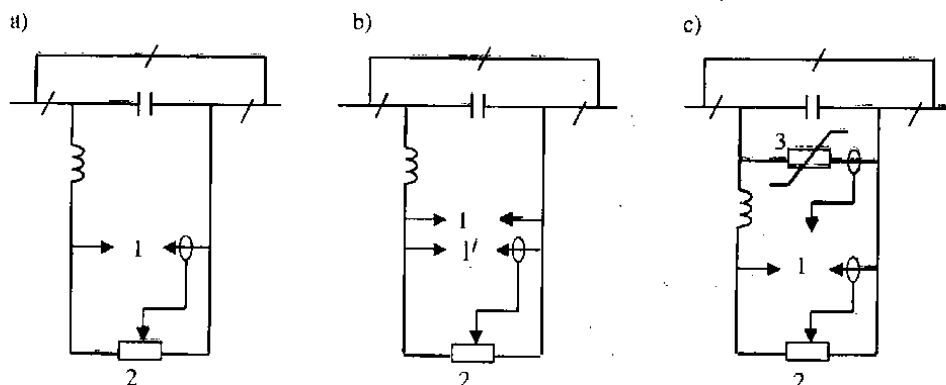
1. Sơ đồ bảo vệ bằng khe phóng điện đơn (hình PL.2,a)

Khi bảo vệ bộ tụ bù dọc bằng khe phóng điện đơn, người ta có thể dùng một trong hai loại khe phóng điện. Khe phóng điện có hồ quang duy trì và khe

phóng điện có hồ quang chập chờn. Loại khe phóng điện có hồ quang duy trì sẽ đưa bộ tụ trở vào làm việc với lưới điện chậm hơn thời điểm sự cố được khắc phục, còn loại khe phóng điện có hồ quang chập chờn sẽ đưa bộ tụ vào làm việc nhanh ngay sau khi sự cố được khắc phục.

2. Sơ đồ bảo vệ bằng khe phóng điện kép (hình PL.2,b)

Trong sơ đồ bảo vệ này người ta sử dụng hai khe phóng điện để nối tắt bộ tụ khi có hư hỏng trong lưới điện tương ứng với hai mức phóng điện khác nhau. Mức phóng điện thứ nhất thấp hơn được chọn cho khe phóng điện có hồ quang chập chờn để nhanh chóng đưa bộ tụ vào làm việc trở lại ngay sau khi sự cố trong lưới điện được loại trừ. Mức phóng điện này được tính theo dòng điện ngắn mạch ngoài đường dây được đặt tụ bù. Khe phóng điện thứ hai có điện áp phóng điện tự nhiên hoặc điều khiển nhưng bao giờ cũng cao hơn của khe thứ nhất.



Hình PL.2. Bảo vệ bộ tụ bù dọc

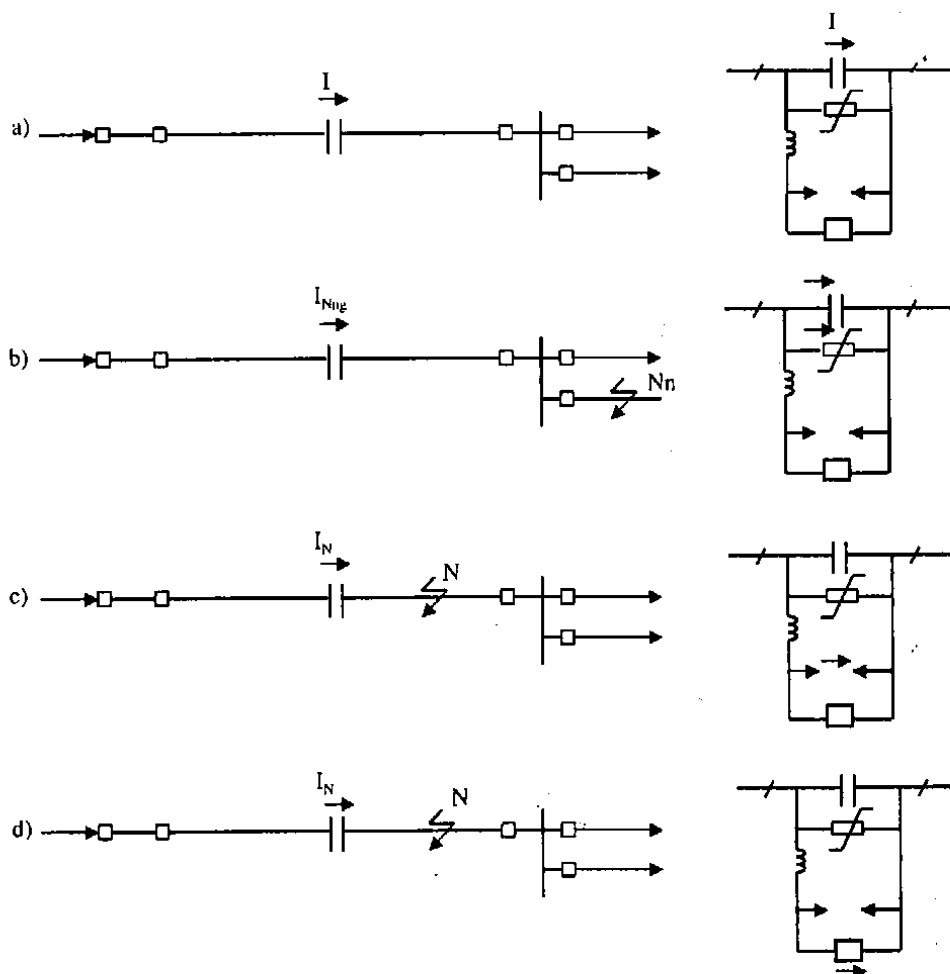
a - Bằng khe phóng điện đơn; b- Bằng khe phóng điện kép ; c- Bằng varistor và khe phóng điện.
1. Khe phóng điện ; 2. Máy cắt ; 3. Varistor.

3. Sơ đồ bảo vệ bằng varistor ZnO

Sơ đồ này đôi khi còn gọi là sơ đồ bảo vệ có khả năng đưa nhanh bộ tụ vào làm việc trở lại (hình PL.2,c).

Sơ đồ bảo vệ bằng varistor ZnO ngày nay được sử dụng rộng rãi và được xem như là sơ đồ chuẩn để bảo vệ các bộ tụ bù dọc, nó thay thế cho sơ đồ dùng khe phóng điện kép đã giới thiệu ở trên. Nhờ vào đặc tính của varistor sơ đồ

này cho phép tránh được sự thay đổi trạng thái đột ngột trong lưới điện có thể xảy ra khi dùng khe phóng điện. Dùng varistor cho phép bảo vệ chống quá điện áp giữa các cực của tụ điện nhưng không tạo nên hồ quang điện làm nổi bật thiết bị bù trong thời gian sự cố như khi dùng khe phóng điện.



Hình PL.3. Điều kiện tính toán bảo vệ

a) Bình thường ; b) Ngắn mạch ngoài ; c) Ngắn mạch trong thoáng qua ; d) Ngắn mạch trong duy trì

Sơ đồ bảo vệ này có nhiều ưu điểm, nó cho phép cải thiện đáng kể điều kiện làm việc của lưới điện có đặt các bộ tụ bù dọc, nhanh chóng khôi phục chế độ

làm việc cho phép, cải thiện đáng kể giới hạn ổn định và độ tin cậy của hệ thống nhờ vào sự ổn định và độ chính xác của đặc tuyến làm việc của varistor ZnO.

Trong sơ đồ bảo vệ bằng varistor người ta còn đặt thêm một khe hở phóng điện để dự phòng (thay thế) cho varistor trong trường hợp hư hỏng xảy ra ngay trên đường dây có đặt thiết bị bù hoặc khi xảy ra đồng thời một số sự cố bên ngoài đường dây tạo nên tình huống vượt quá giới hạn làm việc của varistor. Tuy từng trường hợp cụ thể, nếu những sự cố có thể xảy ra trong lưới điện không đòi hỏi phải đặt khe hở phóng điện dự phòng cho varistor thì có thể không đặt thêm khe hở. Khi ấy trị số của varistor được chọn trên cơ sở tính toán mọi khả năng sự cố có thể xảy ra trên các đường dây lân cận với đường dây có đặt thiết bị bù.

1.4.3. Mức độ bảo vệ các bộ tụ điện bù dọc

Tiêu chuẩn để xác định mức độ bảo vệ cho các bộ tụ điện bù dọc bằng khe hở phóng điện hoặc bằng điện trở phi tuyến liên quan trực tiếp đến trị số dòng điện ngắn mạch và thời gian dòng điện sự cố chạy qua bộ tụ bù. Mức độ này phụ thuộc vào:

- Hình dạng của lưới điện và công suất của nguồn điện ở chế độ tính toán.
- Dạng hư hỏng.
- Thời gian loại trừ ngắn mạch và số chu trình tự đóng lại.
- Điều kiện bảo vệ (đối với các hư hỏng xảy ra bên ngoài và trên đường dây có đặt tụ bù).
- Yêu cầu bảo vệ đối với bản thân bộ tụ (theo thông số cho phép của nhà chế tạo).

1. Ảnh hưởng của cấu trúc lưới và công suất của nguồn điện

Cấu trúc lưới (hình dạng lưới điện, số lượng đường dây và máy biến áp tham gia vận hành, phương án kết dây ...) có ảnh hưởng trực tiếp đến trị số dòng điện ngắn mạch trong hệ thống và dòng điện đi qua bộ tụ khi có hư hỏng. Cần phải chọn cấu trúc lưới khi tính toán sao cho dòng điện sự cố đi qua bộ tụ bù dọc có trị số lớn nhất để xác định mức độ cần bảo vệ cho bộ tụ. Trị số phụ tải và chế độ huy động nguồn trong hệ thống cũng có ý nghĩa quan trọng đối với việc xác định dòng điện sự cố lớn nhất qua bộ tụ và mức độ bảo vệ cần thiết cho nó.

2. Dạng hư hỏng.

Dạng hư hỏng (ngắn mạch một pha, hai pha hay ba pha) được chọn để tính toán có ảnh hưởng trực tiếp đến việc xác định mức độ bảo vệ cho bộ tụ.

Cần lưu ý rằng trong các lưới điện cao áp và siêu cao áp, 95% các loại hư hỏng là ngắn mạch một pha, chỉ có 5% là hư hỏng nhiều pha, tuy nhiên ngắn mạch nhiều pha, đặc biệt là ngắn mạch ba pha thường kèm theo dòng điện sự cố lớn hơn. Ở đây khi chọn dạng ngắn mạch tính toán cần phải cân nhắc một bên là tần suất xuất hiện sự cố (ngắn mạch một pha thường xảy ra hơn) và một bên là mức độ trầm trọng của sự cố (dòng ngắn mạch 3 pha thường lớn hơn).

3. Thời gian loại trừ ngắn mạch và số chu trình tự đóng lại của đường dây

Thể tích của khối varistor dùng để bảo vệ bộ tụ bù dọc được xác định theo năng lượng mà varistor có thể hấp thụ do bộ tụ điện phóng ra năng lượng do dòng điện sự cố chạy qua varistor toả ra trong thời gian ngắn mạch tồn tại. Vì vậy cần phải xác định thời gian loại trừ sự cố và số chu trình tự đóng lại được dự tính đặt ở đường dây có thiết bị bù.

Nói chung, thời gian loại trừ sự cố có thể xác định được. Đối với những đường dây cao áp và siêu cao áp hiện nay có dùng những bảo vệ hiện đại thì tổng thời gian loại trừ sự cố không vượt quá 100 ms (kể cả thời gian để mở máy cắt điện). Để đảm bảo an toàn ngoài bảo vệ chính người ta còn dùng các bảo vệ dự phòng với thời gian loại trừ sự cố từ 200 đến 300 ms.

Mặt khác để xác định mức độ bảo vệ cũng cần xem xét khả năng sự cố xảy ra liên tiếp trong quá trình làm việc. Về mặt này, cần lưu ý rằng ngắn mạch ba pha thường là ngắn mạch thoáng qua (do giông, sét).

Đối với ngắn mạch ba pha nên xem xét chu trình cắt và tự đóng lại một lần nhưng với thời gian cắt của bảo vệ chính, hoặc chỉ loại trừ ngắn mạch bằng bảo vệ dự phòng. Cả hai tình huống này thường dẫn đến một kết quả xác định kích cỡ của varistor gần giống nhau.

Đối với ngắn mạch một pha, cần xem xét thêm điều kiện địa hình của đường dây đang xét. Chẳng hạn ở vùng có điện trở nối đất tốt, các ngắn mạch thoáng qua do sét đánh có thể được loại trừ ngay từ chu trình cắt và tự đóng lại đầu tiên, trên cùng đường dây đã xảy ra ngắn mạch hoặc trên những đường dây lân cận nếu như cường độ và tần số sét ở vùng đang khảo sát có trị số lớn hơn.

Đối với lưới điện trong đó điều kiện ngắn mạch ba pha không được chọn làm điều kiện tính toán, thì điều kiện tính toán dùng để xác định mức độ bảo vệ của bộ tụ điện bù dọc sẽ là ngắn mạch một pha kèm theo chu trình tự đóng lại một lần.

