

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HCM

KHOA ĐIỆN

BỘ MÔN: CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐIỆN

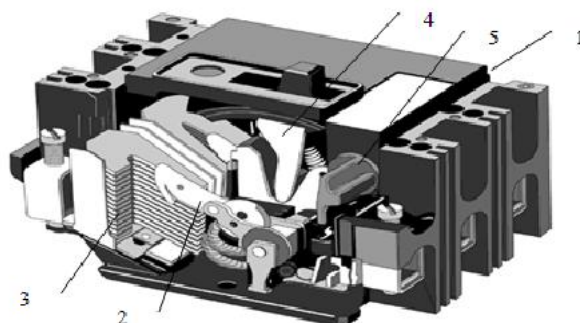
-----0-----

GVC-ThS.NGUYỄN TRỌNG THẮNG

GV-ThS.TRẦN PHI LONG

GIÁO TRÌNH

MÁY ĐIỆN-KHÍ CỤ ĐIỆN



TP. HCM Tháng 12 / 2005

LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình MÁY ĐIỆN-KHÍ CỤ ĐIỆN nhằm giúp sinh viên bậc đại học hoặc cao đẳng ngành Công nghệ Điện- Điện tử, Công nghệ Điện tử –Viễn thông của trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM làm tài liệu học tập cũng có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên ngành Điện Công Nghiệp, Điện Tự Động và các ngành khác liên quan đến lĩnh vực điện-điện tử.

Giáo trình Máy điện- Khí cụ điện trình bày những lý thuyết cơ bản về: cấu tạo; nguyên lý làm việc; các quan hệ điện từ; các đặc tính cũng như các hiện tượng vật lý xảy ra trong: Máy điện một chiều; Máy biến áp; Máy điện không đồng bộ, Máy điện đồng bộ và các khí cụ điện thông dụng.

Để giúp sinh viên dễ dàng tiếp thu kiến thức môn học, giáo trình trình bày nội dung một cách ngắn gọn, cơ bản. Ở mỗi chương có ví dụ minh họa, câu hỏi và bài tập để sinh viên có thể hiểu sâu hơn những vấn đề mình đã học.

Các tác giả

Ban quyền © Trường DH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM

MỤC LỤC

Trang

PHẦN 1: MÁY ĐIỆN 1

CHƯƠNG I: MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU2

- § 1.1. Đại cương về máy điện một chiều.....2
- § 1.2. Các quan hệ điện từ trong máy điện một chiều.....7
- § 1.3. Máy phát điện một chiều.....15
- § 1.4. Mở máy và điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều.....32

CHƯƠNG II: MÁY BIẾN ÁP43

- § 2.1. Đại cương về máy biến áp.....43
- § 2.2. Tổ nối dây và mạch từ của máy biến áp.....54
- § 2.3. Các quan hệ điện từ trong máy biến áp.....67
- § 2.4. Máy biến áp làm việc ở tải xác lập đối xứng.....85

CHƯƠNG III: CÁC VẤN ĐỀ LÝ LUẬN CHUNG

CỦA MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU98

- § 3.1. Sức điện động của dây quấn máy điện xoay chiều.....98
- § 3.2. Dây quấn máy điện xoay chiều.....106
- § 3.3. Sức từ động của dây quấn máy điện xoay chiều.....115

CHƯƠNG IV: MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ126

- § 4.1. Đại cương về máy điện không đồng bộ.....126
- § 4.2. Quan hệ điện từ trong máy điện không đồng bộ.....130
- § 4.3. Mở máy và điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ.....158

CHƯƠNG V: MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ172

- § 5.1. Đại cương về máy điện đồng bộ.....172
- § 5.2. Quan hệ điện từ trong máy điện đồng bộ.....178
- § 5.3. Máy phát điện đồng bộ.....189
- § 5.4. Mở máy và điều chỉnh công suất phản kháng của động cơ đồng bộ.....204

PHẦN 2: KHÍ CỤ ĐIỆN208

CHƯƠNG I: MẠCH TỪ VÀ SỰ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ 209

- § 1.1. Khái niệm chung.....209
- § 1.2. Từ dẫn trong khe hở không khí.....213
- § 1.3. Nam châm điện từ một chiều.....215
- § 1.4. Nam châm điện từ xoay chiều218
- § 1.5. Nam châm vĩnh cửu.....222
- § 1.6. Lực điện động.....226

CHƯƠNG II: CÁC LOẠI KHÍ CỤ ĐIỆN THÔNG DỤNG233

§ 2.1. Contactor.....	233
§ 2.2. Cầu chì bảo vệ.....	237
§ 2.3. Aptomat.....	241
§ 2.4. Thiết bị chống dòng điện rò.....	248
§ 2.5. Relay dòng điện.....	251
§ 2.6. Relay điện áp.....	252
§ 2.7. Relay trung gian.....	253
§ 2.8. Relay thời gian.....	254
§ 2.9. Relay tốc độ.....	255

Bản quyền © Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM

PHẦN 1 : MÁY ĐIỆN

Bản quyền © Truong DH Su pham Ky thuat TP. HCM

CHƯƠNG 1 : MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

§ 1.1 ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Trong nền sản xuất hiện đại, máy điện một chiều vẫn được coi là một loại máy quan trọng. Nó có thể dùng làm động cơ điện, máy phát điện ...

Động cơ điện một chiều có đặc tính điều chỉnh tốc độ rất tốt, vì vậy được dùng nhiều trong những ngành công nghiệp có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ như cán thép, hầm mỏ ...

Máy phát điện một chiều dùng làm nguồn điện cho động cơ điện một chiều, làm nguồn điện một chiều kích thích từ trong máy điện đồng bộ, dùng trong công nghiệp mạ điện...

Nhược điểm của máy điện một chiều : Giá thành đắt, sử dụng nhiều kim loại màu, chế tạo và bảo quản cở góp phức tạp...

I. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU:

Kết cấu của máy điện một chiều có thể phân thành 2 phần chính là : phần tĩnh và phần quay .

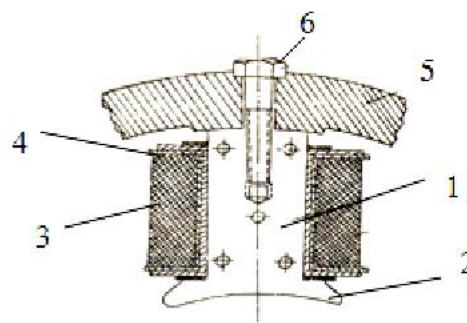
1. Phần tĩnh (stato):

Đây là phần đứng yên của máy gồm các bộ phận chính sau:

a. Cực từ chính:

Là bộ phận sinh ra từ trường gồm có lõi sắt cực từ và dây quấn kích từ lồng ngoài lõi sắt cực từ. Lõi sắt cực từ làm bằng những lá thép kỹ thuật điện hay thép cacbon dày 0,5 đến 1mm ép lại và tán chặt . Trong máy điện nhỏ có thể dùng thép khối . Cực từ được gắn chặt vào vỏ máy nhờ các bulông. Dây quấn kích từ được quấn bằng dây đồng bọc cách điện và mỗi cuộn dây đều được bọc cách điện kỹ thành 1 khối và tẩm sơn cách điện trước khi đặt trên các cực từ . Các cuộn dây kích từ đặt trên các cực từ này được nối nối tiếp với nhau .

- 1) Lõi thép cực từ chính
- 2) Mặt cực
- 3) Dây quấn kích từ
- 4) Khung dây quấn
- 5) Vỏ máy
- 6) Đinh ốc

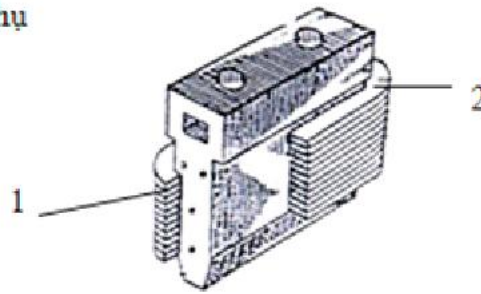


Hình 1-1. Cực từ chính

b. Cực từ phụ:

Được đặt giữa các cực từ chính và dùng để cải thiện đổi chiều. Lõi thép của cực từ phụ thường làm bằng thép khối và trên thân cực từ phụ có đặt dây quấn mà cấu tạo giống như dây quấn cực từ chính. Cực từ phụ được gắn vào vỏ nhờ bulông.

- 1) Lõi thép cực từ phụ
- 2) Cuộn dây



Hình 1-2. Cực từ phụ

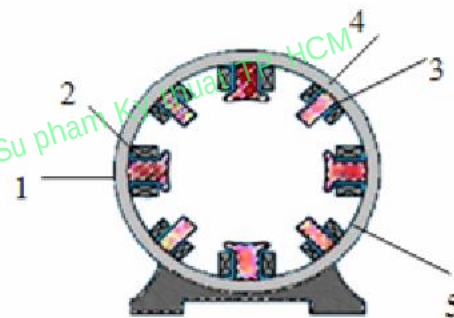
c. Gông từ:

Dùng làm mạch từ nối liền các cực từ, đồng thời làm vỏ máy. Trong máy điện vừa và nhỏ thường dùng thép tấm dày uốn và hàn lại. Trong máy điện lớn thường dùng thép đúc.

d. Các bộ phận khác:

- Nắp máy : Bảo vệ máy khỏi bị những vật ngoài rơi vào làm hư hỏng dây quấn hay an toàn cho người khỏi chạm phải điện. Trong máy điện vừa và nhỏ, nắp máy có tác dụng làm giá đỡ ổ bi.

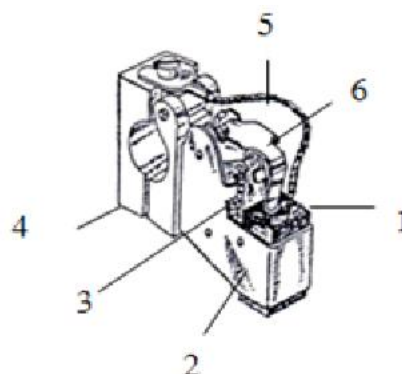
- 1) Lõi thép cực từ chính
- 2) Dây quấn chính
- 3) Lõi thép cực từ phụ
- 4) Dây quấn phụ
- 5) Vỏ máy



Hình 1-3. Vỏ máy

- Cơ cấu chổi than : Để đưa dòng điện từ phần quay ra ngoài. Cơ cấu chổi than gồm có chổi than đặt trong hộp chổi than và nhờ 1 lò xo tì chặt lên cổ góp. Hộp chổi than được cố định trên giá chổi than và cách điện với giá. Giá chổi than có thể quay được để điều chỉnh vị trí chổi than cho đúng chỗ. Sau khi điều chỉnh xong thì dùng vít cố định chặt lại.

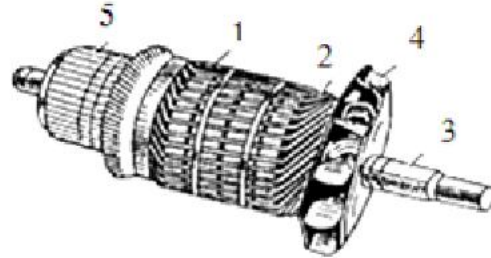
- 1) Chổi than
- 2) Hộp chổi than
- 3) Lò xo
- 4) Giá đỡ
- 5) Dây dẫn
- 6) Cò mổ



Hình 1-4. Cơ cấu chổi than

2. Phần quay (rôto):

- 1) Lõi thép phần ứng
- 2) Dây quấn phần ứng
- 3) Trục quay
- 4) Quạt gió
- 5) Cổ góp



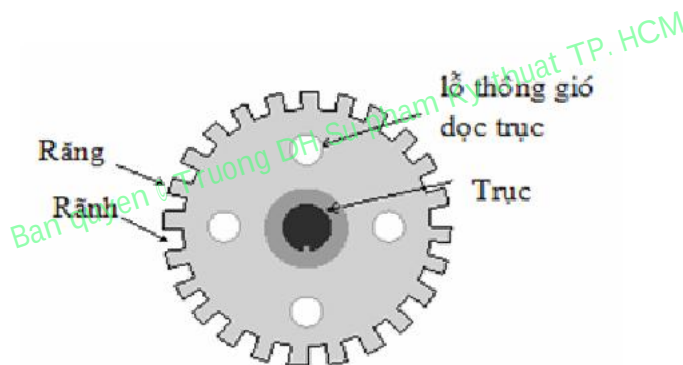
Hình 1-5. Rotor

Gồm các bộ phận sau :

a. Lõi sắt phần ứng: Dùng để dẫn từ.

Thường dùng những tấm thép kỹ thuật điện dày 0,5 mm phủ cách điện mỏng ở 2 mặt rồi ép chặt lại để giảm hao tổn do dòng điện xoáy gây nên. Trên lá thép có dập hình dạng rãnh để sau khi ép lại thì đặt dây quấn vào.

Trong những máy cỡ trung trở nên, người ta còn dập những lỗ thông gió để khi ép lại thành lõi sắt có thể tạo được những lỗ thông gió dọc trục .



Hình 1-6. Lá thép phần ứng

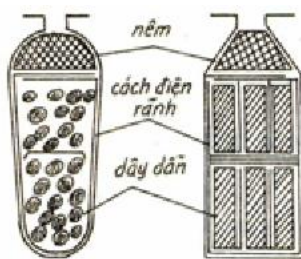
Trong những máy hơi lớn thì lõi sắt chia thành từng đoạn nhỏ. Giữa các đoạn ấy có để 1 khe hở gọi là khe thông gió ngang trục. Khi máy làm việc, gió thổi qua các khe làm nguội dây quấn và lõi sắt .

Trong máy điện nhỏ, lõi sắt phần ứng được ép trực tiếp vào trục. Trong máy điện lớn, giữa trục và lõi sắt có đặt giá rôto. Dùng giá rôto có thể tiết kiệm thép kỹ thuật điện và giảm nhẹ trọng lượng rôto .

b. Dây quấn phần ứng:

Là phần sinh ra sức điện động và có dòng điện chạy qua. Dây quấn phần ứng thường làm bằng dây đồng có bọc cách điện. Trong máy điện nhỏ dùng dây có tiết diện tròn. Trong máy điện vừa và lớn dùng dây tiết diện chữ nhật. Dây quấn được cách điện cẩn thận với rãnh của lõi thép .

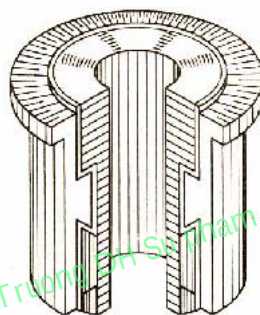
Để tránh khi quay bị văng ra do sức ly tâm, ở miệng rãnh có dùng nêm để chèn chặt hoặc phải đai chặt dây quấn. Nêm có thể làm bằng tre, gỗ hay bakêlít .



Hình 1-7. Mặt cắt rãnh phản ứng

c. **Cổ góp:** Dùng để đổi chiều dòng điện xoay chiều thành 1 chiều .

Cổ góp gồm nhiều phiến đồng có đuôi nhọn cách điện với nhau bằng lớp mica dày 0,4 đến 1,2 mm và hợp thành 1 trụ tròn. Hai đầu trụ tròn dùng 2 vành ốp hình chữ V ép chặt lại. Giữa vành ốp và trụ tròn cũng cách điện bằng mica. Đuôi vành góp có cao hơn lên một ít để hàn các đầu dây của các phần tử dây quấn vào các phiến góp được dễ dàng .



Hình 1- 8. Cổ góp.

d. **Các bộ phận khác :**

- Cánh quạt : Để quạt gió làm nguội máy.
- Trục máy : Trên đó đặt lõi sắt phản ứng, cổ góp, cánh quạt và ổ bi. Trục máy thường làm bằng thép cacbon tốt .

2. Các trị số định mức:

Chế độ làm việc định mức của máy điện là chế độ làm việc trong những điều kiện mà xưởng chế tạo đã quy định. Chế độ đó được đặc trưng bằng những đại lượng ghi trên nhãn máy và gọi là những đại lượng định mức.

- Công suất định mức P_{dm} (KW hay W)
- Điện áp định mức U_{dm} (V)
- Dòng điện định mức I_{dm} (A)
- Tốc độ định mức n_{dm} (vg/ph)
- Hiệu suất định mức η_{dm}

CÂU HỎI

1. Tại sao lõi sắt phần ứng phải làm bằng thép kỹ thuật điện ? Tại sao vỏ máy một chiều không dùng gang là vật liệu rẻ tiền và dễ đúc ?
2. Ý nghĩa của trị số công suất định mức ghi trên nhãn máy ? Công suất định mức ghi trên động cơ điện là công suất cơ đầu trục hay công suất điện đưa vào động cơ điện ?
3. Các bộ phận chính của máy điện một chiều và công dụng của các bộ phận đó ?

Bản quyền © Truong DH Su pham Ky thuat TP. HCM

§ 1.2 CÁC QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU.

I. Sức điện động cảm ứng trong dây quấn máy điện một chiều:

Cho dòng điện kích thích vào dây quấn kích thích thì trong khe hở sẽ sinh ra từ thông. Khi phần ứng quay với một tốc độ nhất định nào đó thì trong dây quấn sẽ cảm ứng một sức điện động. Sức điện động đó phụ thuộc vào từ thông dưới mỗi cực từ, tốc độ của máy, số thanh dẫn của dây quấn và kiểu dây quấn.

Vì dây quấn có 2a mạch nhánh ghép song song nên sức điện động của dây quấn bằng sức điện động cảm ứng trên một mạch nhánh, nghĩa là bằng tổng s.đ.đ của các thanh dẫn nối tiếp trong mạch nhánh đó.

Sức điện động trung bình cảm ứng trong thanh dẫn có chiều dài tác dụng l, chuyển động trong từ trường với tốc độ v bằng :

$$e_{tb} = B_{tb} \cdot l \cdot v \quad (1-1)$$

$$\begin{aligned} \text{Tốc độ quay : } v &= \frac{\pi D \cdot n}{60} = 2\pi p \frac{n}{60} \\ B_{tb} &= \frac{\Phi_{\delta}}{\tau l} \end{aligned}$$

Trong đó :

B_{tb} : từ cảm trung bình trong khe hở
 D : đường kính ngoài phần ứng
 τ : bước cực
 p : số đôi cực
 n : tốc độ quay phần ứng
 Φ_{δ} : từ thông khe hở dưới mỗi cực

Thế vào biểu thức (1-1) ta có :

$$e_{tb} = 2p \Phi_{\delta} \frac{n}{60} \quad (1-2)$$

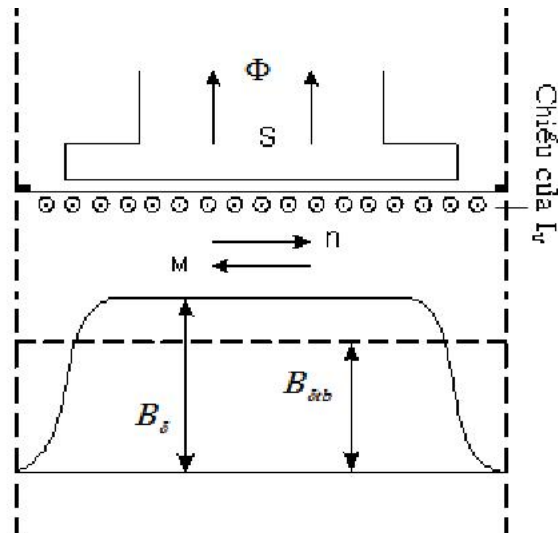
Gọi N là tổng số thanh dẫn của dây quấn thì mỗi mạch nhánh song song có N/2a thanh dẫn nối tiếp nhau và như vậy s.đ.đ của máy bằng :

$$E_u = \frac{N}{2a} e_{tb} = \frac{p \cdot N}{60a} \Phi_{\delta} n = C_e \Phi_{\delta} n \quad (V) \quad (1-3)$$

Trong đó :

Φ_{δ} (Wb).
 n (vg/ph).
 $C_e = \frac{p \cdot N}{60a}$: hệ số phụ thuộc vào kết cấu của máy và dây quấn

Chiều của E_u phụ thuộc vào chiều Φ_{δ} và n và được xác định theo quy tắc bàn tay phải (hình 1- 9).



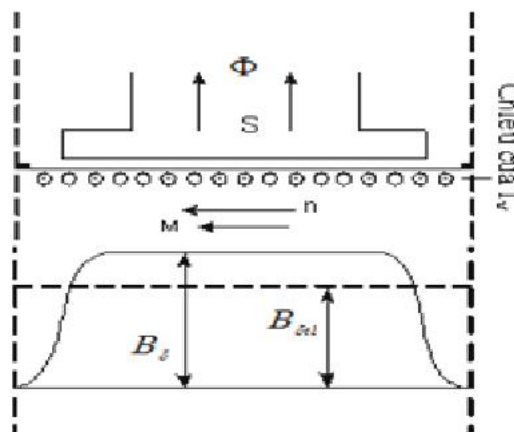
Hình 1-9. Xác định s.d.đ phản ứng và mômen điện từ trong máy phát điện một chiều

Sự phân tích trên dựa trên giả thiết dây quấn bước đủ, s.d.đ trên các thanh dẫn của phần tử đều cộng số học với nhau. Nếu là bước ngắn thì s.d.đ của các thanh dẫn của một phần tử sẽ cộng vectơ nên s.d.đ của cả phần tử sẽ nhỏ hơn so với phần tử bước đủ và như vậy s.d.đ phản ứng cũng nhỏ đi một ít. Nhưng vì trong máy điện 1 chiều không cho phép bước ngắn lớn nên ảnh hưởng ít (thường là không xét đến khi tính s.d.đ).

II. Mômen điện từ và công suất:

Khi máy điện làm việc, trong dây quấn phần ứng sẽ có dòng điện chạy qua. Tác dụng của từ trường lên dây dẫn có dòng điện sẽ sinh ra mômen điện từ trên trục máy.

Giả thiết ở một chế độ làm việc nào đó của máy điện một chiều, từ trường và dòng điện phần ứng ở dưới 1 cực như hình :



Hình 1-10. Xác định mômen điện từ trong động cơ điện một chiều

Theo quy tắc bàn tay trái mômen điện từ do lực điện từ tác dụng lên các thanh dẫn có chiều từ phải sang trái.

Lực điện từ tác dụng lên từng thanh dẫn bằng :

$$f = B_{tb} l \cdot i_r \quad (1-4)$$

Nếu tổng số thanh dẫn của dây quấn bằng N , dòng điện trong mạch nhánh $i_u = \frac{I_u}{2a}$ thì mômen điện từ tác dụng lên dây quấn phản ứng bằng :

$$M = B_{tb} \frac{I_u}{2a} l \cdot N \frac{D}{2} \quad (1-5)$$

Trong đó :

B_{tb} : từ cảm trung bình trong khe hở

I_u : dòng điện phản ứng

a : số đôi mạch nhánh

l : chiều dài tác dụng của thanh dẫn

D : đường kính ngoài phản ứng

Ta có :

$$D = \frac{2p\tau}{\pi}, B_{tb} = \frac{\Phi_\delta}{\tau l}$$

$$\Rightarrow M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi_\delta I_u = C_M \Phi_\delta I_u \quad (\text{N.m}) \quad (1-6)$$

$$\Rightarrow M = \frac{1}{9,81} \frac{pN}{2\pi a} \Phi_\delta I_u \quad (\text{kG.m}) \quad (1-7)$$

Trong đó :

Φ_δ : từ thông dưới mỗi cực tính bằng Wb

$C_M = \frac{pN}{2\pi a}$: hệ số phụ thuộc vào kết cấu của máy điện

Trong máy phát điện, khi quay máy theo một chiều nhất định trong từ trường thì trong dây dẫn sinh ra s.đ.đ mà chiều được xác định theo quy tắc bàn tay phải. Khi có tải thì dòng điện sinh ra sẽ cùng chiều với s.đ.đ nên mômen điện từ sinh ra sẽ ngược chiều với chiều quay của máy. Vì vậy ở máy phát điện, mômen điện từ là mômen hãm (hình 1-10).

Trong động cơ điện, khi cho dòng điện vào phản ứng thì dưới tác dụng của từ trường, trong dây quấn sẽ sinh ra mômen điện từ kéo máy quay, vì vậy chiều quay của máy trùng với chiều quay của mômen (hình 1-10).

Công suất ứng với mômen điện từ lấy vào (máy phát) hay đưa ra (động cơ) gọi là công suất điện từ và bằng :

$$P_{dt} = M \omega \quad (1-8)$$

Trong đó :

M : momen điện từ

$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$: tốc độ góc phản ứng

Thay vào công thức (1-5) ta được :

$$P_{dt} = M \omega = \frac{p \cdot N}{2\pi a} \Phi_\delta I_u \frac{2\pi n}{60} = \frac{pN}{60a} n \Phi_\delta I_u = E_u \cdot I_u \quad (\text{W}) \quad (1-9)$$

Như vậy, trong máy phát điện công suất điện từ đã chuyển công suất cơ $M\omega$ thành công suất điện $E_u I_u$. Ngược lại, trong động cơ điện công suất điện từ đã chuyển công suất điện $E_u I_u$ thành công suất cơ $M\omega$.

III. Quá trình năng lượng và các phương trình cân bằng:

1. Tổn hao trong máy điện một chiều:

a. **Tổn hao $\Delta p_{cơ}$** : Gồm tổn hao bi, tổn hao ma sát chổi than với vành góp, tổn hao do thông gió, tổn hao này phụ thuộc chủ yếu vào tốc độ quay của máy và làm cho ổ bi, vành góp nóng lên.

b. **Tổn hao sắt Δp_{Fe}** : Do từ trễ và dòng điện xoáy trong lõi thép gây nên. Tổn hao này phụ thuộc vào vật liệu, chiều dày của tấm thép, trọng lượng lõi thép, từ cảm và tần số f . Khi lõi thép đã định hình thì tổn hao thép tỉ lệ với $f^{(1,2 \div 1,6)}$ và B^2 .

Hai loại tổn hao trên khi không tải đã tồn tại nên gọi là tổn hao không tải:

$$P_0 = \Delta p_{cơ} + \Delta p_{Fe} \quad (1-10)$$

Tổn hao cơ và sắt sinh ra mômen hãm và mômen này tồn tại khi không tải nên gọi là mômen không tải M_0 .

$$M_0 = \frac{P_0}{\omega} \quad (1-11)$$

với ω là tốc độ góc của rôto.

c. **Tổn hao đồng Δp_{cu}** : Tổn hao đồng trong mạch phần ứng $\Delta p_{Cu,u}$ và tổn hao đồng trong mạch kích thích $\Delta p_{Cu,t}$.

Tổn hao đồng trong mạch phần ứng bao gồm tổn hao đồng trong dây quấn phần ứng $I_u^2 r_u$; tổn hao đồng trong dây quấn cực từ phụ $I_u^2 r_f$; tổn hao tiếp xúc giữa chổi than và vành góp Δp_{tx} . Thường với chổi than graphit điện áp giáng trên chỗ tiếp xúc của hai chổi than $2 \Delta U_{tx} = 2 V$ nên $\Delta p_{tx} = 2 I_u$.

Hiện nay thường gộp tất cả các tổn hao đồng trên phần ứng lại và viết dưới dạng $\Delta p_u = I_u^2 R_u$ với $R_u = r_u + r_f + r_{tx}$ bao gồm điện trở dây quấn phần ứng r_u , điện trở dây quấn phụ r_f , điện trở tiếp xúc chổi than r_{tx} .

Tổn hao đồng trong mạch kích thích gồm tổn hao đồng của dây quấn kích thích và tổn hao đồng của điện trở điều chỉnh trong mạch kích thích. Vì vậy $\Delta p_{Cu,t} = U_t I_t$, với U_t là điện áp đặt trên mạch kích thích; I_t là dòng điện kích thích.

d. **Tổn hao phụ Δp_f** :

Tổn hao phụ trong thép có thể do từ trường phân bố không đều trên bề mặt phần ứng, các bulông ốc vít trên phần ứng làm từ trường phân bố không đều trong lõi sắt, ảnh hưởng của răng, rãnh làm từ trường đập mạch ... sinh ra.

Tổn hao trong đồng có thể do quá trình đổi chiều làm dòng điện trong phần tử thay đổi, dòng điện phân bố không đều trên bề mặt chổi than làm tổn hao tiếp xúc lớn, từ trường phân bố không đều trong rãnh làm cho trong dây dẫn sinh ra dòng điện xoáy, tổn hao trong dây nối cân bằng sinh ra. Trong máy điện 1 chiều Δp_f tương đối khó tính, thường lấy bằng 1% công suất định mức.

2. Quá trình năng lượng trong máy điện một chiều và các phương trình cân bằng:

a. **Máy phát điện:**

Máy phát điện biến cơ năng thành điện năng nên máy do một động cơ sơ cấp bất kỳ kéo quay với một tốc độ nhất định.

Giả thiết công suất kích từ do một máy khác cung cấp nên không tính vào công suất đưa từ động cơ sơ cấp vào máy phát điện. Công suất cơ đưa vào P_1 , tiêu hao đi một phần để bù vào tổn hao cơ $\Delta p_{cơ}$ và tổn hao sắt Δp_{Fe} , còn đại bộ phận biến đổi thành công suất điện từ $P_{đt}$.

Ta có:

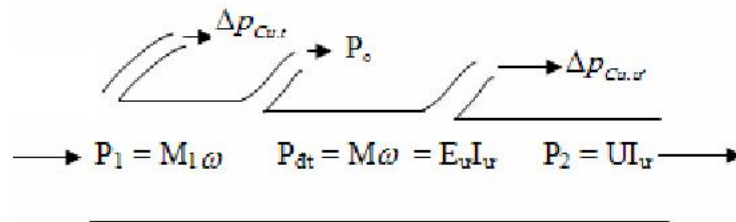
$$P_1 = P_{dt} + (\Delta p_{c\sigma} + \Delta p_{Fe}) = P_{dt} + P_o \quad (1-12)$$

$$P_{dt} = E_u I_u \quad (1-13)$$

Khi có dòng điện chạy trong dây dẫn thì có tổn hao đồng nên công suất điện đưa ra P_2 bằng :

$$P_2 = P_{dt} - \Delta p_{cu} = E_u I_u - I_u^2 R_u = U I_u \quad (1-14)$$

Giản đồ năng lượng :



Hình 1-11. Giản đồ năng lượng của máy phát điện một chiều.

Chia 2 vế của phương trình trên với I_u ta được :

$$U = E_u - I_u R_u \quad (1-15)$$

Đây là phương trình cân bằng s.d.d của máy phát điện 1 chiều

Có thể viết công suất đưa vào, công suất không tải và công suất điện từ theo dạng mômen nhân với tốc độ góc và như vậy công thức (1- 12) viết thành :

$$M_1 \omega = M_0 \omega + M \omega$$

Chia 2 vế cho ω ta được :

$$M_1 = M_0 + M \quad (1-16)$$

Đây là phương trình cân bằng mômen của máy phát điện 1 chiều

Trong đó :

M_1 là mômen đưa vào

M là mômen điện từ

M_0 là mômen không tải

b. Động cơ điện:

Động cơ điện lấy công suất điện vào và truyền công suất cơ ra đầu trục

Công suất điện mà động cơ nhận được từ lưới vào bằng :

$$P_1 = UI = U(I_u + I_t) \quad (1-17)$$

Trong đó :

$I = I_u + I_t$ là dòng điện từ lưới điện vào (I_u là dòng điện vào phần ứng, I_t là dòng điện kích thích) .

U là điện áp ở đầu cực máy

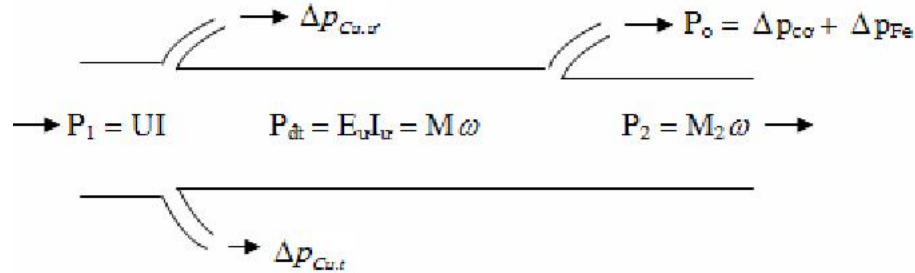
Công suất P_1 , một phần cung cấp cho mạch kích thích UI_t còn phần lớn đi vào phần ứng UI_u , tiêu hao một ít trên dây quấn đồng trên mạch phần ứng $\Delta p_{Cu,u}$, còn đại bộ phận là công suất điện từ P_{dt} .

$$P_1 = \Delta p_{Cu,u} + \Delta p_{Cu,t} + P_{dt} \quad (1-18)$$

Công suất điện từ sau khi chuyển thành công suất cơ thì còn tiêu hao một ít để bù vào tổn hao cơ Δp_{co} và tổn hao sắt Δp_{Fe} (gọi chung là tổn hao không tải P_0). Phần còn lại là công suất đưa ra ở đầu trục $P_2 = M_2 \omega$.

$$P_{dt} = \Delta p_{co} + \Delta p_{Fe} + P_2 = P_0 + P_2 \quad (1-19)$$

Giản đồ năng lượng như hình :



Từ công thức (1-17) và (1-18) ta có công suất điện trong mạch phần ứng bằng :

$$UI_r = P_{dt} + \Delta p_{Cu,r} = E_r I_r + I_r^2 R_r \quad (1-20)$$

Chia 2 vế cho I_r ta được :

$$U = E_r + I_r R_r \quad (1-21)$$

Đây là phương trình cân bằng s.d.đ của động cơ điện 1 chiều
Từ công thức (1-19) ta có thể viết :

$$M\omega = M_0 \omega + M_2 \omega \quad (1-22)$$

Chia 2 vế cho ω ta được :

$$M = M_0 + M_2 \quad (1-23)$$

Đây là phương trình cân bằng mômen của động cơ điện 1 chiều

Với :

M_2 là mômen đưa ra đầu trục máy

M_0 là mômen không tải

IV. TÍNH CHẤT THUẬN NGHỊCH TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU:

Máy điện 1 chiều có thể dùng làm máy phát điện, cũng có thể dùng làm động cơ điện. Trong máy phát điện, chiều của mômen điện từ và tốc độ quay ngược nhau, còn dòng điện và s.d.đ cùng chiều . Trong động cơ điện thì mômen và tốc độ quay cùng chiều còn dòng điện và s.d.đ ngược chiều nhau. Vì vậy chỉ cần có điều kiện khác nhau thì máy sẽ có tính chất làm việc khác nhau.

Giả sử máy đang làm việc ở trạng thái máy phát :

$$I_r = \frac{E_r - U}{R_r} \quad \text{nghĩa là } E_r > U . \text{ Máy sinh ra điện từ hãm .}$$

Nếu ta giảm từ thông Φ hoặc tốc độ n để giảm E_r xuống một cách thích đáng thì E_r sẽ nhỏ hơn U và dòng điện I_r sẽ đổi chiều, E_r và I_r ngược chiều nhau. Do chiều của từ thông Φ không đổi nên

mômen điện từ ($M = C_M \Phi I_r$) sẽ đổi dấu, nghĩa là M và n cùng chiều và mômen điện từ đó đã từ mômen hãm thành mômen quay. Máy đã chuyển từ máy phát điện sang động cơ điện. Đây là tính chất thuận nghịch của máy điện. Tách động cơ sơ cấp ra ta sẽ được 1 động cơ điện một chiều thông thường.

VÍ DỤ

Ví dụ 1: Một máy phát điện 1 chiều lúc quay không tải ở tốc độ $n = 1000$ vg/ph thì s.đ.đ phát ra bằng $E_0 = 222$ V. Hỏi lúc không tải muốn phát ra s.đ.đ định mức $E_{0,đm} = 220$ V thì tốc độ $n_{0,đm}$ bằng bao nhiêu khi giữ dòng điện kích từ không đổi ?