4. Điều kiện bảo vệ (hình PL.3)

a. Hư hỏng bên ngoài đường dây có đặt tụ bù dọc

Đối với các dạng hư hỏng bên ngoài đường dây có đặt tụ bù, các varistor phải bảo vệ bộ tụ tránh quá điện áp trên cực tụ và đảm bảo khả năng hấp thụ

năng lượng của dòng điện sự cố chạy qua varistor. Trong trường hợp này khe phóng điện và máy cắt (nối tắt bộ tụ) không được làm việc để bộ tụ khỏi bị nối tắt. Các điện trở phi tuyến sẽ dẫn một phần dòng điện sự cố và hạn chế mức quá áp trên cực của tụ điện. Khi sự cố đã được loại trừ, các varistor ngừng dẫn điện và bộ tụ sẽ lại dẫn toàn bộ dòng điện tải của đường dây.

Bộ tụ bù được tự động đưa vào làm việc trở lại một cách tức thời, hệ thống khôi phục lại khả năng tải và tính ổn định được đảm bảo. Trong trường hợp ngắn mạch ngoài không được loại trừ hoặc số lượng sự cố liên tiếp xảy ra nhiều hơn số lượng dự kiến thì bộ phận kiểm tra năng lượng hấp thụ của varistor sẽ khởi động (mỗi) khe hở phóng điện bảo vệ hấp thụ, nếu dòng điện qua khe hở phóng điện duy trì lâu hơn mức dự kiến, tín hiệu điều khiển sẽ đóng máy cắt, nối tắt bộ tụ điện bù dọc.

b. Hư hỏng trên đường dây có đặt bộ tụ bù dọc

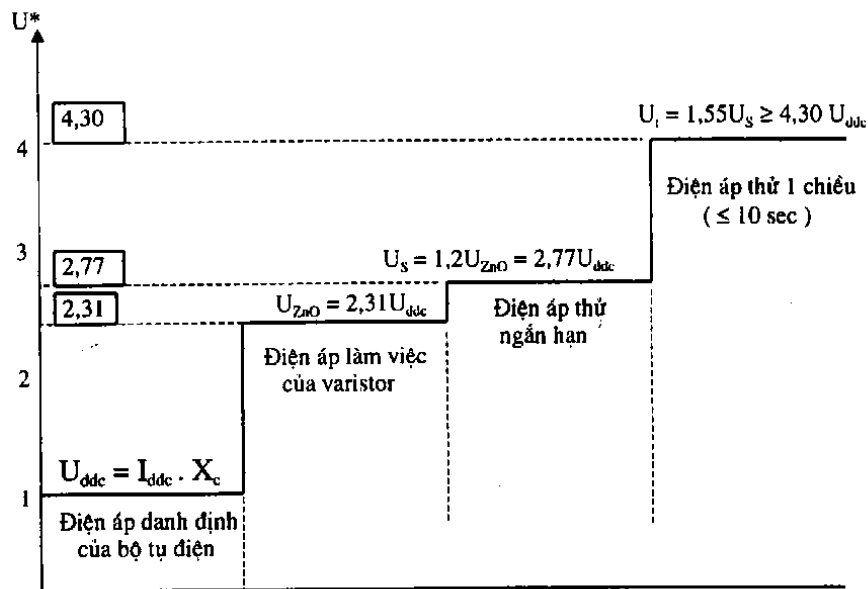
Những hư hỏng trên đường dây có đặt bộ tụ bù thường dẫn đến việc nối tắt bộ tụ bù bằng khe hở phóng điện. Việc khởi động (mỗi) khe hở phóng điện có thể được thực hiện bằng bộ phận kiểm tra trị số của dòng điện sự cố. Khe phóng điện sẽ nối tắt bộ tụ trong khoảng thời gian cần thiết để đường dây bị sự cố được tách ra khỏi mạng điện.

Sau khi các máy cắt ở hai đầu đường dây đã được cắt ra, hồ quang qua khe hở bị dập tắt và có thể đóng trở lại đường dây. Hoạt động của máy cắt nối tắt bộ tụ trong trường hợp này là không cần thiết. Nếu hư hỏng là duy trì, việc đóng trở lại đường dây sẽ làm cho khe hở bảo vệ phóng điện trở lại và đường dây sẽ được cắt hẳn ra khỏi hệ thống.

5. Yêu cầu bảo vệ chống quá điện áp ngắn hạn.

Mức điện áp giới hạn cho phép trên cực của tụ điện là một chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật dung hoà giữa một bên là dung lượng của bộ tụ bù dọc và một bên là kích cỡ của các điện trở phi tuyến. Về nguyên tắc, khi giới hạn điện áp cho phép trên cực của tụ điện càng cao thì kích cỡ (dung tích) của các điện trở phi tuyến càng có thể chọn thấp. Nói chung trị số cực đại của điện áp hiệu dụng trên cực của tụ điện trước và trong thời gian thiết bị chống quá áp làm việc (ta gọi là điện áp giới hạn U_{lim}) thường chọn từ 2,1 đến 2,6 lần điện áp danh định. Trong thực tế, khi bảo vệ bằng varistor ZnO thường người ta chọn trị số này bằng 2,31. Với trị số này thì dung lượng của bộ tụ không tăng lên quá nhiều.

Liên quan giữa các mức điện áp tác động lên bộ tụ trình bày trên hình PL.4, trong đó:



Hình PL.4. Các mức điện áp bảo vệ tụ bù dọc

Điện áp danh định (U_{dd}), trị số hiệu dụng của điện áp giữa các cực của tụ điện, tính theo trị số danh định của điện dung, của dòng điện và của tần số.

Điện áp giới hạn (U_{lim}), trị số tức thời cực đại của điện áp có thể xuất hiện trên cực của tụ điện ngay trước khi hoặc trong thời gian varistor làm việc.

$$U_{Lim} = 2,31 U_{dd}$$

Điện áp thử ngắn hạn (U_s), trị số hiệu dụng của điện áp thử hình sin đặt giữa hai cực của tụ điện thử khả năng chịu quá điện áp ngắn của bộ tụ.

$$U_s = 1,2 U_{Lim} = 2,77 U_{dd}$$

Điện áp thử một chiều (U_t), trị số điện áp một chiều tác động lên bộ tụ trong vòng 10 sec.

$$U_t = 1,55 U_s = 1,1 \cdot \sqrt{2} U_s$$

$$U_t \geq 4,3 U_{dd}$$

PL.1.5. BẢO VỆ ĐƯỜNG DÂY 500 KV

Đường dây 500 kV là mối quan hệ mạnh duy nhất trong hệ thống điện hợp nhất Bắc - Trung - Nam. Các bảo vệ đặt cho đường dây phải thoả mãn những đòi hỏi rất cao về tính chọn lọc, độ nhanh, độ nhạy và tin cậy đã nêu ở trên. Mặc dù ở giai đoạn đầu trạm Hà Tĩnh chưa đặt máy biến áp nhưng để đảm bảo độ tin cậy, bảo vệ vẫn thực hiện riêng cho từng đoạn đường dây của 5 trạm.

1. Bảo vệ so lệch dòng điện ($87D / \Delta I$)

Là bảo vệ chính của mỗi đoạn đường dây, bảo vệ dựa trên nguyên tắc so sánh dòng điện (cho cả 3 pha) ở hai đầu đoạn đường dây. Nếu kênh truyền tín hiệu độc lập với pha tải điện thì dùng nguyên tắc truyền tín hiệu cho phép. Máy biến dòng được đặt ở mỗi đầu từng đoạn đường dây. Tổng thời gian loại trừ sự cố của bảo vệ chính như trên đã nói, chừng 4 chu kỳ của dòng điện công nghiệp (1,5 chu kỳ cho bảo vệ phản ứng và truyền tín hiệu; 2 đến 2,5 chu kỳ để cắt máy cắt).

Bảo vệ có thể tác động cắt riêng từng pha và thực hiện đóng trở lại nhanh (từ 15 đến 25 chu kỳ) từng pha ($79D/TDL$).

2. Bảo vệ khoảng cách nhiều cấp (có hướng) ($21 / Z <$)

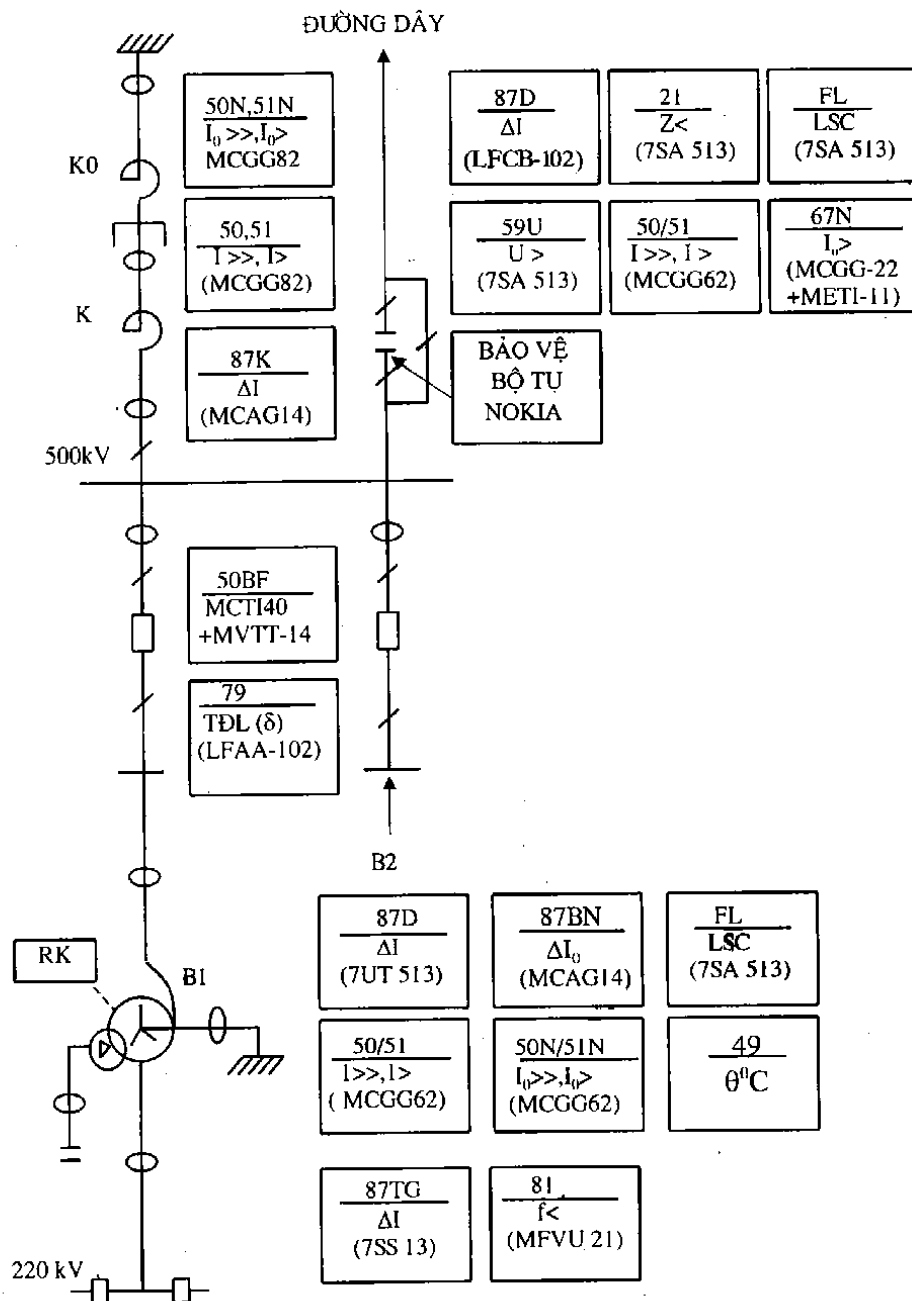
Bảo vệ khoảng cách là bảo vệ dự phòng chủ yếu cho bảo vệ so lệch pha dòng điện, bảo vệ thường có 3 cấp tác động, cấp thứ nhất có thời gian tác động khoảng 0,15 - 0,2 sec, cấp thứ hai khoảng 0,3 - 0,35 sec và cấp thứ ba khoảng 0,45 - 0,5 sec.

Khi xác định miền tác động của các cấp bảo vệ khoảng cách cần xét đến ảnh hưởng của các bộ tự bù dọc lên sự làm việc của bảo vệ trong các chế độ vận hành khác nhau để tránh cho bảo vệ khoảng cách phản ứng nhầm.

Để tăng cường mức độ dự phòng, ở một số đường dây quan trọng, người ta dùng hai hệ thống bảo vệ làm việc song song nhau: một hệ thống gồm các role số được chế tạo trên cơ sở các mạch tích phân và hệ thống gồm các role tĩnh hoặc role số nhưng hoạt động dựa trên một nguyên tắc khác. Mỗi hệ thống sử dụng kênh truyền tín hiệu riêng (chẳng hạn một hệ thống sử dụng kênh cáp quang, còn một hệ thống sử dụng kênh tải ba (PLC) hoặc vi ba), lõi máy biến dòng riêng, nguồn thao tác riêng và cuộn cắt riêng của máy cắt.

3. Bảo vệ quá dòng điện thứ tự không nhiều cấp ($50N, 51N / I_0 >>, I_0 >$)

Có thể có 3 hoặc 4 cấp để chống ngắn mạch chạm đất, kết hợp với bảo vệ cắt nhanh có hướng để chống ngắn mạch nhiều pha trên đường dây. Cũng như bảo vệ so lệch pha và bảo vệ khoảng cách đã nói trên đây, bảo vệ quá dòng điện thứ tự không có thể dùng loại role tĩnh, chế tạo theo môđun hoặc loại role số hoặc cả hai loại kết hợp.



Hình PL.5. Sơ đồ phương thức bảo vệ các phần tử chính của hệ thống tải điện 500 kV Bắc - Nam

4. Bảo vệ chống quá điện áp cho đường dây (59D /U >)

Bảo vệ chống quá điện áp cũng có thể có nhiều cấp tác động với thời gian tỷ lệ nghịch với mức tăng điện áp. Mức quá áp càng cao thời gian tác động càng ngắn.

Đối với các đường dây siêu cao áp, bảo vệ này đặc biệt quan trọng để chống điện áp tăng cao khi đường dây đang tải nặng và bị mất tải đột ngột. Kết quả tính toán chế độ mất tải đột ngột cho thấy khi tải cho Phú Lâm 500 MW ($\cos \varphi = 0,9$), nếu cắt đột ngột máy cắt ở Phú Lâm điện áp ở cuối đoạn Phú Lâm có thể lên tới 670 kV.

5. Thiết bị xác định vị trí điểm hư hỏng (FL)

Thiết bị này thường kết hợp với rơle khoảng cách. Khoảng cách từ chỗ đặt bảo vệ đến chỗ ngắn mạch tỷ lệ với tổng trở mà rơle khoảng cách đo được và dễ dàng biểu hiện dưới dạng chiều dài (km), số khoảng cột hoặc phần trăm chiều dài của đoạn đường dây được bảo vệ rồi chuyển thành tín hiệu số để hiển thị tại các trung tâm điều khiển.

PL.1.6. VẤN ĐỀ PHỐI HỢP GIỮA CÁC THIẾT BỊ BẢO VỆ CỦA HỆ THỐNG TẢI ĐIỆN 500 KV VỚI THIẾT BỊ BẢO VỆ CỦA CÁC HỆ THỐNG ĐIỆN BA MIỀN BẮC - TRUNG - NAM

Thiết bị bảo vệ của hệ thống tải điện 500 kV cần phải phối hợp với thiết bị bảo vệ của lưới điện 220 và 110 kV thuộc các hệ thống điện cả ba miền Bắc - Trung - Nam thông qua các bảo vệ trang bị cho các trạm biến áp 500 /220 kV Hoà Bình, Đà Nẵng và Phú Lâm. Đặc biệt cần chú ý các bảo vệ dự phòng có độ chọn lọc được khống chế bằng cách chọn thời gian tác động phối hợp với thời gian làm việc của các phần tử lân cận.

Một số vấn đề quan trọng cũng cần chú ý khi phối hợp tác động giữa các thiết bị bảo vệ và tự động là vấn đề dự phòng khi máy cắt điện bị hỏng hóc. Nếu máy cắt điện bị hỏng hóc vì một nguyên nhân nào đó, không thực hiện được chức năng cắt ngắn mạch khi có sự cố trong miền của nó phải bảo vệ (mặc dù các thiết bị bảo vệ đã tác động đúng và gửi tín hiệu đi cắt máy cắt) thì hệ thống chống sự cố phải hoạt động và tiến hành cắt tất cả các máy cắt điện lân cận có liên quan trực tiếp đến điểm ngắn mạch.

Sơ đồ phương thức bảo vệ cho các phần tử chính của hệ thống tải điện 500 kV Bắc - Nam cho trên hình PL.5.

PL.2.

Giới thiệu tính năng của các loại rơle được sử dụng

PL.2.1. ĐƯỜNG DÂY 500 kV

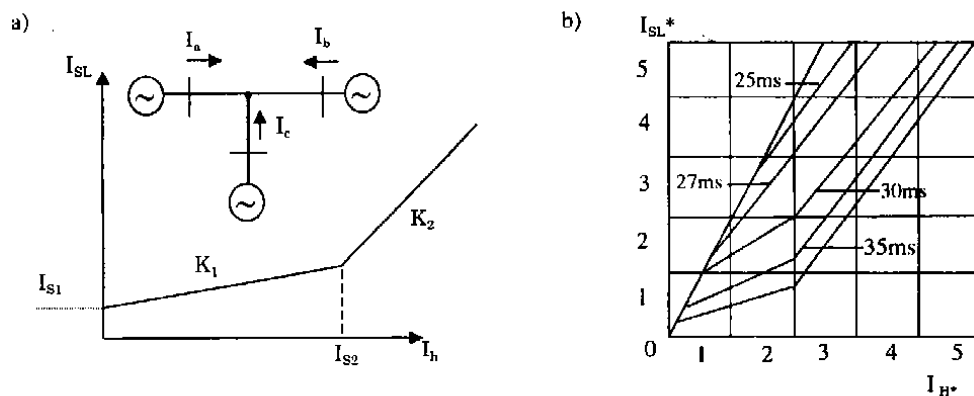
a) Rơle so lệch dòng điện dùng kỹ thuật số loại LFCB-102 có thể ghép nối với cáp quang (87D)

Loại rơle này hoàn toàn dùng kỹ thuật số được thiết kế trên cơ sở kỹ thuật vi xử lý có thể ghép nối với các hệ thống thông tin số hiện đại. Bởi vì số liệu có thể dễ dàng trộn lẫn và truyền theo cách truyền tín hiệu số nên tín hiệu dòng điện của cả ba pha có thể truyền chung trên cùng một kênh thông tin. Dòng điện được so sánh theo từng pha nên tránh được vấn đề xác định hướng trong phương pháp sử dụng máy biến dòng cộng thông thường và có thể thực hiện việc chọn thông tin theo từng pha để xác định sự cố và cắt từng pha. Rơle đặt ở các đầu của đường dây có thể tác động đồng thời để loại trừ nhanh chóng sự cố không phụ thuộc vào sự xuất hiện dòng điện sự cố từ nhiều phía hoặc chỉ từ một phía.

Loại LFCB 102 có thể thực hiện việc cắt liên động trực tiếp từng pha. Đầu ra có 26 tiếp điểm khác nhau có thể dùng cho tín hiệu cắt hoặc cảnh báo.

Ở trạng thái tĩnh rơle tiêu thụ chừng 10 W, ở trạng thái tác động cắt ít hơn 20 W.

Đặc tính khởi động của rơle trình bày trên hình PL.6. Rơle có thể được sử dụng để bảo vệ các đường dây có 2 hoặc 3 đầu cung cấp. Trị số của dòng điện khởi động (dòng điện so lệch) phụ thuộc vào trị số của dòng điện hãm.



Hình PL.6. Đặc tính rơle so lệch LFCB 102

Đặc tính khởi động gồm 2 phần với hai hệ số hãm K_1 , K_2 khác nhau.

$$\text{Dòng điện so lệch: } |\dot{i}_{SL}| = |\dot{i}_a + \dot{i}_b + \dot{i}_c|$$

$$\text{Dòng điện hãm: } |\dot{i}_h| = 0,5(|\dot{i}_a| + |\dot{i}_b| + |\dot{i}_c|)$$

Rơle sẽ tác động khi

$$(1) \text{ Với } |\dot{i}_h| \leq I_{S2} \\ |\dot{i}_{SL}| > K_1 |\dot{i}_h| + I_{S1}$$

$$(2) \text{ Với } |\dot{i}| > I_{S2} \\ |\dot{i}_{SL}| > K_2 |\dot{i}_h| - (K_2 - K_1) I_{S2} + I_{S1}$$

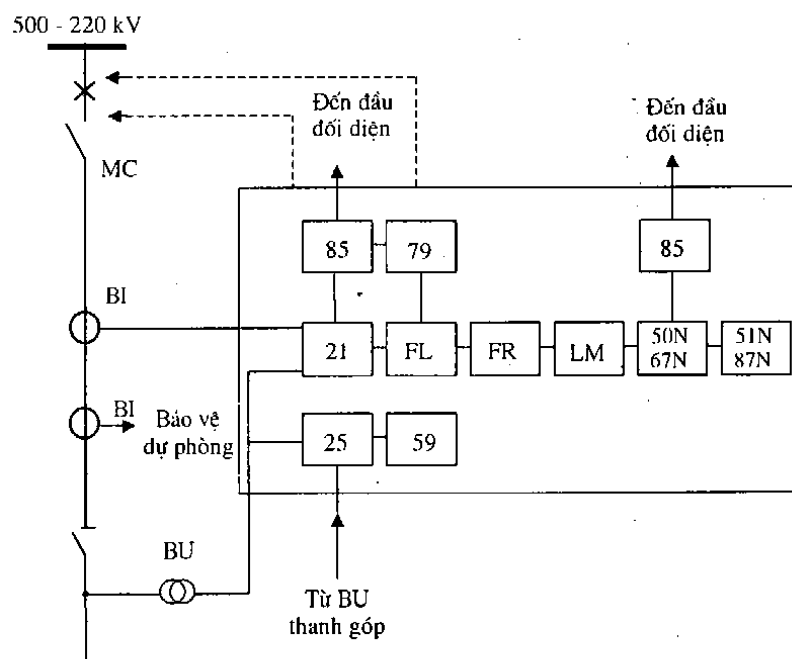
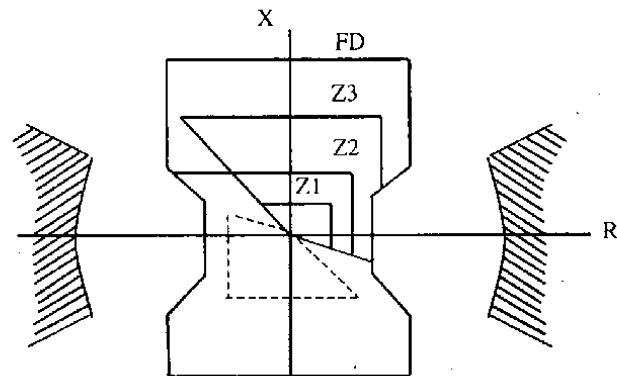
trong đó: I_{S1} là dòng điện khởi động tối thiểu của rơle (khi $I_h = 0$); I_{S2} là ngưỡng ở đó hệ số hãm thay đổi (từ K_1 sang K_2).

Ở miền có dòng điện khởi động bé, hệ số hãm thấp để đảm bảo độ nhạy của bảo vệ khi dòng ngắn mạch nhỏ.

Khi dòng ngắn mạch lớn, dòng không cân bằng, do ảnh hưởng bão hoà của mạch từ biến dòng, có thể có trị số lớn vì vậy hệ số hãm cần chọn lớn hơn.

b) Bảo vệ khoảng cách loại 7SA513 (21)

Rơle loại 7SA513 là loại tổ hợp bảo vệ dùng cho các đường dây tải điện cao áp và siêu cao áp để chống tất cả các loại ngắn mạch nhiều pha và ngắn mạch chạm đất. Nhờ đặc tuyến khởi động hình đa giác (hình PL.7) và giới hạn đặt rộng bảo vệ có thể thích ứng với các đường dây dài, tải nặng với dòng điện sự cố có trị số bé.



Bảo vệ gồm nhiều môđun (H.PL.8).

- Mô đun khoảng cách có 5 vùng bảo vệ (21)
- Mô đun ghép nối đa năng với các loại bảo vệ từ xa (85)

- Môđun tự động đóng lại (79)
- Bộ phận xác định vị trí sự cố (FL)
- Bộ phận ghi sự cố (FR)
- Bảo vệ cắt nhanh có hướng Đất - Pha (50N/67N)
- Bảo vệ quá dòng có hướng Đất - Pha (51N/67N)
- Bảo vệ quá áp (59)
- Kiểm tra đồng bộ (25)
- Đo lường hiển thị các thông số vận hành của đường dây:
V, A, MW, MVA, MVA_T , H_Z (LM)

Một số giới hạn chỉnh định của role:

- Các vùng khởi động
 X_R , R_R (ở 1 A): từ 0,1 đến 150 Ω ; bước chỉnh định 0,01 Ω .
- Độ chính xác (X) 5%
- Dòng làm việc tối thiểu 0,1 I_{dd}
- Thời gian tự đóng lại (1 pha hoặc 3 pha): từ 0,11 đến 327 s, bước chỉnh định 0,01 s.
- Thời gian làm việc:
Thời gian cắt ngắn nhất 16 ms
Thời gian trở về 20 ms
Thời gian các cấp: từ 0,01– 327,7 s, bước chỉnh định 0,01 s.

c) Role tự động đóng lại LFAA 102 (79)

Role tự động đóng lại LFAA 102 dùng để đóng lại mạch điện một hoặc hai lần với các phần tử nối vào mạch qua một hoặc hai máy cắt. Đóng lại có thể thực hiện nhanh theo từng pha hoặc có thời gian đối với cả ba pha.

Nếu thực hiện tự đóng lại (TĐL) ba pha thì khi có sự cố một hoặc hai pha, bảo vệ sẽ cắt cả ba pha trước khi thực hiện đóng lại.

Đối với sơ đồ nối phần tử qua hai máy cắt thì cả hai máy cắt có thể đóng trở lại đồng thời, hoặc cái trước cái sau.

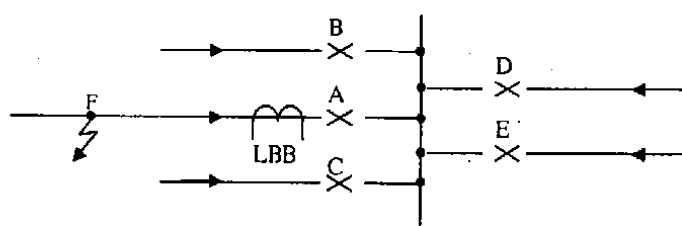
Khi TĐL không đồng thời hai máy cắt, máy cắt đầu tiên sẽ cắt pha bị sự cố và sau khoảng thời gian không điện đối với pha sự cố máy cắt sẽ được đóng lại, còn máy cắt thứ hai sẽ cắt cả ba pha và đóng trở lại sau một thời gian chọn trước.