Giải

Giữ dòng điện kích từ không đổi nghĩa là từ thông Φ không đổi
Theo công thức (1-3) ta có :

$$\frac{E_o}{E_{o,đm}} = \frac{C_e \Phi n}{C_e \Phi n_{o,đm}} = \frac{n}{n_{o,đm}}$$

Khi $E_{o,đm} = 220$ V thì :

$$n_{o,đm} = n \cdot \frac{E_{o,đm}}{E_o} = 1000 \cdot \frac{220}{222} \approx 990 \text{ vg/ph}$$

Ví dụ 2 : Một động cơ điện 1 chiều kích thích song song, công suất định mức $P_{đm} = 5,5$ kW, $U_{đm} = 110$ V, $I_{đm} = 58$ A (tổng dòng điện đưa vào bao gồm dòng điện phản ứng I_r và kích từ I_t , $n_{đm} = 1470$ vg/ph. Điện trở phản ứng $R_r = 0,15 \Omega$, điện trở mạch kích từ $r_t = 137 \Omega$, điện áp giáng trên chổi than $2\Delta U_{tx} = 2$ V. Hỏi s.đ.đ phản ứng, dòng điện phản ứng và mômen điện từ ?

Giải

Dòng điện kích từ :

$$I_t = \frac{U}{r_t} = \frac{110}{137} = 0,8 \text{ A}$$

Dòng điện phản ứng :

$$I_r = I_{đm} - I_t = 58 - 0,8 = 57,2 \text{ A}$$

Sức điện động phản ứng :

$$E_r = U - I_r R_r - 2\Delta U_{tx} = 110 - (57,2 \cdot 0,15) - 2 = 99,4 \text{ V}$$

Mômen điện từ :

$$M = \frac{E_r I_r}{\omega} = \frac{E_r I_r}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{99,4 \cdot 57,2}{\frac{2\pi \cdot 1470}{60}} = 36,9 \text{ N.m}$$

Nếu tính ra kG.m thì :

$$M = \frac{36,9}{9,81} = 3,76 \text{ kG.m}$$

CÂU HỎI

1. Sức điện động trong máy điện 1 chiều phụ thuộc vào những yếu tố nào ?
2. Phân tích giản đồ năng lượng của máy phát và động cơ điện 1 chiều , từ đó đưa ra các quan hệ về công suất, mômen, dòng điện và s.đ.đ ?

BÀI TẬP

1. Một động cơ điện 1 chiều kích thích song song có các số liệu sau : $U_{dm} = 220 \text{ V}$, $R_r = 0,4 \Omega$, $I_{dm} = 52 \text{ A}$, $r_t = 110 \Omega$ và tốc độ không tải $n_o = 1100 \text{ vg/ph}$. Hãy tìm :

- Sức điện động phản ứng lúc tải định mức
- Tốc độ lúc tải định mức
- Công suất điện từ và mômen điện từ lúc tải định mức

Khi phân tích bỏ qua dòng điện không tải .

$$\text{Đáp số : } E_{u.dm} = 200 \text{ V}$$

$$n_{dm} = 1000 \text{ vg/ph}$$

$$P_{dt} = 10 \text{ kW} , M_{dt} = 95,5 \text{ N.m}$$

2. Một động cơ điện 1 chiều kích thích song song có các số liệu sau : $P_{dm} = 96 \text{ kW}$, $U_{dm} = 440 \text{ V}$, $I_{dm} = 5 \text{ A}$, $I_t = 5 \text{ A}$, $n_{dm} = 500 \text{ vg/ph}$, $R_r = 0,078 \Omega$. Tính :

- Mômen định mức ở đầu trục M_2
- Mômen điện từ khi dòng điện định mức
- Tốc độ quay lúc không tải ký tướng ($I = 0$)

$$\text{Đáp số : } M_2 = 1833,5 \text{ N.m}$$

$$M_{dt} = 2007,7 \text{ N.m}$$

$$n_o = 523 \text{ vg/ph}$$

3. Một máy phát điện kích thích ngoài có $U_{dm} = 220 \text{ V}$, $n_{dm} = 1000 \text{ vg/ph}$. Biết rằng ở tốc độ $n = 750 \text{ vg/ph}$ thì s.đ.đ lúc không tải $E_o = 176 \text{ V}$. Hỏi s.đ.đ và dòng điện phản ứng lúc tải định mức của máy là bao nhiêu, biết điện trở phản ứng $R_r = 0,4 \Omega$.

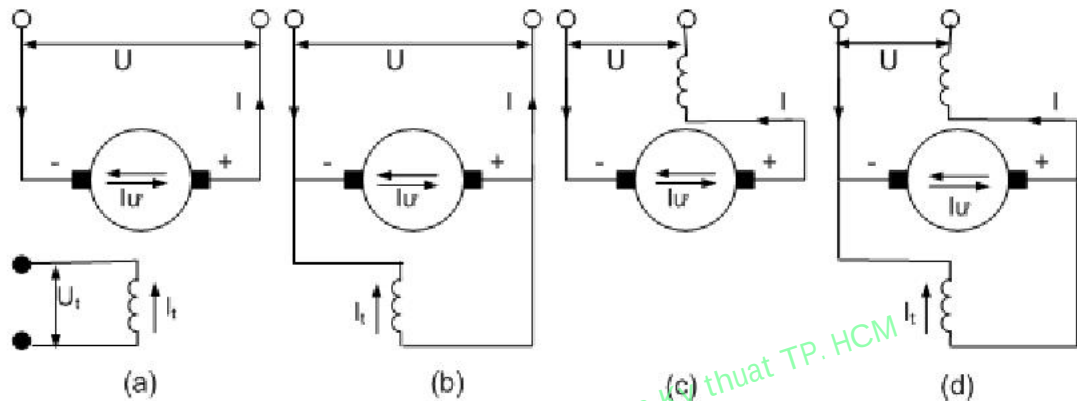
$$\text{Đáp số : } E_{u.dm} = 234,6 \text{ V}$$

$$I_{u.dm} = 36,5 \text{ A}$$

§ 1.3 MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

I. ĐẠI CƯƠNG:

Trong nền kinh tế quốc dân, nhiều ngành sản xuất như luyện kim, hoá chất, giao thông vận tải ... đòi hỏi phải dùng nguồn điện một chiều, và ngày nay vẫn không thể thay thế được dòng điện một chiều mặc dù việc dùng dòng điện xoay chiều trong công nghiệp đã rất phổ biến. Thông thường để có nguồn điện một chiều có thể dùng các máy phát điện một chiều quay bằng các động cơ sơ cấp như động cơ điện xoay chiều, động cơ đốt trong, tuabin ...



Hình 1-13. Sơ đồ nguyên lý của máy phát điện một chiều

- Máy phát điện một chiều kích thích độc lập
- Máy phát điện một chiều kích thích song song
- Máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp
- Máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp

Tùy theo cách kích thích cực từ chính, máy phát điện một chiều được phân loại như sau :

1. Máy phát điện một chiều kích thích độc lập : Bao gồm máy phát kích thích bằng nam châm vĩnh cửu và máy phát kích thích điện từ. Loại đầu chỉ được chế tạo với công suất nhỏ. Loại thứ hai có dây quấn kích thích lấy dòng điện từ ắc quy, lưới điện một chiều hoặc máy phát điện một chiều phụ và được dùng nhiều trong các trường hợp cần điều chỉnh điện áp trong phạm vi rộng, công suất lớn, điện áp thấp ($4 \div 24$)V hoặc điện áp cao trên 600 V.

2. Máy phát điện một chiều tự kích thích : Có dòng điện kích thích lấy từ bản thân máy phát điện. Tùy theo cách nối các dây quấn kích thích, ta có :

- Máy phát điện một chiều kích thích song song
- Máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp
- Máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp

Trong mọi trường hợp, công suất kích thích chiếm $(0,3 \div 5) \%$ công suất định mức của máy.

Theo hình (1-13) ta thấy rằng ở các máy phát kích thích song song và kích thích hỗn hợp $I = I_r - I_t$ còn ở máy phát kích thích nối tiếp $I = I_r = I_t$.

II. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

Máy phát điện một chiều có 4 đại lượng đặc trưng là U , I_r , I_t và n . Trừ tốc độ n được động cơ sơ cấp giữ không đổi, ba đại lượng còn lại: U , I_r , I_t là những đại lượng biến thiên có liên hệ chặt chẽ với nhau. Với 3 đại lượng đó có thể thành lập 3 mối quan hệ cơ bản: $U = f(I_r)$ khi $I_t = C^{te}$; $U = f(I_t)$ khi $I_r = C^{te}$ và $I_r = f(I_t)$ khi $U = C^{te}$.

Dựa vào đó, khi nghiên cứu máy phát điện một chiều ta có các đặc tính sau đây:

- 1) Đặc tính không tải $U_0 = E_0 = f(I_t)$ khi $I = 0$, $n = C^{te}$.
- 2) Đặc tính ngắn mạch $I_n = f(I_t)$ khi $U = 0$, $n = C^{te}$.
- 3) Đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi $I_t = C^{te}$, $n = C^{te}$.
- 4) Đặc tính tải $U = f(I_r)$ khi $I_r = C^{te}$, $n = C^{te}$.
- 5) Đặc tính điều chỉnh $I_t = f(I)$ khi $U = C^{te}$, $n = C^{te}$.

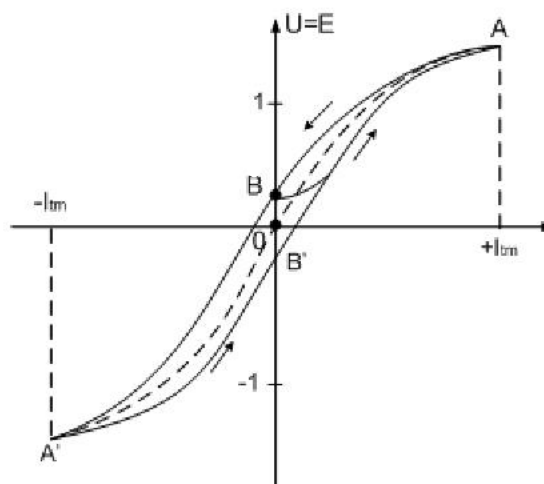
Trong năm đặc tính trên thì đặc tính không tải là trường hợp đặc biệt của đặc tính tải khi $I_r = 0$ và đặc tính ngắn mạch là trường hợp đặc biệt của đặc tính điều chỉnh khi $U = 0$. Tất cả 5 đặc tính đó đều có thể thành lập được bằng thí nghiệm trực tiếp trên máy phát điện. Tuy nhiên trong một số trường hợp, để đơn giản chỉ cần làm 2 thí nghiệm không tải và ngắn mạch, sau đó dựa vào tam giác đặc tính để suy ra 3 đặc tính còn lại.

Dưới đây ta sẽ nghiên cứu chung các đặc tính không tải, đặc tính ngắn mạch và cách thành lập tam giác đặc tính của các loại máy phát điện. Vì về cơ bản chúng không có gì khác nhau. Còn các đặc tính làm việc bao gồm đặc tính ngoài và đặc tính điều chỉnh sẽ được nghiên cứu riêng biệt đối với từng loại máy.

Đặc tính không tải $U_0 = E_0 = f(I_t)$ khi $I = 0$, $n = C^{te}$.

Làm thí nghiệm cho máy phát điện làm việc ở tốc độ n không đổi, cầu dao để hở mạch không nối với tải bên ngoài ($I = 0$), đo các trị số I_t và U tương ứng ta sẽ có đặc tính không tải.

Cần chú ý rằng, đối với máy phát điện kích thích độc lập, do có thể đổi chiều dòng điện kích thích nên ta có thể vẽ được toàn bộ chu trình trễ đối xứng $ABA'B'A$ giữa hai trị số giới hạn của dòng điện kích thích $\pm I_{tm}$ ứng với điện áp cỡ $\pm (1,15 \div 1,25)U_{dm}$.

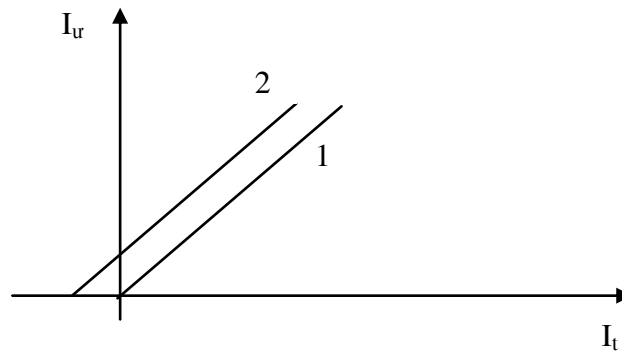


Hình 1-14. Đặc tính không tải của máy phát điện một chiều.

Đối với máy phát điện tự kích thích, do cực tính ở đầu máy (chổi than) là cố định và không thể thực hiện được $-I_t$ nên ta chỉ có thể vẽ được chu trình phụ ABA giữa $+I_{tm}$ và 0.

Đoạn OB trên hình (1-14) là s.đ.đ ứng với từ dư trong mạch từ của máy. S.đ.đ này rất nhỏ, thường bằng $2 \div 3\% U_{dm}$ nên ta có thể bỏ qua, vì vậy đặc tính không tải của máy phát điện một chiều là đường trung bình đi qua gốc toạ độ AOA' biểu thị bằng đường đứt nét. Đó cũng chính là đường cong từ hoá của máy phát điện suy ra được khi tính toán mạch từ của máy lúc không tải.

Đặc tính ngắn mạch $I_n = f(I_t)$ khi $U = 0$, $n = C^{te}$.



Hình 1-15. Đặc tính ngắn mạch của máy phát điện một chiều

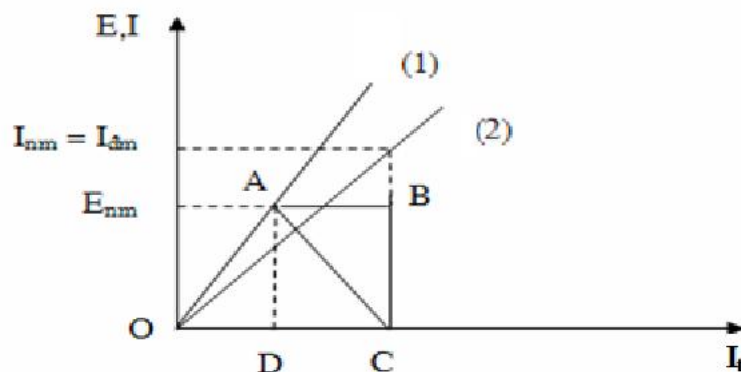
Trước hết cần chú ý rằng để có đặc tính ngắn mạch tất cả các loại máy phát điện một chiều đều phải được kích thích độc lập. Nếu đem nối ngắn mạch các chổi than và cho máy phát điện làm việc ở tốc độ không đổi rồi đo các trị số I_u và I_t tương ứng ta được đặc tính ngắn mạch. Khi ngắn mạch :

$$U = E_u - I_u R_u = 0 \Rightarrow E_u = I_u R_u$$

Do R_u rất nhỏ, mặt khác phải giữ cho dòng điện I khỏi lớn quá trị số $(1,25 \div 1,5)I_{dm}$ nên E_u rất nhỏ và dòng điện kích thích I_t tương ứng cũng rất nhỏ. Vì I_t nhỏ nên mạch từ của máy không bão hoà ($\mu = C^{te}$), $E_u \propto I_t$ do đó $I \propto I_t$ và đặc tính ngắn mạch là một đường thẳng. Nếu máy đã được khử từ dư thì đường thẳng này đi qua gốc toạ độ (đường 1 trên hình 1-15). Nếu máy chưa được khử từ dư ta sẽ có đường 2. Để có đặc tính ngắn mạch tiêu chuẩn ta vẽ đường thẳng song song với đường 2 qua gốc toạ độ.

Tam giác đặc tính

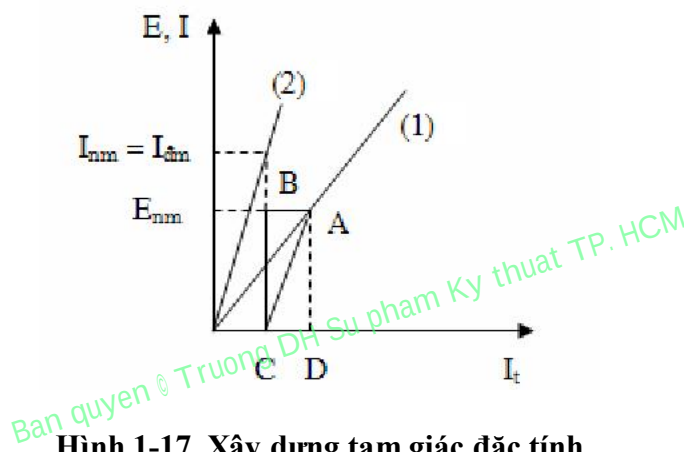
Nếu thành lập tam giác đặc tính trên hệ toạ độ chung có trục hoành I_t , ta vẽ các đặc tính không tải (đường 1) và đặc tính ngắn mạch (đường 2) như hình (1-16).



Hình 1-16. Xây dựng tam giác đặc tính trong trường hợp phản ứng phần ứng khử từ

Giả sử rằng khi ngắn mạch trong phần ứng có dòng điện I_{dm} tương ứng với dòng điện kích thích $I_t = OC$. Dòng điện kích thích dành một phần OD để sinh ra s.đ.đ khắc phục điện áp rơi trên điện trở phần ứng $I_{dm}R_{ur} = AD = BC$; phần còn lại $DC = AB$ dùng để khắc phục phản ứng phần ứng lúc ngắn mạch. Tam giác ABC gọi là tam giác đặc tính có cạnh BC tỉ lệ với dòng điện phần ứng I và cạnh AB trong điều kiện mạch từ không bão hoà tỉ lệ với phản ứng phần ứng (nghĩa là cùng tỉ lệ với dòng điện I).

Độ lớn của cạnh AB phụ thuộc vào loại máy và lớn nhất ở máy điện 1 chiều không có dây quấn bù và cực từ phụ. Ở máy có dây quấn bù và cực từ phụ thì phản ứng phần ứng hầu như bị triệt tiêu (cạnh $AB \approx 0$). Ở máy điện 1 chiều kích thích hỗn hợp, dây quấn nối tiếp có tác dụng trợ từ và nếu s.t.đ của nó lớn hơn AB , nghĩa là ngoài phần s.t.đ triệt tiêu ảnh hưởng của phản ứng còn s.t.đ để trợ từ thì cạnh AB sẽ nằm về phía bên phải của BC (hình 1-17).



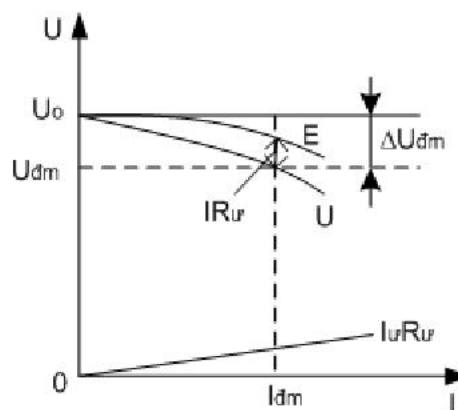
Hình 1-17. Xây dựng tam giác đặc tính trong trường hợp phản ứng phần ứng trợ từ

1. Đặc tính làm việc của máy phát điện một chiều kích thích độc lập

a. Đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi $I_t = C^{te}$, $n = C^{te}$.

Khi I tăng, điện áp rơi trên dây quấn phần ứng tăng. Mặt khác, do phản ứng phần ứng tăng theo I nên s.t.đ E giảm. Kết quả là điện áp U đầu máy phát điện giảm xuống.

Dạng của đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích độc lập được trình bày trên hình (1-18).



Hình 1-18. Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích độc lập

Hiệu số điện áp lúc không tải và lúc tải định mức với điều kiện dòng điện kích từ bằng dòng điện kích từ định mức được quy định là độ biến đổi điện áp định mức :

$$\Delta U_{dm} \% = \frac{U_o - U_{dm}}{U_{dm}} 100$$

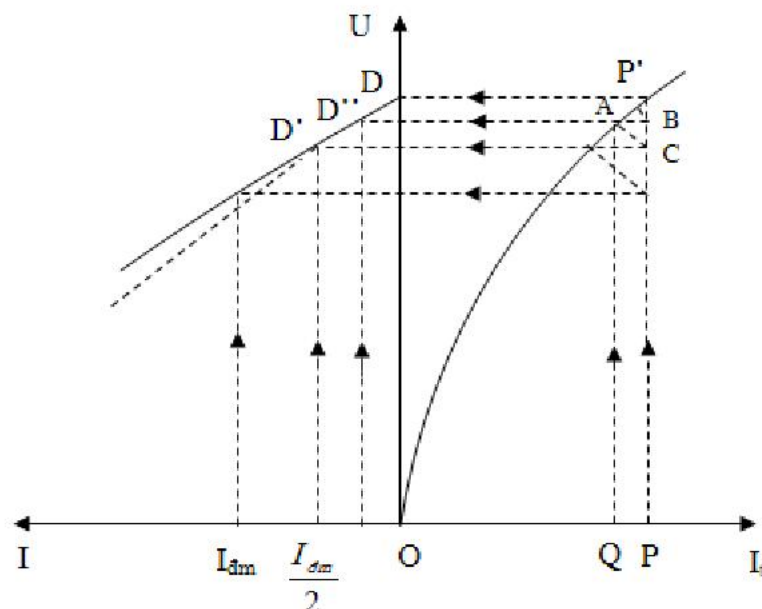
Ở máy phát điện một chiều kích thích độc lập $\Delta U_{dm} = 5 \div 15\%$.

Như đã nói ở trên, đặc tính ngoài có thể có được bằng thí nghiệm trực tiếp hoặc bằng phương pháp gián tiếp dựa vào đặc tính không tải và tam giác đặc tính như trình bày trên hình (1-19). Hãy cho đặc tính không tải của máy và đoạn $OP = I_t = C^{te}$, đoạn PP' ứng với I_t đã cho biểu thị điện áp $U = E_r$ lúc không tải $E_o (I = 0)$ và xác định điểm xuất phát D của đặc tính ngoài. Đặt tam giác ABC có cạnh AB, BC theo tỉ lệ ứng với $I = I_{dm}$ sao cho điểm A nằm trên đặc tính không tải và cạnh BC trên đường thẳng đứng PP' thì đoạn PC sẽ là điện áp khi $I = I_{dm}$ và tương ứng ta có điểm D' vẽ ở góc phần tư hai.

Để chứng minh ta thấy rằng, nếu $U = PC$ thì $E_r = U + I_{dm}R_r = PC + CB = BP = AQ$. Lúc không tải để có $E_r = AQ$ cần có dòng điện kích thích từ $I_{t(o)} = OQ$; khi có tải định mức phải tăng dòng điện kích thích lên một lượng $\Delta I_t = QP = AB$ để bù lại sự khử từ của phản ứng phần ứng. Toàn dòng điện kích thích lúc này đúng là :

$$I_t = I_{t(o)} + \Delta I_t = OQ + QP = OP \text{ như đã cho trước}$$

Nếu $I = \frac{1}{2} I_{dm}$ thì tam giác đặc tính có các cạnh bằng một nửa cạnh của tam giác ABC. Cũng làm như trên ta sẽ xác định được điểm D''. Tiếp tục theo trình tự trên, ta xác định được một số điểm khác ứng với các trị số khác nhau của dòng điện I. Nối các điểm D, D', D'' ... lại ta được đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi $I_t = C^{te}$, $n = C^{te}$. Trên thực tế do ảnh hưởng của bão hoà, khi I tăng và U giảm, cạnh AB của tam giác đặc tính không còn tỉ lệ với I nên đường đặc tính ngoài thu được bằng thí nghiệm trực tiếp hơi lệch đi theo đường đứt nét trên hình (1-19).

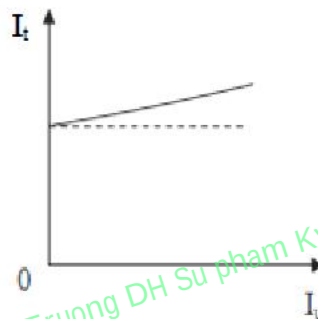


Hình 1-19. Xây dựng đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích độc lập từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính.

Điểm ứng với $U = 0$ của đặc tính ngoài cho ta trị số của dòng điện ngắn mạch khi kích thích hoàn toàn đầy đủ. Vì R_r rất bé, dòng điện ngắn mạch $I_n = (5 \div 15)I_{dm}$ và rất nguy hiểm có thể gây vòng lửa trên vành góp và ứng lực điện động rất lớn do đó phải trang bị máy cắt tự động cực nhanh tách máy phát điện ra khỏi lưới khi xảy ra ngắn mạch đột nhiên. Chú ý rằng biện pháp này không bảo vệ được khi xảy ra ngắn mạch bên trong máy

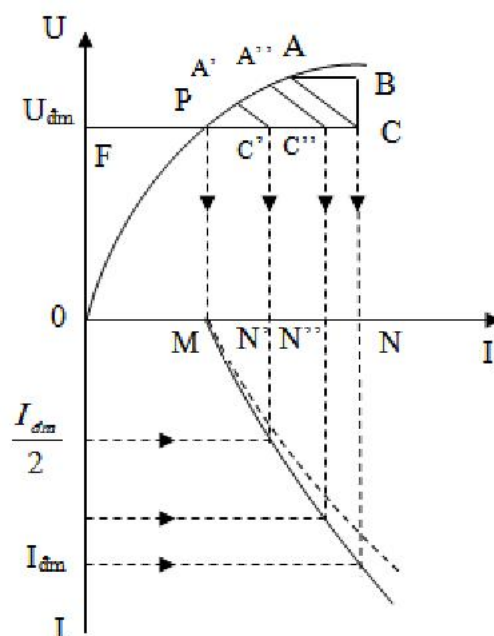
b. Đặc tính điều chỉnh $I_t = f(I)$ khi $U = C^{te}$, $n = C^{te}$.

Đặc tính điều chỉnh cho ta biết cần điều chỉnh dòng điện kích thích thế nào để giữ cho điện áp đầu ra của máy phát không đổi khi thay đổi tải. Đường biểu diễn đặc tính điều chỉnh trên hình (1-20) cho thấy khi tải tăng cần phải tăng dòng điện kích thích sao cho bù được điện áp rơi trên I_{tr} và ảnh hưởng của phản ứng phần ứng. Từ không tải ($U = U_{\text{đm}}$) tăng đến tải định mức ($I = I_{\text{đm}}$) thường phải tăng dòng điện kích thích lên $15 \div 25\%$.



Hình 1-20. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện một chiều kích thích độc lập

Phương pháp dựng đặc tính điều chỉnh bằng đặc tính không tải và tam giác đặc tính được trình bày trên hình 1-21 .



Hình 1-21. Xây dựng đặc tính điều chỉnh của máy phát điện kích thích độc lập từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính

Với trị số xác định của $U_0 = U_{dm} = MP$, khi $I = 0$ ta được điểm M ứng với dòng điện kích thích $I_t = OM$. Nếu đặt tam giác đặc tính ABC ứng với tải định mức I_{dm} sao cho đỉnh A nằm trên đặc tính không tải và đỉnh C nằm trên đường thẳng FC (ứng với $U = U_{dm} = C^{te}$) và hạ đường thẳng BN thì đoạn ON cho ta trị số dòng điện kích thích ở tải định mức. Việc chứng minh được tiến hành tương tự như trường hợp dựng đặc tính ngoài ở mục a. Để tìm những điểm khác ta kẻ những đoạn thẳng A'C', A''C'', ..., song song với cạnh AC, nằm giữa đặc tính không tải và đường thẳng CF sau đó hạ những đường thẳng đứng cắt trục hoành tại N', N'', ... Các đoạn ON', ON'', ... sẽ biểu thị các dòng điện kích thích ứng với các trị số của dòng điện i xác định bằng tỉ số giữa các đoạn A'C', A''C'', ... với cạnh huyền AC.

Do ảnh hưởng của bão hoà, đường đặc tính điều chỉnh thu được bằng thí nghiệm trực tiếp có dạng theo đường đứt nét trên hình (1-21).

2. Đặc tính của máy phát điện một chiều kích thích song song

Máy phát điện một chiều kích thích song song có dây quấn kích thích được nối song song với dây quấn phần ứng để có thể tự sinh ra dòng điện kích thích cần thiết mà không cần nguồn điện bên ngoài.

Ta đã biết, khi máy ngừng hoạt động, trong lõi thép cực từ, gông từ còn lại từ dư. Nếu để hở mạch kích thích ($I_t = 0$) và quay máy phát điện đến tốc độ định mức, do có từ thông dư trong dây quấn phần ứng sẽ cảm ứng được suất điện động E và trên cực máy sẽ tạo ra một điện áp

$U = (2 \div 3)\% U_{dm}$. Nếu nối kín mạch kích thích thì trong nó sẽ có dòng điện $I_t = \frac{U}{r_t}$ với r_t là điện trở

của mạch kích thích. Kết quả là sinh ra s.đ.đ $I_t w_t$. Nếu suất điện động này sinh ra từ thông có chiều trùng với từ thông dư thì máy sẽ được tăng kích từ, điện áp đầu cực sẽ tăng và cứ tiếp tục như vậy máy sẽ tiếp tục tự kích thích được. Nếu từ thông sinh ra ngược chiều với từ dư thì máy sẽ bị khử từ, không thể tự kích và tạo ra điện áp được.

Để thấy rõ quá trình tạo ra điện áp của máy phát điện kích thích song song ta viết phương trình điện áp cho mạch vòng kín bao gồm dây quấn kích thích và dây quấn phần ứng. Bỏ qua phản ứng phần ứng rất nhỏ sinh ra bởi dòng điện I_t khi chạy qua dây quấn phần ứng và giả sử rằng hệ số tự cảm của dây quấn kích thích $L_t = C^{te}$, có thể bỏ qua R_r vì nó rất nhỏ so với r_t , ta có:

$$r_t i_t + L_t \frac{di_t}{dt} = E \quad (1-24)$$

với điều kiện ban đầu $t = 0$, $i_t = 0$.

Theo biểu thức trên, s.đ.đ cảm ứng sinh ra trong dây quấn phần ứng phụ thuộc vào dòng điện kích thích i_t và tốc độ quay n của máy. Nếu giả thiết $n = C^{te}$ thì $E = f(I_t)$, đây chính là đặc tính không tải của máy phát điện.

Phương trình vi phân (1-24) có thể giải trên máy tính hoặc tính bằng phương pháp gần đúng. Muốn tính bằng phương pháp gần đúng thì phải biểu thị đặc tính không tải đã cho biết của máy bằng biểu thức giải tích có dạng:

$$E = a_0 + a_1 i_t^1 + \dots + a_n i_t^n \quad (1-25)$$

với $a_0 > 0$, chính là s.đ.đ E_{dur} do từ thông dư sinh ra

Giải hệ phương trình (1-24), (1-25) ta được sự biến đổi của dòng điện i_t từ $i_t = 0$ đến trị số xác lập $i_t = I_t$. Khi dòng điện đó đạt đến trị số xác lập I_t thì $\frac{di_t}{dt} = 0$ và điện áp tạo ra ở đầu máy bằng :

$$r_t I_t = E = U_0 \quad (1-26)$$

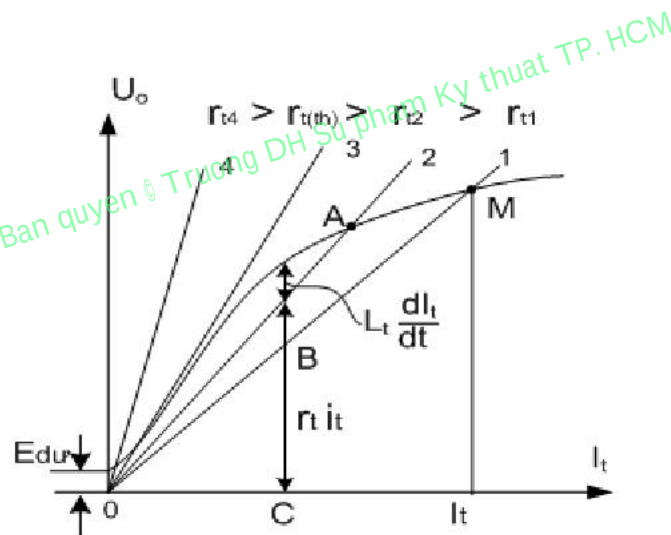
Từ phương trình (1-24), (1-25) ta thấy điều kiện để có nghiệm (hay điều kiện để máy tự kích và tạo ra được điện áp) là :

- Khi $i_t = 0$ trị số $a_o \neq 0$ nghĩa là máy phải có từ dư vì nếu không phương trình (1-24) không có lời giải nào khác $i_t = 0$, nói khác đi là máy không thể tự kích thích được .

- Chiều quay của máy phát phải theo chiều nhất định để sinh ra dòng điện $i_t > 0$ vì nếu $i'_t < 0$ sẽ làm cho $E = 0$, phương trình (1-24) không có lời giải và máy không thể tự kích được .

- Nếu r_t quá lớn, dòng điện I_t xác lập sẽ rất nhỏ, điện áp xác lập bằng E_{dur} của máy .

Điện áp U_0 thành lập được ở đầu máy theo biểu thức (1-26) cũng có thể tìm trên hình (1-22) và đó chính là giao điểm M ứng với trị số $i_t = I_t$ của đặc tính không tải và đường thẳng 1 biểu thị quan hệ $U = i_t r_t$.



Hình 1-22. Điện áp xác lập của máy phát kích thích song song ứng với các trị số khác nhau của r_t

Từ hình (1-22) ta thấy rằng khi $i_t < I_t$ thì đạo hàm :

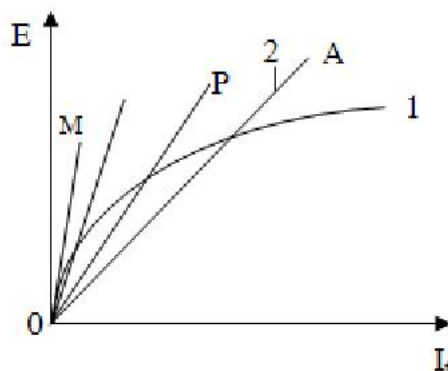
$$L_t \frac{di_t}{dt} = E - r_t i_t > 0$$

Và dòng điện i_t tăng, kết quả là máy sẽ tự kích thích được đến điện áp ứng với giao điểm M ở đó $L_t \frac{di_t}{dt} = 0$ và dòng điện kích thích có trị số xác lập bằng I_t .

Nếu r_t tăng thì đường $U = i_t r_t$ có độ dốc lớn hơn (đường 2), điện áp thành lập sẽ nhỏ hơn. Trị số r_t ứng với đường 3 trùng với đoạn thẳng của đặc tính không tải gọi là điện trở tới hạn $r_{t(th)}$, khi đó

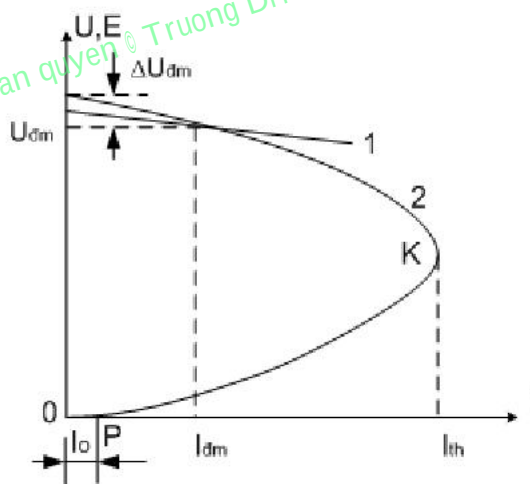
điện áp đầu máy phát sẽ không ổn định. Nếu $r_t > r_{t(th)}$ ta có đường thẳng 4 và điện áp đầu máy bằng s.đ.đ E_{dr} , hay máy không thể tự kích được.

Do tính chất bão hoà của mạch từ, bằng cách tăng r_t ta có thể điều chỉnh được điện áp xác lập ở đầu máy đến trị số nhỏ nhất $U_{min} = (0,65 \div 0,75)U_{dm}$. Trong trường hợp cần điều chỉnh trong phạm vi rộng ứng với $U_{dm}:U_{min} = 5:1$ (hoặc 10:1) cần phải uốn cong đoạn đầu của đặc tính không tải (hình 1-23). Muốn vậy, phải làm cho mạch từ sớm bão hoà bằng cách xẻ rãnh cực từ.