Giới hạn thời gian chỉnh định (sai số $\pm 2\%$)

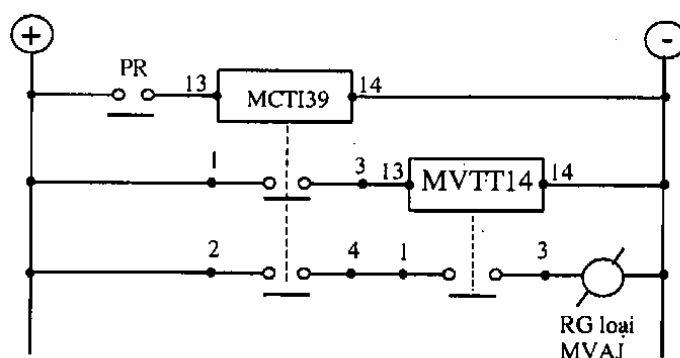
- Thời gian không điện (s).
TĐL nhanh một pha 0,01 – 2,0

- | | |
|-------------------------------------|------------|
| TĐL nhanh ba pha | 0,01 - 200 |
| TĐL ba pha có thời gian lần 2 | 1,0 - 300 |
| • Thời gian kiểm tra trước khi đóng | 1,0 - 200 |
| • Xung đóng | 0,01 - 2,0 |
| • Thời gian đóng lại bằng tay | 1,0 - 200 |

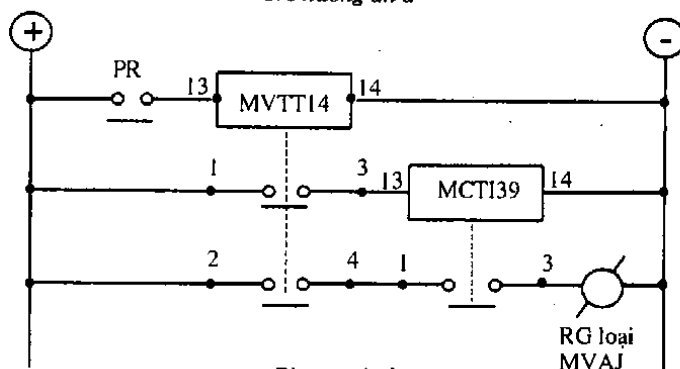
d) Bảo vệ chống máy cắt hư hỏng (50 BF) (H. PL.9)



a. Nguyên tắc dự phòng hư hỏng máy cắt



b. Phương án a



c. Phương án b

Hình PL.9. Sơ đồ dự phòng hư hỏng máy cắt dùng rơle MCTI kết hợp với rơle thời gian loại MVTT.

Gồm các role:

- Quá dòng điện loại MCTI 40
- Thời gian loại MVTT.14
- Role khoá đầu ra loại MVAJ.23

*** Role quá dòng điện loại MCTI 40**

Role có thời gian trở về nhanh, khoảng 15 ms, công suất tiêu thụ bé, có thể sử dụng cho sơ đồ bảo vệ chống máy cắt hư hỏng (hình PL.9).

Role thích hợp cho sơ đồ thao tác máy cắt điện cả ba pha hoặc từng pha.

Dòng điện khởi động của role có thể chỉnh định tròn trong giới hạn từ 20% đến 320% dòng điện danh định, bằng cách thay đổi từng nấc cuộn dây của máy biến dòng trung gian kết hợp với chiết áp mắc ở đầu ra của biến dòng trung gian.

Role có hệ số trở về cao (khoảng 0,96), đầu ra mỗi pha có hai tiếp điểm thường hở.

*** Role thời gian loại MVTT-14**

Là loại role tĩnh có thể điều chỉnh trong giới hạn $t_{\max}/t_{\min} = 1000/1$ với 5 dải thời gian khác nhau:

- từ 1 ms đến 1 s với bước điều chỉnh 1 ms;
- 10 ms đến 10 s với bước điều chỉnh 10 ms;
- 0,1 s đến 100 s với bước điều chỉnh 0,1 s;
- 1 s đến 1000 s với bước điều chỉnh 1 s;
- 10 s đến 10.000 s với bước điều chỉnh 10 s.

*** Role trung gian đầu ra loại MVAJ23**

Role tác động nhanh có công suất tiêu thụ thấp hoặc cao tùy theo khả năng đóng cắt cần thiết. Loại công suất tiêu thụ cao thường chỉ dùng với nguồn thao tác một chiều.

e) Role tự động đóng trở lại (79) loại LFAA 102

Dùng cho các phần tử nối với hệ thống qua hai máy cắt điện.

Role có thể thực hiện đóng trở lại từng pha hoặc cả ba pha, đóng trở lại một lần hoặc hai lần. Đóng lại một pha có thể thực hiện đồng thời hoặc theo

thứ tự. Nếu thực hiện tự đóng lại một pha đồng thời thì cả hai máy cắt sẽ được cắt ra đồng thời và đóng lại cũng đồng thời sau khoảng thời gian không điện đã chọn.

Nếu thực hiện đóng trở lại một pha theo thứ tự thì máy cắt thứ nhất sẽ cắt pha hư hỏng và đóng trở lại pha này theo thời gian không điện (ở pha hỏng) đã chọn, còn máy cắt thứ hai sẽ cắt cả ba pha và đóng lại sau khi thời gian trì hoãn đã trôi qua.

Khoảng thời gian không có điện có thể chỉnh định trong giới hạn sau:

- Đóng lại nhanh một pha : 0,01- 2,0 sec
- Đóng lại nhanh ba pha : 0,01- 200 sec
- Đóng lại lần thứ hai ba pha: 1,0 - 300 sec
- Thời gian kiểm tra trước khi đóng lại: 1,0 - 200 sec
- Xung đóng: 0,01- 2 sec

g) Role kiểm tra đồng bộ loại MAVS01

Role đo góc lệch pha giữa hai vectơ điện áp ở hai phía của máy cắt định hoà đồng bộ, độ lệch tần số và biên độ điện áp để đảm bảo điều kiện an toàn cho hệ thống khi hoà đồng bộ.

Tần số trượt Δf , góc lệch pha θ và thời gian chỉnh định t_s của role kiểm tra đồng bộ liên quan với nhau theo biểu thức sau:

$$\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{1}{t_s} \times \frac{\theta}{180}, \text{ Hz}$$

Chẳng hạn khi góc lệch pha θ chỉnh định ở 20° thì tương quan giữa thời gian chỉnh t_s (sec) và tần số trượt Δf (Hz) sẽ như sau:

$t_s = 1$	$\Delta f = 0,111$
5	0,022
10	0,011
15	0,007

Để có thể đóng máy cắt trong trường hợp thanh cái hoặc đường dây không điện với đường dây hoặc thanh cái mang điện, trong role sử dụng bộ phận kiểm tra khiếm áp để “nối tắt” phần kiểm tra đồng bộ.

Giới hạn chỉnh định các thông số của rơle như sau:

Góc lệch pha θ từ 5 đến 82°5, bước chỉnh định 2°5;

Thời gian t_g từ 0 đến 15,5 sec, bước chỉnh định 0,5 sec.

Bộ khoá điện áp thấp từ 77,0 đến 92,5% U_{dd} , bước chỉnh định 0,5%;

Bộ khoá độ lệch điện áp từ 0 đến 15,5% U_{dd} , bước chỉnh định 0,5%.

h) Rơle quá dòng điện loại MCGG 62 (51)

Rơle được sử dụng làm bảo vệ dự phòng cho các bảo vệ chính của đường dây để chống tất cả các dạng ngắn mạch nhiều pha và chạm đất. MCGG 62 là loại rơle quá dòng ba pha có bộ phận cắt nhanh.

Rơle có bốn họ đường cong về đặc tính phụ thuộc vào thời gian và dòng điện:

- Mức phụ thuộc chuẩn (bình thường - SI) :

$$t = \frac{0,14}{(I^{0,02} - 1)}, \text{ sec}$$

- Mức phụ thuộc cao (VI) :

$$t = \frac{13,5}{(I - 1)}, \text{ sec}$$

- Mức phụ thuộc rất cao (EI):

$$t = \frac{80}{(I^2 - 1)}, \text{ sec}$$

- Dừng cho chạm đất kéo dài (LT) :

$$t = \frac{120}{(I - 1)}, \text{ sec}$$

và có ba cấp thời gian độc lập:

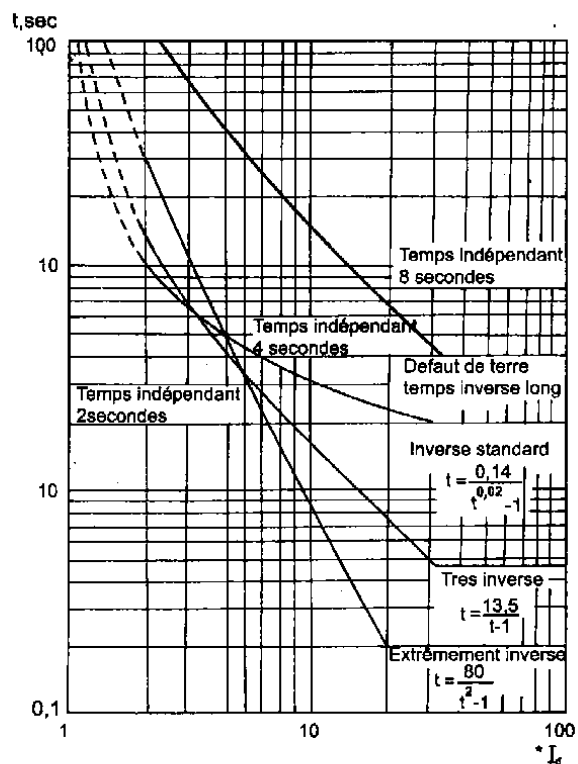
D2 - Có thể chỉnh định từ 0,1 s đến 2,0 s với mức chỉnh định 0,05 s.

D4 - Có thể chỉnh định từ 0,2 s đến 4,0 s với mức chỉnh định 0,1 s.

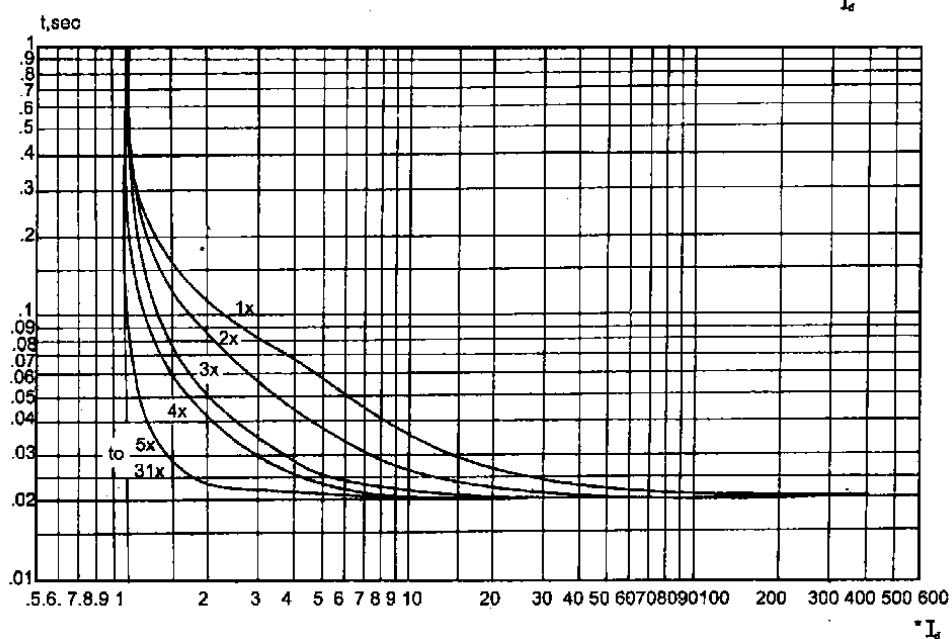
D8 - Có thể chỉnh định từ 0,4 s đến 8,0 s với mức chỉnh định 0,2 s.

Đặc tính thời gian làm việc của rơle cho trên hình PL.10.

a) Có thời gian



b) Cắt nhanh



Hình PL. 10. Đặc tính thời gian của rơle quá dòng loại MCGG

Dòng điện khởi động của bộ phận làm việc có thời gian có thể chỉnh định từ $0,05I_{Tdd}$ đến $2,4I_{kdt}$ với bước chỉnh $0,05I_{Tdd}$. (I_{Tdd} là dòng thứ cấp danh định của biến dòng).

Dòng khởi động của bộ phận cắt nhanh có thể chỉnh định từ I_{kdt} đến $31I_{kdt}$ với bước chỉnh I_{kdt} . (I_{kdt} là dòng khởi động của bộ phận làm việc có thời gian).

PL.2.2. KHÁNG ĐIỆN 500 kV

a) Role so lệch tổng trở cao loại MCAG14 (87)*

Role MCAG 14 (87) thường được sử dụng để thực hiện bảo vệ so lệch máy phát điện, biến áp tự ngẫu, kháng điện, động cơ điện v.v... Trong mạch bảo vệ có mắc thêm điện trở phụ, trị số của điện trở phụ này phụ thuộc vào dòng điện thứ cấp danh định của biến dòng.

I_{Tds} (A)	0,5	1	5
R_f (Ω)	470	200	47

Tổng trở chung của role và điện trở phụ mắc nối tiếp thường khá bé để tránh cho điện áp thứ cấp của máy biến dòng không vượt quá 2 kV khi có sự cố trong vùng bảo vệ với dòng điện lớn nhất.

Trong một số trường hợp có thể dùng điện trở phi tuyến để hạn chế quá áp.

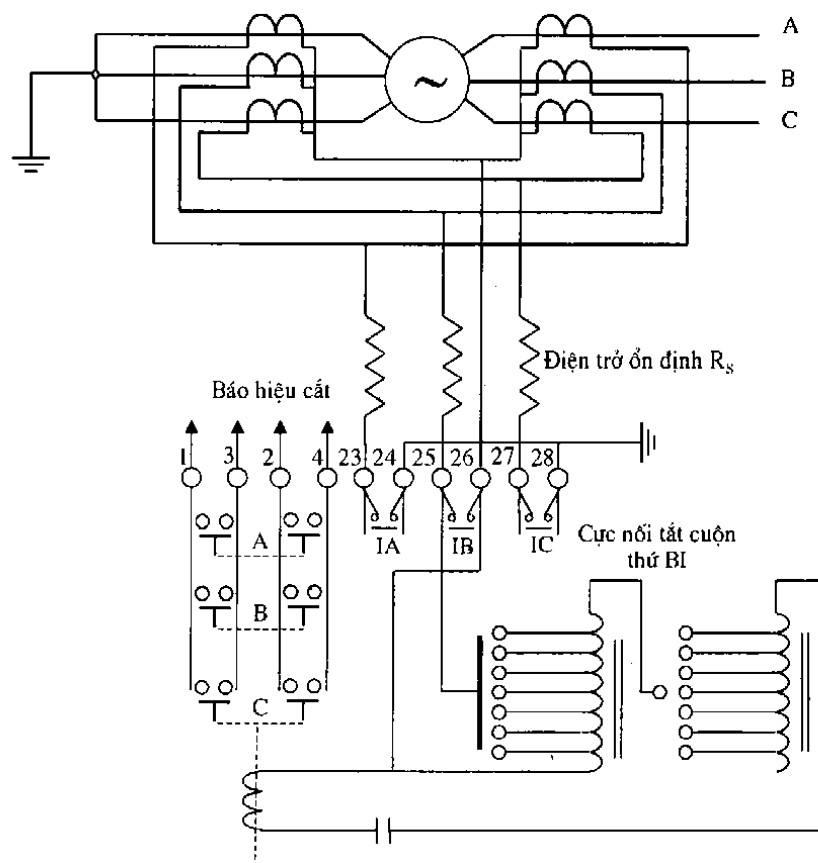
Cuộn dây của role (hình PL.11) được mắc nối tiếp với một tụ điện và điện cảm hình thành một mạch cộng hưởng nối tiếp. Mạch này được cung cấp từ một máy biến dòng tự ngẫu có 7 nấc điều chỉnh để thay đổi dòng điện chỉnh định.

Mạch cộng hưởng của role được chỉnh định ở tần số công nghiệp sẽ dập được các hài bậc cao do máy biến dòng bị bão hoà gây ra.

Role làm việc với độ trễ không lớn lắm để đảm bảo ổn định và chọn lọc khi có ngắn mạch ngoài tầm trọng. Điểm bão hoà của máy biến dòng được chọn cao hơn dòng điện khởi động của role.

Dòng điện khởi động có thể chỉnh định trong giới hạn 5% - 20%, 10% - 40% hoặc 20% - 80% của dòng điện thứ cấp danh định của máy biến dòng tương ứng là 0,5 A, 1 A và 5 A.

Khi dòng điện qua rơle gấp 5 lần dòng điện chỉnh định, thời gian tác động của rơle là 0,025 sec.



Hình PL.11. Sơ đồ bảo vệ so lệch bằng rơle MCAG.

b) Rơle quá dòng điện loại MCGG 82. (50/51, 50N / 51N)

Rơle được sử dụng làm bảo vệ dự phòng cho bảo vệ so lệch của kháng điện để chống các dạng ngắn mạch nhiều pha và chạm đất.

MCGG 82 là loại rơle quá dòng điện ba pha có bộ phận bảo vệ chống chạm đất và bộ phận bảo vệ cắt nhanh.

Đặc tính thời gian và dòng điện khởi động tương tự như loại MCGG - 62 đã trình bày trước đây ở phần bảo vệ đường dây.

PL.2.3. MÁY BIẾN ÁP TỰ NGÃU 500 kV

a) Bảo vệ so lệch máy biến áp loại 7UT 513 (87)

Rơle so lệch 7UT 513 dùng để bảo vệ máy biến áp ba cuộn dây với đặc tuyến khởi động cho trên hình PL.12.

Rơle có đặc tính ổn định cao chống dòng điện từ hoá nhảy vọt với các thành phần hài bậc hai và bậc năm cũng như thành phần một chiều trong dòng điện quá độ. Chức năng bảo vệ so lệch có thể khoá từ xa bằng tín hiệu điều khiển số.

Giới hạn chỉnh định của dòng điện so lệch:

Cấp một $I_{SL} >$ từ $0,15 I_{dd}$ đến $2 I_{dd}$; bước chỉnh định $0,01 I_{dd}$

Cấp hai $I_{SL} >>$ từ $0,8 I_{dd}$ đến $12 I_{dd}$; bước chỉnh định $0,1 I_{dd}$.

Đặc tính (hệ số) hãm:

Đối với dòng điện không cân bằng (chứa hài bậc hai) từ 10 đến 45%; bước chỉnh định 1%.

Đối với dòng điện từ hoá đột biến (chứa hài bậc năm) từ 10 đến 48%; bước chỉnh định 1%.

Thời gian phản ứng của rơle từ 15 ms đến 30 ms.

Thời gian chỉnh định của bảo vệ từ 0 đến 60 s; bước chỉnh định 0,01 s.

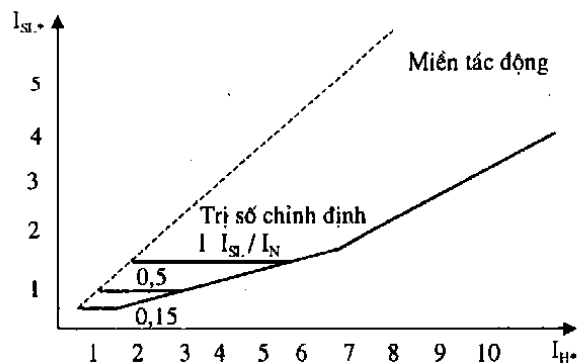
Rơle còn có bộ phận bảo vệ chống quá tải cho cuộn dây máy biến áp.

Giới hạn chỉnh định của hệ số quá tải;

$$K = \frac{I_{\max}}{I_{dd}} = 0,5 \div 1,5;$$

bước chỉnh định 0,01.

Thời gian bảo vệ quá tải từ 0,5 phút đến 99,5 phút, bước chỉnh 0,1 phút.



Hình PL. 12. Đặc tính khởi động của rơle so lệch 7UT513

Độ tăng nhiệt độ báo động:

$$\frac{\theta_{bd}}{\theta_{cát}} = 0,7 \div 1$$

b) Role so lệch bảo vệ chống chạm đất loại MCAG-14 và bảo vệ đoạn thanh cái nối máy biến áp với thanh góp loại MCAG 34 (87N)

Loại role so lệch không hãm MCAG 14 (một pha) và MCAG 34 (ba pha) có tính năng như đã trình bày ở phần bảo vệ kháng điện 500 kV.

c) Role bảo vệ quá dòng điện loại MCAG 82 và MCGG 62

Role quá dòng MCAG 82 (50N / 51N, 50 / 51) để bảo vệ phía trung tính và phía 500 kV của máy biến áp. Role MCAG 62 để bảo vệ cuộn 35 kV của máy biến áp. Tính năng của role này đã trình bày ở phần bảo vệ đường dây và kháng điện 500 kV.

PL.2.4. THANH GÓP 500 kV

Các đoạn nối thanh góp (stub bus) được bảo vệ kết hợp với các phần tử chính như đường dây, máy biến áp bằng bảo vệ so lệch. Riêng hệ thống thanh góp được trang bị bảo vệ chống máy cắt hư hỏng (50 BF) và role kiểm tra đồng bộ (25). Bảo vệ chống máy cắt hư hỏng gồm role quá dòng loại MCTI 40, role thời gian tĩnh loại MVTT 14 và role khoá đầu ra loại MVAJ 103. Các role này và role kiểm tra đồng bộ loại MAVS 01 đã được giới thiệu trong phần bảo vệ đường dây.

PL.2.5. BẢO VỆ THANH GÓP 220 kV

a) Role so lệch tác động nhanh loại 7SS13

Role 7SS13 được sử dụng để bảo vệ so lệch thanh góp đơn hoặc có nhiều phân đoạn chống tất cả các dạng sự cố với thời gian tác động cỡ trên dưới chục mili giây. Role có thể đấu vào phía thứ cấp của máy biến dòng loại thông thường hoặc loại được tuyến tính hoá. Tỷ số của các biến dòng có thể khác nhau.

Role làm việc theo nguyên tắc hãm (ổn định). Dòng điện khởi động (cắt) của role phụ thuộc vào dòng điện hãm (ổn định) chạy qua role.

Dòng điện khởi động I_{kd} bằng tổng các vectơ dòng điện chạy vào hoặc ra khỏi phân đoạn thanh góp được bảo vệ :

$$|I_{kd}| = \sum_{i=1}^n \dot{I}_i$$

trong đó n - số phần tử đầu vào phân đoạn thanh góp được bảo vệ.

Dòng điện hãm (ổn định) bằng tổng đại số của các dòng điện ở tất cả các phần tử nối với phân đoạn thanh góp.

$$|I_h| = \sum_{i=1}^n |I_i|$$

Cả hai dòng điện khởi động và dòng điện hãm được nắn thành các điện áp một chiều và đấu ngược cực với nhau, hiệu giữa hai điện áp này hình thành tín hiệu đo lường. Tín hiệu đo lường này được xử lý theo phương pháp thống kê. Để tạo nên tín hiệu cắt phải thực hiện đủ ba điều kiện (tiêu chuẩn) sau đây:

- Xung dòng điện khởi động rộng hơn xung dòng điện hãm ít nhất là 3,5 ms (độ so lệch).
- Dòng điện sự cố vượt quá dòng điện đặt của bộ phận khởi động theo dòng điện.
- Độ thay đổi của tín hiệu đo lường được ghi nhận như là sự cố xảy ra bên trong vùng bảo vệ.

Độ thay đổi này được xác định bằng cách so sánh độ biến thiên của dòng điện khởi động với dòng điện hãm ở những thời điểm đầu tiên sau khi xảy ra sự cố nhưng trước khi lỗi từ của các máy biến dòng kịp bảo hoà.

Nhờ tổ hợp cả ba điều kiện này, có thể thực hiện được bảo vệ tác động nhanh mà không sợ mất chọn lọc khi có ngắn mạch ngoài.

Mạch dòng điện được kiểm tra thường xuyên, dòng điện đặt của bộ phận kiểm tra có thể chỉnh định từ 0,1 đến 0,45 dòng điện tải cực đại.

Thời gian làm việc của bảo vệ có thể chỉnh định từ 0,2 đến 12,8 s, bước chỉnh định là 0,2 s.

Dòng điện khởi động tối thiểu có thể chỉnh định từ 1 đến 2,4 I_{da} , với bước chỉnh định là 0,2 I_{da} .

Hệ số hãm K có thể chọn các giá trị sau: 0,5 ; 0,65 hoặc 0,8.

Đặc tính khởi động $I_{kd}(I_h)$ của rơle 7SS13 trình bày trên hình PL.13.

b) Rơle tần số dùng để sa thải phụ tải theo tần số loại MFVU 21

Rơle MFVU 21 là loại rơle số có thời gian tác động độc lập với hai mạch chỉnh định tần số hoàn toàn riêng biệt nhau, có thể được sử dụng để bảo vệ chống tần số giảm thấp hoặc tăng cao. Cả hai mạch chỉnh định này có thể dùng chung với mục đích đóng và cắt ở những tần số khác nhau.

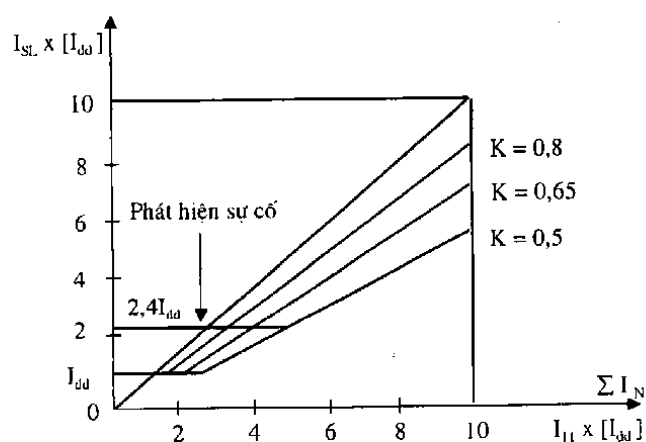
Các tần số chỉnh định:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} \text{ và } f_2 = \frac{1}{T_2}$$

với T_1 và T_2 là chu kỳ điện áp xoay chiều ứng với tần số chỉnh định bằng giây.

Chu kỳ T có thể chỉnh định từ 0,09999 s đến 0,00200 s với bước chỉnh định 0,00001 s tương ứng với tần số chỉnh định từ 10,001 đến 500 Hz.

Thời gian tác động của mỗi mạch chỉnh định tần số t_1 và t_2 có thể thay đổi từ 0,1 đến 21,55 s với bước chỉnh định 0,05 s.