Hình 1-23. Uốn cong phần thẳng của đặc tính không tải của máy phát điện một chiều

a. Đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi $r_t = C^{te}$, $n = C^{te}$.



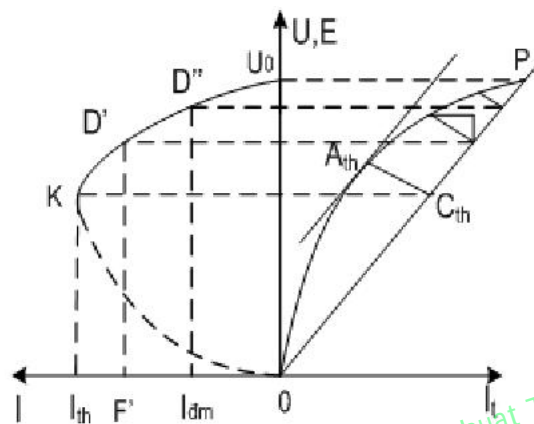
Hình 1-24. Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích song song (2) và kích thích độc lập (1)

Khi tăng tải, điện áp của máy phát điện kích thích song song giảm nhiều hơn điện áp của máy phát điện kích thích độc lập vì ngoài ảnh hưởng của phản ứng phản ứng và điện áp rơi trên R_a như trong máy phát điện kích thích độc lập, trong máy phát điện kích thích song song với s.đ.đ E còn giảm theo dòng điện kích từ I_t . Vì vậy mà độ thay đổi điện áp kích thích song song cũng lớn hơn, thường $\Delta U_{dm} = 10 \div 12\%$.

Điểm đặc biệt của máy phát kích thích song song là dòng điện tải chỉ tăng đến một trị số nhất định $I = I_{th}$, sau đó nếu tiếp tục giảm r_t của tải ở mạch ngoài thì I không tăng mà giảm nhanh đến trị số I_0 xác định bởi từ dư của máy điện và ứng với điểm P.

Sở dĩ như vậy là do máy làm việc trong tình trạng không bão hoà ứng với đoạn thẳng của đường cong từ hoá, dòng I_t giảm làm cho E , U giảm rất nhanh. Điện áp U giảm nhanh hơn I_t làm cho dòng điện tải I giảm đến trị số I_0 . Như vậy, sự cố ngắn mạch ở đầu máy phát kích thích song song không gây nguy hiểm như trường hợp máy phát kích thích độc lập.

Cách thành lập đặc tính ngoài từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính tiến hành như máy phát kích thích độc lập. Điều khác cơ bản là ở máy phát kích thích độc lập $I_t = \text{const}$, còn ở đây I_t phụ thuộc vào U và đường $U = r_t I_t$ là đường OP qua gốc tọa độ (hình 1-25).



Hình 1-25. Xây dựng đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích song song bằng đặc tính không tải và tam giác đặc tính

Tam giác đặc tính ABC ở đây sẽ tịnh tiến trong vùng giới hạn giữa đặc tính không tải và đường OP, trong khi ở máy phát kích thích độc lập, trong vùng giới hạn giữa đặc tính không tải và đường thẳng đứng PP' (hình 1-19).

b. Đặc tính điều chỉnh $I_t = f(I)$ khi $U = C^{te}$, $n = C^{te}$.

Đặc tính điều chỉnh của máy phát kích thích song song giống như ở máy phát kích thích độc lập. Bởi vì, đối với bản thân máy phát việc điều chỉnh dòng điện kích thích để giữ điện áp không đổi khi tải thay đổi không phụ thuộc vào việc dòng điện kích thích được lấy từ đâu - từ một nguồn khác bên ngoài hay từ đầu cực của máy. Điều cần chú ý là ở máy phát kích thích song song khi tăng tải, điện áp sụt nhiều hơn nên mức độ tăng dòng điện kích thích phải nhiều hơn, do đó đặc tính điều chỉnh sẽ dốc hơn.

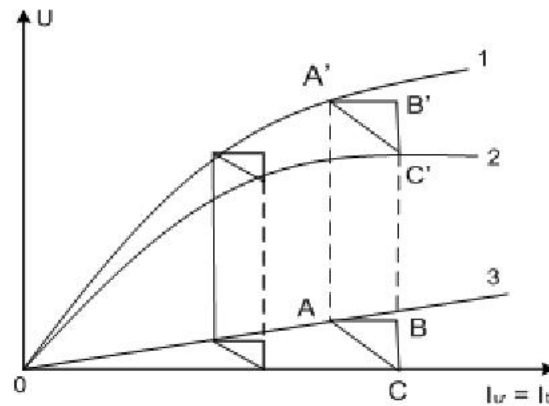
3. Đặc tính của máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp:

Trong máy phát kích thích nối tiếp, dây quấn kích thích được mắc nối tiếp với dây quấn phần ứng. Cũng vì vậy mà số vòng dây của dây quấn kích thích ít hơn nhiều so với số vòng dây của dây quấn phần ứng của máy phát kích thích song song, nhưng tiết diện của dây lớn hơn một cách tương ứng.

Máy phát kích thích nối tiếp thuộc loại tự kích thích, cần phải có từ dư và phải được quay theo chiều quy định để từ thông ban đầu trùng với từ dư, hơn nữa mạch ngoài phải khép kín qua 1 điện trở, nói khác đi là máy chỉ được kích thích khi có tải. Vì $I_t = I_r = I$ nên khi $n = C^{te}$ chỉ còn 2 đại lượng

biến đổi là U và I . Do đó máy phát điện này chỉ có 1 đặc tính ngoài $U = f(I)$, còn các đặc tính khác chỉ có thể thành lập được theo sơ đồ kích thích độc lập.

Đặc tính ngoài (đường cong 2) và phương pháp suy từ tam giác đặc tính được trình bày trên hình 1-26.



Hình 1-26. Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp

Trên hình, đường cong 1 là đặc tính không tải, đường 3 là quan hệ $IR_u = f(I)$.

Tính tiến tam giác đặc tính ABC ứng với I_{dm} đến vị trí $A'B'C'$ sao cho A' nằm trên đặc tính không tải thì C' sẽ nằm trên đặc tính ngoài. Thay đổi các cạnh của tam giác đặc tính ứng với trị số dòng điện I và tiến hành tương tự như trên ta được toàn bộ đường đặc tính ngoài.

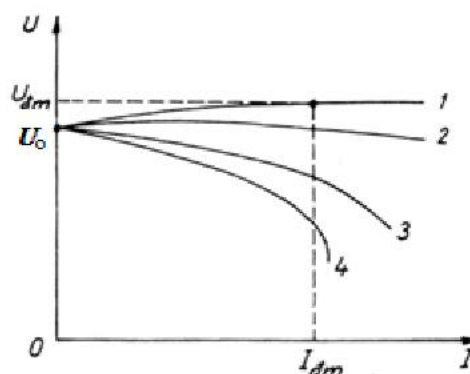
Từ đặc tính ngoài ta thấy điện áp của máy phát kích thích nối tiếp thay đổi rất nhiều theo tải nên thực tế loại máy này rất ít được sử dụng.

4. Đặc tính của máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp

Máy phát điện kích thích hỗn hợp có đồng thời hai dây quấn kích thích song song và nối tiếp cho nên trong nó tập hợp các tính chất của 2 loại máy này. Tùy theo cách nối, s.d.đ của hai dây quấn kích thích có thể cùng chiều hoặc ngược chiều nhau.

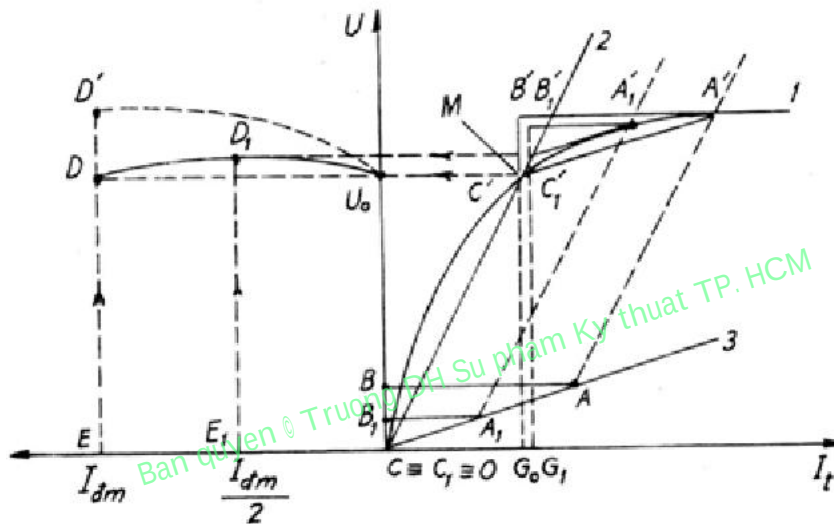
Trường hợp sau rất ít gặp và chỉ áp dụng với những mục đích đặc biệt (như máy phát để hàn). Khi nối thuận hai dây quấn hai dây quấn kích thích, dây quấn song song đóng vai trò chính còn dây quấn nối tiếp đóng vai trò bù lại tác dụng của phản ứng phần ứng và điện áp rơi trên R_u , nhờ đó mà máy có khả năng điều chỉnh tự động được điện áp trong 1 phạm vi tải nhất định.

a. Đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi $n = C^{te}$



Hình 1-27. Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp

Phương pháp dựng đặc tính ngoài từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính giống trường hợp máy phát kích thích song song.

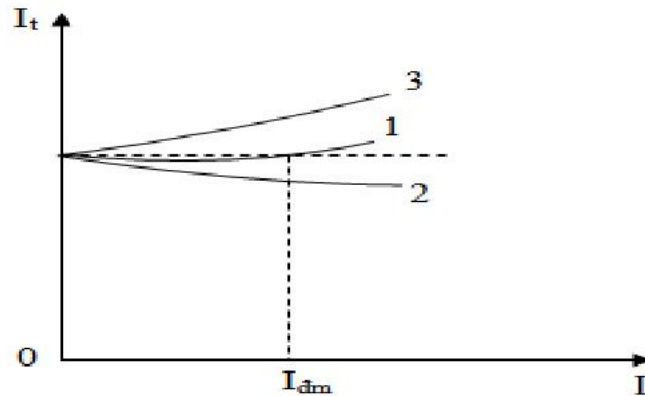


Hình 1-28. Xây dựng đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp bằng đặc tính không tải và tam giác đặc tính

Trên hình (1-28), đường cong 1 biểu thị đặc tính không tải, đường 2 – quan hệ $U = I_{\text{r}} r_{\text{t}}$ và đường 3 - điện áp rơi trên điện trở phần ứng $I_{\text{r}} R_{\text{r}}$. Tam giác đặc tính trên hình ứng với trường hợp bù thừa (xem hình 1-17). Cho $A_1 B_1 C_1$ là tam giác đặc tính ứng với $I = \frac{I_{\text{dm}}}{2}$. Tịnh tiến $A_1 B_1 C_1$ theo đường thẳng 2 sao cho đỉnh C_1 chiếm vị trí C'_1 trên đường thẳng 2 và đỉnh A_1 chiếm vị trí A'_1 trên đường 1 thì đoạn $C'_1 G_1 = D_1 E_1$ là điện áp ứng với dòng điện tải bằng $\frac{I_{\text{dm}}}{2}$. Nếu ABC là tam giác đặc tính ứng với $I = I_{\text{dm}}$ thì tương tự ta có $C'G = DE$ là điện áp ứng với tải định mức. Nếu đỉnh C' trùng với M – giao điểm của đường cong 1 và đường thẳng 2 thì $U_{\text{dm}} = U_0$. Khi cần bù điện áp rơi trên đường dây tải điện để giữ cho hộ dùng điện nhận được điện áp định mức phải tăng cường dây quấn kích thích nối tiếp sao cho điện áp đầu cực máy phát bằng đoạn $D'E$ ứng với đặc tính ngoài có dạng theo đường nét đứt.

b. Đặc tính điều chỉnh $I_t = f(I)$ khi $U = C^{te}$, $n = C^{te}$.

Đặc tính điều chỉnh của máy phát kích thích hỗn hợp trình bày trên hình 1-29, trong đó đường cong 1 là đặc tính điều chỉnh khi nối thuận hai dây quấn kích thích và bù bình thường, đường cong 2 – bù thừa và đường cong 3 – khi nối ngược.



Hình 1-29. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp

III. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU LÀM VIỆC SONG SONG

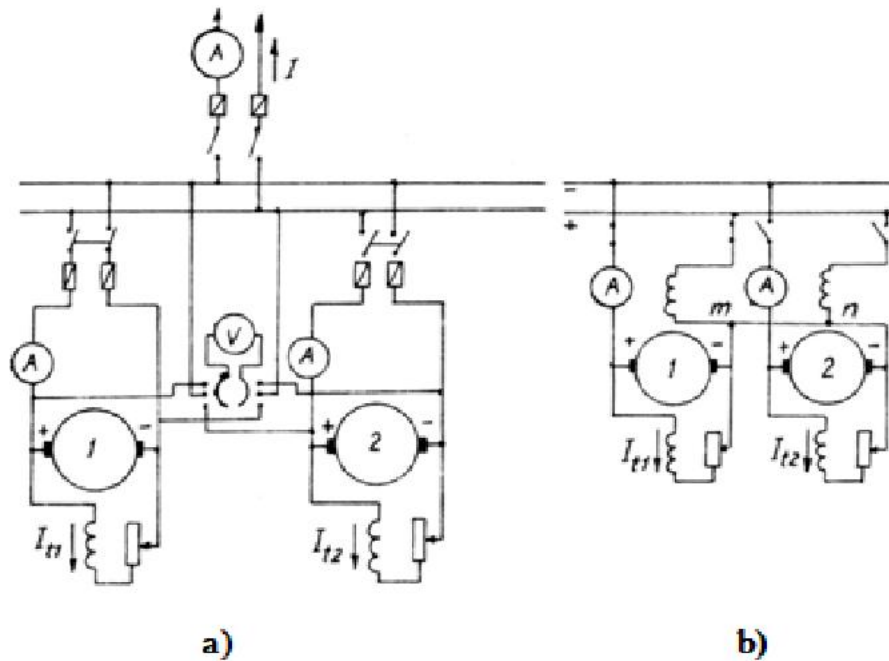
Những máy phát điện được ghép làm việc ở cùng một đường dây phân phối điện năng là một đòi hỏi thực tế nhằm bảo đảm an toàn cung cấp điện và sử dụng kinh tế nhất các máy phát. Với một hệ thống máy phát như vậy, ví dụ khi tải giảm, một hoặc một số máy phát sẽ ngừng hoạt động để các máy phát còn lại làm việc với công suất định mức, do đó hiệu suất sẽ cao. Đó là sự làm việc song song của các máy phát.

Dưới đây ta sẽ xét các điều kiện cần thiết để ghép các máy phát làm việc song song và sự phân phối cũng như chuyển công suất giữa các máy phát.

1. Điều kiện làm việc song song của máy phát điện một chiều

Giả sử có hai máy phát điện một chiều I và II, trong đó máy I đã làm việc với một tải I nào đó. Muốn ghép máy phát II vào làm việc song song với máy phát I cần phải giữ đúng những điều kiện sau :

- Điều kiện cùng cực tính, nghĩa là phải nối cực dương của máy II vào cực dương của thanh góp và cực âm vào cực âm của thanh góp.
- S.d.đ của máy phát II phải bằng điện áp U của thanh góp.
- Nếu những máy làm việc song song thuộc loại máy phát kích thích hỗn hợp thì cần có điều kiện thứ 3 : nối dây cân bằng giữa các điểm m và n như ở hình (1-30).



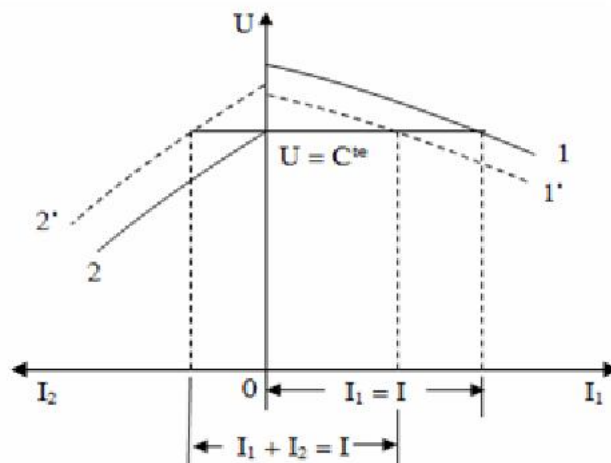
Hình 1-30. Máy phát điện một chiều làm việc song song :

a) máy phát kích thích song song; b) máy phát kích thích hỗn hợp

Điều kiện thứ nhất cần phải đảm bảo thật chặt chẽ, vì nếu không, sau khi đóng cầu dao ghép song song hai máy phát I và II sẽ bị nối nối tiếp nhau thành mạch kín không qau điện trở của tải, gây nên tình trạng ngắn mạch của cả 2 máy. Nếu điều kiện thứ 2 không thoả mãn thì sau khi ghép vào, máy II hoặc phải nhận tải đột ngột (nếu $E > U$) và làm cho điện áp của lưới điện thay đổi hoặc làm việc theo chế độ động cơ (nếu $E < U$). Sự cần thiết của điều kiện thứ 3 có thể giải thích như sau : nếu không có dây cân bằng thì sau khi ghép song song nếu đột nhiên vì một lí do nào đó tốc độ của 1 trong 2 máy, ví dụ của máy I tăng thì s.d.đ E_1 tăng do đó I_1 tăng. Vì các dây quấn kích thích song song và nối tiếp của máy phát kích thích hỗn hợp thường được nối thuận nên khi I_1 tăng, E_1 càng tăng và cứ tiếp tục như vậy khiến cho máy I sẽ giành lấy hết tải và bị quá tải, đồng thời buộc máy II giảm dần tải và chuyển từ chế độ máy phát sang chế độ động cơ. Nếu có dây cân bằng thì sẽ tránh được hiện tượng trên, vì dòng điện phản ứng của máy I tăng sẽ được phân phối cho dây quấn kích thích nối tiếp của cả 2 máy khiến cho s.d.đ của cả 2 máy đều tăng.

2. Phân phối và chuyển tải giữa các máy phát điện:

Sau khi ghép máy phát điện II làm việc song song với máy phát điện I, do $E_2 = U$ nên máy II chưa tham gia phát điện và toàn bộ tải vẫn do máy I đảm nhiệm ($I_1 = I$, $I_2 = 0$). Lúc đó đặc tính ngoài của 2 máy phát điện được trình bày như các đường 1 và 2 trên hình (1-31).



Hình 1-31. Phân phối tải giữa các máy phát điện

Muốn máy II nhận tải phải tăng $E_2 > U$ và như vậy đặc tính ngoài của nó sẽ tịnh tiến lên trên (đường nét đứt 2'). Vì dòng điện tải tổng I bên ngoài không đổi nên muốn giữ cho điện áp U của mạng điện không đổi thì cùng với việc tăng E_2 phải đồng thời giảm thích đáng E_1 sao cho đặc tính ngoài của máy I tịnh tiến xuống dưới đến vị trí thích đáng (đường nét đứt 1'), sao cho điện áp $U = C^{te}$ ta có $I_1 + I_2 = I$. Việc thay đổi E_1 và E_2 được thực hiện bằng cách thay đổi các dòng điện kích thích từ I_{t1} và I_{t2} của mỗi máy hoặc bằng cách thay đổi tốc độ quay của các động cơ sơ cấp kéo các máy phát đó. Trong thực tế vận hành, người ta thường dùng phương pháp thay đổi dòng điện kích thích để phân phối lại tải giữa các máy phát. Tuy nhiên cả 2 phương pháp trên đều khiến cho công suất của động cơ thay đổi vì lúc đó bộ điều chỉnh của chúng sẽ tác động làm thay đổi lượng nhiên liệu đưa vào các động cơ sơ cấp.

Như vậy nếu muốn chuyển tải hoàn toàn từ máy phát I sang máy phát II chỉ việc tiếp tục tăng E_2 và giảm E_1 đồng thời cho đến khi $E_1 = U$, lúc đó máy phát II hoàn toàn đảm nhiệm tải ($I_2 = I$) và có thể tách máy I ra khỏi lưới điện. Chú ý rằng nếu giảm I_{t1} quá nhiều thì $E_1 < U$ và máy I sẽ làm việc ở chế độ động cơ điện tiêu thụ công suất điện lấy từ máy phát II. Nếu động cơ sơ cấp là động cơ nhiệt hoặc động cơ thủy lực thì không cho phép làm việc ở chế độ đó, vì sẽ gây hư hỏng động cơ sơ cấp. Việc điều chỉnh các dòng điện kích thích I_{t1} và I_{t2} phải tiến hành rất chậm và liên tục vì một sự thay đổi nhỏ của các dòng điện đó sẽ làm cho dòng điện I_1 và I_2 thay đổi rất nhiều.

Từ hình (1-31) ta thấy rằng khi làm việc song song trong điều kiện lúc không tải s.d.đ E bằng nhau và kích thích từ không đổi, thì lúc có tải máy phát điện nào có đặc tính ngoài cứng (độ dốc nhỏ) sẽ nhận nhiều tải (trường hợp máy I). Ngược lại, máy phát điện có đặc tính ngoài mềm (độ dốc lớn) sẽ nhận ít tải (trường hợp máy II). Tình trạng làm việc như vậy không lợi, vì vậy để lợi dụng tốt công suất máy cần phải đảm bảo cho đặc tính ngoài của các máy phát điện một chiều làm việc song song biểu thị trong hệ đơn vị tương đối hoàn toàn trùng nhau. Trong trường hợp đó tải sẽ luôn luôn tự động phân phối giữa các máy phát theo tỉ lệ công suất.

VÍ DỤ

Ví dụ 1 : cho một máy phát điện một chiều kích thích song song 25 kW, 1800 vg/ph, $R_u = 0,09 \Omega$, điện áp giáng trên chổi than $\Delta U_{tx} = 2$ V, phản ứng phản ứng lúc tải đầy ($I_u = I_{dm}$, bỏ qua I_t) tương đương với dòng điện $I_t = 0,05$ A. Đường cong từ hoá ứng với tốc độ định mức như sau

I_t (A)	1	1,5	2	3	4	5	6
U_o (V)	134	180	209	237	256	268	279

Tính :

- Điện trở của mạch kích từ r_t .
- Điện áp không tải (điện trở mạch kích từ giữ không đổi).

Giải

a. Khi tải đầy :

$$I_{dm} = I_u = \frac{2500}{230} = 108,7 \text{ A}$$

$$E_u = U + I_u R_u = 230 + 108,7 \cdot 0,09 + 2 = 241,8 \text{ V}$$

Từ đường cong từ hoá suy ra : $I_t = 3,25$ A.

Tuy nhiên để khắc phục phản ứng phản ứng, tên thực tế ta phải có :

$$I'_t = 3,25 + 0,05 = 3,3 \text{ A}$$

$$\text{Vậy : } r_t = \frac{U}{I'_t} = \frac{230}{3,3} = 69,6 \Omega$$

b. Điện áp lúc không tải U_0 là giao điểm của đường thẳng $U_0 = r_t I_t = 69,6 I_t$ và đặc tính không tải. Bằng phương pháp vẽ ta suy ra giao điểm đó ứng với $I_t = 3,56 \text{ A}$ và $U_0 = 247,6 \text{ V}$.

Ví dụ 2 : cho một máy phát điện kích thích độc lập có các số liệu lúc tải đầy $U = 220 \text{ V}$, $I_t = 2,5 \text{ A}$, $A = C^{te}$, $I_{ur} = 10 \text{ A}$, $n = 1000 \text{ vg/ph}$. số vòng dây của dây quấn kích thích $w_t = 850$.

Đường cong từ hoá ở 750 vg/ph có các trị số :

$I_t (\text{A})$	1,0	1,6	2	2,5	2,6	3	3,6	4,4
$U_0 (\text{V})$	78	120	150	176	180	193,5	206	225

Tính :

- Điện áp không tải ở $n = 1000 \text{ vg/ph}$
- Số ampe-vòng khử từ của phản ứng phần ứng khi tải đầy .
- Điện áp đầu cực khi quá tải 25%.

Giải

a. Vì s.đ.đ tỉ lệ với tốc độ nên :

$$\frac{E_{(1000)}}{E_{(750)}} = \frac{1000}{750}$$

$$E_{(1000)} = 176 \frac{1000}{750} = 235 \text{ V}$$

b. Sức điện động của máy phát khi tải đầy ở tốc độ 1000 vg/ph :

$$E_{ur} = U + I_{ur} R_{ur} = 220 + 10 \cdot 0,4 = 224 \text{ V}$$

Ở tốc độ 750 vg/ph :

$$E_{(750)} = 750 \frac{224}{1000} = 168 \text{ V}$$

Từ đường cong từ hoá ta tìm được dòng điện kích từ tương ứng $I_t = 2,35 \text{ A}$.

Vậy số ampe-vòng khử từ bằng :

$$850 \cdot (2,5 - 2,35) = 127,5 \text{ A.vg}$$

c. Khi quá tải 25 % phản ứng phần ứng sẽ tăng 25% tương ứng :

$$I_t = (2,5 - 2,35) \cdot 1,25 = 0,1875 \text{ A}$$

Dòng điện kích thích có hiệu quả bằng :

$$I_t = 2,5 - 0,1875 = 2,315 \text{ A}$$

Từ đường cong từ hoá suy ra $E_{(750)} = 165 \text{ V}$.

Do đó :

$$E_{(1000)} = 1000 \frac{165}{750} = 220 \text{ V}$$

Điện áp đầu cực sẽ bằng :

$$U = E - I_{ur} R_{ur} = 220 - (10 \cdot 1,25) \cdot 0,4 = 215 \text{ V}$$

CÂU HỎI :

1. Khi lấy đặc tính không tải, trong quá trình tăng điện áp, có nên giảm dòng điện kích từ rồi tăng tiếp tục không ? Tại sao?
2. Với một điện trở nhỏ hơn điện trở tới hạn $r_{t(th)}$ nếu $n < n_{dm}$ thì trong quá trình tự kích thích của máy phát điện kích thích song song, điện áp đầu cực của máy sẽ ra sao. Trong trường hợp như thế nào máy sẽ không thể tự kích được ?
3. Giải thích vì sao các đặc tính suy ra từ tam giác đặc tính hơi khác các đặc tính có được từ thí nghiệm trực tiếp và có dạng như các đường nét đứt trên hình vẽ ?
4. Tìm các nguyên nhân khiến máy phát điện kích thích song song không tự kích và tạo ra được điện áp ?
5. Nếu máy phát điện kích thích song song không tự kích thích được do mất từ dư thì giải quyết như thế nào để tạo ra được điện áp .
6. Khi tải chung không đổi nếu tăng kích thích của máy phát điện I mà không giảm kích thích của máy phát điện II làm việc song song với máy phát điện I thì tải sẽ phân phối lại giữa 2 máy như thế nào ? Điện áp của lưới lúc đó ra sao ?

BÀI TẬP

1. Cho 1 máy phát điện một chiều có $P_{dm} = 215 \text{ kW}$, $U_{dm} = 115 \text{ V}$ và $n = 450 \text{ vg/ph}$. Điện trở của dây quấn phần ứng và cực từ phụ bằng $0,002 \Omega$, $2 \Delta U_{tx} = 2 \text{ V}$. Các số liệu của đặc tính không tải và đặc tính ngắn mạch như sau :

$I_t \text{ (A)}$	5	10	15	20	25	30	35
$U_o \text{ (V)}$	49	87	108	119,3	125,2	129,5	135

$I_t \text{ (A)}$	0	6
$I_{nm} \text{ (A)}$	0	I_{dm}

- a. Vẽ tam giác ngắn mạch
- b. Dùng kích thích ngoài sao cho máy đầy tải $U = U_{dm}$, $I = I_{dm}$, $n = n_{dm}$. Nếu bỏ tải đi, tính $\Delta U\%$?
- c. Dùng kích thích ngoài khiến cho khi không tải $U = U_{dm}$ giữ $I_t = C^{te}$ thì khi $I = I_{dm}$, $\Delta U\%$ bằng bao nhiêu ?

Đáp số : b. 10 %
c. 18,2 %.

2. Hai máy phát điện kích thích song song có các số liệu sau :

Máy	$P_{dm} \text{ (kW)}$	$U_o \text{ (V)}$	$N \text{ (vg/ph)}$	U_{dm}
I	20	1000	230	210
II	15	1200	240	210

Giả sử quan hệ $U = f(I)$ là đường thẳng . Tính :

- a. Công suất của mỗi máy khi tải tổng là 20kW và điện áp lúc đó ?
- b. Tải tổng lớn nhất với điều kiện không máy nào bị quá tải ?

Đáp số : a. $P_1 = P_2 = 10 \text{ kW}$; $U = 220 \text{ V}$

b. $\sum P = 35 \text{ kW}$

3. Cho hai máy phát điện một chiều làm việc song song với tải tổng $P = 100 \text{ kW}$. Sức điện động của chúng $E_1 = 250 \text{ V}$, $E_2 = 248 \text{ V}$, dòng kích từ $I_{t1} = I_{t2} = 21 \text{ A}$. Điện trở của dây quấn phần ứng $R_{u1} = R_{u2} = 0,05 \Omega$. Hãy xác định điện áp chung và công suất của mỗi máy .

Đáp số : $U = 237,42$

$P_1 = 45,25 \text{ kW}$

$P_2 = 54,75 \text{ kW}$

§ 1.4 MỞ MÁY VÀ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

I. Mở máy động cơ điện một chiều

Để mở máy động cơ điện một chiều được tốt, phải thực hiện được những yêu cầu sau:

+ Mômen mở máy (hay khởi động) M_k phải có trị số cao nhất có thể có để hoàn thành quá trình mở máy, nghĩa là đạt được tốc độ quy định trong thời gian ngắn nhất.

+ Dòng mở máy (hay khởi động) I_k phải được hạn chế đến mức nhỏ nhất để tránh cho dây quấn khỏi bị cháy hoặc ảnh hưởng đến đổi chiều.

Trong khuôn khổ những yêu cầu trên, người ta áp dụng 3 phương pháp mở máy sau đây :

- a. Mở máy trực tiếp ($U = U_{dm}$)
- b. Mở máy nhờ biến trở
- c. Mở máy bằng điện áp thấp ($U < U_{dm}$)

Trong tất cả mọi trường hợp, khi mở máy bao giờ cũng phải đảm bảo có Φ_{max} nghĩa là trước khi đóng động cơ vào nguồn điện, biến trở điều chỉnh dòng điện kích thích phải ở vị trí ứng với trị số nhỏ nhất để sau khi đóng cầu dao động cơ được kích thích tới mức tối đa và theo biểu thức (1-6) mômen ứng với mỗi trị số của dòng điện I_r luôn luôn lớn nhất. Hơn nữa phải đảm bảo không để xảy ra đứt mạch kích thích và trong trường hợp đó $\Phi = 0$, $M = 0$, động cơ không quay được, do đó $E_r = 0$ và theo biểu thức (1-21) dòng điện I_r sẽ rất lớn làm cháy vành góp và dây quấn.

Khi mở máy, chiều quay của động cơ điện một chiều phụ thuộc vào chiều của mômen. Để thay đổi chiều của mômen có thể dùng 2 phương pháp là : đổi chiều dòng điện trong phần ứng hoặc đổi chiều từ thông, cụ thể là dòng điện kích thích. Việc đó có thể thực hiện được bằng cách trao đổi cách nối các đầu dây quấn phần ứng hoặc các đầu dây quấn kích thích trước lúc mở máy. Vấn đề đổi chiều quay của động cơ điện lúc đang quay về nguyên tắc cũng có thể thực hiện được bằng cả 2 phương pháp trên.

Tuy nhiên, trên thực tế chỉ được dùng phương pháp đổi chiều dòng điện phần ứng I_r vì dây quấn kích thích có nhiều vòng dây do đó hệ số tự cảm L_t rất lớn và việc thay đổi chiều dòng điện kích thích dẫn đến sự xuất hiện s.d.đ tự cảm rất cao, gây ra quá điện áp đánh thủng cách điện của dây quấn kích thích.

Sau đây ta xét các phương pháp mở máy động cơ điện một chiều :

1. Mở máy trực tiếp:

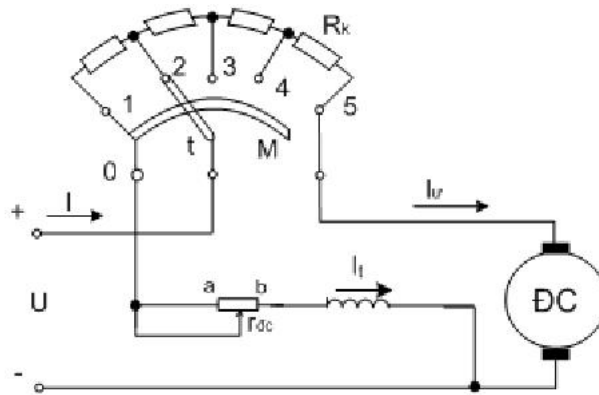
Phương pháp này được thực hiện bằng cách đóng thẳng động cơ điện vào nguồn. Như vậy lúc rôto chưa quay s.d.đ $E_r = 0$ và dòng điện qua phần ứng bằng :

$$I_r = \frac{U - E_r}{R_r} = \frac{U}{R_r}$$

Vì trong thực tế $R_{r*} = 0,02 \div 0,1$ nên với điện áp định mức $U_* = 1$ dòng điện I_r sẽ rất lớn và bằng $(5 \div 10) I_{dm}$ cho nên phương pháp mở máy trực tiếp chỉ áp dụng được cho các động cơ điện có công suất vài trăm oát. Ở cỡ máy này R_r tương đối lớn do đó khi mở máy $I_r \leq (4 \div 6) I_{dm}$. Trong những trường hợp đặc biệt mới cho phép mở máy trực tiếp đối với những động cơ có công suất vài kW.

2. Mở máy nhờ biến trở:

Để tránh nguy hiểm cho động cơ vì dòng điện mở máy quá lớn, người ta dùng biến trở mở máy R_k , gồm có 1 số điện trở nối tiếp khác nhau và đặt trên mạch phần ứng (hình 1-32).

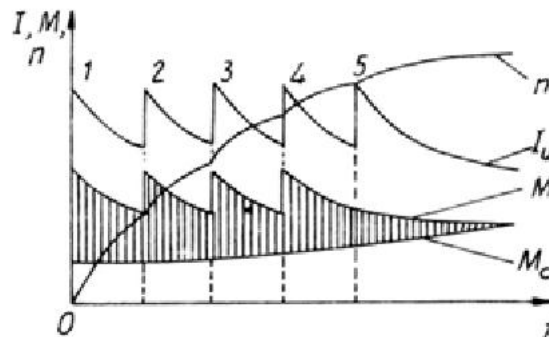


Hình 1-32. Sơ đồ mở máy động cơ điện một chiều kích thích song song bằng biến trở.

Như vậy trong quá trình mở máy ta có :

$$I_{ur} = \frac{U - E_i}{R_{ur} + R_{ki}} \text{ với "i" là chỉ số ứng với thứ tự các bậc của điện trở .}$$

Biến trở mở máy được tính sao cho dòng điện mở máy $I_k = (1,4 \div 1,7)I_{dm}$ đối với các động cơ lớn và $I_k = (2 \div 2,5)I_{dm}$ đối với các động cơ nhỏ. Trước lúc mở máy tiếp điểm T nằm tại vị trí 0 và con chạy của biến trở ở mạch kích thích ở vị trí b ($r_{dc} = 0$). Khi bắt đầu mở máy, gạt T về vị trí 1. Nhờ cung đồng M, dây quấn kích thích được đặt dưới toàn bộ điện áp và từ thông có trị số cực đại $\Phi = \Phi_{max}$. Nếu mômen do động cơ điện sinh ra lớn hơn mômen cản ($M > M_c$) rôto bắt đầu quay và s.d.đ sẽ tăng tỉ lệ với tốc độ quay n. Do sự xuất hiện và tăng lên của E, dòng điện phản ứng I_r sẽ giảm theo, M giảm khiến n tăng chậm hơn (hình 1-33).



Hình 1-33. Các quan hệ I, M và n đối với thời gian khi mở máy động cơ

Khi I_r giảm đến trị số $(1,1 \div 1,3)I_{dm}$ ta gạt T đến vị trí 2. Vì một bậc điện trở bị loại trừ, I_r lập tức tăng đến giới hạn trên của nó kéo theo M, n, E tăng. Sau đó I, M lại giảm theo quy luật trên. Lần lượt chuyển T đến các vị trí 3, 4, 5. Quá trình trên cứ lặp lại cho đến khi máy đạt đến tốc độ $n = n_{dm}$ thì R_k cũng được loại trừ hoàn toàn và động cơ làm việc với toàn bộ điện áp.

Sự biến thiên của M, I, n trong quá trình mở máy trình bày trên hình (1-33) cho thấy mỗi khi loại một bậc điện trở, I và M tăng với hằng số thời gian $T_{ur} \approx 0$ vì hệ số tự cảm của phần ứng rất bé. Trái lại sự giảm dần của I và M xảy ra chậm chạp vì phụ thuộc vào sự tăng s.d.đ E hay tốc độ n, nghĩa là phụ thuộc vào hằng số thời gian T_{co} rất lớn của cả khối quay.

Số bậc của điện trở mở máy và điện trở của mỗi bậc được thiết kế sao cho dòng điện mở máy cực đại và cực tiểu ở mỗi bậc đều như nhau để đảm bảo cho quá trình mở máy được tốt nhất.

3. Mở máy bằng điện áp thấp ($U_k < U_{dm}$)

Phương pháp này đòi hỏi phải dùng 1 nguồn điện độc lập có thể điều chỉnh điện áp được để cung cấp cho phần ứng của động cơ, trong khi đó mạch kích thích phải được đặt dưới điện áp $U = U_{dm}$ của 1 nguồn khác.

Đây là phương pháp thường dùng hơn cả trong việc mở máy các động cơ điện công suất lớn để ngoài ra còn kết hợp với việc điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp.

II. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều

$$\text{Từ biểu thức } E = C_e \Phi n \Rightarrow n = \frac{E}{C_e \Phi} = \frac{U - I_a R_a}{C_e \Phi} \quad (1-27)$$

mà $M = C_M \Phi I_a$ nên ta có :

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a M}{C_M C_e \Phi^2} \quad (1-28)$$

Từ biểu thức (1-28) ta thấy rằng việc điều chỉnh tốc độ của động cơ điện một chiều có thể thực hiện được bằng cách thay đổi Φ , R_a và U .

- Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi Φ được áp dụng tương đối phổ biến, có thể thay đổi được tốc độ liên tục và kinh tế. Trong quá trình điều chỉnh hiệu suất $\eta = C^{te}$ vì sự điều chỉnh dựa trên việc tác dụng lên mạch kích thích có công suất rất nhỏ so với công suất động cơ. Chú ý rằng bình thường động cơ làm việc ở chế độ định mức với kích thích tối đa ($\Phi = \Phi_{max}$) nên chỉ có thể điều chỉnh theo chiều hướng giảm Φ , tức là điều chỉnh tốc độ trong vùng trên tốc độ định mức và giới hạn điều chỉnh tốc độ bị hạn chế bởi các điều kiện cơ khí và đổi chiều của máy.

- Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách thêm điện trở phụ vào mạch phần ứng để tăng R_a chỉ cho phép điều chỉnh tốc độ quay trong vùng dưới tốc độ quay định mức và luôn kèm theo tổn hao năng lượng trên điện trở phụ, làm giảm hiệu suất của động cơ điện. Vì vậy phương pháp này chỉ áp dụng ở động cơ điện có công suất nhỏ và trên thực tế thường dùng ở động cơ điện trong cần trục.

- Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp cũng chỉ cho phép điều chỉnh tốc độ quay dưới tốc độ định mức vì không thể nâng cao điện áp hơn điện áp định mức của động cơ điện. Phương pháp này không gây thêm tổn hao trong động cơ điện nhưng đòi hỏi phải có nguồn riêng có điện áp điều chỉnh được.

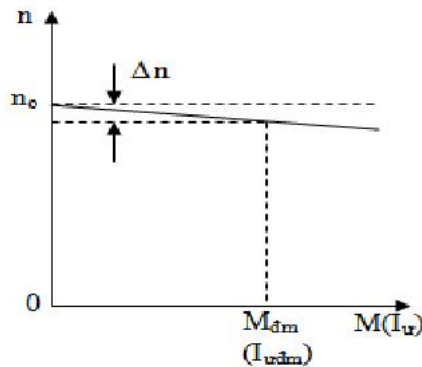
Sau đây ta sẽ xét đặc tính cơ và cách điều chỉnh tốc độ của từng loại động cơ điện:

1. Động cơ điện kích thích song song hoặc kích thích độc lập:

Với những điều kiện $U = C^{te}$, $I_t = C^{te}$ khi M (hoặc I_a) thay đổi, từ thông Φ của động cơ điện hầu như không đổi, vì thực ra ảnh hưởng làm giảm bớt từ thông của phản ứng ngang trục của phần ứng rất nhỏ cho nên biểu thức (1-28) có thể viết dưới dạng :

$$n = n_o - \frac{R_u M}{k} \quad (1-29)$$

Và đặc tính cơ của động cơ điện kích thích song song là 1 đường thẳng như hình (1- 34). Đường đặc tính cơ đó ứng với trường hợp trên mạch của phần ứng không có điện trở phụ và được gọi là đặc tính cơ tự nhiên .

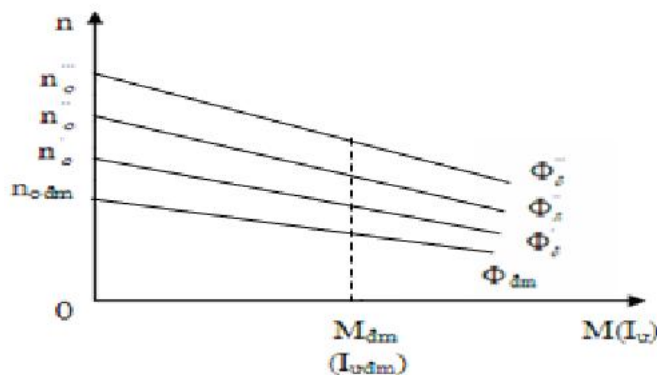


Hình 1- 34. Đặc tính cơ (và đặc tính tốc độ) tự nhiên của động cơ điện một chiều kích thích song song

Do R_u rất nhỏ nên khi tải thay đổi từ thông đến định mức, tốc độ giảm rất ít (khoảng $2 \div 3\%$ tốc độ định mức) cho nên đặc tính cơ tự nhiên của động cơ điện kích thích song song rất cứng. Với đặc tính cơ như vậy, động cơ điện kích thích song song được dùng trong trường hợp tốc độ hầu như không đổi khi tải thay đổi (máy cắt kim loại ...).

a. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông Φ :

Nếu tăng điện trở $r_{đc}$ trên mạch kích thích từ (hình 1-32) ứng với các trị số khác nhau của điện 3 kích thích ta có các đặc tính cơ tương ứng như trên hình (1-35) .



Hình 1-35. Đặc tính cơ (và đặc tính tốc độ) của động cơ điện một chiều kích thích song song với những dòng điện kích thích khác nhau

Các đường đó có n_o lớn hơn $n_{o dm}$ và có độ nghiêng khác nhau , giao nhau trên trục hoành tại điểm ứng với dòng điện rất lớn $I_u = \frac{U}{R_u}$ theo điều kiện $n = 0$ của các biểu thức (1-29) hoặc (1-27).

Đường thấp nhất trên hình ứng với từ thông Φ_{dm} . Giao điểm của đường mômen cân của tải $M_c = f(n)$ với các đường trên cho biết tốc độ xác lập ứng với các trị số khác nhau của từ thông .

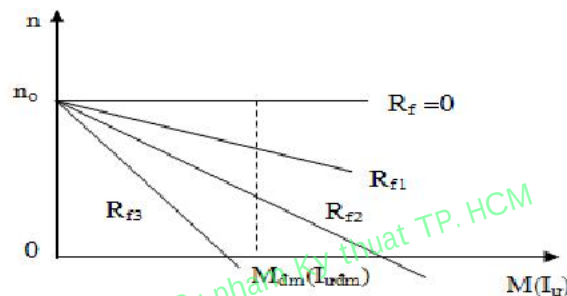
Do điều kiện đổi chiều, các động cơ thông dụng hiện nay có thể điều chỉnh tốc độ quay bằng phương pháp này trong giới hạn 1 : 2 . Cũng có thể sản xuất những động cơ giới hạn điều chỉnh 1 : 5 thậm chí đến 1 : 8 nhưng phải dùng những phương pháp khống chế đặc biệt. Do đó cấu tạo và công nghệ chế tạo phức tạp khiến cho giá thành của máy tăng lên .

b. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ R_f trên mạch phản ứng:

Nếu nối thêm điện trở phụ R_f vào mạch phản ứng thì biểu thức (1-29) trở thành :

$$n = n_o - \frac{(R_o + R_f)M}{k} \quad (1-30)$$

Hình (1- 36) trình bày các đặc tính cơ ứng với các trị số khác nhau của R_f , trong đó ứng với $R_f = 0$ là đặc tính cơ tự nhiên.

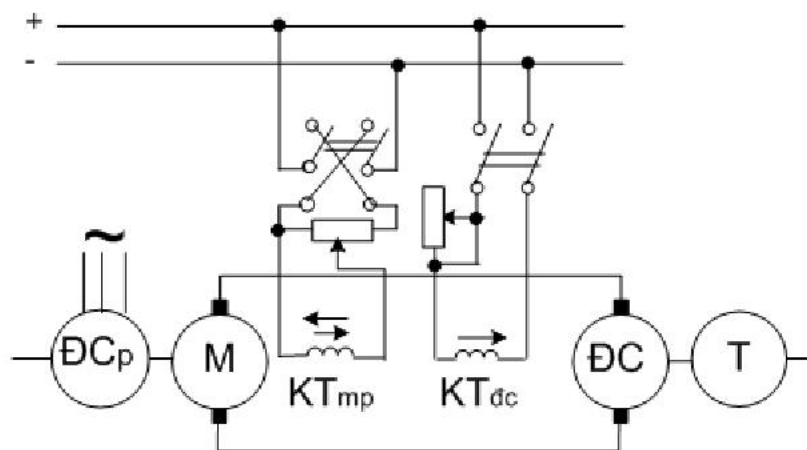


Hình 1-36. Đặc tính cơ (và đặc tính tốc độ) của động cơ điện một chiều kích thích song song ở những điện trở phụ khác nhau

Nếu R_f càng lớn đặc tính cơ sẽ có độ dốc càng cao và do đó càng mềm hơn, nghĩa là tốc độ sẽ thay đổi nhiều khi tải thay đổi. Cũng như trên, giao điểm của những đường đó với đường $M_o = f(n)$ cho biết trị số tốc độ xác lập khi điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện trở phụ R_f .

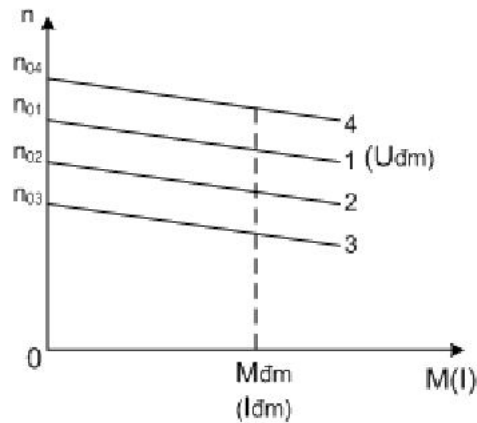
c. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp:

Phương pháp này chỉ áp dụng được đối với động cơ điện một chiều kích thích độc lập hoặc động cơ điện kích thích song song làm việc ở chế độ kích thích độc lập. Việc cung cấp điện áp có thể điều chỉnh được cho động cơ từ 1 nguồn độc lập được thực hiện trong kỹ thuật bằng cách ghép thành tổ máy phát - động cơ có sơ đồ nguyên lý trình bày trên hình 1-37 .



Hình 1-37. Sơ đồ tổ máy phát - động cơ dùng điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện áp ở động cơ điện một chiều kích thích độc lập.

Khi thay đổi U ta có một họ đặc tính cơ có cùng 1 độ dốc (hình 1-38) : đường 1 ứng với U_{dm} , đường 2, 3 ứng với $U_{dm} > U_2 > U_3$ và đường 4 ứng với $U_4 > U_{dm}$.



Hình 1-38. Đặc tính cơ (và đặc tính tốc độ) động cơ điện một chiều kích thích độc lập ở những điện áp trên phần ứng khác nhau.

Nói chung vì không cho phép vượt quá điện áp định mức nên việc điều chỉnh tốc độ trên tốc độ định mức không được áp dụng hoặc chỉ được thực hiện trong 1 phạm vi hẹp. Đặc điểm của phương pháp này là lúc điều chỉnh tốc độ, mômen không đổi vì Φ và I_u đều không đổi. Sở dĩ I_u không đổi là vì khi giảm U , tốc độ n giảm làm E cũng giảm, nên :

$$I_u = \frac{U - E}{R_u} = C_{te}$$

Ngày nay, tổ máy phát- động cơ thường dùng trong các máy cắt kim loại và máy cán thép lớn để đưa tốc độ động cơ với hiệu suất cao trong giới hạn rộng 1:10 hoặc hơn nữa.

2. Động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp:

Ở động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp, dòng điện kích thích chính là dòng điện phần ứng $I_t = I_u = I$. Vì vậy trong một phạm vi khá rộng có thể biểu thị :

$$\Phi = k_\phi I \quad (1-31)$$

Trong đó k_ϕ là hệ số tỉ lệ, là hằng số trong vùng $I < 0,8 I_{dm}$, khi $I > (0,8 \div 0,9)I_{dm}$ thì hơi giảm xuống do ảnh hưởng bão hoà của mạch từ.

Biểu thức mômen có dạng :

$$M = C_M \Phi I_u = C_M \frac{\Phi^2}{k_\phi} \quad (1-32)$$

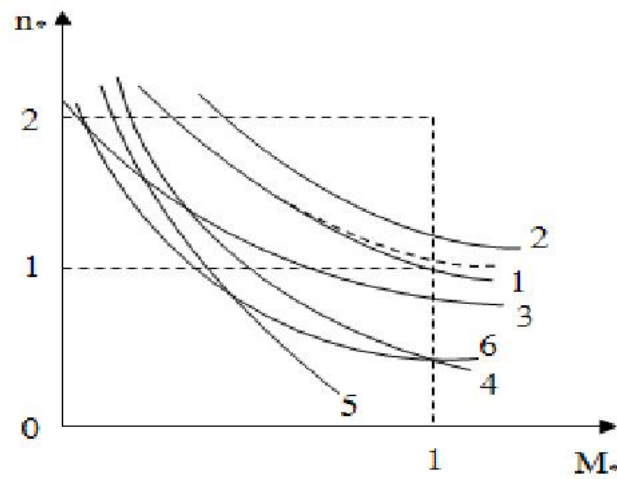
Kết hợp với biểu thức (1-28) ta có :

$$n = \frac{\sqrt{C_M} U}{C_e \sqrt{k_\phi} \cdot \sqrt{M}} - \frac{R_u}{C_e k_\phi} \quad (1-33)$$

Nếu bỏ qua R_u thì :

$$n \approx \frac{U}{\sqrt{M}} \text{ hay } M = \frac{C^2}{n^2} \quad (1-34)$$

Như vậy khi mạch từ chưa bão hoà đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp có dạng của đường hypecbôn bậc hai như hình 1-39 (đường 1).



Hình 1-39. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp ở các trường hợp điều chỉnh tốc độ khác nhau

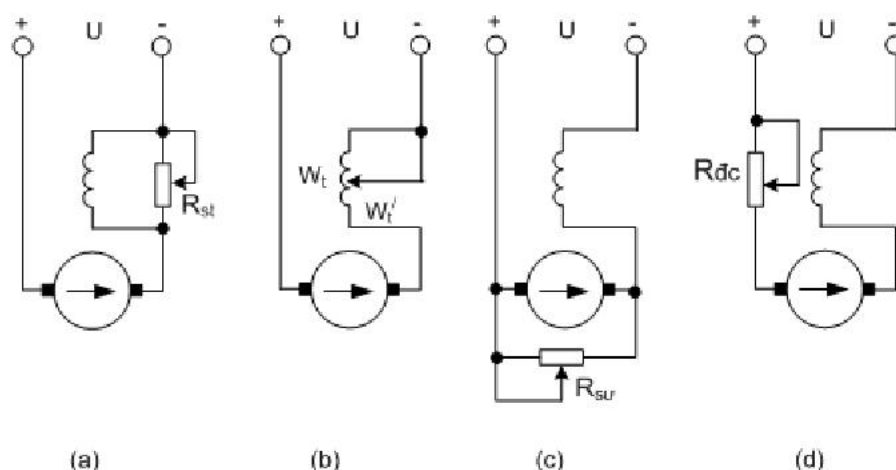
Ta thấy rằng ở động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp, tốc độ quay n giảm rất nhanh khi M tăng và khi mất tải ($I = 0, M = 0$) có trị số rất lớn. Do đó không được cho loại động cơ điện này làm việc ở những điều kiện có thể xảy ra mất tải như dùng đai truyền, vì khi xảy ra đứt hoặc trượt đai truyền tốc độ quay tăng lên rất cao. Thông thường chỉ cho phép động cơ làm việc với tải tối thiểu $P_2 = (0,2 \div 0,25)P_{dm}$.

Trên thực tế do ảnh hưởng của bão hoà khi tải tăng, tốc độ của động cơ giảm ít hơn theo đường nét đứt (hình 1-39).

Với đặc tính cơ rất mềm như vậy, động cơ điện kích thích nối tiếp rất ưu việt trong những nơi cần điều kiện mở máy nặng nề và cần tốc độ thay đổi trong 1 vùng rộng như các đầu máy kéo tải (xe điện, đầu máy điện ...).

a. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông

Từ thông của động cơ kích thích nối tiếp có thể thay đổi bằng những biện pháp sau đây : mắc sun dây quấn kích thích bằng một điện trở, thay đổi số vòng dây của dây quấn kích thích, mắc sun dây quấn phản ứng, theo các sơ đồ hình (1-40).



Hình 1-40. Các sơ đồ điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp
 a) mắc sun dây quấn kích thích; b) thay đổi số vòng dây của dây quấn kích thích;
 c) mắc sun phản ứng; d) thêm điện trở vào mạch phản ứng

Hai biện pháp đầu dẫn đến cùng một kết quả. Nếu dòng điện kích thích lúc đầu là $I_t = I$ thì dòng điện kích thích sau khi áp dụng các biện pháp trên sẽ giảm xuống $I_t = kI$, trong đó k là hệ số giảm :

- $k = \frac{R_{st}}{R_t + R_{st}} < 1$ nếu mắc sun dây quấn kích thích .

trong đó R_{st} là điện trở sun .

- $k = \frac{w_t'}{w_t} < 1$ nếu thay đổi số vòng dây của dây quấn kích thích .

Như vậy trong công thức (1-33) hệ số k_ϕ được thay bằng $k.k_\phi$. Rõ ràng với các phương pháp trên chỉ điều chỉnh được $\Phi < \Phi_{dm}$ và tốc độ sẽ thay đổi được trong vùng trên định mức và đường đặc tính sẽ nằm về phía trên của đặc tính tự nhiên (đường 2 hình 1-39) .

Nếu dùng biện pháp thứ ba, mắc sun phản ứng, thì điện trở tổng của toàn mạch sẽ bé đi, dòng điện $I = I_t$ và Φ tăng lên và tốc độ quay giảm xuống. Như vậy phương pháp này chỉ điều chỉnh được tốc độ dưới vùng định mức và đường đặc tính cơ tương ứng nằm ở phía dưới của đặc tính cơ tự nhiên (đường 3 trên hình 1-39). Vì R_t rất bé nên $R_{s,ur}$ hầu như được đặt dưới toàn bộ điện áp của mạng điện cho nên tổn hao rất lớn và hiệu suất của động cơ giảm đi nhiều. Mặt khác hiệu quả của điều chỉnh tốc độ bằng cách tăng từ thông Φ còn bị hạn chế bởi sự bão hoà của mạch từ nên phương pháp này rất ít sử dụng .

b. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thêm điện trở vào mạch phản ứng:

Sơ đồ trên hình 1-40 chỉ điều chỉnh được tốc độ dưới tốc độ định mức và kèm theo tổn hao trên điện trở phụ làm giảm hiệu suất của động cơ nên ít được ứng dụng . Đặc tính cơ ứng với trường hợp này được trình bày trên hình 1-39 (đường 4 và 5) .

c. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp:

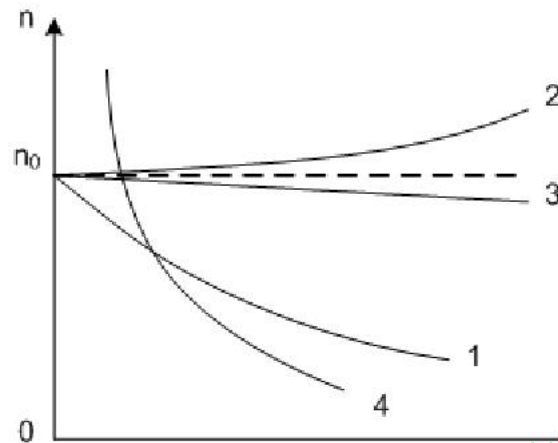
Phương pháp này chỉ điều chỉnh được tốc độ dưới tốc độ định mức vì không cho phép tăng điện áp quá định mức nhưng lại giữ được hiệu suất cao do không gây thêm tổn hao khi điều chỉnh. Phương pháp này được áp dụng rộng rãi trong giao thông vận tải và được thực hiện bằng cách đổi nối song song thành nối tiếp hai động cơ. Như vậy khi làm việc song song, các động cơ sẽ làm việc ở điện áp $U = \frac{1}{2} U_{dm}$. Đặc tính cơ của động cơ điện trong trường hợp này có dạng của đường 6 trên hình (1-39) .

3. Động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp:

Động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp được chế tạo sao cho tác dụng của các dây quấn kích thích song song và nối tiếp hoặc bù nhau hoặc ngược nhau. Trên thực tế , người ta chỉ sử dụng loại động cơ điện kích thích hỗn hợp bù vì động cơ điện kích thích hỗn hợp ngược không đảm bảo được điều kiện làm việc ổn định. Động cơ điện kích thích hỗn hợp bù có đặc tính cơ mang tính chất trung

gian giữa hai loại động cơ kích thích song song và kích thích nối tiếp. Khi tải tăng từ thông Φ tăng, do đó đặc tính cơ của động cơ điện kích thích hỗn hợp bù mềm hơn so với đặc tính cơ của động cơ điện kích thích song song. Tuy nhiên mức độ tăng của Φ không mạnh như động cơ điện kích thích nối tiếp, cho nên đặc tính cơ của động cơ điện kích thích hỗn hợp bù cứng hơn so với đặc tính cơ của động cơ điện kích thích nối tiếp.

Để tiện so sánh, đặc tính cơ của các loại động cơ điện nói trên được trình bày trên hình (1-41).



Hình 1-41. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp so sánh với các loại động cơ điện một chiều khác

Đường 1 : kích thích hỗn hợp bù
Đường 2 : kích thích hỗn hợp ngược
Đường 3 : kích thích song song
Đường 4 : kích thích nối tiếp

Tốc độ của động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp được điều chỉnh như ở trường hợp động cơ kích thích song song, dù rằng về nguyên tắc có thể áp dụng những phương pháp điều chỉnh tốc độ dùng cho động cơ điện kích thích nối tiếp.

Động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp được dùng trong những nơi cần các điều kiện mômen mở máy lớn, gia tốc quay khi mở máy lớn, tốc độ biến đổi theo tải trong một vùng rộng như máy ép, máy bào, máy nâng tải ... Thời gian gần đây, động cơ kích thích hỗn hợp còn được dùng trong giao thông vận tải vì có ưu điểm hơn so với động cơ kích thích nối tiếp ở chỗ dễ hãm bằng chế độ phát điện trả năng lượng về lưới điện.

VÍ DỤ :

Cho 1 máy phát điện kích thích song song có $P_{dm} = 27 \text{ kW}$, $U_{dm} = 115 \text{ V}$, $n_{dm} = 1150 \text{ v/gph}$, $I_t = 5 \text{ A}$, hiệu suất $\eta_{dm} = 86 \%$. Điện trở trong mạch phần ứng $R_u = 0,02 \Omega$, $2 \Delta U_{tx} = 2 \text{ V}$.

- Nếu đem dùng như động cơ điện (bỏ qua tác dụng phản ứng phần ứng) với $U_{dm} = 110 \text{ V}$, $P_{dm} = 25 \text{ kW}$, $\eta = 0,86$, tính tốc độ n ?
- Sự biến đổi của tốc độ khi tải đầy đến không tải.

Giải

a. Khi làm việc như máy phát điện thì :

$$E_F = U + I_{u(F)} R_u + 2 \Delta U_{tx}$$

với :
$$I_{u(F)} = \frac{P_{dm}}{U_{dm}} + I_t = \frac{27000}{115} + 5 = 240 \text{ A}$$

$$\Rightarrow E_F = 115 + 240 \cdot 0,02 + 2 = 121,8 \text{ V}$$

Khi làm việc như động cơ điện :

$$E_D = U - I_{u(D)} R_u - 2 \Delta U_{tx}$$

với :
$$I_{u(D)} = \frac{P_{dm}}{\eta U_{dm}} - I_t = \frac{25000}{0,86 \cdot 110} - 5 \frac{110}{115} = 259,3 \text{ A}$$

$$\Rightarrow E_D = 110 - 259,3 \cdot 0,02 - 2 = 102,3 \text{ V}$$

Vì :
$$\frac{E_D}{E_F} = \frac{C_e \Phi_D n_D}{C_e \Phi_F n_F} = \frac{102,3}{121,8}$$

Và giả thiết rằng :

$$\frac{\Phi_D}{\Phi_F} = \frac{I_{tD}}{I_{tF}} = \frac{4,7}{5}$$

Ta có :
$$n_D = 1150 \frac{102,3}{121,8} \cdot \frac{5}{4,8} = 1030 \text{ vg/ph}$$

b. Khi động cơ làm việc không tải : $I_{uD} \approx 0$ nên $E_{oD} = U = 110 \text{ V} = C_e \Phi_D n_{oD}$ và ta có thể viết :

$$\frac{E_{oD}}{E_D} = \frac{n_{oD}}{n_D} = \frac{110}{102,3}$$

$$\Rightarrow n_{oD} = n_D \frac{110}{102,3} = 1030 \frac{110}{102,3} = 1105 \text{ vg/ph}$$

CÂU HỎI :

1. Điều kiện làm việc ổn định của các động cơ điện . So sánh các loại động cơ điện về phương diện này ?
2. Phân loại động cơ điện một chiều ?
3. So sánh các đặc tính của động cơ điện một chiều ?
4. Hiện tượng xảy ra khi mở máy động cơ kích thích song song trong trường hợp mạch kích thích bị đứt. Cũng như vậy trong trường hợp điện trở điều chỉnh trên mạch kích thích r_{dc} quá lớn ?
5. Nếu chổi điện đặt không đúng vị trí mà bị xô dịch ngược chiều quay của roto thì tốc độ của động cơ điện sẽ như thế nào ?

BÀI TẬP

1. Cho một động cơ điện kích thích song song với các số liệu sau : $P_{dm} = 95 \text{ kW}$, $U_{dm} = 220 \text{ V}$, $I_{dm} = 470 \text{ A}$, $I_{tdm} = 4,25 \text{ A}$, $R_{ur} = 0,025 \Omega$, $n_{dm} = 500 \text{ vg/ph}$.

Hãy tính :

- Hiệu suất của động cơ.
- Tổn hao đồng trong máy, tổn hao không tải và dòng điện không tải.
- Mômen của động cơ.
- Trị số của dòng điện tải để hiệu suất cực đại.
- Điện trở điều chỉnh R_f cần thiết để động cơ quay với $n = n_{dm}$, $I_{ur} = I_{udm}$ và từ thông giảm đi 40%.
- Điện trở R_f để có $n = n_{dm}$, $I_{ur} = 0,85 I_{dm}$ và từ thông giảm đi 25%.

Đáp số : a. 91,8 %

b. $P = 5,42 \text{ kW}$

$P_o = 2,04 \text{ kW}$, $I_o = 13,5 \text{ A}$

c. $M = 1814 \text{ N.m}$

d. $I^* = 349 \text{ A}$

e. $R_f = 0,18 \Omega$

f. $R'_f = 0,136 \Omega$

2. Cho động cơ điện kích thích song song $P_{dm} = 17 \text{ kW}$, $U_{dm} = 220 \text{ V}$, $n_{dm} = 1150 \text{ vg/ph}$, $R_{ur} = 0,1 \Omega$, $M_{dt} = 12 \text{ kG.m}$. Hãy tính :

- Công suất điện từ P_{dt} và dòng I_{ur} .
- Điện trở điều chỉnh R_{dc} mắc trên mạch phản ứng để động cơ quay với tốc độ 500 vg/pt khi mômen tải không đổi (bỏ qua phản ứng của phản ứng).

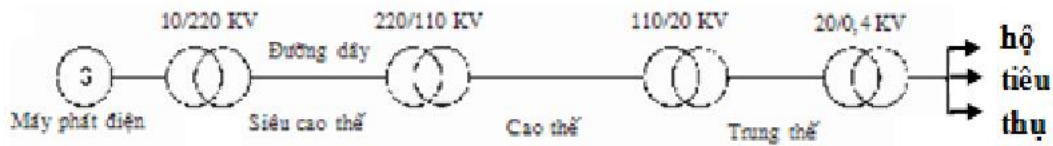
Đáp số : a. $P_{dt} = 14,15 \text{ kW}$, $I_{ur} = 66,3 \text{ A}$

b. $R_{dc} = 1,82 \Omega$.

CHƯƠNG II: MÁY BIẾN ÁP

§ 2.1 ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY BIẾN ÁP

Để dẫn điện từ các trạm phát điện đến hộ tiêu thụ cần phải có đường dây tải điện (hình 2-1). Nếu khoảng cách giữa nơi sản xuất điện và hộ tiêu thụ, một vấn đề rất lớn đặt ra và cần được giải quyết là việc truyền tải điện năng đi xa làm sao cho kinh tế nhất.



Hình 2-1. Sơ đồ mạng truyền tải điện đơn giản.

Như đã biết, cùng một công suất truyền tải trên đường dây, nếu điện áp được tăng cao thì dòng điện chạy trên đường dây sẽ giảm xuống, như vậy có thể làm tiết diện dây nhỏ đi, do đó trọng lượng và chi phí dây dẫn sẽ giảm xuống. Vì thế muốn truyền tải công suất lớn đi xa, ít tổn hao cao, thường là 35, 110, 220 và 500 kV. Trên thực tế, các máy phát điện ít có khả năng phát ra điện áp cao như vậy, thường chỉ từ 3 đến 21 kV, do đó phải có thiết bị để tăng điện áp ở đầu đường dây lên. Mặt khác các hộ tiêu thụ thường yêu cầu điện áp thấp từ 0,4 đến 6 kV, do đó tới đây phải có thiết bị giảm điện áp xuống. Những thiết bị dùng để tăng điện áp ở đầu ra của máy phát điện, tức ở đầu đường dây dẫn điện và giảm điện áp khi tới các hộ tiêu thụ, tức là ở cuối đường dây dẫn điện gọi là các máy biến áp.

Thực ra trong hệ thống điện lực, muốn truyền tải và phân phối công suất từ nhà máy điện đến tận các hộ tiêu thụ một cách hợp lý, thường phải qua ba pha, bốn lần tăng và giảm điện áp như vậy. Do đó tổng công suất của các máy biến áp trong hệ thống điện lực thường gấp ba, bốn lần công suất của trạm phát điện. Những máy biến áp dùng trong hệ thống điện lực gọi là máy biến áp điện lực hay máy biến áp công suất. Từ đó ta cũng thấy rõ, máy biến áp chỉ làm nhiệm vụ truyền tải hoặc phân phối năng lượng chứ không chuyển hóa năng lượng.

Ngoài máy biến áp điện lực ra còn có nhiều loại máy biến áp dùng trong các ngành chuyên môn như: máy biến áp chuyên dùng cho các lò điện luyện kim; máy biến áp hàn điện; máy biến áp dùng cho các thiết bị chỉnh lưu; máy biến áp dùng cho đo lường; thí nghiệm...

Khuynh hướng phát triển của máy biến áp điện lực hiện nay là thiết kế chế tạo những máy biến áp có dung lượng thật lớn, điện áp thật cao, dùng nguyên liệu mới để giảm trọng lượng và kích thước máy. Về vật liệu hiện nay đã dùng loại thép cán lạnh không những có từ tính tốt mà tổn hao sắt lại thấp, do đó nâng cao được hiệu suất của máy biến áp. Khuynh hướng dùng dây nhôm thay dây đồng vừa tiết kiệm được đồng, vừa giảm được trọng lượng máy cũng đang phát triển.

Ở nước ta, ngành chế tạo máy biến áp đã ra đời ngay từ ngày hòa bình lập lại. Đến nay chúng ta đã sản xuất được một khối lượng khá lớn máy biến áp, với nhiều chủng loại khác nhau phục vụ cho nhiều ngành sản xuất ở trong nước và xuất khẩu. Hiện nay ta đã sản xuất được những máy biến áp dung lượng 63000 kVA với điện áp 110kV.

I. Định nghĩa máy biến áp:

Máy biến áp là một thiết bị điện từ đứng yên, làm việc trên nguyên lý cảm ứng điện từ, biến đổi một hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp này thành một hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp khác, với tần số không thay đổi.

Máy biến áp có hai dây quấn gọi là máy biến áp hai dây quấn. Dây quấn nối với dòng điện để thu năng lượng vào gọi là dây quấn sơ cấp. Dây quấn nối với tải để đưa năng lượng ra gọi là dây quấn thứ cấp. Dòng điện, điện áp, công suất ... của từng dây quấn sẽ có kèm theo tên gọi sơ cấp và thứ cấp tương ứng, ví dụ dòng điện sơ cấp I_1 , điện áp thứ cấp U_2 , ... dây quấn có điện áp cao gọi là dây quấn cao áp (viết tắt là HA). Nếu điện áp thứ cấp bé hơn điện áp sơ cấp ta có máy biến áp giảm áp nếu điện áp thứ cấp lớn hơn điện áp sơ cấp ta có máy biến áp tăng áp.

Ở máy biến áp ba dây quấn, ngoài hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp còn có dây quấn thứ ba với điện áp trung bình (viết tắt là TA). Máy biến áp biến đổi hệ thống dòng điện xoay chiều một pha gọi là máy biến áp một pha; máy biến áp biến đổi hệ thống dòng điện xoay chiều ba pha gọi là máy biến áp ba pha. Máy biến áp ngâm trong dầu gọi là máy biến áp dầu; máy biến áp không ngâm trong dầu gọi là máy biến áp khô.

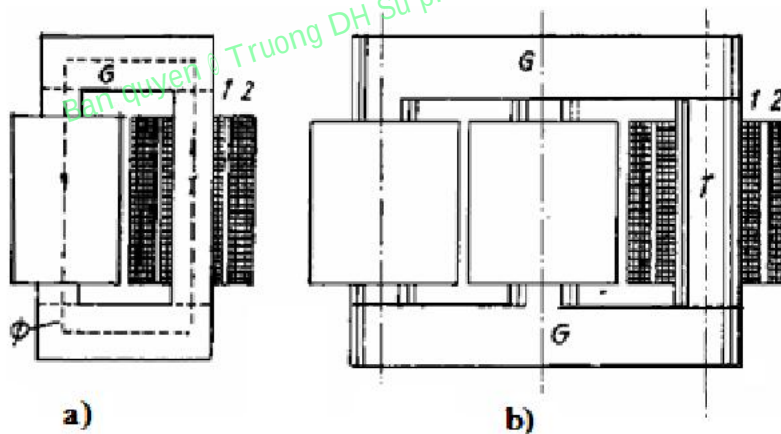
II. Cấu tạo máy biến áp:

Máy biên áp có các bộ phận chính sau đây: Lõi thép, dây quấn và vỏ máy.