Hình PL.13. Đặc tính khởi động của rơle so lệch thanh góp 7 SS13

1

2

3

4

PL.3

Tính toán thông số bảo vệ các phần tử chính của hệ thống tải điện 500 kV

PL.3.1. CÁC SỐ LIỆU CẦN THIẾT CHO VIỆC TÍNH TOÁN BẢO VỆ ROLE CỦA HỆ THỐNG TẢI ĐIỆN 500 kV

1. Đường dây 500 kV:

Thông số \ Phân đoạn	Hoà Bình - Hà Tĩnh	Hà Tĩnh - Đà Nẵng	Đà Nẵng - Plâycu	Plâycu - Phú Lâm
Chiều dài L, km	340	390	259	499
Điện kháng thuần $X_{1L} = 0,2772.L, \Omega$	94,25	108,11	71,79	138,32
Điện kháng không $X_{0L} = 0,686.L, \Omega$	233,24	267,54	177,67	342,31
Điện trở thuần $R_{1L} = 0,024.L, \Omega$	8,40	9,63	6,40	12,33
Điện trở không $R_{0L} = 0,208.L, \Omega$	70,72	81,12	53,87	103,79
Dung kháng bù dọc, Ω	61	61	43	83
Tổng trở thuần $Z_{1L} (\Omega) / \varphi (^{\circ})$	94,62/84,95	108,54/84,95	72,08/84,95	138,87/84,95
Tổng trở không $Z_{0L} (\Omega) / \varphi (^{\circ})$	243,73/73,17	279,57/73,17	185,66/73,17	357,70/73,17
Dòng điện nạp $I_C = \sqrt{3} U \omega C L, A$	406	466	309	596

- Tỷ số biến đổi của máy biến điện áp:

$$n_v = \frac{U_s}{U_T} = \frac{500.000}{110} = 4545,45$$

- Tỷ số biến đổi của máy biến dòng :

$$n_i = \frac{I_s}{I_T} = \frac{1200}{1} = 1200$$

- Tỷ số biến đổi của tổng trở :

$$n_z = \frac{n_u}{n_l} = \frac{4545,45}{1200} = 3,79$$

Điện trở quá độ tại chỗ ngắn mạch:

- Khi ngắn mạch nhiều pha $R_{qd} = 10 \Omega$
- Khi ngắn mạch chạm đất $R_{qđ0} = 50 \Omega$.

2. Kháng điện 500 kV

Phân đoạn Thông số	Hoà Bình - Hà Tĩnh	Hà Tĩnh - Đà Nẵng	Đà Nẵng - Plâycu	Plâycu - Phủ Lâm
Công suất danh định, MVA	127,8	127,8	91	174
Điện áp danh định, kV	500	500	500	500
Dòng điện danh định, A	148	148	105	201

- Máy biến dòng điện trong mạch kháng điện;

- Tỷ số biến dòng : $n_l = \frac{I_s}{I_T} = \frac{300}{1} = 300$

- Công suất: 20 VA
- Điện trở mạch thứ cấp: $2,36 \Omega$
- Dòng điện từ hoá : 0,03 A
- Điểm bão hoà thực tế : 700 V.

3. Mạch biến áp 500/220/35 kV

Phía Thông số	I	II	III
Công suất danh định, MVA	450	450	150
Tổ đấu dây	YN (Y ₀)	Auto (Y ₀)	d (Δ) -11 °
Điện áp danh định, kV	500	225	35
Dòng điện danh định, A	520	1155	2474
Giới hạn thay đổi đầu phân áp (±%)	10	10	10
Điện áp cực đại U _{max} , kV	550	247,5	38,5
Điện áp cực tiểu U _{min} , kV	450	202,5	31,5
Tỷ số biến đổi của máy biến dòng $n_l = \frac{I_s}{I_T}$	$\frac{600}{1}$	$\frac{1200}{1}$	$\frac{1600}{1}$

4. Điện trở dây dẫn phụ mạch thứ cấp máy biến dòng

- Bảo vệ đường dây và kháng điện 500 kV.
 - Chiều dài mạch vòng dây dẫn phụ $l = 700 \text{ m}$.
 - Điện trở suất của dây dẫn đồng $\rho = 0,0176 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
 - Tiết diện dây $S = 6 \text{ mm}^2$
 - Điện trở mạch vòng dây dẫn phụ:

$$2R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 2,05 \Omega$$

- Bảo vệ máy biến áp 500/220/35 kV

Phía Thông số	I (500 kV)	II (220 kV)	III (35 kV)
Chiều dài dây dẫn, m	300	400	300
Điện trở mạch vòng, Ω	0,88	1,17	0,88

3.2. TÍNH TOÁN THÔNG SỐ CỦA BẢO VỆ CÁC PHẦN TỬ CHÍNH

1. Đường dây 500 kV

a) *Bảo vệ chính 1*: Bảo vệ so lệch dòng điện dùng rơle LFCB 102.

Các thông số chung được chọn:

Dòng điện khởi động tối thiểu:

$$I_{s1} = \frac{1}{n_1} \cdot 2,5 I_C,$$

trong đó: I_C - dòng điện nạp của phân đoạn đường dây được bảo vệ. I_{s1} của bảo vệ cho từng phân đoạn đường dây được cho trong bảng sau:

Phân đoạn Thông số	Hoà Bình - Hà Tĩnh	Hà Tĩnh - Đà Nẵng	Đà Nẵng - PlâyCu	PlâyCu - Phủ Lâm
I_{s1} (tính toán), A	1,691	1,94	1,288	1,241
I_{s1} (đặt), A	1,7	1,95	1,3	1,25

Ngưỡng thay đổi hệ số hãm:

$$I_{s_2} = 2 I_{dd} = 2 \times 600 = 1200 \text{ A,}$$

trong đó dòng điện danh định của máy biến dòng $I_{dd} = 600 \text{ A}$.

Hệ số hãm K_1 (trong miền $I_h < I_{s_2}$):

$$K_1 = 30\%$$

Hệ số hãm K_2 (trong miền $I_h > I_{s_2}$):

$$K_2 = 150\%$$

Độ nhạy của bảo vệ được kiểm tra cho các trường hợp ngắn mạch ba pha và một pha, ở các chế độ cực đại và cực tiểu.

• **Ngắn mạch ba pha, chế độ cực đại**

Phân đoạn Thông số	Hoà Bình - Hà Tĩnh	Hà Tĩnh - Đà Nẵng	Đà Nẵng - Plâycu	Plâycu - Phủ Lâm
Dòng điện ngắn mạch trong				
I_A (phía Bắc), A ⁰	4260/77,5	2950/-69	2110/-80,2	2000/-79,2
I_A (phía Bắc), A ⁰	1010/-48,9	1050/-49	1210/-49,1	1190/-49,9
$I_h = 0,5(\dot{I}_A + \dot{I}_B), \text{A}$	2635	2000	1660	1595
$I_{SL} = \dot{I}_A + \dot{I}_B , \text{A}$	5169	3952	3208	3093
Với $I_h < I_{s_2}$	-	-	-	-
$S = K_1 \cdot I_h + I_{s_1}, \text{A}$	1811	1770	1278	1979
Với $I_h > I_{s_2}$	+	+	+	+
$S = K_2 \cdot I_h - (K_2 - K_1) I_{s_2} + I_{s_1}, \text{A}$	3533	2730	1830	1013
Hệ số độ nhạy				
$K_n = \frac{I_{SL}}{S(+)}$	1,463	1,447	1,753	3,05

Ngắn mạch một pha, chế độ cực đại

Thông số	Phân đoạn	Hòa Bình - Hà Tĩnh			Hà Tĩnh - Đà Nẵng			Đà Nẵng - Phú Yên			Phú Yên - Phú Lâm		
		Pha a	Pha b	Pha c	Pha a	Pha b	Pha c	Pha a	Pha b	Pha c	Pha a	Pha b	Pha c
Dòng ngắn mạch trong I_A (phía Bắc) $\frac{A}{rad}$		$\frac{4320}{-13}$	$\frac{670}{-147}$	$\frac{4300}{-0,19}$	$\frac{2040}{-137}$	$\frac{480}{-136}$	$\frac{370}{0,68}$	$\frac{1120}{-142}$	$\frac{340}{-0,78}$	$\frac{420}{13}$	$\frac{820}{-155}$	$\frac{350}{-13}$	$\frac{540}{-4,47}$
I_a (phía Nam) $\frac{A}{rad}$		$\frac{830}{-0,79}$	$\frac{600}{-4,44}$	$\frac{330}{-2,7}$	$\frac{770}{-0,66}$	$\frac{370}{-3,98}$	$\frac{410}{-1,92}$	$\frac{890}{-0,67}$	$\frac{350}{-3,51}$	$\frac{480}{-1,59}$	$\frac{1820}{-0,92}$	$\frac{520}{-2,63}$	$\frac{710}{-1,09}$
$I_h = 0,5(I_a / I_b / I_c) \cdot A$ $I_{h,max} = \max(I_{ha}, I_{hb}, I_{hc}) \cdot A$		2575	635	380	1405	425	390	1005	345	450	1280	435	625
$I_{SL} = I_{h,max} / I_{SL} \cdot A$ $I_{h,max} < I_{SL} ?$ $S = K_1 \cdot I_{h,max} + I_{S1} \cdot A$ $I_{h,max} > I_{SL} ?$		2575	129	138	1405	244	212	1005	141	128	1280	206	225
$S = K_2 \cdot I_{h,max} - (K_2 - K_1) I_{SL} + I_{S1}$ $K_n = \frac{I_{SL}}{S(+)}$		5061	-	-	2672	-	212	1872	141	128	3516	206	225
		1793	-	-	1592	-	1082	1082	-	-	2046	+	1350
		3443	+	-	1838	-	848	848	+	+	1350	+	1,78
		1,469			1,453			1,73					

Ngắn mạch một pha, chế độ cực tiểu

Thống số	Phân đoạn	Hòa Bình - Hà Tĩnh			Hà Tĩnh - Đà Nẵng			Đà Nẵng - Plâycu			Plâycu - Phú Lâm		
		Pha a	Pha b	Pha c	Pha a	Pha b	Pha c	Pha a	Pha b	Pha c	Pha a	Pha b	Pha c
$I_A \frac{A}{rad}$		$\frac{1020}{-1,45}$	$\frac{540}{-1,73}$	$\frac{450}{-0,06}$	$\frac{720}{-1,45}$	$\frac{390}{-1,58}$	$\frac{340}{0,39}$	$\frac{780}{-1,44}$	$\frac{230}{-0,91}$	$\frac{300}{1,17}$	$\frac{820}{-1,43}$	$\frac{230}{-0,22}$	$\frac{380}{-4,71}$
$I_B \frac{A}{rad}$		$\frac{760}{-0,76}$	$\frac{430}{-4,69}$	$\frac{350}{-2,86}$	$\frac{840}{-0,74}$	$\frac{250}{-4,06}$	$\frac{290}{-2,03}$	$\frac{830}{-0,76}$	$\frac{240}{-3,42}$	$\frac{350}{-1,59}$	$\frac{750}{-0,77}$	$\frac{420}{-2,73}$	$\frac{550}{-1,16}$
I_n, A		890	485	400	780	320	315	805	235	325	785	325	465
I_{nmax}, A		890			780			805			785		
I_{SL}, A		1677	140	133	1453	246	227	1518	146	133	1485	271	252
$I_n < I_{S2} ?$		+			+			+			+		
S, A		1287			1404			1022			1736		
$I_n > I_{S2} ?$		-			-			-			-		
S, A		915			900			548			203		
$K_n = \frac{I_{SL}}{S(+)}$		1,303			1,042			1,485			< 1		

- Ngắn mạch ba pha, chế độ cực tiểu

Phân đoạn Thông số	Hoà Bình - Hà Tĩnh	Hà Tĩnh - Đà Nẵng	Đà Nẵng - Plâycu	Plâycu - Phủ Lâm
I_A, A_I^0	1370/-87,4	1150/-86	1110/-85,3	1100/-84,6
I_B, A_I^0	930/-48,7	1040/-48,8	1100/-49,3	1120/-50,1
I_h, A	1150	1095	1105	1110
I_{sl}, A	2175	2076	2102	2120
$I_h < I_{s2}$	+	+	+	+
S, A	1365	1499	1112	1833
$I_h > I_{s2}$	-	-	-	-
S, A	1305	1373	998	285
$K_n = \frac{I_{sl}}{S(+)}$	1,593	1,384	1,890	1,156

Nhận xét:

1. Nhìn chung bảo vệ so lệch dòng điện dùng rơle LFCB có thể bảo vệ hầu hết các dạng ngắn mạch đối xứng và không đối xứng trên tất cả các phân đoạn đường dây.
2. Riêng trường hợp ngắn mạch một pha trên phân đoạn Plâycu - Phú Lâm bảo vệ không đủ độ nhạy. Trường hợp này sự cố có thể được loại trừ bằng bảo vệ khoảng cách (bảo vệ chính thứ hai) hoặc các bảo vệ dự phòng khác.

b) **Bảo vệ chính 2:** Bảo vệ khoảng cách dùng rơle 7SA 513.

Công thức tính các đại lượng chỉnh định

- Diện trở tác dụng của vùng thứ i:

- Khi ngắn mạch nhiều pha

$$R_i = \frac{(R_L \times L_i + 0,5R_{qd})}{n_z}$$

- Khi ngắn mạch một pha chạm đất :

$$R_{id} = \frac{(R_L \times L_i + R_{qdo})}{n_z}$$

trong đó: R_L - điện trở tác dụng của đường dây,

R_{qd} và R_{qdo} - điện trở quá độ tại chỗ sự cố khi ngắn mạch nhiều pha và ngắn mạch chạm đất;

L_i - phần chiều dài của đường dây được bảo vệ (tính bằng %);

n_z - tỷ số biến đổi của tổng trở.