1. Lỗi thép:

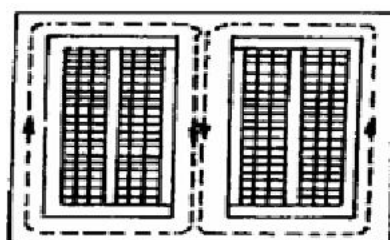
Lõi thép dùng làm mạch dẫn từ, đồng thời làm khung để quấn dây quấn. Theo hình dạng lõi thép, người ta chia ra:

- Máy biến áp kiểu lõi hay kiểu trụ (hình 2-2): Dây quấn bao quanh trụ thép. Loại này hiện nay rất thông dụng cho các máy biến áp một pha và ba pha có dung lượng nhỏ và trung bình.



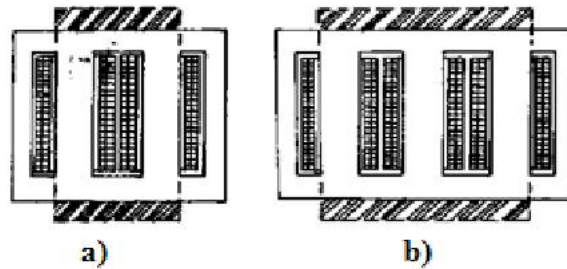
Hình 2-2. Máy biến áp kiểu lõi.
a) Một pha, b) Ba pha

- Máy biến áp kiểu bọc (hình 2-3): Mạch từ được phân nhánh ra hai bên và bọc lấy một phần dây quấn. Loại này thường chỉ được dùng trong một vài ngành chuyên môn đặc biệt như máy biến áp dùng trong lò điện luyện kim hay máy biến áp một pha công suất nhỏ dùng trong kĩ thuật vô tuyến điện, truyền thanh...



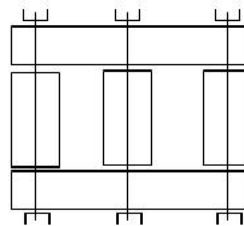
Hình 2-3. Máy biến áp kiểu bọc.

Ở các máy biến áp hiện đại, dung lượng lớn và cực lớn (80 – 100 MVA trên một pha), điện áp thật cao (220 – 400 kV), để giảm chiều cao của trụ thép, tiện lợi cho việc vận chuyển trên đường, mạch từ của máy biến áp kiểu trụ được phân nhánh sang hai bên nên máy biến áp mang hình dáng vừa kiểu trụ, vừa kiểu bọc gọi là máy biến áp kiểu trụ – bọc. Hình (2 – 4) trình bày một kiểu máy biến áp trụ – bọc ba pha (trường hợp này có dây quấn ba pha, nhưng có năm trụ thép nên còn gọi là máy biến áp ba pha năm trụ).



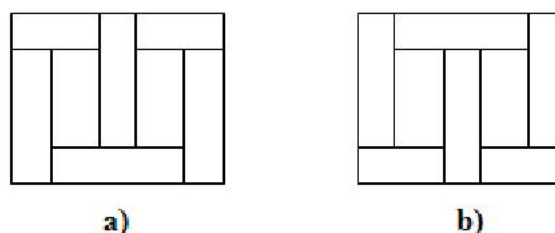
Hình 2-4. Máy biến áp kiểu trụ bọc.
a) Một pha, b) Ba pha

Lõi thép máy biến áp gồm có hai phần: phần trụ kí hiệu bằng chữ T và phần gông kí hiệu bằng chữ G (hình 2-2). Trụ là phần lõi thép có quấn dây quấn; gông là phần lõi thép nối các trụ lại với nhau thành mạch từ kín và không có dây quấn. Đối với các máy biến áp kiểu bọc (hình 2-3) và kiểu trụ bọc (hình 2- 4), hai trụ thép phía ngoài cũng đều thuộc về gông. Để giảm tổn hao do dòng điện xoáy gây nên, lõi thép được ghép từ những lá thép kỹ thuật điện dày 0,35 mm có phủ sơn cách điện trên bề mặt. Trụ và gông có thể ghép với nhau bằng phương pháp ghép nối hoặc ghép xen kẽ. Ghép nối thì trụ và gông ghép riêng, sau đó dùng xà ép và bulông vít chặt lại hình (2-5).



Hình 2-5. Ghép rời lõi thép máy biến áp.

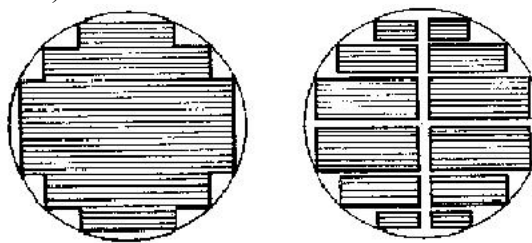
Ghép xen kẽ thì toàn bộ lõi thép phải ghép đồng thời và các lớp lá thép được xếp xen kẽ với nhau lần lượt theo trình tự a, b như ở hình (2-6).



Hình 2-6. Ghép xen kẽ lõi thép máy biến áp ba pha.

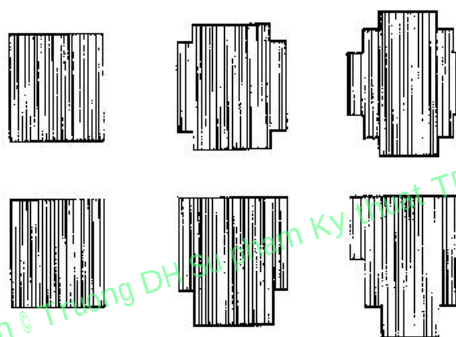
Sau khi ghép lõi thép cũng được vít chặt bằng xà ép và bulông. Phương pháp sau tuy phức tạp song giảm được tổn hao do dòng điện xoáy gây nên và rất bền về phương diện cơ học. Vì thế hầu hết các máy biến áp hiện nay đều dùng kiểu ghép này.

Do dây quấn thường quấn thành hình tròn, nên tiết diện ngang của trụ thép thường làm thành hình bậc thang gần tròn (hình 2-7).



Hình 2-7. Tiết diện của trụ thép.

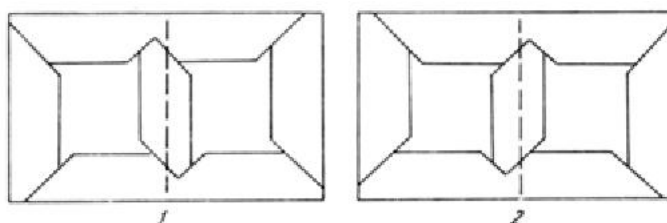
Gông từ vì không quấn dây, do đó dễ thuận tiện cho việc chế tạo, tiết diện ngang của gông có thể làm đơn giản: Hình vuông, hình chữ thập hoặc hình chữ T (hình 2-8). Tuy nhiên, hiện nay hầu hết các máy biến áp điện lực, người ta hay dùng tiết diện gông hình bậc thang có số bậc gần bằng số bậc của tiết diện trụ.



Hình 2-8. Các dạng tiết diện của gông từ và của lõi thép

Vì lý do an toàn, toàn bộ lõi thép được nối đất với vỏ máy và vỏ máy phải được nối đất.

Đối với tôn silic cán nguội dị hướng, để từ thông luôn đi theo chiều cán là chiều có từ dẫn lớn, lá thép được ghép từ các lá tôn có cắt chéo một góc nhất định, thí dụ như hình (2-9).



Hình 2-9. Ghép xen kẽ tôn cán nguội máy biến áp ba pha.

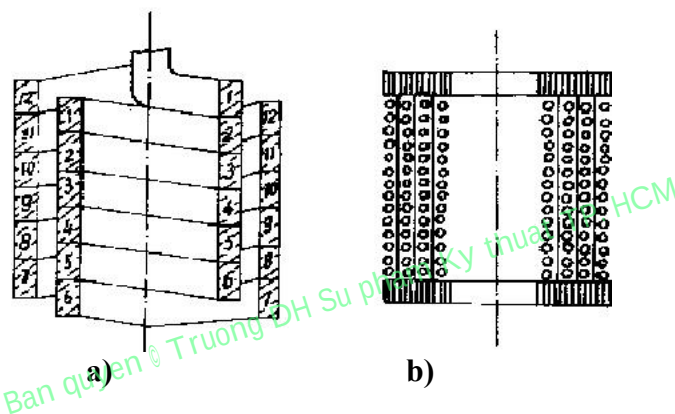
- Cách ghép lõi thép bằng các lá tôn như trên các hình (2-6) và (2-9) được sử dụng khi chiều dày lá tôn trong khoảng từ 0,20 đến 0,35 mm. Khi chiều dày lá tôn nhỏ hơn 0,20 mm người ta dùng công nghệ mạch từ quấn lá tôn vô định hình dày 0,10 mm. Việc quấn các dải tôn có bề rộng khác nhau với những độ dày thích đáng vẫn cho phép thực hiện mạch từ có tiết diện ngang, có nhiều bậc nội tiếp trong vòng tròn. Khi công suất nhỏ và trung bình số bậc từ 5 đến 9; còn đối với những công suất lớn số bậc từ 10 đến 13.

2. Dây quấn:

Dây quấn là bộ phận dẫn điện của máy biến áp, làm nhiệm vụ thu năng lượng vào và truyền năng lượng ra. Kim loại làm dây quấn thường bằng đồng, cũng có thể bằng nhôm nhưng không phổ biến. Theo cách sắp xếp dây quấn CA và HA, người ta chia ra hai loại dây quấn chính: dây quấn đồng tâm và dây quấn xen kẽ.

a. Dây quấn đồng tâm:

Ở dây quấn đồng tâm tiết diện ngang là những vòng tròn đồng tâm. Dây quấn HA thường quấn phía trong gần trụ thép, còn dây quấn CA quấn phía ngoài bọc lấy dây quấn HA (hình 2-2). Với cách quấn này có thể giảm bớt được điều kiện cách điện của dây quấn CA (kích thước rãnh dầu cách điện, vật liệu cách điện dây quấn CA), bởi vì giữa dây quấn CA và trụ đã có cách điện bản thân của dây quấn HA.

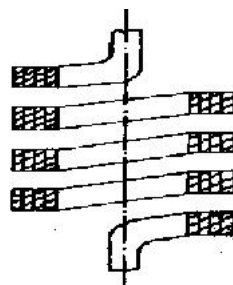


Hình 2-10. Dây quấn hình trụ.
a) Dây tròn nhiều lớp, b) Dâyбет hai lớp.

Những kiểu dây quấn đồng tâm chính bao gồm:

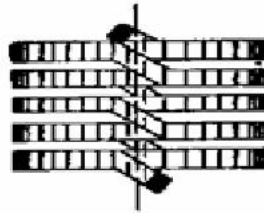
Dây quấn hình trụ: Nếu tiết diện dây nhỏ thì dùng dây tròn, quấn thành nhiều lớp (hình 2-10b); nếu tiết diện dây lớn thì dùng dâyбет và thường quấn thành hai lớp (hình 2-10a). Dây quấn hình trụ dây tròn thường làm dây quấn CA, điện áp tới 35 kV; dây quấn hình trụ dâyбет chủ yếu làm dây quấn HA với điện áp từ 6 kV trở xuống. Nói chung dây quấn hình trụ thường dùng cho các máy biến áp dung lượng 630 kVA trở xuống.

Dây quấn hình xoắn: Gồm nhiều dâyбет chập lại quấn theo đường xoắn ốc, giữa các vòng dây có rãnh hở (hình 2-11). Kiểu này thường dùng cho dây quấn HA của các máy biến áp dung lượng trung bình và lớn.



Hình 2-11. Dây quấn hình xoắn

Dây quấn xóay ốc liên tục: Làm bằng dâyбет và khác với dây quấn hình xoắn ở chỗ dây quấn này được quấn thành những bánh dây phẳng cách nhau bằng những rãnh hở (hình 2-12). Bằng cách hoán vị đặc biệt trong khi quấn, các bánh dây được nối tiếp một cách liên tục mà không cần mối hàn giữa chúng, cũng vì thế mà được gọi là dây quấn xóay ốc liên tục. Dây quấn này chủ yếu dùng cuộn CA, điện áp 25 kV trở lên và dung lượng lớn.



Hình 2-12. Dây quấn xóay ốc liên tục.

b. Dây quấn xen kẽ: Các bánh dây CA và HA lần lượt xen kẽ nhau dọc theo trụ thép (hình 2-13). Cần chú ý rằng, để cách điện được dễ dàng, các bánh dây sắt gông thường thuộc dây quấn HA. Kiểu dây quấn này hay dùng trong các máy biến áp kiểu bọc. Vì chế tạo và cách điện khó khăn, kém vững chắc về cơ học nên các máy biến áp kiểu trụ hầu như không dùng kiểu dây quấn xen kẽ.



Hình 2-13. Dây quấn xen kẽ.
1. Dây quấn hạ áp ; 2. Dây quấn cao áp

3. Vỏ máy:

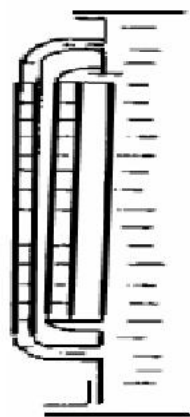
Vỏ máy gồm hai bộ phận: thùng và nắp thùng.

a. Thùng máy biến áp: Thùng máy làm bằng thép, thường là hình bầu dục. Lúc máy biến áp làm việc, một phần năng lượng bị tiêu hao thoát ra dưới dạng nhiệt đốt nóng lõi thép, dây quấn và các bộ phận khác, làm cho nhiệt độ của chúng tăng lên. Do đó giữa máy biến áp và môi trường xung quanh có một hiệu số nhiệt độ gọi là nhiệt độ chênh. Nếu nhiệt độ chênh đó vượt quá mức qui định sẽ làm giảm tuổi thọ cách điện và có thể gây sự cố đối với máy biến áp.

Để bảo đảm cho máy biến áp vận hành với tải liên tục trong thời gian qui định (thường là 15 đến 20 năm) và không bị sự cố, phải tăng cường làm lạnh bằng cách ngâm máy biến áp trong thùng dầu. Nhờ sự đối lưu trong dầu, nhiệt truyền từ các bộ phận bên trong máy biến áp sang dầu, rồi từ dầu qua vách thùng ra môi trường xung quanh. Lớp dầu sát vách thùng nguội dần sẽ chuyển động xuống phía

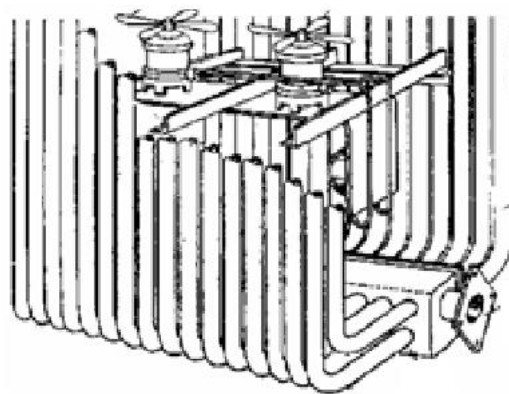
dưới và lại tiếp tục làm nguội một cách tuần hoàn các bộ phận bên trong máy biến áp. Mặt khác, dầu máy biến áp còn làm nhiệm vụ tăng cường cách điện.

Tùy theo dung lượng máy biến áp mà hình dáng và kết cấu thùng dầu có khác nhau. Loại thùng dầu đơn giản nhất là loại thùng dầu phẳng thường dùng cho các máy biến áp có dung lượng từ 30 kVA trở xuống. Đối với các máy biến áp cỡ trung bình và lớn người ta hay dùng loại thùng dầu có ống (hình 2-14) .



Hình 2-14. Thùng dầu kiểu ống.

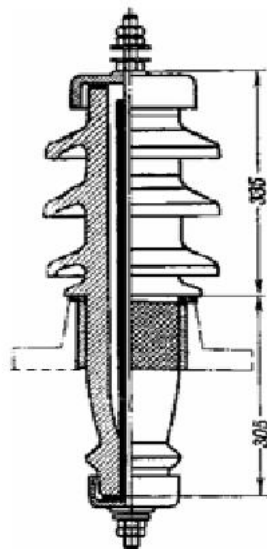
Ở những máy biến áp có dung lượng đến 10000 kVA, người ta dùng những bộ tản nhiệt có thêm quạt gió để tăng cường làm lạnh (hình 2-15). Ở các máy biến áp dùng trong các trạm thủy điện, dầu được bơm qua một hệ thống ống nước để tăng cường làm lạnh.



Hình 2-15 . Bộ tản nhiệt có quạt gió.

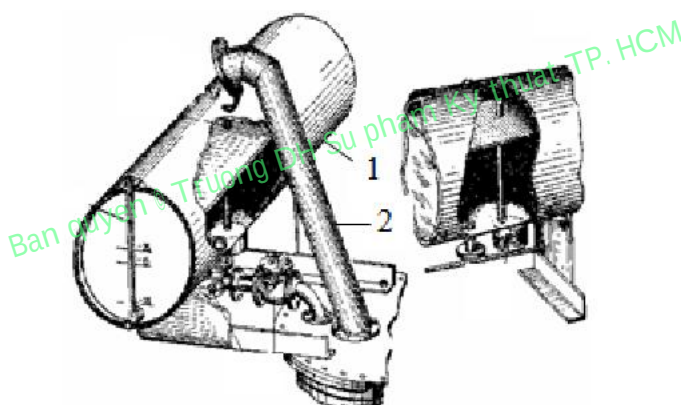
b. Nắp thùng: Nắp thùng dùng để đậy thùng và trên đó đặt các chi tiết máy quan trọng như:

- Các sứ ra của dây quấn HA và CA: Làm nhiệm vụ cách điện giữa dây dẫn ra với vỏ máy. Tùy theo điện áp của máy biến áp mà người ta dùng sứ cách điện thường hoặc có dầu. Hình (2-16) vẽ một sứ ra 35 kV có chứa dầu. Điện áp càng cao thì kích thước và trọng lượng sứ ra càng lớn.



Hình 2-16. Sứ cách điện có dầu.

Bình giãn dầu: Là một thùng hình trụ bằng thép đặt trên nắp và nối với thùng bằng một ống dẫn dầu (hình 2-17).

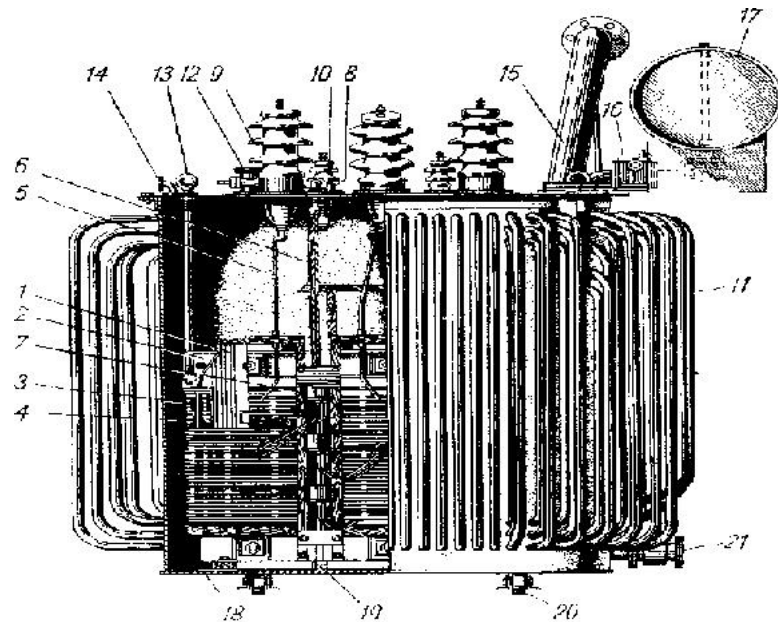


Hình 2-17. Bình giãn dầu (1) và ống bảo hiểm (2)

Để bảo đảm thùng trong dầu luôn luôn đầy, phải duy trì dầu ở một mức nhất định. Dầu trong thùng máy biến áp thông qua bình giãn dầu giãn nở tự do. Ống chỉ mức dầu bên cạnh bình giãn dầu dùng để theo dõi mức dầu bên trong.

Ống bảo hiểm: làm bằng thép, thường là hình trụ nghiêng, một đầu nối với thùng, một đầu bịt bằng một đĩa thủy tinh . Nếu vì một lý do nào đó, áp suất trong thùng tăng lên đột ngột, đĩa thủy tinh sẽ vỡ, dầu theo đó thoát ra ngoài để máy biến áp không bị hư hỏng.

Ngoài ra trên nắp còn đặt bộ phận truyền động của bộ đổi nối các đầu điều chỉnh điện áp của dây quấn CA.

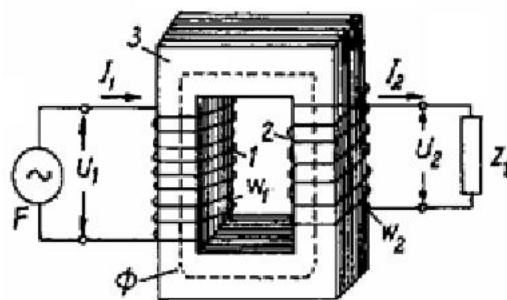


Hình 2-18. Máy biến áp dầu ba pha.

1. thép dẫn từ; 2. má sắt ép gông; 3. dây quấn điện áp thấp (HA); 4. dây quấn điện áp cao (CA); 5. ống dẫn dây ra của CA; 6. ống dẫn dây ra của HA; 7. cầu dao đổi nối ở trong của các đầu phân nhánh để điều chỉnh điện áp của dây quấn CA; 8. bộ phận truyền động của cầu dao đổi nối; 9. sứ ra của CA; 10. sứ ra của HA; 11. thùng dầu kiểu ống; 12. ống nhập dầu; 13. quai để nâng ruột máy ra; 14. mặt bích để nối với bơm chân không; 15. ống có màng bảo hiểm; 16. role hơi; 17. bình giãn dầu; 18. giá đỡ góc ở đáy thùng dầu; 19. bulông dọc để bắt chặt má sắt ép gông; 20. bánh xe lăn; 21. ống xả dầu.

III. Nguyên lý làm việc cơ bản của máy biến áp:

Ta hãy xét nguyên lý làm việc cơ bản của máy biến áp vẽ trên hình 2-19. Đây là máy biến áp một pha hai dây quấn. Dây quấn 1 có w_1 vòng dây và dây quấn 2 có w_2 vòng dây được quấn trên lõi thép 3. Khi đặt một điện áp xoay chiều u_1 vào dây quấn 1, trong đó sẽ có dòng điện i_1 . Trong lõi thép sẽ sinh ra từ thông móc vòng với cả hai dây quấn 1 và 2, cảm ứng ra các sức điện động e_1 và e_2 . Dây quấn 2 có sức điện động sẽ sinh ra dòng điện i_2 đưa ra tải với điện áp là u_2 . Như vậy năng lượng của dòng điện xoay chiều đã được truyền từ dây quấn 1 sang dây quấn 2.



Hình 2-19. Nguyên lý làm việc của máy biến áp.

Giả sử điện áp xoay chiều đặt vào là một hàm số sin, thì từ thông do nó sinh ra cũng là một hàm số hình sin:

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t \quad (2-1)$$

Do đó theo định luật cảm ứng điện từ, sức điện động cảm ứng trong các dây quấn 1 và 2 sẽ là:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} = -w_1 \frac{d\Phi_m \sin \omega t}{dt} = -w_1 \omega \Phi_m \cos \omega t = \sqrt{2} E_1 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (2-2a)$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = -w_2 \frac{d\Phi_m \sin \omega t}{dt} = -w_2 \omega \Phi_m \cos \omega t = \sqrt{2} E_2 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (2-2b)$$

Trong đó:

$$E_1 = \frac{\omega w_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f w_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f w_1 \Phi_m \quad (2-3a)$$

$$E_2 = \frac{\omega w_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f w_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f w_2 \Phi_m \quad (2-3b)$$

là giá trị hiệu dụng của các sức điện động dây quấn 1 và 2.

Các biểu thức (2-2a, b) cho thấy sức điện động cảm ứng trong dây quấn chậm pha với từ thông sinh ra nó một góc $\frac{\pi}{2}$.

Dựa vào các biểu thức (2-3a, b), người ta định nghĩa tỷ số biến đổi của máy biến áp như sau:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (2-4)$$

Nếu không kể điện áp rơi trên các dây quấn thì có thể coi $U_1 \approx E_1; U_2 \approx E_2$, do đó k được xem như là tỷ số điện áp giữa dây quấn 1 và 2:

$$k = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \quad (2-5)$$

IV. Các lượng định mức:

Các lượng định mức của máy biến áp qui định điều kiện kỹ thuật của máy. Các lượng này do nhà máy chế tạo qui định và thường ghi trên nhãn máy biến áp.

1. Dung lượng hay công suất định mức (S_{dm}): Là công suất toàn phần (hay biểu kiến) đưa ra ở dây quấn thứ cấp của máy biến áp, tính bằng kilôvôn – ampe (kVA) hay vôn – ampe (VA).

2. Điện áp dây sơ cấp định mức (U_{1dm}): Là điện áp của dây quấn sơ cấp tính bằng kilôvôn (kV) hay vôn (V). Nếu dây quấn sơ cấp có các đầu phân nhánh thì người ta ghi cả điện áp định mức của từng đầu phân nhánh.

3. Điện áp dây thứ cấp định mức (U_{2dm}): Là điện áp dây của dây quấn thứ cấp khi máy biến áp không tải và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là định mức, tính bằng kV hay V.

4. Dòng điện dây định mức sơ cấp I_{1dm} và thứ cấp I_{2dm} : Là những dòng điện dây của dây quấn sơ cấp và thứ cấp ứng với công suất và điện áp định mức, tính bằng ampe (A) hay kilôampe (kA). Có thể tính các dòng điện như sau:

Đối với máy biến áp một pha:

$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}} \quad (2-6)$$

$$I_{2m} = \frac{S_m}{U_{2m}} \quad (2-7)$$

Đối với máy biến áp ba pha:

$$I_{1m} = \frac{S_m}{\sqrt{3}U_{1m}} \quad (2-8)$$

$$I_{2m} = \frac{S_m}{\sqrt{3}U_{2m}} \quad (2-9)$$

5. Tần số định mức (f_{dm}) tính bằng Hz. Thường các máy biến áp điện lực có tần số công nghiệp là 50 Hz.

Ngoài ra trên nhãn của máy biến áp còn ghi những số liệu khác như: số pha m; sơ đồ và tổ nối dây quấn; điện áp ngắn mạch $u_n\%$; chế độ làm việc (dài hạn hay ngắn hạn); phương pháp làm lạnh.

Sau cùng nên hiểu rằng, khái niệm định mức còn bao gồm cả những tình trạng làm việc định mức của máy biến áp, mà có thể không ghi trên nhãn máy như: hiệu suất định mức, độ chênh nhiệt định mức, nhiệt độ định mức của môi trường xung quanh.

V. Các loại máy biến áp chính:

Theo công dụng, máy biến áp có thể gồm những loại chính sau đây:

1. Máy biến áp điện lực dùng để truyền tải và phân phối công suất trong hệ thống điện lực.
2. Máy biến áp chuyên dùng dùng cho các lò luyện kim, cho các thiết bị chỉnh lưu, máy biến áp hàn điện, ...
3. Máy biến áp tự ngẫu biến đổi điện áp trong một phạm vi không lớn, dùng để mở máy các động cơ điện xoay chiều.
4. Máy biến áp đo lường dùng để giảm các điện áp và dòng điện lớn khi đưa vào các đồng hồ đo.
5. Máy biến áp thí nghiệm dùng để thí nghiệm các điện áp cao.

Máy biến áp có rất nhiều, song thực chất các hiện tượng xảy ra trong chúng đều giống nhau. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu, sau đây chủ yếu xét đến máy biến áp điện lực hai dây quấn một pha và ba pha.

CÂU HỎI :

1. Máy biến áp là gì ? Vai trò của máy biến áp trong hệ thống điện lực ? Kết cấu của máy biến áp ra sao ? Tác dụng của từng bộ phận trong máy biến áp ?

2. Trên máy biến áp thường ghi những lượng định mức nào? Ý nghĩa của những lượng định mức. Ví dụ: S_{dm} biểu thị công suất gì, phía nào ? U_{2dm} là điện áp ứng với tình trạng nào của máy biến áp.

Hãy tính các dòng điện định mức của một máy biến áp ba pha khi biết các số liệu sau đây:
 $S_{dm} = 100 \text{ kVA}$, $U_{1dm}/U_{2dm} = 6000/230 \text{ V}$.

Đáp số: $I_{1dm} = 9,62 \text{ A}$, $I_{2dm} = 251 \text{ A}$.

§ 2.2 TỔ NỐI DÂY VÀ MẠCH TỪ CỦA MÁY BIẾN ÁP

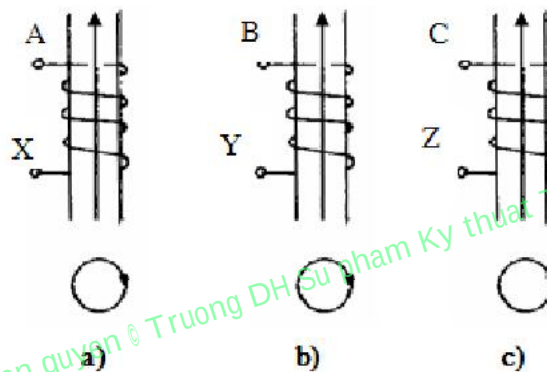
Để máy biến áp ba pha có thể làm việc được, các dây quấn pha sơ cấp hoặc thứ cấp phải được nối với nhau theo một qui luật nhất định. Ngoài ra, sự phối hợp kiểu nối dây quấn sơ cấp với kiểu nối dây quấn thứ cấp cũng hình thành các tổ nối dây khác nhau.

Hơn nữa khi thiết kế, việc quyết định dùng tổ nối dây quấn cũng phải thích ứng với kiểu kết cấu của mạch từ để tránh những hiện tượng không tốt như: Sức điện động pha không sin, tổn hao phụ tăng, ...

Trong chương này ta sẽ lần lượt xét các loại tổ nối dây và mạch từ, đồng thời xét các hiện tượng xảy ra khi từ hóa lõi thép và nêu lên cách tính toán về mạch từ của máy biến áp.

I. Tổ nối dây của máy biến áp:

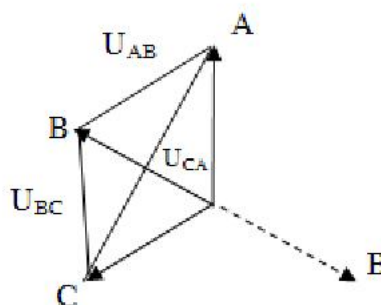
Trước khi nghiên cứu tổ nối dây của máy biến áp, ta hãy xét kí hiệu các đầu dây và cách đấu các dây quấn pha với nhau.



Hình 2-20. Cách qui ước các đầu đầu và đầu cuối của dây quấn ba pha.

1. Cách ký hiệu đầu dây:

Các đầu tận cùng của máy biến áp, một đầu gọi là đầu đầu, đầu kia gọi là đầu cuối. Đối với dây quấn một pha có thể tùy ý chọn đầu đầu và đầu cuối. Đối với dây quấn ba pha, các đầu đầu và đầu cuối phải chọn một cách thống nhất: Giả sử dây quấn pha A đã chọn đầu đầu đến đầu cuối đi theo chiều kim đồng hồ (hình 2-20a) thì dây quấn các pha B, C còn lại cũng phải được chọn như vậy (hình 2-20b và c). Điều này rất cần thiết, bởi vì nếu một pha dây quấn ký hiệu ngược thì điện áp dây lấy ra sẽ mất tính đối xứng (hình 2-21).



Hình 2-21. Điện áp dây không đối xứng lúc ký hiệu ngược hay đấu ngược một pha.

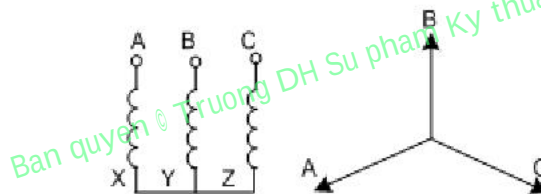
Để đơn giản và thuận tiện cho việc nghiên cứu, người ta thường đánh dấu các đầu tận cùng lên sơ đồ ký hiệu dây quấn của máy biến áp với quy ước sau đây:

Các đầu tận cùng	Dây quấn cao áp CA	Dây quấn hạ áp HA	Sơ đồ ký hiệu dây quấn
Đầu đầu	A, B, C	a, b, c	
Đầu cuối	X, Y, Z	x, y, z	
Đầu trung tính	O hay N	o hay n	

Đối với máy biến áp ba dây quấn, ngoài hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp còn có dây quấn điện áp trung bình. Dây quấn này được ký hiệu như sau: đầu đầu bằng các chữ A_m, B_m, C_m ; đầu cuối bằng các chữ X_m, Y_m, Z_m và đầu trung tính bằng chữ O_m .

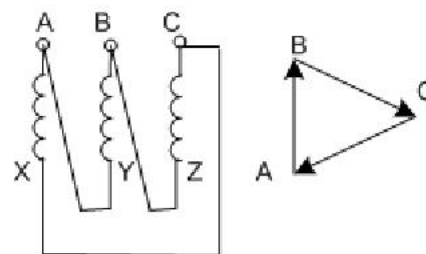
2. Các kiểu đấu dây quấn:

Dây quấn của máy biến áp có thể đấu hình sao (ký hiệu bằng dấu Y) hay hình tam giác (ký hiệu bằng dấu Δ hay bằng chữ D). Đấu sao thì ba đầu X, Y, Z nối lại với nhau, còn ba đầu A, B, C để tự do (hình 2-22).



Hình 2-22. Đấu hình sao dây quấn máy biến áp ba pha.

Nếu đấu sao có dây trung tính thì ký hiệu bằng dấu Y_0 hay Y_n . Đấu tam giác thì đầu đầu của pha này nối với đầu cuối của pha kia theo thứ tự $XA - YB - ZC - X$ (hình 2-23).

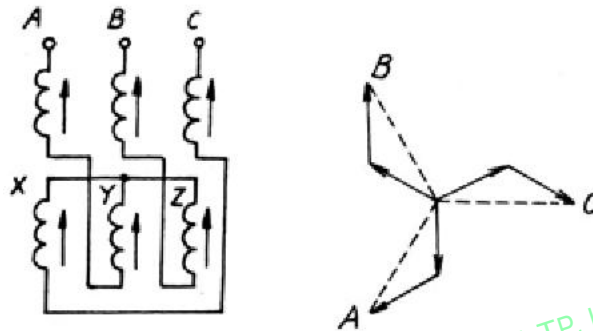


Hình 2-23. Đấu hình tam giác dây quấn máy biến áp ba pha.

Cách đấu dây quấn CA và HA ở trong máy biến áp thường được ký hiệu như sau: ví dụ máy biến áp đấu Y/Δ (hay Y/D) có nghĩa là dây quấn CA đấu sao và dây quấn HA đấu tam giác. Ở các máy biến áp truyền tải công suất, thường dây quấn CA được đấu Y, còn dây quấn HA đấu Δ , bởi vì đấu như vậy thì phía cao áp, điện áp pha nhỏ đi $\sqrt{3}$ lần so với điện áp dây, do đó có thể giảm bớt được chi phí và điều kiện cách điện; phía hạ áp thì dòng điện pha nhỏ đi $\sqrt{3}$ lần so với dòng điện dây.

Do đó có thể làm dây dẫn nhỏ hơn, thuận tiện cho việc chế tạo. Cách đấu tam giác được dùng nhiều khi không cần điện áp pha. Dây quấn đầu Y_0 thông dụng đối với máy biến áp cung cấp cho tải hỗn hợp vừa dùng điện áp dây (chạy động cơ không đồng bộ), vừa dùng điện áp pha (chiếu sáng).