Điện kháng của các vùng bảo vệ:

- Vùng thứ nhất: $x_1 = \frac{L_1(x_L - \frac{x_c}{2})}{n_z}$

- Vùng thứ hai (ba): $x_2(3) = L_2(3) \cdot \frac{x_L}{n_z}$

Ghi chú:

- Vùng thứ nhất có tổng trở khởi động phải chính định thấp hơn tổng trở của đường dây khi các bộ tụ bù dọc mắc nối tiếp.
- Vùng thứ hai có tổng trở khởi động phải chính định cao hơn tổng trở của đường dây khi các bộ tụ bù dọc bị nối tắt.
- Điện trở tác dụng khởi động của mỗi vùng không được chính định quá 6 lần lớn hơn điện kháng khởi động của vùng đó.

Thông số chính định các vùng tác động của bảo vệ khoảng cách dùng role 7SA 513 cho các phân đoạn đường dây 500 kV trình bày như bảng sau:

- Thông số chỉnh định của bảo vệ khoảng cách đường dây 500 kV dùng rơle 7SA 513

Phân đoạn Thông số	Hoà Bình - Hà Tĩnh	Hà Tĩnh - Đà Nẵng	Đà Nẵng - Plâycu	Plâycu - Phủ Lâm
Vùng 1.				
$L_1, \%$	85	85	85	85
R_1, Ω	3,20	3,48	2,76	4,09
R_{1d}, Ω	15,08	15,36	14,64	15,97
X_1, Ω	14,31	17,42	11,29	21,73
Hướng tác động	Phía trước	Phía trước	Phía trước	Phía trước
t_1, S	0	0	0	0
Vùng 2				
$L_2, \%$	120	120	120	120
R_2, Ω	3,98	4,37	3,35	5,22
R_{2d}, Ω	15,86	16,25	15,23	17,10
X_2, Ω	29,66	34,25	22,74	43,82
Hướng tác động	Phía trước	Phía trước	Phía trước	Phía trước
t_2, S	0,3	0,3	0,3	0,3
Vùng 3				
$L_3, \%$	150	150	150	150
R_3, Ω	4,65	5,13	3,85	6,20
R_{3d}, Ω	16,53	17,01	15,73	18,08
X_3, Ω	37,32	42,81	28,43	54,78
Hướng tác động	Phía trước	Phía trước	Phía trước	Phía trước
t_3, S	0,6	0,6	0,6	0,6

* Bảo vệ quá dòng điện cắt nhanh và có thời gian

- Bảo vệ quá dòng điện có thời gian (51).

$$I_{Kd(51)} = K_{at} \cdot I_{dđBt};$$

trong đó: K_{at} - hệ số an toàn, chọn $K_{at} = 1,2$

$I_{dđBt}$ - dòng điện danh định của máy biến dòng,

$$I_{dđBt} = 1200 A$$

Do đó: $I_{Kd(51)} = 1440 A$.

Thời gian làm việc của bảo vệ: $t_{(51)} = 1 \text{ sec.}$

- Bảo vệ dòng điện thứ tự không (51 N) có thời gian

$$I_{Kd(51N)} = K_0 \cdot I_{ddBI} ,$$

trong đó: K_0 - hệ số chỉnh định dòng khởi động thứ tự không $K_0=0,4$

$$\text{Do đó: } I_{Kd(51N)} = 480 \text{ A}$$

Thời gian làm việc của của bảo vệ: $t_{(51N)} = 1 \text{ sec}$

- Bảo vệ dòng điện thứ tự không có hướng (67N)

$$I_{Kd(67N)} = K_{oh} \cdot I_{ddBI} .$$

trong đó: K_{oh} - hệ số chỉnh định dòng khởi động thứ tự không có hướng

$$K_{oh} = 0,1$$

Do đó: $I_{Kd(67N)} = 120 \text{ A}$; $U_{Kd\ min(67N)} = 5 \text{ V}$

Thời gian làm việc của bảo vệ (có hướng) $t_{(67N)} = 0 \text{ sec.}$

* Bảo vệ quá điện áp (59).

- Cấp 1: $U_{Kd1(59)} = K_{at1} \cdot U_{dd} ,$

trong đó: K_{at1} - hệ số an toàn của bảo vệ cấp 1 ,

$$\text{Chọn } K_{at1} = 1,3.$$

$$\text{Do đó: } U_{Kd1(59)} = 1,3U_{dd} ,$$

Thời gian làm việc: $t_{1(59)} = 1 \text{ sec.}$

- Cấp 2: $U_{Kd2(59)} = K_{at2} \cdot U_{dd} ,$

trong đó: K_{at2} - hệ số an toàn của bảo vệ cấp 2 ,

$$\text{Chọn } K_{at2} = 1,75.$$

$$\text{Do đó: } U_{Kd2(59)} = 1,75 U_{dd} ,$$

Thời gian làm việc: $t_{2(59)} = 0,06 \text{ sec.}$

c) Các bảo vệ dự phòng cho đường dây 500 kV

* Bảo vệ quá dòng điện ba pha có thời gian (51) dùng rơle loại MCGG62.

$$I_{Kd(51)} = K_{at} \cdot I_{ddBI} = 1,2 \cdot 1200 = 1400 \text{ A}$$

Thời gian làm việc của bảo vệ $t_{(51)} = 1 \text{ s.}$

* Bảo vệ có hướng chống chạm đất dùng rơle loại MCGG 22 + METI11.

$$I_{Kd(67N)} = K_{oh} \cdot I_{dđBI}$$

trong đó: K_{oh} - hệ số chỉnh định dòng thứ tự không có hướng.

- Đối với các trạm Hoà Bình, Hà Tĩnh, Đà Nẵng

$$K_{oh} = 0,2$$

- Đối với các trạm Plâycu, Phú Lâm

$$K_{oh} = 0,1$$

$I_{dđBI}$ - dòng điện danh định của máy biến dòng

- Đối với các trạm Hoà Bình, Hà Tĩnh, Đà Nẵng :

$$I_{dđBI} = 600 \text{ A}$$

- Đối với các trạm Plâycu, Phú Lâm

$$I_{dđBI} = 1200 \text{ A}$$

Do đó, dòng điện khởi động của bảo vệ ở các trạm Hoà Bình, Hà Tĩnh, Đà Nẵng:

$$I_{Kd(67)} = 0,2 \times 600 = 120 \text{ A}$$

Thời gian làm việc của bảo vệ: $t_{(67)} = 0,2 \text{ s}$.

2. Bảo vệ kháng điện 500 kV

a) Bảo vệ so lệch dùng role loại MCAG 14

Những thông số chung:

- Máy biến dòng điện:

Tỷ số biến đổi của máy biến dòng

$$n_l = \frac{I_s}{I_T} = \frac{300}{1}$$

Phụ tải tính toán của biến dòng $S_{BI} = 20 \text{ VA}$

Điện trở thứ cấp của biến dòng $R_2 = 2,36 \Omega$

Dòng điện từ hoá ở điện áp chỉnh định $I_\mu = 0,03 \text{ A}$

Điện bảo hoà thực tế $U_{bh} = 700 \text{ V}$

Điện trở dây dẫn phụ từ role đến BI $2R_d = \rho \cdot \frac{l}{s}$,

Trong đó: ρ - điện trở suất của đồng $0,0176 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

l - chiều dài mạch dây dẫn phụ: 700 m.

s - tiết diện dây dẫn: 6 mm^2

- **Chỉnh định thông số của rơle:**

Hệ số chỉnh định x% (từ 10 đến 40%)

Chọn x% = 10

Dòng điện khởi động của rơle :

$$I_{KdR} = x\% I_{dT} = 0,1 \times 1 = 0,1 \text{ A}$$

Công suất tiêu thụ của rơle ở trị số khởi động: $P_R = 1 \text{ VA}$

Điện trở của rơle:

$$R_R = \frac{P_R}{I_{KdR}^2} = \frac{1}{(0,1)^2} = 100 \Omega$$

Số lượng lõi (cuộn thứ cấp) của máy biến dòng đấu song song: $n = 6$

Dòng điện khởi động của bảo vệ (phía sơ cấp)

$$I_{Kd} = (n \cdot I_{\mu} + I_{KdR}) n_1 = (6 \cdot 0,03 + 0,1) 300 = 84 \text{ A}$$

Kiểm tra bảo vệ đặt ở kháng điện của các đoạn đường dây khác nhau theo điều kiện cách điện của rơle.

Điện áp lý thuyết đặt trên rơle

$$U_{lt} = I_{N_{max}} \cdot \frac{1}{n_1} (R_2 + 2R_d + R_S + R_R),$$

trong đó: $I_{N_{max}}$ - dòng điện ngắn mạch cực đại khi ngắn mạch bên trong, A;

n_1 - tỷ số biến đổi của máy biến dòng;

R_2 - điện trở thứ cấp của biến dòng ; Ω ;

$2.R_d$ - điện trở của mạch dây dẫn phụ, Ω ;

R_S - điện trở ổn định; $R_S = \left(\frac{U_{bh \min}}{2} - \frac{P_R}{I_R} \right) \cdot \frac{1}{I_R} , \Omega$

với: $U_{bh \min}$ - điểm bão hoà thấp nhất của đường cong từ hoá máy biến dòng,

$$U_{bh \min} = 2 U_d,$$

ở đây: U_d là điện áp đặt của rơle:

Điện áp cực đại đặt trên rơle:

$$U_{max} = 2 \times \sqrt{2 U_{bh} (U_{lt} - U_{bh})}, V$$

Kết quả tính toán kiểm tra cách điện của rơle đặt ở các phân đoạn cho trong bảng sau.

Thông số	Hoà Bình - Hà Tĩnh	Hà Tĩnh - Đà Nẵng	Đà Nẵng - Plâycu	Plâycu - Phú Lâm
$I_{N\max}, A$	5200	4000	3250	3600
U_d, V	76	59	48	53
$U_{bn\min}, V$	152	118	96	106
R_s, Ω	665	488	378	430
U_{II}, V	13336	7905	5227	6408
$U_{\max}, V$	8412	6352	5035	5654
	> 3000	> 3000	> 3000	> 3000

Vì $U_{\max} > 3000 V$ nên phải có biện pháp bảo vệ chống quá áp đặt trên role.

b) Bảo vệ quá dòng điện ba pha và chống chạm đất dùng role MCGG 82.

* Bảo vệ quá dòng ba pha: (50,51).

$$\text{Tỷ số biến đổi của máy biến dòng: } n_1 = \frac{300}{I}$$

- Bảo vệ quá dòng có thời gian (51).

$$\text{Dòng điện khởi động: } I_{Kd(51)} = K_{at} \cdot I_{dd},$$

trong đó: K_{at} - hệ số an toàn, $K_{at} = 1,2$.

I_{dd} - dòng điện danh định của kháng điện.

- Bảo vệ cắt nhanh (50):

$$I_{Kd(50)} = K_{CN} \cdot I_{Kd(51)},$$

trong đó: K_{CN} - hệ số chỉnh định của bảo vệ cắt nhanh so với bảo vệ quá dòng;

$$K_{CN} = 2$$

* Bảo vệ chống ngắn mạch chạm đất (50N, 51N).

$$\text{Tỷ số biến đổi của máy biến dòng } n_1 = \frac{1500}{I}$$

- Bảo vệ quá dòng thứ tự không có thời gian (51)

$$I_{Kd(51)} = K_0 \cdot I_{dd}$$

trong đó: K_0 - Hệ số chỉnh định dòng điện khởi động thứ tự không:

$$K_0 = 0,4.$$

- Bảo vệ cắt nhanh (50).

Dòng điện khởi động chọn theo 2 điều kiện:

$$a/ I_{Kd(50N)} = 2 I_{dd}$$

- b/ $I_{Kd(50)} \geq 200 \text{ A}$ - nghĩa là lớn hơn dòng điện lớn nhất chạy qua kháng điện khi có ngắn mạch một pha trên đường dây (130 A) để tránh trường hợp cắt cả ba pha đường dây.

Trị số của dòng điện khởi động của bộ phận quá dòng và chống chạm đất sẽ được làm tròn theo thang chỉnh định dòng điện khởi động của rơle về phía lớn hơn.

Thông số chỉnh định của bảo vệ quá dòng điện và bảo vệ chống chạm đất đặt ở kháng điện của các phân đoạn đường dây dùng rơle MC GG 82 trong bảng sau:

Thông số	Hoà Bình - Hà Tĩnh	Hà Tĩnh - Đà Nẵng	Đà Nẵng - Plâycu	Plâycu - Phú Lâm
Quá dòng ba pha				
• Có thời gian (51)				
$I_{KdR(51)}$	0,6	0,6	0,4	0,4
Phía sơ cấp, A	180	180	120	240
$t_{(51)}, \text{ S}$	1	1	1	1
• Cắt nhanh (50)				
K_{CN}	2	2	2	2
Dòng sơ cấp, A	360	360	240	480
Chống chạm đất				
• Có thời gian (51N)				
Phía sơ cấp, A	60	60	45	75
$I_{KdR(51N)}$	0,4	0,4	0,3	0,5
$t_{(51N)}, \text{ S}$	1	1	1	1
• Cắt nhanh (50)				
Phía sơ cấp, A	240	240	225	225
K_{CN}	4	4	5	3

3. Bảo vệ thanh góp 500 kV

a) Bảo vệ chống sự cố máy cắt điện dùng rơle loại MCTI 40 và MVTT 14

Tỷ số biến đổi của máy biến dòng: $n_l = \frac{1200}{I}$

Dòng điện khởi động của bảo vệ quá dòng (rơle MCTI 40):

$$I_{\text{Kdt}} = 0,2 \text{ I}_{\text{dd}} = 0,2 \text{ A}$$

Dòng điện khởi động phía sơ cấp: 240 A

Thời gian tác động (role MVTT 14): $t = 0,008 \text{ s}$

b) Role kiểm tra đồng bộ loại MAVS 01

Chỉnh định góc lệch pha cho phép $\theta = 15^\circ$

Thời gian làm việc:

- Khi hoà tự động $t = 0 \text{ s}$

- Khi hoà bằng tay $t = 10 \text{ s}$

Khi có khoá điện áp thấp

$$U_{\text{min}} = 85\% U_{\text{dd}}$$

4. Bảo vệ máy biến áp 500/200/35 kV

a) Bảo vệ so lệch có hãm dùng role 7UT 513 (cho máy biến áp của các trạm Đà Nẵng, Plâycu, Phú Lâm).