Ngoài hai kiểu đấu dây chủ yếu trên, dây quấn máy biến áp có thể đấu theo kiểu zic – zắc (ký hiệu bằng chữ Z). Lúc đó mỗi pha dây quấn gồm hai nửa cuộn dây ở trên hai trụ khác nhau nối nối tiếp và mắc ngược nhau (hình 2-24). Kiểu đấu dây này rất ít dùng vì tốn nhiều đồng hơn và chỉ gặp trong máy biến áp dùng trong các thiết bị chỉnh lưu hoặc trong máy biến áp đo lường để hiệu chỉnh sai số về góc lệch pha.



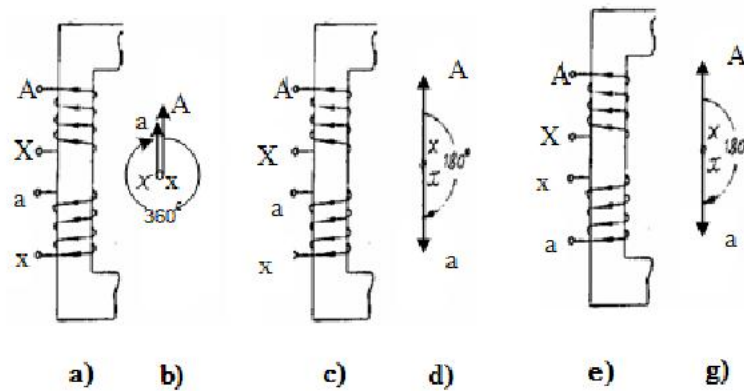
Hình 2-24. Kiểu đấu zic - zắc

3. Tổ nối dây của máy biến áp:

Tổ nối dây của máy biến áp được hình thành do sự phối hợp kiểu đấu dây sơ cấp so với kiểu đấu dây thứ cấp. Nó biểu thị góc lệch pha giữa sức điện động dây sơ cấp và dây thứ cấp của máy biến áp. Góc lệch pha này phụ thuộc vào các yếu tố sau đây:

- Chiều quấn dây.
- Các ký hiệu các đầu dây.
- Kiểu đấu dây quấn ở sơ cấp và thứ cấp.

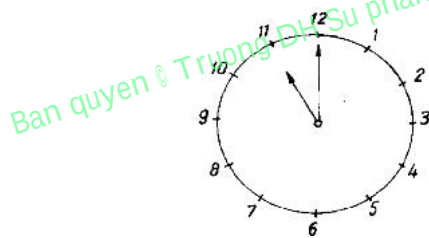
Thật vậy ta hãy xét một máy biến áp một pha có hai dây quấn sơ cấp AX và thứ cấp ax sau đây. Nếu có hai dây quấn được quấn cùng chiều trên trụ thép, ký hiệu các đầu dây như nhau (ví dụ A, a ở phía trên; X, x ở phía dưới (hình 2-25a)) thì sức điện động cảm ứng trong chúng khi có từ thông biến thiên đi qua sẽ hoàn toàn trùng pha nhau: hoặc từ đầu đầu đến đầu cuối hoặc từ đầu cuối đến đầu đầu, chẳng hạn từ đầu cuối đến đầu đầu dây quấn (hình 2-25b). Khi đổi chiều quấn dây của một trong hai dây quấn, ví dụ của dây quấn thứ cấp ax (hình 2-25c), hoặc đổi ký hiệu đầu dây, ví dụ cũng của dây quấn thứ cấp ax (hình 2-25e) thì sức điện động trong chúng sẽ hoàn toàn trái ngược nhau (hình 2-25d và g). Trường hợp thứ nhất, góc lệch pha giữa các sức điện động – kể từ vector sức điện động sơ cấp đến vector sức điện động thứ cấp theo chiều kim đồng hồ là 360° (hay 0°); hai trường hợp sau là 180° .



Hình 2-25. Tổ nối dây của máy biến áp một pha.

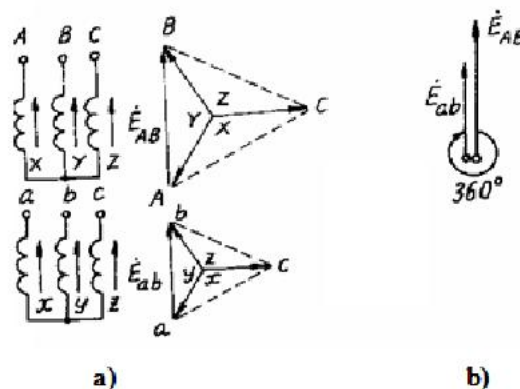
Ở máy biến áp ba pha còn do cách đấu dây quấn hình Y hay với những thứ tự khác nhau mà góc lệch pha giữa các sức điện động dây sơ cấp và thứ cấp có thể là 30° , 60° , ..., 360° .

Trong thực tế, để thuận tiện, người ta không dùng "độ" để chỉ góc pha đó mà dùng phương pháp kim đồng hồ để biểu thị và gọi tên tổ nối dây của máy biến áp. Cách biểu thị đó như sau: Kim dài của kim đồng hồ chỉ sức điện động dây sơ cấp đặt cố định ở con số 12, kim ngắn chỉ sức điện động thứ cấp đặt tương ứng với các số 1, 2, ..., 12 tùy theo góc lệch pha giữa chúng là 30° , 60° , ..., 360° (hình 2-26). Với cách biểu thị này, đối với máy biến áp một pha trong ví dụ trên, trường hợp thứ nhất sẽ thuộc về tổ nối dây I/I-12 hay I/I-0, vì góc lệch pha giữa hai sức điện động là 360° (hay 0°), hai trường hợp sau thuộc tổ nối dây I/I-6 vì góc lệch pha là 180° (ký hiệu I dùng cho máy biến áp một pha).



Hình 2-26. Phương pháp ký hiệu tổ nối dây bằng kim đồng hồ.

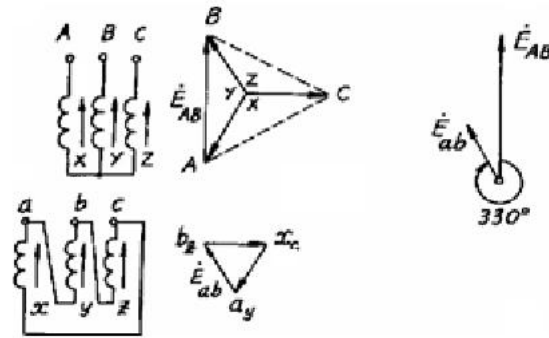
Đối với máy biến áp ba pha sẽ có 12 tổ nối dây. Ví dụ một máy biến áp ba pha có hai dây quấn nối hình Y, cùng chiều quấn dây và cùng ký hiệu đầu dây 9 (hình 2-27a) thì hình sao sức điện động pha giữa hai dây quấn hoàn toàn trùng với nhau và góc lệch pha giữa hai điện áp dây sẽ bằng 0° hay 360° (hình 2-27b).



Hình 2-27. Tổ nối dây Y/Y-12

Ta nói máy biến áp thuộc tổ nối dây 12 và ký hiệu là Y/Y-12 hay Y/Y-0. Nếu đổi chiều quấn dây hay đổi ký hiệu đầu dây của dây quấn thứ cấp ta có tổ nối dây Y/Y-6. Hoán vị thứ tự các pha thứ cấp,

ta sẽ có các tổ nối dây chẵn 2, 4, 8, 10. Cũng với máy biến áp trên, khi dây quấn đầu theo sơ đồ Y/ Δ như trên hình (2-28) thì góc lệch pha giữa điện áp sơ cấp và thứ cấp là 330° – máy biến áp thuộc tổ nối dây Y/ Δ -11 hay Y/D-5. Thay đổi chiều quấn dây hay đổi ký hiệu đầu dây của dây quấn thứ cấp ta có tổ nối dây Y/ Δ -5 hay Y/D-5. Hoán vị các pha thứ cấp ta sẽ có các tổ nối dây lẻ 1, 3, 7, 9.



Hình 2-28. Tổ nối dây Y/ Δ -11.

Sản xuất nhiều máy biến áp có tổ nối dây khác nhau rất bất tiện khi chế tạo và sử dụng, vì thế trên thực tế ở nước ta cũng như trên thế giới chỉ sản xuất các máy điện lực thuộc các tổ nối dây sau: Máy biến áp một pha có tổ I/I-12; máy biến áp ba pha có các tổ Y/Y₀-12 (hay Y/Y_n-0), Y/ Δ -11 và Y₀/ Δ -11 (hay Y/D-11 và Y_n/D-11). Phạm vi ứng dụng của chúng được ghi trong bảng sau :

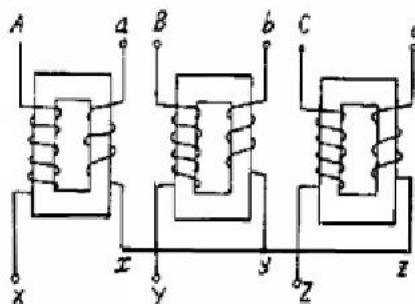
Tổ nối dây	Điện áp		Dung lượng của máy biến áp (kVA)
	CA (kV)	HA (V)	
Y/Y ₀ - 12	≤ 35	230	≤ 630
Y/ Δ - 11	≤ 35	400	≤ 2500
		525	≤ 2500
		> 525	≤ 6300
Y/ Δ - 11	≥ 110	≥ 3150	≥ 4000
Y ₀ / Δ - 11	≥ 6,3	≥ 3300	≥ 10000

II. Mạch từ của máy biến áp:

1. Các dạng mạch từ:

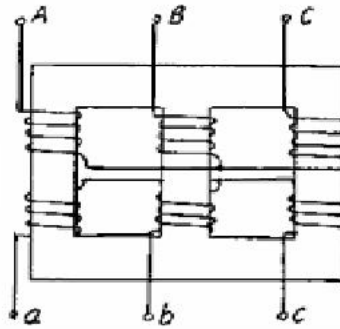
Đối với máy biến áp một pha có thể có hai loại kết cấu mạch từ: mạch từ kiểu lõi và mạch từ kiểu bọc. Đối với máy biến áp ba pha, dựa vào sự không liên quan hay có liên quan của các mạch từ giữa các pha người ta chia ra: máy biến áp có hệ thống mạch từ riêng và máy biến áp có hệ thống mạch từ chung.

Hệ thống mạch từ riêng là hệ thống mạch từ trong đó từ thông của ba pha độc lập với nhau như ở trường hợp máy biến áp ba pha ghép từ máy biến áp một pha gọi tắt là tổ máy biến áp ba pha (hình 2-29).



Hình 2-29. Tổ máy biến áp ba pha.

Hệ thống mạch từ chung là hệ thống mạch từ trong đó từ thông ba pha có liên quan với nhau như ở máy biến áp ba pha kiểu trụ – để phân biệt với loại trên ta gọi là máy biến áp ba pha ba trụ (hình 2-30).



Hình 2-30. Máy biến áp ba pha ba trụ.

Trên thực tế hiện nay, máy biến áp ba pha ba trụ được dùng phổ biến với các cỡ dung lượng nhỏ và trung bình vì loại này hình dáng gọn, nhỏ, ít tốn nhiên liệu và rẻ hơn. Còn loại tổ máy biến áp ba pha chỉ dùng cho các máy biến áp cỡ lớn (dung lượng từ 3 x 600 kVA trở lên), vì vậy có thể vận chuyển từng pha máy biến áp một cách dễ dàng và thuận lợi.

2. Những hiện tượng xuất hiện khi từ hóa lõi thép máy biến áp:

Khi từ hóa lõi thép máy biến áp, do mạch từ bão hòa sẽ làm xuất hiện những hiện tượng mà trong một số trường hợp những hiện tượng ấy có thể ảnh hưởng đến tình trạng làm việc của máy biến áp. Chúng ta hãy xét những ảnh hưởng đáng kể đó khi máy biến áp làm việc không tải, nghĩa là khi đặt vào dây quấn sơ cấp điện áp hình sin, còn dây quấn thứ cấp hở mạch.

a. Máy biến áp một pha: Điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp sẽ sinh ra dòng điện không tải i_0 chạy trong nó, dòng điện i_0 sinh ra từ thông Φ chạy trong lõi thép .

Nếu điện áp đặt vào biến thiên theo thời gian:

$$u = U_m \sin \omega t \quad (2-10)$$

Bỏ qua điện áp rơi trên điện trở dây quấn, thì:

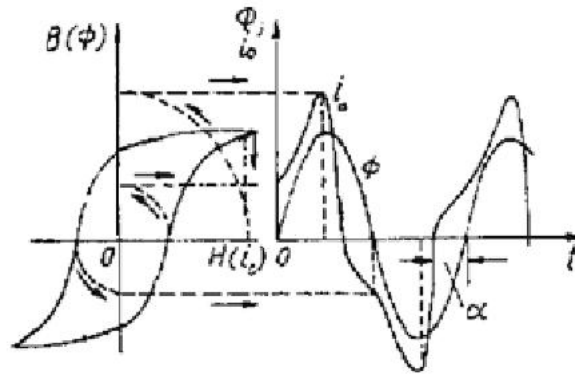
$$u = -e = w \frac{d\Phi}{dt} \quad (2-11)$$

nghĩa là từ thông sinh ra cũng biến thiên hình sin theo thời gian:

$$\Phi = \Phi_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2-12)$$

Trước tiên, nếu không kể đến tổn hao trong lõi thép thì dòng điện không tải i_0 thuần túy là dòng điện phản kháng dùng để từ hóa lõi thép $i_0 = i_{0x}$. Do đó quan hệ $\Phi = f(i_0)$ cũng chính là quan hệ từ hóa $B = f(H)$. Theo cơ sở lý thuyết mạch ta đã biết, do hiện tượng bão hòa của lõi thép, nếu Φ là hình sin, i_0 sẽ không hình sin mà có dạng nhọn đầu và trùng pha với Φ , nghĩa là dòng điện i_0 ngoài thành phần sóng cơ bản i_{01} , còn có các thành phần sóng bậc cao: bậc 3 là i_{03} , bậc 5 là i_{05} , ..., trong đó thành phần i_{03} lớn nhất và đáng kể hơn cả, còn các thành phần khác rất nhỏ, có thể bỏ qua. Ta có thể xem như chính thành phần bậc ba có tác dụng làm cho dòng điện từ hóa có dạng nhọn đầu. Cũng từ lý luận đó ta thấy, nếu mạch từ càng bão hòa thì i_0 càng nhọn đầu, nghĩa là thành phần i_{03} càng lớn.

Khi có kể đến tổn hao trong lõi thép thì quan hệ giữa $\Phi(t)$ và $\Phi(i_0)$ là quan hệ trễ $B(H)$. Từ quan hệ $\Phi(t)$ và $\Phi(i_0)$ ta có thể vẽ được đường biểu diễn quan hệ $i_0(t)$ như ở hình (2-31).

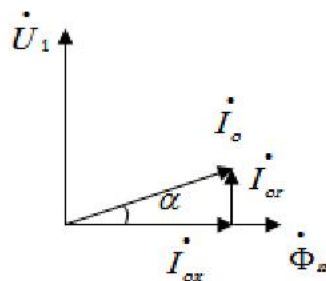


Hình 2-31. Ảnh hưởng của từ trễ đến đường cong dòng điện.

Đường cong $i_0(t)$ cho thấy nếu Φ là hình sin thì i_0 có dạng nhọn đầu nhưng vượt pha với Φ một góc α nào đó. Góc α lớn hay bé tùy theo mức độ chệch của B đối với H nhiều hay ít, nghĩa là tổn hao từ trễ trong lõi thép nhiều hay ít. Vì thế α được gọi là góc tổn hao từ trễ. Hình (2-32) biểu diễn vectơ dòng điện I_o và từ thông Φ_m khi có kể đến tổn hao trong lõi thép. Cần chú ý, vì dòng điện i_0 là không sin nên trên đồ thị vectơ chỉ vẽ gần đúng với thành phần bậc 1 của i_0 , hoặc là phải thay i_0 bằng một dòng điện hình sin đẳng trị có trị số hiệu dụng bằng trị số hiệu dụng của dòng điện i_0 thực. Ta thấy lúc này dòng điện không tải i_0 gồm hai thành phần: Thành phần phản kháng I_{ox} là dòng điện từ hóa lõi thép, tạo nên từ thông và cùng chiều với từ thông; thành phần tác dụng I_{or} , vuông góc với thành phần trên, là dòng điện gây nên tổn hao sắt từ trong lõi thép:

$$I_o = \sqrt{I_{or}^2 + I_{ox}^2} \quad (2-13)$$

Trên thực tế $I_{or} < 10\% I_o$, nghĩa là góc thường rất bé, nên dòng điện I_{or} thực ra không ảnh hưởng đến dòng điện từ hóa bao nhiêu và như vậy ta coi $I_{ox} \approx I_o$.

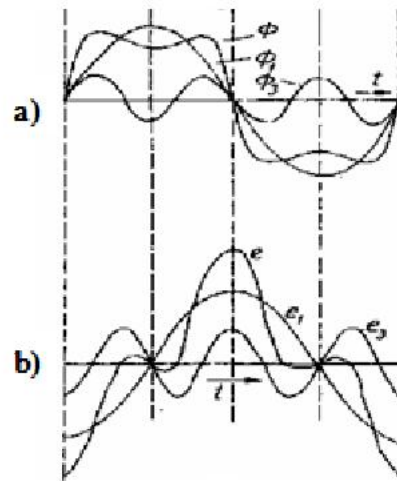


Hình 2-32. Dòng điện từ hóa với các thành phần của nó.

b. Máy biến áp ba pha: Khi không tải nếu xét từng pha riêng lẻ thì dòng điện bậc ba trong các pha trùng pha nhau về thời gian, nghĩa là tại mọi thời điểm chiều của dòng điện trong cả ba pha hoặc hướng từ đầu đến cuối dây quấn hoặc hướng ngược lại. Song chúng có tồn tại hay không và dạng sóng như thế nào còn phụ thuộc vào kết cấu mạch từ và cách đấu dây quấn.

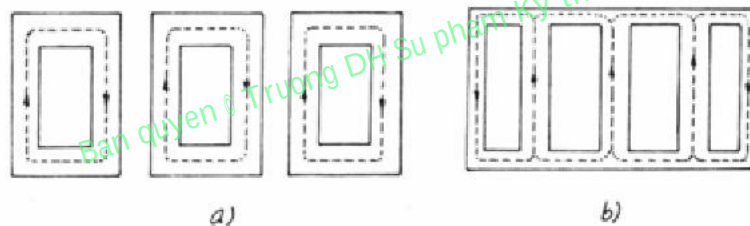
$$\left. \begin{aligned} i_{o3A} &= I_{o3m} \sin 3\alpha, \\ i_{o3B} &= I_{o3m} \sin 3(\alpha - 120^\circ) = I_{o3m} \sin 3\alpha, \\ i_{o3C} &= I_{o3m} \sin 3(\alpha - 240^\circ) = I_{o3m} \sin 3\alpha. \end{aligned} \right\} \quad (2-14)$$

Trường hợp máy biến áp nối Y/Y: Vì dây quấn sơ cấp nối Y nên thành phần dòng điện bậc ba không tồn tại, do đó dòng điện từ hóa i_0 sẽ có dạng hình sin và từ thông do nó sinh ra sẽ có dạng vọt đầu (đường đậm nét trên hình 2-33a).



Hình 2-33. Đường biểu diễn từ thông a) và s.d.đ b) của tổ mba ba pha nối Y/Y

Như vậy có thể xem từ thông tổng Φ gồm sóng cơ bản Φ_1 và các sóng điều hòa bậc cao $\Phi_3, \Phi_5, \dots$. Vì các thành phần điều hòa bậc cao hơn 3 rất nhỏ có thể bỏ qua do đó trên đồ thị hình 2-33a ta chỉ vẽ các từ thông Φ_1 và Φ_3 . Đối với tổ máy biến áp ba pha, vì mạch từ của cả ba pha riêng rẽ, từ thông Φ_3 của cả ba pha cùng chiều tại mọi thời điểm sẽ dễ dàng khép kín trong từng lõi thép như từ thông Φ_1 (hình 2-34a).



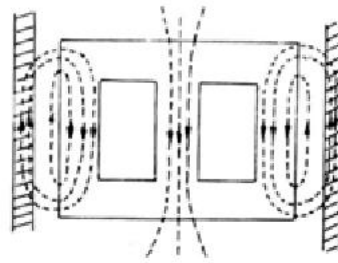
Hình 2-34. Từ thông điều hòa bậc ba.

a) Trong tổ máy biến áp ba pha; b) Trong máy biến áp ba pha năm trụ

Do từ trở của lõi thép rất bé, nên Φ_3 có trị số khá lớn, có thể đạt tới $(15 \div 20)\% \Phi_1$. Kết quả là trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp, ngoài sức điện động cơ bản e_1 do từ thông Φ_1 tạo ra và chậm sau Φ_1 một góc 90° , còn có các sức điện động bậc ba e_3 khá lớn (có thể đạt đến trị số $E_3 = (45 - 60)\% E_1$) do từ thông Φ_3 tạo ra và chậm sau Φ_3 một góc 90° . Do đó sức điện động tổng trong pha $e = e_1 + e_3$ sẽ có dạng nhọn đầu hình (2-33b), nghĩa là biên độ của sức điện động pha tăng lên rõ rệt. Sự tăng vọt của sức điện động như vậy hoàn toàn không lợi và trong nhiều trường hợp rất nguy hiểm, như chọc thủng cách điện của dây quấn, làm hư hỏng thiết bị đo lường và nếu trung tính nối đất dòng điện bậc ba sẽ gây ảnh hưởng đến đường dây thông tin. Bởi những lý do đó, trên thực tế người ta không dùng kiểu đấu Y/Y cho tổ máy biến áp ba pha. Cũng cần nói thêm rằng, dù sức điện động pha có trị số và hình dáng biến đổi nhiều nhưng các sức điện động dây vẫn luôn luôn là hình sin, vì dây quấn nối Y thì sức điện động dây không có thành phần bậc 3.

Những hiện tượng xuất hiện trong máy biến áp ba pha năm trụ (hình 2-34b) cũng tương tự như vậy, do đó những kết luận trên đây cũng được áp dụng cho loại biến áp này.

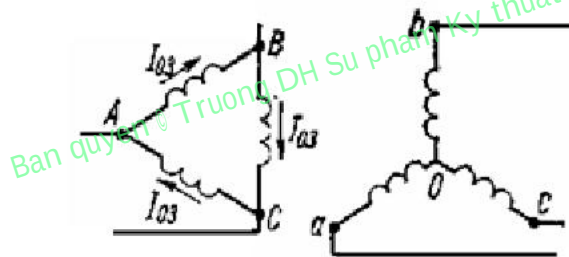
Đối với máy biến áp ba pha ba trụ, vì thuộc hệ thống mạch từ chung nên hiện tượng sẽ khác đi. Từ thông Φ_3 bằng nhau và cùng chiều trong ba trụ thép tại mọi thời điểm, nên chúng không thể khép mạch từ trụ này qua trụ khác được mà bị đẩy ra ngoài và khép mạch từ gông này đến gông kia qua không khí hoặc dầu là môi trường có từ trở lớn (hình 2-35).



Hình 2-35. Từ thông điều hoà bậc ba trong máy biến áp ba pha ba trụ

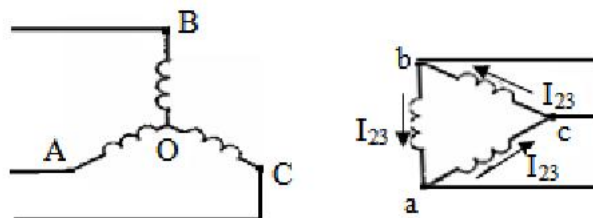
Vì thế Φ_3 không lớn lắm và có thể xem từ thông trong mạch từ là hình sin, nghĩa là sức điện động pha thực tế là hình sin. Song cần chú ý rằng vì từ thông bậc 3 đập mạch với tần số $3f$ qua vách thùng, các bulông ghép... sẽ gây nên những tổn hao phụ làm hiệu suất của máy biến áp giảm xuống. Do đó phương pháp đấu Y/Y đối với máy biến áp ba pha ba trụ cũng chỉ áp dụng cho các máy biến áp với dung lượng hạn chế từ 6300 kVA trở xuống.

Trường hợp máy biến áp pha nối Δ/Y (hình 2-36): Dây quấn sơ cấp nối, nên dòng điện I_{03} sẽ khép kín trong tam giác đó, như vậy dòng điện từ hóa vì có thành phần bậc 3 sẽ có dạng nhọn đầu. Cũng tương tự như máy biến áp một pha đã xét ở trên, từ thông tổng và các sức điện động của dây quấn sơ cấp và thứ cấp có dạng hình sin. Do đó sẽ không có những hiện tượng bất lợi như trường hợp trên.



Hình 2-36. Dòng điện điều hòa bậc 3 trong dây quấn nối Δ/Y khi không tải.

Trường hợp máy biến áp ba pha nối Y/ Δ (hình 2-37):

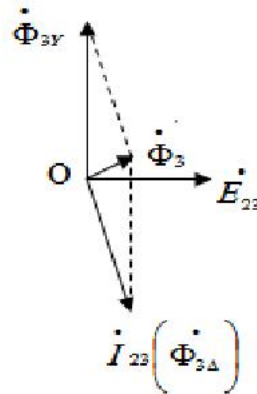


Hình 2-37. Dòng điện điều hòa bậc 3 trong dây quấn nối Y/ Δ khi không tải

Do dây quấn sơ cấp nối Y nên dòng điện từ hóa trong đó sẽ không có thành phần bậc 3, như vậy ta lại có kết luận như trường hợp a, từ thông sẽ có dạng vọt đầu, nghĩa là thành phần từ thông bậc 3 là Φ_{3Y} . Từ thông Φ_{3Y} sẽ cảm ứng ra trong dây quấn thứ cấp sức điện động bậc 3 là E_{23} chậm sau Φ_{3Y} một góc 90° (hình 2-38). Đến lượt E_{23} gây ra dòng điện bậc 3 trong mạch vòng thứ cấp nối tam giác I_{23} . Vì điện kháng của dây quấn lớn nên có thể xem I_{23} chậm so với E_{23} một góc gần 90°

(hình 2-38), rõ ràng I_{23} sẽ sinh ra từ thông cấp $\Phi_{3\Delta}$ (coi gần trùng pha với I_{23}) gần như ngược pha với Φ_{3Y} . Do đó từ thông tổng bậc 3 trong lõi thép $\Phi_3 = \Phi_{3Y} + \Phi_{3\Delta}$ gần như bị triệt tiêu. Ảnh hưởng của từ thông bậc 3 trong mạch từ không đáng kể, sức điện động qua sẽ gần hình sin.

Tóm lại khi máy biến áp làm việc không tải, các cách đấu dây quấn Δ/Y hay Y/Δ để tránh được tác hại của từ thông và sức điện động điều hòa bậc 3.



Hình 2 - 38. Tác dụng của dòng điện I_{23} khi dây quấn đấu Y/Δ

3. Tính toán mạch từ:

Mục đích của tính toán mạch từ máy biến áp là xác định dòng điện cần thiết để từ hóa lõi thép và tổn hao trong mạch từ. Điều này rất cần thiết khi tính toán thiết kế máy biến áp.

Dòng điện từ hóa hay dòng điện không tải I_0 gồm có hai thành phần: Thành phần tác dụng I_{or} và thành phần phản kháng I_{ox} .

a. Thành phần dòng điện tác dụng I_{or} : Như đã biết, dòng điện tác dụng phụ thuộc vào tổn hao sắt từ trong lõi thép. Tổn hao này có thể tính gần đúng theo biểu thức:

$$\Delta p_{Fe} = \rho_{1/50} [B_t^2 G_t + B_g^2 G_g] \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3} \quad (2-15)$$

Trong đó:

$\rho_{1/50}$ là suất tổn hao trong thép khi cường độ từ cảm là 1 Tesla (T) và tần số là 50 Hz.

B_t và B_g là cường độ từ cảm trong trụ và gông từ (T).

G_t và G_g là trọng lượng trụ và gông tính theo kích thước hình học của lõi thép (Kg).

Do đó thành phần tác dụng của dòng điện từ hóa:

$$I_{or} = \frac{\Delta p_{Fe}}{m U_1} \quad (2-16)$$

Trong đó m là số pha của máy biến áp.

b. Thành phần dòng điện phản kháng I_{ox} : Dòng điện phản kháng có thể tính được theo hai phương pháp.

- **Phương pháp thứ nhất:** Dựa trên quan điểm của định luật toàn dòng điện, tính toán mạch từ máy biến áp:

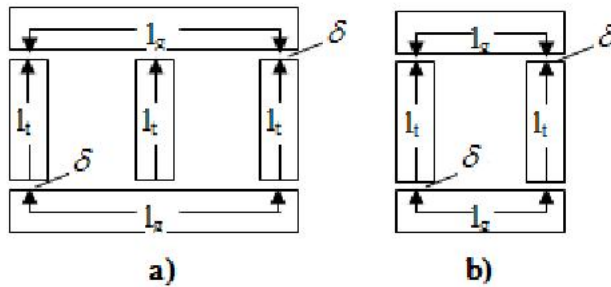
$$\sqrt{2} I_{ox} w = F = \sum H l \quad (2-17)$$

Đối với máy biến áp một pha (hình 2-39b), sức từ động có giá trị:

$$F = 2 H_t l_t + 2 H_g l_g + n_K \frac{B_t}{\mu_o} \delta \quad (2-18)$$

Trong đó:

- + H_t và H_g là cường độ từ trường trong trụ và gông, xác định theo đường cong từ hóa tương ứng với cường độ từ cảm B_t và B_g (A/cm).
- + L_t và l_g là chiều dài trung bình của các đoạn mạch từ tương ứng với trụ và gông (cm).
- + δ là chiều dài của khe không khí giữa trụ và gông (cm).
- + n_k là số khe không khí, đối với máy biến áp một pha $n_k = 4$.



Hình 2-39. Mạch từ của máy biến áp.
a) Ba pha; b) Một pha

Đối với máy biến áp ba pha ba trụ, do mạch không đối xứng (hình 2-39a) nên sức từ động phải tính theo trị số trung bình:

Nếu ghép các lá thép xen kẽ thì ở hai pha thuộc hai trụ ngoài cùng sẽ có :

$$F' = H_t l_t + 2H_g l_g + n_k \frac{B_t}{\mu_0} \delta \quad (2-19)$$

Trong đó $n_k = 3$ là số khe hở giữa trụ và gông; còn pha thuộc trụ giữa có:

$$F'' = H_t l_t + n_k \frac{B_t}{\mu_0} \delta \quad (2-20)$$

Nhưng $n_k = 1$; do đó sức từ động trung bình:

$$F = \frac{2F' + F''}{3} = H_t l_t + \frac{2}{3} H_g l_g + n'_k \frac{B_t}{\mu_0} \delta \quad (2-21)$$

Trong đó:

$$n'_k = \frac{7}{3} \text{ gọi là số khe hở tính toán giữa trụ và gông.}$$

Biểu thức (2-21) cũng dùng để tính cho cả trường hợp lõi thép ghép nối (hình 2-39b) nhưng $n'_k = 2$.

Từ đó ta có thể tính được thành phần phản kháng của dòng điện từ hóa:

$$I_{ox} = \frac{F}{\sqrt{2}w} \quad (2-22)$$

- Phương pháp thứ hai: Dựa vào việc tính toán năng lượng từ trường hay công suất từ hóa (còn gọi là công suất phản kháng) của mạch từ.

Ta biết rằng năng lượng từ trường cực đại trong một đơn vị thể tích (hay gọi là mật độ năng lượng) của trường biến thiên hình sin theo thời gian là:

$$W'_{\max} = \frac{BH}{2} \quad (2-23)$$

Công suất phản kháng cho một đơn vị thể tích:

$$Q' = \omega W'_{\max} = \pi f . BH \quad (2-24)$$

Do đó công suất phản kháng của lõi thép có thể tích V hay trọng lượng G là:

$$Q = Q' V = \frac{Q' G}{\gamma} = \frac{\pi f . BH}{\gamma} G = q_t G \quad (2-25)$$

Trong đó:

γ là trọng lượng riêng của thép;

$$q_t = \frac{\pi f . BH}{\gamma} = \frac{\pi f . B^2}{\mu_0 \gamma} \text{ là công suất phản kháng trên một đơn vị trọng lượng của thép, gọi tắt là}$$

suất từ hóa.

Đối với khe không khí thì công suất phản kháng được tính theo biểu thức:

$$Q = q_n \delta . S = n_k q_\delta S \quad (2-26)$$

Trong đó:

S là diện tích của khe không khí;

n_k là số khe hở thực trên toàn bộ lõi thép;

Q là công suất phản kháng trên một đơn vị thể tích khe hở;

$q_\delta = q \delta$ là công suất phản kháng trên một đơn vị diện tích khe hở.

Căn cứ vào cường độ từ cảm B của mỗi loại thép đã cho có thể xác định được q_t và q_δ theo các đường cong $q_t = f(B)$ và $q_\delta = f(B)$ trên hình (2- 40).

Vì công suất phản kháng dùng để từ hóa máy biến áp là:

$$Q_0 = m U_1 I_{ox} \quad (2-27)$$

Do đó dòng điện phản kháng:

$$I_{ox} = \frac{Q_0}{m U_1} = \frac{q_{t,t} G_t + q_{t,g} G_g + n q_\delta S}{m U_1} \quad (2-28)$$

Trong đó:

$q_{t,t}, q_{t,g}$ là suất từ hóa trong trụ và gông;

G_t và G_g là trọng lượng của trụ và gông.

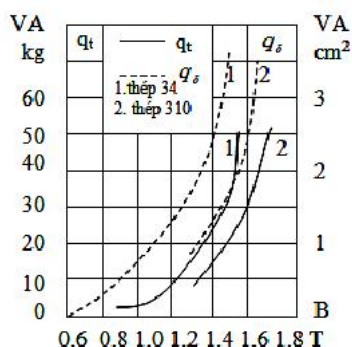
Cuối cùng dòng điện từ hóa toàn phần:

$$I_0 = \sqrt{I_{or}^2 + I_{ox}^2} \quad (2-29)$$

Dòng điện I trong máy biến áp điện lực thường rất nhỏ, lúc điện áp định mức trị số phần trăm của nó so với dòng điện định mức:

$$i_0 \% = \frac{I_0}{I_m} 100 \quad (2-30)$$

Thường thì vào khoảng $2 \div 10$, trong đó trị số sau dùng cho máy biến áp dung lượng bé.



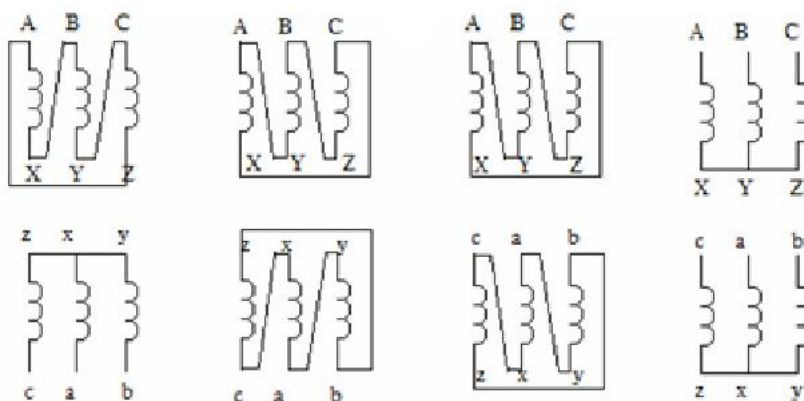
Hình 2-40. Quan hệ $q_t = f(B)$ và $q_\delta = f(B)$

CÂU HỎI :

1. Tổ nối dây của máy biến áp là gì ? Sự cần thiết phải xác định tổ nối dây ?
2. Vẽ các sơ đồ dây quấn ứng với các tổ nối dây Y/Y-2, 8, 10 và các sơ đồ dây quấn ứng với các tổ nối dây Y/ Δ -1, 3, 7, 9.
3. Dòng điện từ hóa máy biến áp lớn hay bé, tại sao ? Nó phụ thuộc vào những yếu tố nào?
4. Các kết cấu mạch từ khác nhau và cách đấu dây quấn khác nhau ảnh hưởng như thế nào đối với dòng điện và điện áp lúc không tải của máy biến áp ba pha ?
5. Nguyên tắc tính toán mạch từ của máy biến áp như thế nào ?