- Điện áp đặt: $U_d = \frac{2U_{\text{max}} U_{\text{min}}}{U_{\text{max}} + U_{\text{min}}}, \text{ kV}$

Phía I (500 kV) : $U_{\text{dl}} = 495 \text{ kV}$

Phía II (220 kV) : $U_{\text{dlI}} = 227,5 \text{ kV}$

Phía III (35 kV) : $U_{\text{dlII}} = 34,65 \text{ kV}$

- Tỷ số biến đổi của máy biến dòng: $n_1 - \text{I} = \frac{600}{1}$

$$n_1 - \text{II} = \frac{1200}{1}$$

$$n_1 - \text{III} = \frac{1600}{1}$$

- Trị số chỉnh định của dòng điện so lệch

Cấp 1 $I_{\text{SL1}} = 0,2 \text{ A}$

Cấp 2 $I_{\text{SL2}} = 10 \text{ A}$

- Khoá chống dòng điện từ hoá đột biến với hàm lượng hài bậc hai $\omega_2 \geq 15\%$.

- Khoá chống dòng điện quá kích thích với hàm lượng hài bậc năm $\omega_5 \geq 40\%$.

b) Bảo vệ so lệch có hãm dùng rơle 7UT 513 (xem bảng sau)

Thông số	Phía I (500 kV)	Phía II (220 kV)	Phía III (35 kV)
• Máy biến dòng			
$n_I = \frac{I_s}{I_T}$	$\frac{1200}{1}$	$\frac{3000}{1}$	$\frac{2500}{1}$
Điện trở trong R_I, Ω	6	15	14
Tải danh định P_n, VA	20	30	20
Hệ số tải danh định N	20	20	20
• Điện trở mạch dây dẫn phụ:			
L, m	300	400	300
$\rho, \Omega \cdot mm^2/m$	0,0176	0,0176	0,0176
S, mm^2	6	6	6
$2R_d = \frac{\rho L}{S}$	0,88	1,17	0,88
• Máy biến dòng trung gian			
Cuộn dây 1/2	n_1/n_2	$R_{w1}/R_{w2}, \Omega$	
A-B/I-K	1	0,013	
C-D/L-M	2	0,025	
E-F/N-O	7	0,08	
G-H/P-Q	16	0,075	
Tổ đấu dây	Y Δ	Y Δ	Y Y
$I_{n1} = \frac{I_{ddBA}}{I_s} \cdot I_T, A$	0,433	0,385	0,990
Chọn n_2	18	16	1
Tương ứng với đấu nối tiếp các cuộn dây	L-M/P-Q	P-Q	I-K
Với phía cuộn dây Y Δ			
$n_1 = n_2 \frac{I_T}{I_{n1}} \sqrt{3}$	24,0	24,0	
Với phía cuộn dây đấu Y Y			
$n_1 = n_2 \frac{I_T}{I_{n1}}$			1,01
Chọn n_1	24	24	1
Tương ứng với đấu nối tiếp các cuộn dây	G-H/E-F/A-B	G-H/E-F/A-B	A-B
Với phía cuộn dây Y Δ			
$I_{n2} = \frac{n_1}{n_2} \cdot I_{n1} \cdot \sqrt{3}, A$	1,00	1,00	
Với phía cuộn dây đấu Y Y			
$I_{n2} = \frac{n_1}{n_2} \cdot I_{n1}, A$			0,990

Thông số	Phía I (500 kV)	Phía II (220 kV)	Phía III (35 kV)
Tỷ số $\frac{I_{n2}}{I_{n1}}$	2,31	2,60	1,00
Sai số do máy biến dòng trung gian			
$E_{BIG} = \left \dot{I}_T - \dot{I}_{n2} \right \times \frac{1}{I_T}, \%$	0,0	0,0	1,0
Điện trở các cuộn dây			
R_{w1}, Ω	0,168	0,168	0,013
R_{w2}, Ω	0,1	0,075	0,013
Điện trở của biến dòng trung gian			
$R_{BIG} = R_{w1} + \frac{nI}{n2} \cdot 2R_{w2}$	0,35	0,34	0,03
Sai số tổng tính theo % I_T			
Của điều chỉnh đầu phân áp - 10			
BI 500 kV -	5		
BI 220 kV -	5		
BI 35 kV -	5		
BIG -	1		
Sai số tổng $E_{\Sigma}, \% = 26$			
$E_{\Sigma}, A = 0,26$			
Dòng điện khởi động của rơle (phải lớn hơn sai số tổng E_{Σ})			
Chọn $I_{KDR} = 0,3I_T = 0,3 A$, tương ứng I_s, A	360	900	750
Kiểm tra sự làm việc của rơle			
Tải của các rơle khác R_R, Ω	0,15	0,15	0,15
Tải của rơle khác R_{RK}, Ω	0	0	0
Tải tổng ở phía thứ cấp			
$R_{\Sigma} = R_{BIG} + \frac{nI}{n2} + 2R_R + R_{RK} + 2R_d, \Omega$	1,49	1,85	1,06
Hệ số quá tải thực tế			
$N' = N \frac{R_n + R_i}{R_{\Sigma} + R_i}$	69	53	45
Chấp nhận được nếu $N' > 30$	+	+	+
Tính $K = \frac{U_{II} I_{II}}{U_I I_I} \cdot N_{II} = 60$			
$0,3 N_I < K < 3 N_I (+)$			
$0,3 K < N'_I < 3 K (+)$			

c) *Bảo vệ so lệch chống ngắn mạch chạm đất dùng role MCAG 14.*

Máy biến dòng điện: $n_1 = 600/1$

Tải danh định của BI; $S_{BI} = 20 \text{ VA}$

Điện trở mạch thứ cấp $R_2 = 1,9 \Omega$

Dòng điện từ hoá ở điện áp đặt $I_\mu = 0,009 \text{ A}$

Điện áp bảo hoà thực tế $U_{bh} = 395 \text{ V}$

Điện trở mạch dây dẫn phụ ($l = 300 \text{ m}$): $2R_d = 0,88 \Omega$

Chỉnh định thông số của role:

Hệ số chỉnh định $x\% = 10$

Dòng điện khởi động của role: $I_{KdR} = x\% \cdot I_{dđT} = 0,1 \cdot 1 = 0,1 \text{ A}$

Công suất tiêu thụ của role ở trị số khởi động: $P_R = 1 \text{ VA}$

$$\text{Điện trở của role: } R_R = \frac{P_R}{I_{KdR}^2} = \frac{1}{(0,1)^2} = 100 \Omega$$

Số lượng lõi (cuộn thứ cấp) của máy biến dòng đấu song song $n = 9$.

Dòng điện khởi động của bảo vệ phía sơ cấp:

$$I_{Kd} = (n \cdot I_M + I_{KdR}) n_1 = (9 \times 0,009 + 0,1) 600 = 108,6 \text{ A.}$$

Kiểm tra theo điều kiện ngắn mạch ngoài:

Dòng ngắn mạch ngoài cực đại $I_{Nug \max} = 9238 \text{ A.}$

$$\text{Điện áp đặt: } U_d = \frac{I_{Nug \max}}{n_1} (R_2 + R_d) = \frac{9238}{600} (1,9 + 0,88) = 43 \text{ V}$$

Điện áp bảo hoà tối thiểu: $U_{bhmin} = 2U_d = 2 \times 43 = 86 \text{ V,}$

thoả mãn điều kiện $U_{bhmin} < U_{bh} = 395 \text{ V}$

$$\text{Điện trở ổn định: } R_s = \left(\frac{U_{bhmin}}{2} - \frac{P_R}{I_R} \right) \cdot \frac{1}{I_R} = 399 \Omega$$

Kiểm tra theo điều kiện cách điện của role:

Dòng ngắn mạch trong lớn nhất $I_{N \max} = 5200 \text{ A.}$

Điện áp lý thuyết đặt trên role:

$$U_{th} = I_{N \max} \cdot \frac{1}{n_1} (R_2 + 2R_d + R_s + R_R) = 4376 \text{ V}$$

Điện áp cực đại đặt trên role:

$$U_{\max} = 2 \cdot \sqrt{2U_{bh}(U_{th} - U_{bh})} = 3547 \text{ V}$$

Vì $U_{\max} > 3000 \text{ V}$ nên phải có biện pháp chống quá áp đặt trên role.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Trần Đình Long**
Bảo vệ rơle trong hệ thống điện.
Đại học Bách khoa Hà Nội, 1990
2. **Trần Đình Long**
Một số đặc điểm kỹ thuật của đường dây tải điện xoay chiều siêu cao áp có chiều dài 1/4 bước sóng.
Hội nghị khoa học của Bộ Năng lượng, Hà Nội, 1992
3. **Trần Đình Long**
Lựa chọn các giải pháp kỹ thuật chính cho hệ thống tải điện 500kV Bắc-Nam.
Hội nghị tổng kết 4 năm vận hành hệ thống tải điện 500 kV Bắc-Nam, Thành phố Hồ Chí Minh, 1998.
4. **Trần Đình Long**
Hướng dẫn thiết kế bảo vệ rơle trong hệ thống điện.
Đại học Bách khoa Hà Nội, 1999.
5. **J. Lewis Blackburn**
Protective Relaying. Principles and Applications. Electrical Engineering and Electronics.
Marcel Dekker, inc. New York and Basel, 1987.
6. **The Electricity Council. Power System Protection.**
2nd Ed. Vol.1 - Principles and Components, Vol.2 - Systems and Methods, Vol.3 - Application.
Peter Peregrinus Ltd., Stevenage, UK and New York, 1990.
7. **H. Ungrad, W. Winkler, Wiszniewski.**
Protection Techniques in Electrical Energy Systems.
Marcel Dekker, inc. New York- Basel- Hong Kong, 1995.

8. IEEE Power System Relaying Committee Report
Summary update of practices on breaker failure protections, IEEE Transactions on PAS. Volume 101, No 3. 1982.
9. Automatic Reclosing of Transmission Lines
IEEE Power System Relaying Committee, IEEE Transactions on PAS. Vol. 103, 1984.
10. Protection Systems using Telecommunication.
CIGRE CE/SC 34/35, 1987.
11. Final report on computer based protection and digital techniques in substations.
CIGRE CE/SC 34GT/WG02, 1985.
12. Digital protection techniques and substation functions.
CIGRE Publications CE/SC 34 GT/WG01, 1989.
13. A. Kalam, R. Coulter, A. Klebanowski, C. Biasizzo, H. McDonald, H. Fletcher.
Power System Protections.
Victoria University of Technology, Victoria-Australia, 1994.
14. A. M. Dmitrenko, V. M. Kiskatchy, D. D. Levkovich, L. A. Nadel, Y. G. Nazarov, V. N. Vavin.
Protection of large thermal and nuclear power plants with large units.
CIGRE. Paris, 1984. Report 34-06.
15. A. G. Phadke, J. S. Thorp.
Computer relaying for power systems.
Research Studies Press Ltd. Taunton, Somerset, England. John Wiley & Sons, inc. New York - Chichester - Toronto - Brisbane - Singapore, 1993.
16. R. Roeper.
Short-circuit Currents in Three phase Systems.
Siemens Aktiengesellschaft. John Wiley and Sons, 1984.
17. Федосеев А.М.
Релейная защита электрических систем : Релейная защита сетей.
Учеб. для вузов Москва, 1984.

-
18. Казанский В. Е.
Измерительные преобразователи тока в релейной защите.
Москва, 1988.
 19. Дорогунцев В. Г., Обчаренко Н. И.
Элементы автоматических устройств энергосистем.
Учеб. пособие для вузов. Москва, 1979.
 20. Андреев В. А.
Релейная защита и автоматика систем электроснабжения.
Высшая школа. Москва, 1991.

BẢO VỆ CÁC HỆ THỐNG ĐIỆN

Tác giả: **VS. GS. TRẦN ĐÌNH LONG**

Chịu trách nhiệm xuất bản: **PGS. TS. TÔ ĐĂNG HẢI**

Biên tập: **NGUYỄN ĐĂNG, NGUYỄN NGỌC**

Trình bày và chế bản: **HUY HOÀN**

Vẽ bìa: **TRẦN THẮNG**

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
70 - TRẦN HƯNG ĐẠO, HÀ NỘI

In 1.000 cuốn, khổ 16 x 24cm. Tại Xưởng in NXB Văn hóa Dân tộc.
Quyết định xuất bản: 59 - 2006/CXB/37 - 45/KHKT.
In xong và nộp lưu chiểu quý I năm 2007