BÀI TẬP:

Hãy xác định tổ nối dây của các máy biến áp trên hình sau :



Đáp số: Δ/Y -11, Δ/Δ -10.
 Δ/Δ -4, Y/Y-4.

§ 2.3 CÁC QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY BIẾN ÁP

Trong bài này chúng ta sẽ nghiên cứu sự làm việc của máy biến áp lúc tải đối xứng và mọi vấn đề có liên quan đều được xét trên một pha của máy biến áp ba pha hay trên máy biến áp một pha.

I. Các phương trình cơ bản của máy biến áp:

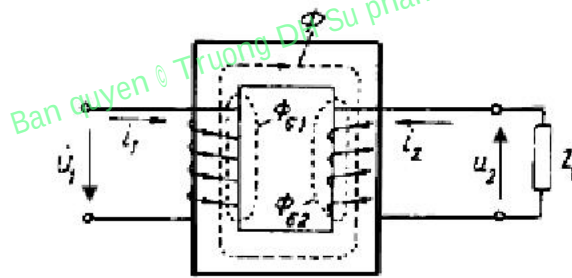
Để thấy rõ quá trình năng lượng trong máy biến áp, ta hãy xét các quan hệ điện từ trong trường hợp này.

1. Phương trình cân bằng sức điện động:

Khi đặt vào dây quấn sơ cấp một điện áp xoay chiều u_1 thì trong đó sẽ có dòng điện i_1 chạy qua. Nếu phía thứ cấp có tải thì trong dây quấn thứ cấp sẽ có dòng điện i_2 chạy qua. Những dòng điện i_1 và i_2 sẽ tạo nên sức từ động sơ cấp $i_1 w_1$ và $i_2 w_2$. Phần lớn từ thông do $i_1 w_1$ và $i_2 w_2$ sinh ra được khép mạch qua lõi thép móc vòng với cả dây quấn sơ cấp và thứ cấp được gọi là từ thông chính Φ . Từ thông chính gây nên trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp những sức điện động chính như đã biết:

$$\begin{aligned} e_1 &= -w_1 \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi_1}{dt} \\ e_2 &= -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi_2}{dt} \end{aligned} \quad (2-31)$$

Trong đó $\Psi_1 = w_1 \Phi$ & $\Psi_2 = w_2 \Phi$ là từ thông móc vòng với dây quấn sơ cấp và thứ cấp ứng với từ thông chính Φ .



Hình 2-41. Máy biến áp một pha làm việc có tải.

Còn một phần rất nhỏ từ thông do các sức từ động $i_1 w_1$ và $i_2 w_2$ sinh ra bị tản ra ngoài lõi thép khép mạch qua không khí hay dầu gọi là các từ thông tản sơ cấp $\Phi_{\sigma 1}$ và từ thông tản thứ cấp $\Phi_{\sigma 2}$. Từ thông tản $\Phi_{\sigma 1}$ do dòng điện i_1 sinh ra chỉ móc vòng với dây quấn sơ cấp; từ thông tản $\Phi_{\sigma 2}$ do dòng điện i_2 sinh ra chỉ móc vòng với dây quấn thứ cấp.

Các từ thông tản cũng gây nên sức điện động tản tương ứng:

$$e_{\sigma 1} = -w_1 \cdot \frac{d\Phi_{\sigma 1}}{dt} = -\frac{d\psi_{\sigma 1}}{dt} \quad (2-32a)$$

$$e_{\sigma 2} = -w_2 \cdot \frac{d\Phi_{\sigma 2}}{dt} = -\frac{d\psi_{\sigma 2}}{dt} \quad (2-32b)$$

Vì các từ thông tản chủ yếu đi qua môi trường không từ tính, do đó từ thẩm $\mu = C^{te}$ (như dầu, không khí, đồng, ...) và có thể xem $\Psi_{\sigma 1}$ và $\Psi_{\sigma 2}$ tỉ lệ với các dòng điện tương ứng sinh ra chúng qua các hệ số điện cảm tản $L_{\sigma 1}$ và $L_{\sigma 2}$ là những hằng số:

$$\begin{aligned}\Psi_{\sigma 1} &= L_{\sigma 1} i_1 \\ \Psi_{\sigma 2} &= L_{\sigma 2} i_2\end{aligned}\quad (2-33)$$

Do đó các sức điện động tản sơ cấp và thứ cấp có thể viết:

$$e_{\sigma 1} = -L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} \quad (2-34a)$$

$$e_{\sigma 2} = -L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt} \quad (2-34b)$$

Theo định luật Kirhôf 2, ta có phương trình cân bằng sức điện động của dây quấn sơ cấp:

$$u_1 + e_1 + e_{\sigma 1} = i_1 r_1 \quad (2-35)$$

trong đó r_1 là điện trở của dây quấn sơ cấp.

Phương trình (2-35) còn viết dưới dạng:

$$u_1 = -e_1 - e_{\sigma 1} + i_1 r_1 \quad (2-36)$$

Đối với dây quấn thứ cấp ta có :

$$e_{21} + e_{\sigma 2} = u_2 + i_2 r_2 \quad (2-37)$$

$$\Rightarrow u_2 = e_2 + e_{\sigma 2} - i_2 r_2 \quad (2-38)$$

trong đó r_2 là điện trở của dây quấn thứ cấp.

Để thấy rõ sự liên hệ về từ giữa dây quấn sơ cấp và thứ cấp, ta cũng có thể biểu thị các phương trình cân bằng sức điện động dưới dạng khác. Như đã trình bày ở trên, Ψ_1 và Ψ_2 là những từ thông móc vòng với các dây quấn tương ứng, khép mạch qua lõi thép và do tác dụng đồng thời của các dòng điện i_1 và i_2 sinh ra, nên ta có thể viết:

$$\Psi_1 = L_{11} i_1 + L_{12} i_2 \quad (2-39a)$$

$$\Psi_2 = L_{21} i_1 + L_{22} i_2 \quad (2-39b)$$

Trong đó:

L_{11}, L_{12} là tự cảm của dây quấn sơ cấp và thứ cấp khi từ thông khép mạch trong lõi thép;

L_{12}, L_{21} là hồ cảm giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp qua lõi thép.

Ta có thể thấy ngay rằng $L_{12} = L_{21} = M$. Vì sự liên hệ về từ nói trên được thực hiện qua lõi thép và môi trường sắt từ có: $\mu_{Fe} \neq C^{te}$ nên rõ ràng là các hệ số L_{11}, L_{22} và M không phải là những hằng số mà phụ thuộc vào độ bão hòa của lõi thép.

Từ các công thức trên thay vào ta được:

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} + i_1 r_1 \quad (2-40)$$

(như dầu, không khí, đồng, ...) và có thể xem $\Psi_{\sigma 1}$ và $\Psi_{\sigma 2}$ tỉ lệ với các dòng điện tương ứng sinh ra chúng qua các hệ số điện cảm tản $L_{\sigma 1}$ và $L_{\sigma 2}$ là những hằng số:

$$\Psi_{\sigma 1} = L_{\sigma 1} i_1 \quad (2-41a)$$

$$\Psi_{\sigma 2} = L_{\sigma 2} i_2 \quad (2-41b)$$

Do đó các sức điện động tản sơ cấp và thứ cấp có thể viết:

$$e_{\sigma 1} = -L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} \quad (2-42a)$$

$$e_{\sigma 2} = -L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt} \quad (2-42b)$$

Theo định luật Kirhôf 2, ta có phương trình cân bằng sức điện động của dây quấn sơ cấp:

$$u_1 + e_1 + e_{\sigma 1} = i_1 r_1 \quad (2-43)$$

trong đó r_1 là điện trở của dây quấn sơ cấp.

Phương trình (2-43) còn viết dưới dạng:

$$u_1 = -e_1 - e_{\sigma 1} + i_1 r_1 \quad (2-44)$$

Đối với dây quấn thứ cấp ta có :

$$e_{21} + e_{\sigma 2} = u_2 + i_2 r_2 \quad (2-45a)$$

$$u_2 = e_2 + e_{\sigma 2} - i_2 r_2 \quad (2-45b)$$

trong đó r_2 là điện trở của dây quấn thứ cấp.

Để thấy rõ sự liên hệ về từ giữa dây quấn sơ cấp và thứ cấp, ta cũng có thể biểu thị các phương trình cân bằng sức điện động dưới dạng khác. Như đã trình bày ở trên, Ψ_1 và Ψ_2 là những từ thông móc vòng với các dây quấn tương ứng, khép mạch qua lõi thép và do tác dụng đồng thời của các dòng điện i_1 và i_2 sinh ra, nên ta có thể viết:

$$\Psi_1 = L_{11} i_1 + L_{12} i_2 \quad (2-46a)$$

$$\Psi_2 = L_{21} i_1 + L_{22} i_2 \quad (2-46b)$$

Trong đó:

L_{11}, L_{12} là tự cảm của dây quấn sơ cấp và thứ cấp khi từ thông khép mạch trong lõi thép;

L_{12}, L_{21} là hồ cảm giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp qua lõi thép.

Ta có thể thấy ngay rằng $L_{12} = L_{21} = M$. vì sự liên hệ về từ nói trên được thực hiện qua lõi thép và môi trường sắt từ có: $\mu_{Fe} \neq C^{te}$ nên rõ ràng là các hệ số L_{11}, L_{22} và M không phải là những hằng số mà phụ thuộc vào độ bão hòa của lõi thép.

Từ các công thức trên thay vào ta được:

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} + i_1 r_1 \quad (2-47a)$$

$$u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} - i_2 r_2 \quad (2-47b)$$

Trong đó:

$L_1 = L_{11} + L_{\sigma 1}$ là điện cảm toàn phần của dây quấn sơ cấp;

$L_2 = L_{22} + L_{\sigma 2}$ là điện cảm toàn phần của dây quấn thứ cấp.

Nếu điện áp, sức điện động, dòng điện là những lượng xoay chiều biến thiên theo quy luật hình sin theo thời gian thì các phương trình cân bằng sức điện động ở trên có thể biểu diễn dưới dạng phức số như sau:

Với dây quấn sơ cấp:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{\sigma 1} + \dot{I}_1 r_1 \quad (2-48)$$

Với dây quấn thứ cấp:

$$\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - \dot{E}_{\sigma 2} + \dot{I}_2 r_2 \quad (2-49)$$

Khi dòng điện biến thiên hình sin theo thời gian thì trị số tức thời của sức điện động tản sơ cấp được viết:

$$\begin{aligned} e_{\sigma 1} &= -L_{\sigma 1} \frac{dI_{1m} \sin \omega t}{dt} = -I_{1m} \omega L_{\sigma 1} \cos \omega t \\ &= \sqrt{2} I_{1x} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = \sqrt{2} E_{\sigma 1} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned} \quad (2-50)$$

nghĩa là sức điện động $e_{\sigma 1}$ cũng biến thiên hình sin theo thời gian và chậm pha so với dòng điện i_1 sinh ra nó một góc 90° , do đó trị số hiệu dụng của nó có thể biểu diễn dưới dạng phức số như sau:

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j I_{1x} \quad (2-51)$$

trong đó $x_1 = \omega L_{\sigma 1}$ gọi là điện kháng tản của dây quấn sơ cấp.

Tương tự như vậy, ta cũng có sức điện động tản của dây quấn thứ cấp:

$$\dot{E}_{\sigma 2} = -j I_{2x} \quad (2-52)$$

trong đó $x_2 = \omega L_{\sigma 2}$ gọi là điện kháng tản của dây quấn thứ cấp.

Thay các trị số của $\dot{E}_{\sigma 1}$ và $\dot{E}_{\sigma 2}$ vào các phương trình trên, cuối cùng ta có các phương trình cân bằng sức điện động cho mạch sơ cấp và thứ cấp viết dưới dạng phức số:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + j I_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 (r_1 + j x_1) \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \end{aligned} \quad (2-53a)$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_2 &= \dot{E}_2 - j \dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2 \\ &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 (r_2 + jx_2) \\ &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2\end{aligned}\quad (2-53b)$$

Trong các phương trình này $Z_1 = r_1 + jx_1$ và $Z_2 = r_2 + jx_2$ là tổng trở của dây quấn sơ cấp và thứ cấp. Các thành phần $\dot{I}_1 Z_1$ và $\dot{I}_2 Z_2$ gọi là điện áp rơi trên dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

2. Phương trình cân bằng sức từ động:

Như trên ta thấy, lúc máy biến áp làm việc có tải, từ thông chính trong máy là do sức từ động tổng sơ cấp và thứ cấp ($i_1 w_1 + i_2 w_2$) tạo nên. Bây giờ nếu hở mạch thứ cấp, nghĩa là máy biến áp làm việc ở tình trạng không tải và dòng điện trong dây quấn sơ cấp là i_0 , thì từ thông chính trong lõi thép chỉ còn do sức từ động $i_0 w_1$ sinh ra. Nếu bỏ qua điện áp rơi trong máy biến áp, ta có thể xem điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp bằng sức điện động cảm ứng trong nó do từ thông chính gây nên:

$$U_1 \approx E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m \quad (2-54)$$

Nhưng điện áp U_1 đặt vào thường được giữ bằng điện áp định mức và luôn luôn không đổi dù máy biến áp làm việc có tải hay không tải, nên sức điện động E_1 và do đó từ thông Φ_m trong máy biến áp cũng luôn luôn có trị số không đổi.

Như vậy, nghĩa là sức từ động ($i_1 w_1 + i_2 w_2$) sinh ra từ thông chính Φ_m lúc có tải phải bằng sức từ động $i_0 w_1$ lúc không tải để bảo đảm cũng sinh ra được một từ thông chính Φ_m . Do đó ta có phương trình sức từ động:

$$i_{11} = i_{22} = i_{01} \quad (2-55)$$

Khi dòng điện là những hàm số hình sin theo thời gian, ta có thể viết phương trình cân bằng sức từ động dưới dạng phức số như sau:

$$\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2 = \dot{I}_0 w \quad (2-50)$$

Chia hai vế phương trình trên cho w_1 ta có:

$$\begin{aligned}\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 \frac{w_2}{w_1} &= \dot{I}_0 \\ \Rightarrow \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + \left(-\frac{w_2}{w_1} \dot{I}_2 \right) \\ \Rightarrow \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + \left(-\dot{I}_2' \right)\end{aligned}\quad (2-56)$$

Trong đó:

$$\dot{I}_2' = \dot{I}_2 \cdot \frac{w_2}{w_1} \quad (2-57)$$

Từ biểu thức trên ta thấy, lúc máy biến áp có tải, dòng điện trong dây quấn sơ cấp I_1 gồm hai thành phần: Một thành phần là $\dot{I}_0$ dùng để tạo nên từ thông chính trong lõi thép và một thành phần là $(-\dot{I}_2')$ dùng để bù lại tác dụng của dòng điện thứ cấp. do đó khi tải tăng lên, tức dòng điện thứ cấp

$\dot{I}_2$ tăng lên thì thành phần $(-\dot{I}_2)$ cũng tăng lên, nghĩa là dòng điện sơ cấp $\dot{I}_1$ cũng tăng lên để giữ sao cho dòng điện $\dot{I}_0$ Bảo đảm sinh ra từ thông trong máy hầu như không đổi. Chính vì thế dây quấn sơ cấp nhận thêm năng lượng từ lưới để truyền sang dây quấn thứ cấp, cung cấp cho tải.

II. Mạch điện thay thế của máy biến áp:

Như đã trình bày ở trên, máy biến áp truyền tải công suất dựa vào sự hỗ cảm giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp thông qua lõi thép là mạch từ có $\mu_{Fe} \neq C^{te}$. Việc nghiên cứu chế độ làm việc của máy biến áp dựa vào sự tính toán phối hợp mạch điện và mạch từ ứng với các mức bão hòa khác nhau của lõi thép gặp nhiều khó khăn. Vì vậy để đơn giản trong tính toán đối với bản thân máy biến áp cũng như đối với toàn bộ lưới điện, trong đó ngoài máy biến áp ra còn có máy phát điện, đường dây và hộ dùng điện, người ta thay các mạch điện và mạch từ của máy biến áp bằng một mạch điện tương đương gồm các điện trở và điện kháng đặc trưng cho máy biến áp gọi là mạch điện thay thế của máy biến áp.

Để có thể nối trực tiếp mạch sơ cấp và thứ cấp với nhau thành một mạch điện, các dây quấn sơ cấp và thứ cấp phải có cùng một điện áp. Trên thực tế, điện áp của các dây quấn đó lại khác nhau ($U_1 \neq U_2$), vì vậy phải quy đổi một trong hai dây quấn về dây quấn kia để cho chúng có cùng một cấp điện áp. Muốn vậy hai dây quấn phải có số vòng dây như nhau. Thường người ta quy đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp, nghĩa là coi như dây quấn thứ cấp cũng có số vòng dây bằng với số vòng dây của dây quấn sơ cấp ($w_2 = w_1$). Như đã nói ở trên, việc quy đổi đó chỉ cốt để thuận tiện cho việc tính toán chứ tuyệt nhiên không làm thay đổi các quá trình vật lý và năng lượng xảy ra trong máy biến áp như công suất truyền tải, tổn hao, năng lượng tích lũy trong từ trường của máy biến áp.

Dưới đây trước khi suy ra mạch điện thay thế của máy biến áp, ta hãy quy đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp.

1. Qui đổi máy biến áp:

Trước hết tất cả những lượng đã qui đổi từ thứ cấp về sơ cấp được gọi là những lượng qui đổi và được ký hiệu thêm một dấu phẩy (') trên đầu như sức điện động thứ cấp qui đổi E_2' , dòng điện thứ cấp qui đổi $\dot{I}_2'$, ...

a. Sức điện động và điện áp thứ cấp qui đổi E_2' và U_2' : Do qui đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp $w_2 = w_1$ nên sức điện động thứ cấp qui đổi lúc này đúng bằng sức điện động sơ cấp:

$$\dot{E}_2' = \dot{E}_1$$

Ta đã biết:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

$$\Rightarrow E_1 = \frac{w_1}{w_2} E_2 \quad (2-58)$$

Do đó:

$$\Rightarrow E_2' = \frac{w_1}{w_2} E_2 = k E_2 \quad (2-59)$$

Trong đó $k = w_1/w_2$ gọi là hệ số qui đổi thứ cấp về sơ cấp.

Tương tự, điện áp thứ cấp qui đổi:

$$\dot{U}_2' = k \dot{U}_2$$

Như vậy là khi máy biến áp có tỷ số biến đổi k , việc qui đổi dây quấn thứ cấp về sơ cấp tương đương với việc qui đổi sức điện động thứ cấp k lần để có trị số bằng sức điện động sơ cấp.

b. Dòng điện thứ cấp qui đổi I_2' : Việc qui đổi phải bảo đảm sao cho công suất thứ cấp của máy biến áp trước và sau qui đổi không thay đổi, nghĩa là:

$$E_2 I_2 = E_2' I_2' \quad (2-60)$$

Do đó dòng điện thứ cấp qui đổi:

$$I_2' = \frac{E_2}{E_2'} I_2 = \frac{1}{k} I_2 \quad (2-61)$$

Điều đó cũng có nghĩa là để bảo đảm cho công suất trên mạch thứ cấp không đổi, thì nếu E_2 tăng lên k lần, I_2 phải giảm xuống k lần hay ngược lại.

c. Điện trở, điện kháng và tổng trở thứ cấp qui đổi: Khi qui đổi, vì công suất không thay đổi nên tổn hao đồng ở dây quấn thứ cấp trước và sau khi qui đổi phải bằng nhau:

$$I_2'^2 r_2 = I_2^2 r$$

Do đó điện trở thứ cấp qui đổi:

$$r_2' = \left(\frac{I_2}{I_2'} \right)^2 r_2 = k^2 r_2 \quad (2-62)$$

Về mặt vật lý, điều này có nghĩa là khi qui đổi, nếu dòng điện I_2 giảm đi k lần, để giữ cho tổn hao trong dây quấn không đổi, vì tổn hao đồng tỷ lệ với bình phương dòng điện, thì điện trở phải tăng lên k^2 lần.

Tương tự như điện kháng thứ cấp qui đổi:

$$x_2' = k^2 x_2$$

Tổng trở thứ cấp qui đổi:

$$Z_2' = r_2' + jx_2' = k^2 (r_2 + jx_2) = k^2 Z_2 \quad (2-63)$$

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2 \quad (2-64)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \left(-\dot{I}_2' \right)$$

Đối với tải có mạch thứ cấp ta cũng có:

$$Z_t' = k^2 Z_t \quad (2-65)$$

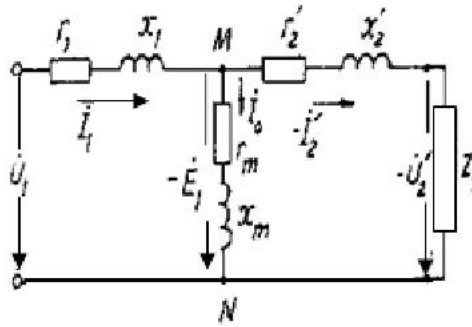
Trong đó $Z_t = r_t + jx_t$ là tổng trở tải lúc chưa qui đổi.

d. Các phương trình qui đổi : thay các lượng qui đổi vào các phương trình cân bằng sức điện động và sức từ động ở trên, ta được hệ thống các phương trình đó viết dưới dạng qui đổi như sau:

Sau này việc nghiên cứu máy biến áp chủ yếu dựa vào các phương trình qui đổi này.

2. Mạch điện thay thế của máy biến áp:

Dựa vào các phương trình sức điện động và sức từ động dưới dạng đã qui đổi, ta có thể suy ra một mạch điện tương ứng gọi là mạch điện thay thế của máy biến áp như trình bày ở hình (2-42).



Hình 2-42. Mạch điện thay thế hình T của máy biến áp.

Rõ ràng là phương trình Kirhốp 2 viết cho điện áp và sức điện động của mạch vòng 1 và 2. Phương trình Kirhốp 1 viết cho các dòng điện ở nút M của mạch điện đó hoàn toàn phù hợp với các phương trình cân bằng sức điện động đã thành lập ở trên.

Trong mạch điện thay thế nói trên, tổng trở Z_m được suy ra như sau: vì từ thông chính Φ được xem như dòng điện sinh ra, nên các từ thông móc vòng Ψ_2 và Ψ_1 ở các biểu thức trên có thể viết dưới dạng:

$$\begin{aligned}\Psi_1 &= kMi_0 \\ \Psi_2 &= Mi_0\end{aligned}\quad (2-66)$$

Do đó:

$$\begin{aligned}e_1 &= -kM \frac{di_0}{dt} \\ e_2 &= -M \frac{di_0}{dt}\end{aligned}\quad (2-67)$$

Giả sử rằng i_0 biến thiên hình sin theo thời gian, ta có thể viết:

$$\begin{aligned}\dot{E}_1 = \dot{E}_2 &= -j\omega kM \dot{I}_0 \\ &= -j \dot{I}_0 x_m\end{aligned}\quad (2-68)$$

Trong đó $x_m = k \omega M$ biểu thị cho sự hỗ cảm giữa mạch sơ cấp và thứ cấp ứng với từ thông chính Φ .

Tổn hao sắt từ trong lõi thép có thể biểu thị được bằng tổn hao trên điện trở từ hóa r_m đặt nối tiếp với điện kháng từ hóa x_m và có trị số:

$$r_m = \frac{\Delta p_{Fe}}{I_0^2}\quad (2-69)$$

Do đó cuối cùng ta có:

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = -\dot{I}_0(r_m + jx_m) = -\dot{I}_0 Z_m\quad (2-70)$$

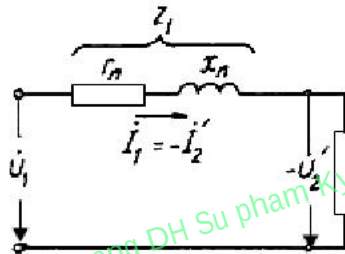
Như vậy ta đã thay thế máy biến áp thực gồm các mạch điện sơ cấp, thứ cấp riêng biệt và mạch từ của nó bằng một mạch điện thống nhất. Từ đó máy biến áp được xem như một mạng bốn cực hình T có ba nhánh: hai nhánh sơ cấp và thứ cấp có tổng trở $Z_1 = r_1 + jx_1$ và $Z_2 = r_2 + jx_2$ biểu thị điện trở và điện kháng tương ứng của từng dây quấn. Các dòng điện chạy trong chúng là I_1 và $(-I_2)$ và nhánh thứ ba còn gọi là nhánh từ hóa có tổng trở $Z_m = r_m + jx_m$ với dòng điện từ hóa là I_0 , biểu thị các hiện tượng trong lõi thép và liên hệ giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

3. Mạch điện thay thế đơn giản:

Máy biến áp có thể thay bằng một mạch điện rất đơn giản như ở hình (2-43) với một tổng đẳng trị của mạch sơ cấp và thứ cấp là tổng trở ngắn mạch của máy biến áp.

$$\begin{aligned} Z_n &= r_n + jx_n \\ r_n &= r_1 + r_2 \\ x_n &= x_1 + x_2 \end{aligned} \quad (2-71)$$

Sở dĩ có tên như vậy là vì tổng trở đẳng trị trên đúng bằng tổng trở khi ngắn mạch thứ cấp máy biến áp (nghĩa là $U_2 = 0$) mà nó có thể xác định được từ thí nghiệm ngắn mạch.

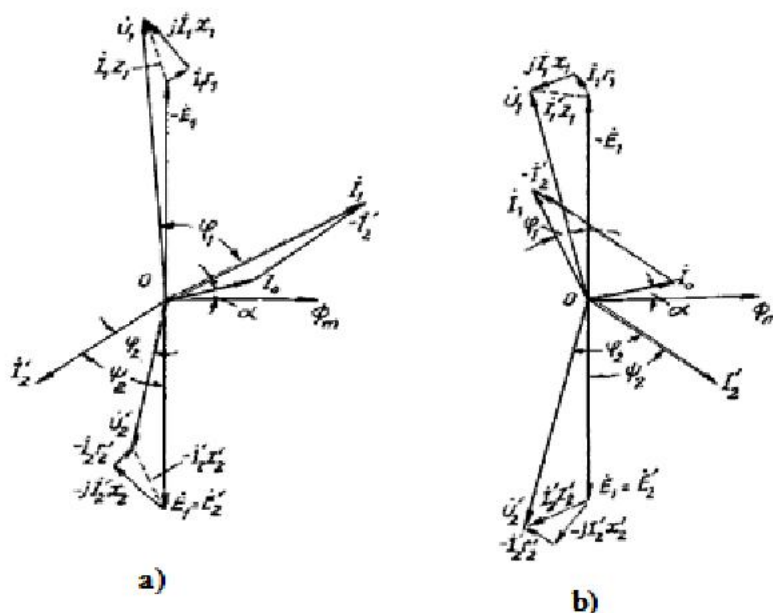


Hình 2-43. Mạch điện thay thế đơn giản của máy biến áp.

III. Đồ thị vectơ của máy biến áp:

Để thấy rõ quan hệ về trị số và góc lệch pha giữa các đại lượng vật lý trong máy biến áp như từ thông, sức điện động, dòng điện, ... đồng thời để thấy rõ được sự biến thiên của các đại lượng vật lý đó ở những chế độ làm việc khác nhau, ta vẽ đồ thị vectơ của máy biến áp.

Hình 2- 44a là đồ thị vectơ của máy biến áp trong trường hợp tải có tính chất điện cảm. Đồ thị vectơ được vẽ dựa vào các phương trình cân bằng sức điện động và sức từ động.



Hình 2-44. Đồ thị vectơ của máy biến áp.

a) lúc tải có tính chất điện cảm; b) lúc tải có tính chất điện dung

Đặt vector từ thông $\dot{\phi}_m$ theo chiều dương trục hoành, dòng điện không tải $\dot{I}_0$ sinh ra $\dot{\phi}_m$ vượt trước một góc α . Các sức điện động $\dot{E}_1$ và $\dot{E}_2 = \dot{E}_1$ do $\dot{\phi}_m$ sinh ra chậm sau nó một góc 90° . Vì tải có tính chất điện cảm, dòng điện $\dot{I}_2$ chậm sau sức điện động $\dot{E}_2$ một góc ψ_2 quyết định bởi điện kháng và điện trở của tải và dây quấn thứ cấp:

$$\psi_2 = \arctg \frac{x_1' + x_2'}{r_1' + r_2'} \quad (2-71)$$

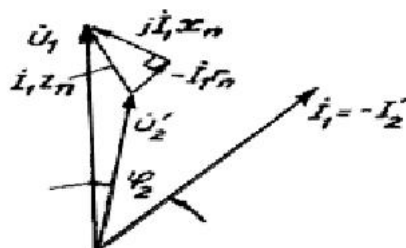
Ta có :

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2) \\ \dot{U}_2 &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2' \\ \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \end{aligned} \quad (2-72)$$

Đồ thị vector của máy biến áp lúc tải có tính chất điện dung vẽ trên hình 2-44b. Cách vẽ không có gì đặc biệt so với trường hợp trên. Kết quả $\dot{I}_2$ vượt trước $\dot{U}_2$ một góc φ_2 và $U_2 > E_2$. Chú ý rằng để dễ thấy, ở đây tỉ lệ xích điện áp rơi ta vẽ lớn hơn thực tế nhiều.

Tương ứng với mạch điện thay thế đơn giản ta có đồ thị vector đơn giản ở hình 2-45, trong đó $\dot{I}_0 = 0$. Để dễ thấy quan hệ giữa điện áp sơ cấp, thứ cấp và điện áp rơi trong máy biến áp, ta vẽ các vector $-\dot{U}_2$ và $-\dot{I}_2$, tức $\dot{U}_2$ và $\dot{I}_2$ đã quay đi 180° . Lúc này điện áp:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{U}_2 + \dot{I}_1 Z_n \\ &= -\dot{U}_2 + \dot{I}_1 r_n + j \dot{I}_1 x_n \end{aligned} \quad (2-73)$$



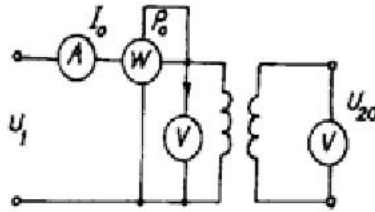
Hình 2-45. Đồ thị vector của máy biến áp ứng với giản đồ thay thế đơn giản lúc tải có tính chất điện cảm.

IV. Cách xác định các tham số của máy biến áp:

1. Phương pháp xác định các tham số bằng thí nghiệm:

a. Thí nghiệm không tải:

Sơ đồ thí nghiệm như hình 2 - 46.



Hình 2-46. Sơ đồ thí nghiệm không tải của máy biến áp một pha.

Đặt điện áp hình sin vào điện áp sơ cấp với $U_1 = U_{1dm}$, hồ mạch dây quấn thứ cấp. Nhờ vôn-mét, am-pê-mét, óát-mét sẽ đo được điện áp sơ cấp U_1 , thứ cấp U_{20} , dòng điện I_0 và công suất P_0 lúc không tải.

Từ các số liệu thí nghiệm ta xác định được tổng trở, điện trở và điện kháng máy biến áp lúc không tải:

$$\begin{aligned} z_0 &= \frac{U_1}{I_0} \\ r_0 &= \frac{P_0}{I_0^2} \\ x_0 &= \sqrt{z_0^2 - r_0^2} \end{aligned} \quad (2-74)$$

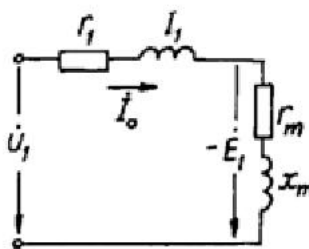
Ngoài ra còn xác định được tỉ số biến đổi của máy biến áp:

$$k = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}} \quad (2-75)$$

Và hệ số công suất lúc không tải:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_0} \quad (2-76)$$

Lúc máy biến áp không tải, tức $I_2' = 0$, mạch điện thay thế của máy biến áp có dạng như (hình 2-47).



Hình 2-47. Mạch điện thay thế của máy biến áp lúc không tải.

Như vậy các tham số không tải z_0 , r_0 và x_0 chính là:

$$\begin{aligned} z_0 &= |Z_1 + Z_m| \\ r_0 &= r_1 + r_m \\ x_0 &= x_1 + x_m \end{aligned} \quad (2-77)$$

Trong các máy biến áp điện lực thường r_1 và x_1 nhỏ hơn rất nhiều so với r_m và x_m nên có thể xem tổng trở, điện trở và điện kháng không tải bằng các tham số từ hóa tương ứng

$$z_0 \approx z_m; r_0 \approx r_m; x_0 \approx x_m \quad (2-78)$$

Cũng vì lý do đó, công suất lúc không tải P_0 , thực tế có thể xem là tổn hao sắt p_{Fe} do từ trễ và dòng điện xoáy trong lõi thép gây nên: $P_0 = \Delta p_{Fe}$

Vì điện áp sơ cấp đặt vào không thay đổi, nên Φ , B không thay đổi, nghĩa là tổn hao sắt, tức tổn hao không tải không thay đổi.

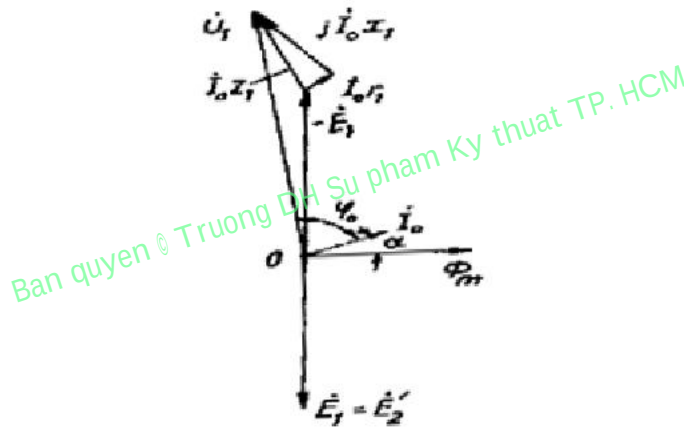
Khi không tải ta có hệ các phương trình:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_1 \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 (r_1 + jx_1) \end{aligned} \quad (2-79)$$

$$\dot{U}_{20} = \dot{E}_2$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0$$

Do đó đồ thị vector tương ứng có dạng như vẽ ở hình (2-48).

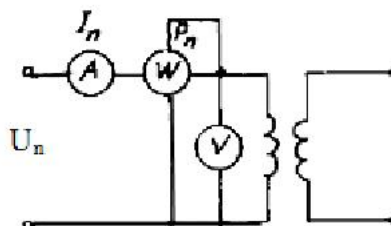


Hình 2-48. Đồ thị vector của máy biến áp không tải.

Từ đồ thị vector ta thấy, góc giữa $\dot{U}_1$ và $\dot{I}_0$ là $\varphi_0 \approx 90^\circ$, nghĩa là hệ số công suất lúc không tải rất thấp, thường $\cos \varphi_0 \leq 0,1$. Điều này có ý nghĩa thực tế lớn là không nên để máy biến áp vận hành không tải hoặc non tải, vì lúc đó sẽ làm xấu hệ số công suất của lưới điện.

b. Thí nghiệm ngắn mạch:

Sơ đồ thí nghiệm như ở hình (2-49), trong đó dây quấn thứ cấp bị nối ngắn mạch và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp phải được hạ thấp sao cho dòng điện trong đó bằng dòng điện định mức.



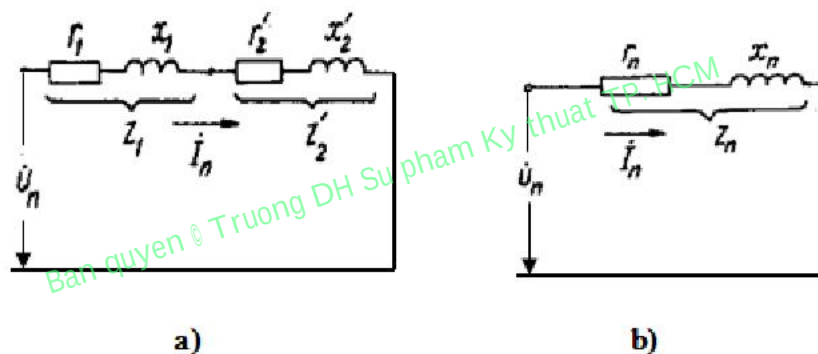
Hình 2-49. Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch của máy biến áp một pha.

Cũng như thí nghiệm không tải, từ các số liệu thí nghiệm ngắn mạch U_n , I_n và P_n đo được, ta xác định các tham số ngắn mạch của máy biến áp:

$$\begin{aligned} Z_n &= \frac{U_n}{I_n} \\ r_n &= \frac{P_n}{I_n^2} \\ x_n &= \sqrt{Z_n^2 - r_n^2} \end{aligned} \quad (2-80)$$

Vì lúc ngắn mạch, điện áp đặt vào rất nhỏ, nên từ thông chính lúc ngắn mạch rất nhỏ, nghĩa là dòng điện từ hóa trong trường hợp này cũng rất nhỏ. Do đó, mạch điện thay thế của máy biến áp có thể xem như hờ mạch từ hóa và còn lại một mạch nối tiếp của hai tổng trở sơ cấp và thứ cấp (hình 2-50a), hay đơn giản ta thay bằng một tổng trở đẳng trị (hình 2-50b) gọi là tổng trở ngắn mạch của máy biến áp.

$$\begin{aligned} Z_n &= Z_1 + Z_2' \\ r_n &= r_1 + r_2' \\ x_n &= x_1 + x_2' \end{aligned} \quad (2-81)$$



Hình 2-50. Mạch điện thay thế của máy biến áp lúc ngắn mạch.

Vì lý do dòng điện \$i_0\$ rất nhỏ nên ta xem rằng công suất lúc ngắn mạch là công suất dùng để bù vào tổn hao đồng trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp:

$$\begin{aligned} P_n &= \Delta p_{Cu1} + \Delta p_{Cu2} = I_{ln}^2 r_1 + I_2'^2 r_2' \\ &= I_{ln}^2 (r_1 + r_2') = I_{ln}^2 r_n \end{aligned} \quad (2-82)$$

Từ mạch điện thay thế lúc ngắn mạch (hình 2-50b) ta thấy rõ, điện áp đặt vào lúc ngắn mạch hoàn toàn cân bằng với điện áp rơi trong máy biến áp, hay nói cách khác, điện áp ngắn mạch gồm hai thành phần:

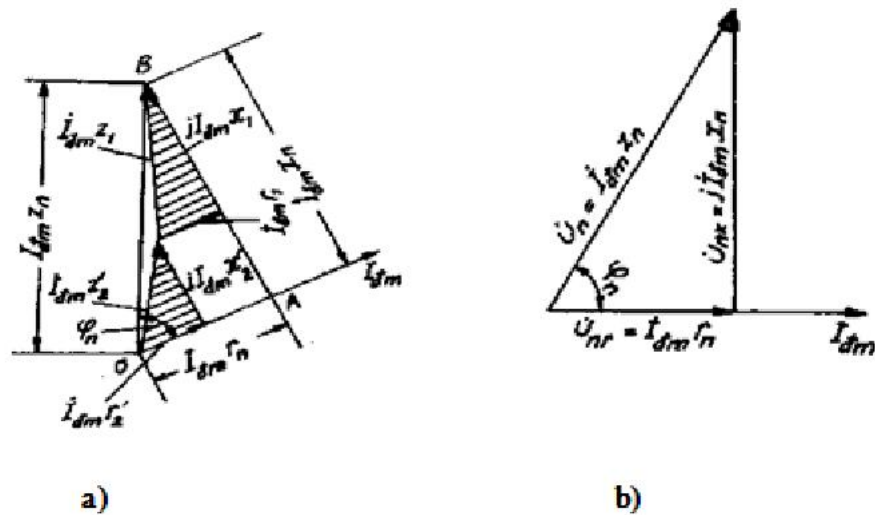
- Thành phần tác dụng:

\$U_{nr} = I_1 r_n\$ là điện áp rơi trên điện trở.

- Thành phần phản kháng:

\$U_{nx} = I_1 x_n\$ là điện áp rơi trên điện kháng.

Đồ thị vectơ của máy biến áp ngắn mạch với \$I_n = I_{dm}\$ vẽ trên hình (2-51).



**Hình 2 - 51. a) Đồ thị vector của máy biến áp ngắn mạch.
b) Tam giác điện áp ngắn mạch**

Tam giác OAB gọi là tam giác điện áp ngắn mạch, cạnh huyền biểu thị điện áp ngắn mạch toàn phần U_n , các cạnh góc vuông chính là điện áp rơi trên điện trở và điện kháng:

$$\begin{aligned} U_{nr} &= U_n \cos \varphi_n \\ U_{nx} &= U_n \sin \varphi_n \end{aligned} \quad (2-83)$$

Như vậy điện áp ngắn mạch có thể xem như đại lượng đặc trưng cho điện trở và điện kháng tản của dây quấn máy biến áp. Trong các máy biến áp điện lực, điện áp ngắn mạch được ghi trên nhãn máy và thường được biểu diễn bằng tỉ lệ phần trăm so với điện áp định mức:

$$u_n \% = \frac{U_n}{U_{dm}} \cdot 100 = \frac{I_{dm} \cdot z_n}{U_{dm}} \cdot 100 \quad (2-84)$$

Và các thành phần điện áp ngắn mạch là:

$$u_{nr} \% = \frac{U_{nr}}{U_{dm}} \cdot 100 = \frac{I_{dm} \cdot r_n}{U_{dm}} \cdot 100 \quad (2-85)$$

$$u_{nx} \% = \frac{U_{nx}}{U_{dm}} \cdot 100 = \frac{I_{dm} \cdot x_n}{U_{dm}} \cdot 100 \quad (2-86)$$

Thành phần điện áp ngắn mạch tác dụng cũng có thể tính như sau:

$$u_{nr} \% = \frac{I_{dm} \cdot r_n}{U_{dm}} \cdot \frac{I_{dm}}{I_{dm}} \cdot 100 = \frac{I_{dm}^2 \cdot r_n}{S_{dm}} \cdot 100 = \frac{P_n (W)}{10 S_{dm} (kVA)} \quad (2-87)$$

Chú ý: Ngắn mạch ở trên là do ta tiến hành thí nghiệm với điện áp đặt vào rất nhỏ để cho $I_n = I_{dm}$, thường gọi là ngắn mạch thí nghiệm. Trường hợp máy biến áp đang làm việc với điện áp sơ cấp định mức, nếu thứ cấp xảy ra ngắn mạch thì ta gọi là ngắn mạch vận hành hay ngắn mạch sự cố.

Lúc này toàn bộ điện áp định mức đặt lên tổng trở ngắn mạch rất nhỏ của máy biến áp, nên dòng điện ngắn mạch sự cố sẽ rất lớn:

$$I_n = \frac{U_{dm}}{Z_n} = \frac{I_{dm}}{u_n \%} \cdot 100 \quad (2-88)$$

2. Xác định tham số bằng tính toán:

a. Điện trở ngắn mạch:

Các điện trở của dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể tính được nếu biết các số liệu của dây quấn: Tiết diện dây dẫn S_1 và S_2 , số vòng dây w_1 và w_2 , chiều dài trung bình của các vòng dây l_{tb1} và l_{tb2} .

$$r_1 = k_r \rho_{75} \cdot \frac{w_1 l_{tb1}}{S_1} \quad (2-89a)$$

$$r_2 = k_r \rho_{75} \cdot \frac{w_2 l_{tb2}}{S_2} \quad (2-89b)$$

Trong đó:

$k_r = (1,03 \div 1,05)$ là hệ số kể đến tổn hao gây nên bởi từ trường tản.

$\rho_{75} = \frac{1}{47}$ là điện trở suất của đồng ở 75°C .

Do đó điện trở ngắn mạch:

$$r_n = r_1 + \left(\frac{w_1}{w_2} \right)^2 r_2 \quad (2-90)$$

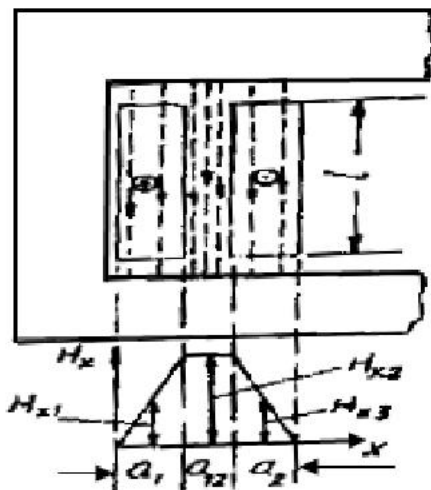
b. Điện kháng ngắn mạch: Việc xác định x_1 và x_2 liên quan đến việc xác định sự phân bố từ trường tản của từng dây quấn. Nhưng để xác định một cách chính xác sự phân bố của từ trường này rất phức tạp, do đó x_1 và x_2 chỉ có thể tính toán gần đúng với những giả thiết đơn giản (ví dụ trường hợp dây quấn hình trụ). Điện kháng ngắn mạch có thể tính:

$$\begin{aligned} x_n = x_1 + x_2' &= 2\pi f \frac{\Psi_1 + \Psi_2'}{i_1} \\ &= 2\pi \mu_0 f w_1^2 \frac{\pi D_{tb} k_R}{l_\sigma} \left(a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} \right) \end{aligned} \quad (2-91)$$

Trong đó:

D_{tb} là đường kính trung bình của hai ống dây

$k_R = 0,93 \div 0,98$ là hệ số qui đổi từ trường tản lý tưởng về từ trường tản thực tế. Các trị số a_1, a_2, a_{12} như hình vẽ.



Hình 2-52. Đường biểu diễn cường độ từ trường

VÍ DỤ:

Cho một máy biến áp ba pha có các số liệu sau đây: $S_{dm} = 5600$ kVA; $U_1/U_2 = 35000/6600$ V; $I_1/I_2 = 92,5/490$ A; $P_0 = 18,5$ kW; $i_0 = 4,5\%$; $u_n = 7,5\%$; $P_n = 57$ kW; $f = 50$ Hz; Y/ Δ -11.

Hãy xác định:

- Các tham số lúc không tải z_0, r_0 và x_0 .
- Các tham số ngắn mạch z_n, r_n, x_n và các thành phần của điện áp ngắn mạch.

Giải

- Các tham số lúc không tải:

Điện áp sơ cấp:

$$U_{1f} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = \frac{35000}{\sqrt{3}} = 20200(V)$$

Dòng điện pha không tải:

$$I_{0f} = 0,045I = 0,045 \cdot 92,5 = 4,16 (A).$$

Các tham số không tải:

$$z_0 = \frac{U_{1f}}{I_{0f}} = \frac{20200}{4,16} = 4850(V)$$

$$r_0 = \frac{P_0}{3I_{0f}^2} = \frac{18500}{3 \cdot 4,16^2} = 356(\Omega)$$

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{4850^2 - 356^2} = 4700(\Omega)$$

b. Các tham số ngắn mạch:

Điện áp pha ngắn mạch tính từ phía sơ cấp:

$$U_{1n} = U_{1f} \cdot u_n = 20200 \cdot 0,075 = 1520(V).$$

Các tham số ngắn mạch:

$$z_n = \frac{U_{1n}}{I_{1f}} = \frac{1520}{92,5} = 16,4(\Omega)$$

$$r_n = \frac{P_n}{3I_{1f}^2} = \frac{57000}{3 \cdot 92,5^2} = 1,8(\Omega)$$

$$x_n = \sqrt{z_n^2 - r_n^2} = \sqrt{16,4^2 - 1,8^2} = 16,3(\Omega)$$

Các thành phần của điện áp ngắn mạch:

$$u_{nr} \% = \frac{I_{1f} r_n}{U_{1f}} \cdot 100 = \frac{92,5 \cdot 1,8}{20200} \cdot 100 = 0,825$$

$$u_{nx} \% = \frac{I_{1f} x_n}{U_{1f}} \cdot 100 = \frac{92,5 \cdot 16,3}{20200} \cdot 100 = 7,45$$

CÂU HỎI:

1. Tại sao khi tăng dòng điện thứ cấp thì dòng điện sơ cấp lại tăng lên ? Lúc đó từ thông trong máy biến áp có thay đổi không ?
2. Làm thế nào để xác định được tham số từ hóa của máy biến áp ? Thực chất của dòng điện không tải, tổn hao không tải là gì ? Tại sao dung lượng máy biến áp nhỏ thì dòng điện không tải lại lớn ? Khi không tải, tăng điện áp đặt vào máy biến áp thì công suất của máy biến áp thay đổi ra sao ?
3. Làm thế nào để xác định được tổng trở của mạch sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp ? Tổn hao ngắn mạch là tổn hao gì ? Khi thí nghiệm ngắn mạch tại sao phải hạ điện áp xuống, thường bằng bao nhiêu ? Nếu đặt toàn bộ điện áp định mức vào lúc ngắn mạch thì sao ? Trị số điện áp ngắn mạch có ý nghĩa gì ?
4. Tổng trở Z_n có liên quan gì đến dòng điện ngắn mạch I_n của máy biến áp ? Muốn giảm bớt dòng điện ngắn mạch I_n của máy biến áp thì phải thiết kế kích thước của dây quấn như thế nào ?
5. Về đồ thị vector ứng với tải có tính chất điện dung ?

BÀI TẬP:

1. Một máy biến áp một pha có dung lượng 5 kVA có hai dây quấn sơ cấp và hai dây quấn thứ cấp giống nhau. Điện áp định mức của mỗi dây quấn sơ cấp là 11000 V và của mỗi dây quấn thứ cấp là 110 V. Thay đổi cách nối các dây quấn với nhau sẽ có các tỉ số biến đổi điện áp khác nhau. Với mỗi cách nối hãy tính các dòng điện định mức sơ cấp và thứ cấp.

Đáp số :

a. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều nối nối tiếp:

$$I_1 = 0,227 \text{ A} ; I_2 = 22,7 \text{ A}.$$

b. Dây quấn sơ cấp nối nối tiếp, dây quấn thứ cấp nối song song:

$$I_1 = 0,227 \text{ A} ; I_2 = 45,45 \text{ A}.$$

c. Dây quấn sơ cấp nối song song, dây quấn thứ cấp nối nối tiếp:

$$I_1 = 0,454 \text{ A} ; I_2 = 22,7 \text{ A}.$$

d. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều nối song song:

$$I_1 = 0,454 \text{ A} ; I_2 = 45,45 \text{ A}.$$

2. Cho một máy biến áp có dung lượng $S_{dm} = 20000 \text{ kVA}$, $U_1 = 126,8 \text{ kV}$, $U_2 = 11 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, diện tích tiết diện lõi thép $S = 3595 \text{ cm}^2$, mật độ từ thông $B = 1,35 \text{ T}$. tính số vòng dây của dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

Đáp số : $w_1 = 1177$ vòng, $w_2 = 102$ vòng.

3. Một máy biến áp ba pha Y / Y – 12 có các số liệu sau đây:

$S_{dm} = 180 \text{ kVA}$; $U_1 / U_2 = 6000/400 \text{ V}$; dòng điện không tải $i_0\% = 6,4$; tổn hao không tải $P_0 = 1000 \text{ W}$; điện áp ngắn mạch $u_n\% = 5,5$; tổn hao ngắn mạch $P_n = 4000 \text{ W}$. Giả sử $r_1 = r_2'$, $x_1 = x_2'$.
Hãy vẽ mạch điện thay thế của máy biến áp và tính các thành phần của điện áp ngắn mạch.

Đáp số :

$$r_m = 272 , x_m = 3117$$

$$r_1 = r_2' = 2,25$$

$$x_1 = x_2' = 5$$

$$u_{nr}\% = 2,23$$

$$u_{nx}\% = 5$$

4. Cho một máy biến áp một pha có các số liệu sau:

$$S_{dm} = 6637 \text{ kVA}, U_1 / U_2 = 35/10 \text{ kV}, P_n = 53500 \text{ W}, u_n\% = 8.$$

a. Tính z_n , r_n .

b. Giả sử $r_1 = r_2'$, tính điện trở không qui đổi của dây quấn thứ cấp.

Đáp số:

$$a. z_n = 14,8 ; r_n = 1,5$$

$$b. r_2 = 0,061 .$$

§ 2.4 MÁY BIẾN ÁP LÀM VIỆC Ở TẢI XÁC LẬP ĐỐI XỨNG

Trong điều kiện làm việc bình thường của lưới điện, ta có thể phân phối tải đều cho ba pha, lúc đó máy biến áp làm với điện áp đối xứng và dòng điện ở các pha bằng nhau. Ta hãy xét sự cân bằng năng lượng trong máy biến áp, các đặc tính khi máy biến áp làm việc riêng lẻ và khi làm việc song song với các điều kiện điện áp sơ cấp $U_1 = C^{te}$, và tần số $f = C^{te}$. Vì tải đối xứng, ta có thể xét riêng đối với một pha.

I. Giảm đồ năng lượng của máy biến áp:

Trong quá trình truyền tải năng lượng qua máy biến áp, một phần công suất tác dụng và công suất phản kháng bị tiêu hao trong máy. Ta hãy xét sự cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng trong máy biến áp. Sự cân bằng này có thể suy ra từ mạch điện thay thế của máy biến áp.

Gọi $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$ là công suất đưa vào một pha của máy biến áp. Một phần của công suất này bị tiêu hao trên điện trở của dây quấn sơ cấp $\Delta p_{cu1} = r_1 I_1^2$ và trong lõi thép $\Delta p_{Fe} = r_m I_o^2$. Phần còn lại là công suất điện từ truyền qua phía thứ cấp. Ta có:

$$P_t = P_1 - \Delta p_{cu1} - \Delta p_{Fe} = E_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (2-92)$$

Công suất đầu ra P_2 của máy biến áp sẽ nhỏ hơn công suất điện từ một lượng tổn hao trên điện trở của dây quấn thứ cấp $\Delta p_{cu2} = r_2 I_2^2$.

$$P_2 = P_t - \Delta p_{cu2} = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (2-93)$$

Cũng tương tự như vậy, ta có công suất phản kháng đầu vào:

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1 \quad (2-94)$$

Công suất này trừ đi công suất để tạo ra từ trường tản của dây quấn sơ cấp $q_1 = x_1 I_1^2$ và từ trường trong lõi thép $q_m = x_m I_o^2$, phần còn lại sẽ được đưa sang phía thứ cấp:

$$Q_t = Q_1 - q_1 - q_m = E_2 I_2 \sin \varphi_2 \quad (2-95)$$

Công suất phản kháng đầu ra bằng:

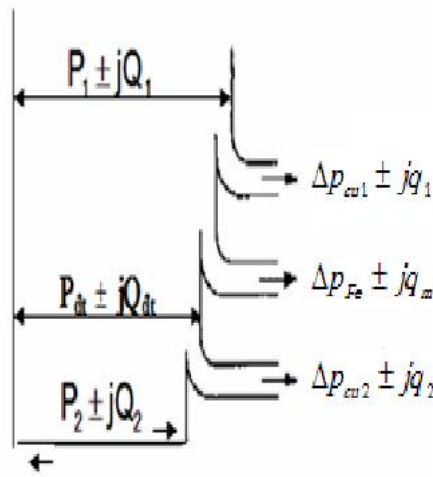
$$Q_2 = Q_t - q_2 = U_2 I_2 \sin \varphi_2 \quad (2-96)$$

Trong đó $q_2 = x_2 I_2^2$ là công suất để tạo ra từ trường tản của dây quấn thứ cấp.

Khi tải có tính chất điện cảm ($\varphi_2 > 0$) $Q_2 > 0$ lúc đó $Q_1 > 0$ và công suất phản kháng được truyền từ phía sơ cấp sang phía thứ cấp.

Khi tải có tính chất điện dung ($\varphi_2 < 0$) $Q_2 < 0$, trong trường hợp này công suất phản kháng được truyền theo chiều ngược lại từ phía thứ cấp sang sơ cấp nếu $Q_1 < 0$, hoặc toàn bộ công suất phản kháng từ phía thứ cấp và sơ cấp đều dùng để từ hóa máy biến áp nếu $Q_1 > 0$.

Sự cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng được biểu thị ở hình (2-53).



Hình 2-53. Giảm đồ năng lượng của máy biến áp.

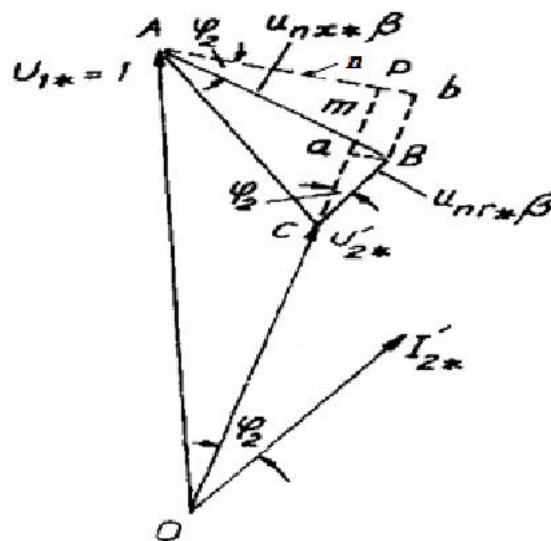
II. Độ thay đổi điện áp của máy biến áp và cách điều chỉnh điện áp:

Khi máy biến áp làm việc, điện áp đầu ra U_2 thay đổi theo trị số và tính chất điện cảm hoặc điện dung của dòng điện tải I_2 , do có điện áp rơi trên các dây quá sơ cấp và thứ cấp. Hiệu số số học giữa các trị số của điện áp thứ cấp lúc không tải U_{20} và lúc có tải U_2 trong điều kiện U_{1dm} không đổi gọi là độ thay đổi điện áp ΔU của máy biến áp. Trong hệ đơn vị tương đối ta có:

$$\Delta U_* = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} = \frac{U_{1m} - U_2}{U_{1m}} = 1 - U_{2*} \quad (2-97)$$

Ta có thể căn cứ vào đồ thị vector của máy biến áp để xác định ΔU bằng phương pháp hình học, nhưng vì các cạnh của tam giác điện kháng rất nhỏ so với U_1 , U_2 nên phương pháp này không được chính xác. Thông thường người ta dùng phương pháp giải tích sau đây:

Giả sử máy biến áp làm việc ở một tải nào đó đối với hệ số tải $\beta = \frac{I_2}{I_{2m}}$ và hệ số công suất $\cos\varphi_2$ cho biết và đồ thị vector tương ứng như ở hình (2-54).



Hình 2-54. Xác định ΔU của máy biến áp.

Khi ấy các cạnh của tam giác điện kháng ABC có giá trị:

$$BC = \frac{I_2 r_n}{U_{1m}} = \frac{I_{2m} r_n I_2}{U_{1dm} I_{2dm}} = u_{nr*} \beta \quad (2-98)$$

$$AB = \frac{I_2 x_n}{U_{1m}} = \frac{I_{2m} x_n I_2}{U_{1dm} I_{2dm}} = u_{nx*} \beta.$$

Hạ đường thẳng góc xuống U_2 và gọi $AP = n$, $CP = m$ ta có:

$$U_{2*} = \sqrt{1 - n^2} - m \approx 1 - \frac{n^2}{2} - m \quad (2-99)$$

Do đó:

$$\Delta U = 1 - U_{2*} \approx m + \frac{n^2}{2} \quad (2-100)$$

Vì theo hình (2-54):

$$\begin{aligned} m &= Ca + aP = \beta(u_{nr*} \cos \varphi_2 + u_{nx*} \sin \varphi_2) \\ n &= Ab - bP = \beta(u_{nx*} \cos \varphi_2 - u_{nr*} \sin \varphi_2) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \Delta U_* \approx \beta(u_{nr*} \cos \varphi_2 + u_{nx*} \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2 (u_{nx*} \cos \varphi_2 - u_{nr*} \sin \varphi_2)^2}{2} \quad (2-101)$$

Số hạng sau cùng của biểu thức trên thường rất nhỏ, có thể bỏ qua và ta có:

$$\Delta U_* = \beta(u_{nr*} \cos \varphi_2 + u_{nx*} \sin \varphi_2) \quad (2-102)$$

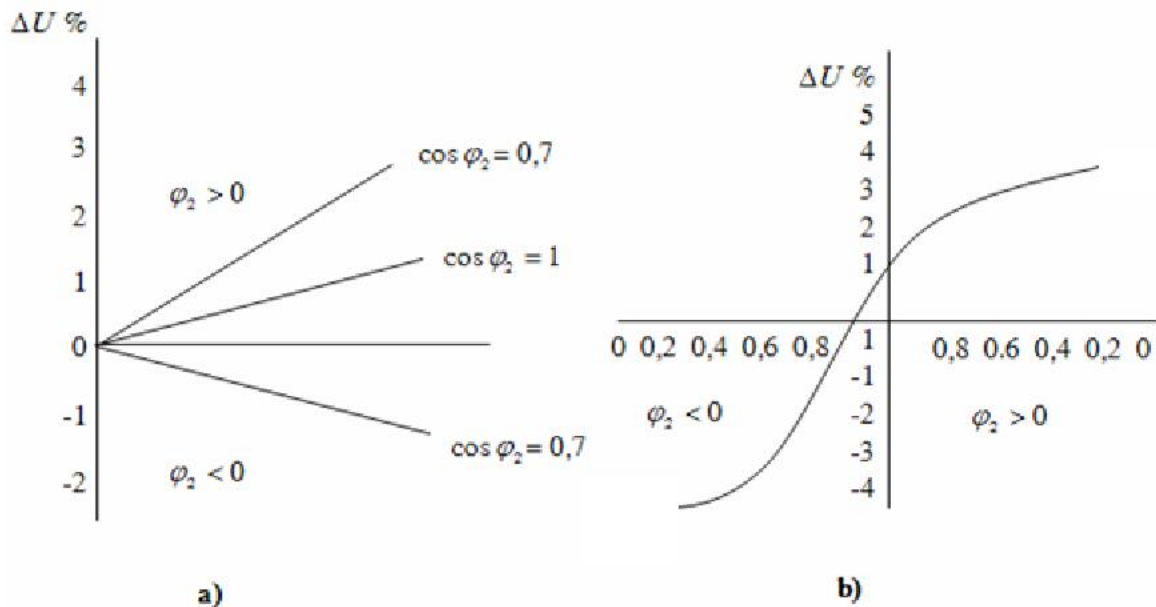
Muốn biểu thức ΔU theo phần trăm của U_{1dm} ta chỉ việc nhân hai vế của biểu thức trên với 100 vì:

$$\begin{aligned} \Delta u_* &= \frac{\Delta u \%}{100} \\ u_{nr*} &= \frac{u_{nr} \%}{100} \\ u_{nx*} &= \frac{u_{nx} \%}{100} \end{aligned} \quad (2-103)$$

Nên biểu thức trên trở thành:

$$\Delta U \% = \beta(u_{nr} \% \cos \varphi_2 + u_{nx} \% \sin \varphi_2) \quad (2-104)$$

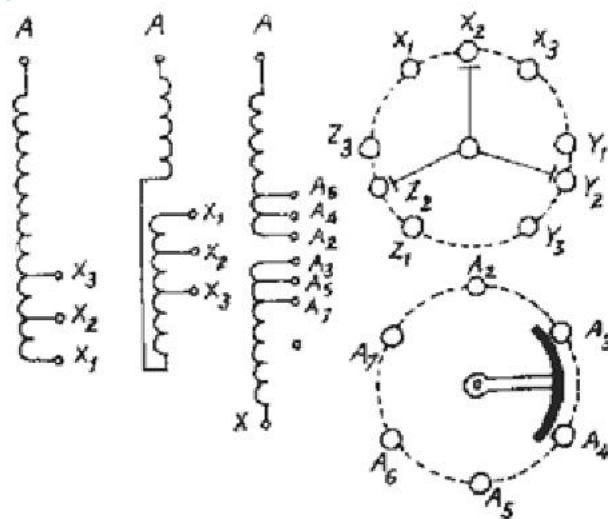
Trong biểu thức u_{nr*} , u_{nx*} đã được xác định do cấu tạo của máy nên ΔU_* phụ thuộc vào hệ số tải và tính chất của tải. Hình 2-55 cho biết các quan hệ $\Delta U = f(\beta)$ khi $\cos \varphi_2 = C^{te}$ và $\Delta U = f(\cos \varphi_2)$ khi $\beta = C^{te}$.



Hình 2-55.

- a. Quan hệ $\Delta U = f(\beta)$ khi $\cos \varphi_2 = C^{te}$.
 b. Quan hệ $\Delta U = f(\cos \varphi_2)$ khi $\beta = C^{te}$.

Trong thực tế muốn giữ cho điện áp U_2 không đổi khi máy biến áp làm việc với các tải khác nhau thì phải điều chỉnh điện áp bằng cách thay đổi lại số vòng dây, nghĩa là thay đổi tỉ số biến áp $k = w_1 / w_2$. Muốn vậy ở giữa hoặc cuối dây quấn CA người ta đưa ra một số đầu dây ứng với các vòng dây khác nhau (hình 2-56).



Hình 2-56. Các kiểu điều chỉnh điện áp.

Nếu các đầu phân nhánh ở cuối dây quấn thì việc cách điện được dễ dàng, còn nếu ở giữa dây quấn thì trường tản sẽ đều và lực điện từ tác dụng lên dây quấn sẽ đối xứng hơn. Cũng cần nói thêm là các đầu phân nhánh được bố trí ở dây quấn CA vì ở dây quấn CA dòng điện nhỏ hơn so với dòng điện trong dây quấn HA, do đó thiết bị nối nối cũng gọn nhỏ hơn.

Việc thay đổi số vòng dây có thể được thực hiện khi máy ngừng làm việc, nghĩa là khi không có điện nên thường được gọi là điều chỉnh không kích thích. Trường hợp này thường ứng dụng với các máy biến áp hạ áp khi điện áp sơ cấp thay đổi hoặc chỉ cần điều chỉnh điện áp thứ cấp theo đồ thị tải hàng năm.

Nếu công suất nhỏ thì loại máy biến áp này thường có ba đầu phân nhánh ở mỗi pha để có thể điều chỉnh điện áp trong phạm vi $\pm 5\%U_m$ nếu công suất lớn thì một pha có năm đầu phân nhánh để điều chỉnh điện áp trong phạm vi $\pm 2,5\%U_m$ và $\pm 5\%U_m$. Vì việc đổi nối thực hiện khi máy ngừng làm việc nên thiết bị đổi nối tương đối đơn giản và rẻ tiền. Thiết bị đổi nối được đặt ngay trong thùng dầu còn tay quay được đặt ở trên nắp thùng.

Trong hệ thống điện lực công suất lớn, nhiều khi cần phải điều chỉnh điện áp khi máy biến áp đang làm việc để phân phối lại công suất tác dụng và phản kháng giữa các phân đoạn của hệ thống. Các máy biến áp này có tên gọi là máy biến áp điều chỉnh dưới tải. Điện áp thường được điều chỉnh từng 1% trong phạm vi $\pm 10\%U_m$ i. Ở trường hợp này thiết bị đổi nối phức tạp hơn và phải có cuộn kháng K để hạn chế dòng điện ngắn mạch của bộ phận dây quấn bị nối ngắn mạch khi thao tác đổi nối.

III. Hiệu suất của máy biến áp:

Hiệu suất η của máy biến áp là tỉ số giữa công suất đầu ra P_2 và công suất đầu vào P_1 :

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (2-105)$$

Trị số của η nhỏ hơn một vì theo giản đồ năng lượng ở hình (2-53) ta thấy, trong quá trình truyền tải công suất qua máy biến áp có tổn hao đồng Δp_{Cu} trên điện trở của các dây quấn sơ cấp và thứ cấp, tổn hao sắt từ Δp_{Fe} trong lõi thép do dòng điện xoáy và do từ trễ. Ngoài ra còn phải kể đến tổn hao do dòng điện xoáy trên vách thùng dầu và các bulông lắp ghép, tổn hao này tỉ lệ với bình phương của dòng điện nên thuộc vào loại tổn hao đồng Δp_{Cu} .

Nên hiệu suất có thể viết là :

$$\eta\% = \left(1 - \frac{\sum P}{P_1} \right) 100 = \left(1 - \frac{\Delta p_{Cu} + \Delta p_{Fe}}{P_2 + \Delta p_{Cu} + \Delta p_{Fe}} \right) 100 \quad (2-106)$$

Khi thiết kế máy biến áp ta có thể tính được các tổn hao kể trên và xác định hiệu suất η bằng tính toán.

Lúc vận hành hiệu suất η của máy biến áp làm việc ở tải có $I_2 \cos \varphi_2$ cho biết, có thể tính gián tiếp được bằng cách xác định các tổn hao ứng với tải đó căn cứ theo tổn hao không tải P_0 , tổn hao ngắn mạch P_n ghi trong máy. Các tổn hao P_0 và P_n được xác định do các thí nghiệm không tải và ngắn mạch như đã trình bày.

Ở tải ứng với $I_2, \cos \varphi_2$ ta có công suất đầu ra:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$$

Đặt $\beta = \frac{I_2}{I_{2m}}$ là hệ số tải và vì $U_2 \approx U_{20}, S_m = U_{20} I_{2m} \approx U_2 I_{2m}$ do đó:

$$P_2 \approx \beta S_m \cos \varphi \quad (2-107)$$

Tổn hao sắt từ trong lõi thép Δp_{Fe} có thể xem gần như không phụ thuộc vào tải và bằng tổn hao không tải P_0 ($\Delta p_{Fe} = P_0$) vì trong thực tế trong điều kiện $U_1 = C^{te}$ khi tải thay đổi, từ thông trong lõi thép thay đổi rất ít.

Tổn hao đồng ở các dây quấn phụ thuộc vào dòng điện tải I_2 và $\Delta p_{Cu} = r_n I_2^2$. Tổn hao này có thể biểu thị theo tổn hao ngắn mạch $P_n = r_n I_{2dm}^2$ như sau:

$$P_{Cu} = r_n I_2^2 = r_n I_{2m}^2 \left(\frac{I_2}{I_{2m}} \right)^2 = \beta^2 P_n \quad (2-108)$$

Như vậy công thức hiệu suất có thể viết như sau:

$$\eta\% = \left(1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_n}{\beta S_m \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_n} \right) 100 \quad (2-109)$$

Thường thì các tổn hao rất nhỏ so với công suất truyền tải nên η của máy biến áp rất cao. Đối với máy biến áp dung lượng lớn, hiệu suất đạt tới trên 90%.

Từ biểu thức trên nếu $\cos \varphi_2 = C^{te}$ thì η chỉ phụ thuộc vào β và có trị số cực đại ở hệ số tải nào đó ứng với điều kiện:

$$\frac{d\eta}{d\beta} = 0$$

Sau khi tính toán ta được :

$$\beta = \sqrt{P_0 / P_n} \quad (2-110)$$

$$P_0 = \beta^2 P_n$$

Như vậy là hiệu suất máy biến áp sẽ cực đại ở một tải nhất định ứng với khi tổn hao không đổi bằng tổn hao biến đổi hay là tổn hao sắt bằng tổn hao đồng.

Thông thường máy biến áp không làm việc thường xuyên ở định mức mà ở hệ số tải $\beta = 0,5 \div 0,7$ nên người ta thiết kế để hiệu suất η_{max} ở trong giới hạn đó của β .

Muốn vậy cấu tạo máy biến áp phải đảm bảo sao cho :

$$\frac{P_0}{P_n} = 0,25 \div 0,5$$

Cũng cần nêu ra rằng, để đánh giá hiệu suất của máy biến áp khi tải thay đổi, người ta xét hiệu suất của máy biến áp trong một năm. Đó là tỉ số giữa điện năng ở đầu ra của máy biến áp tính theo kilôoát giờ với điện năng ở đầu vào máy biến áp cũng trong thời gian đó.

VÍ DỤ:

Cho một máy biến áp ba pha có các số liệu sau đây: $S_{dm} = 5600$ kVA; $U_1/U_2 = 35000/6600$ V; $I_1/I_2 = 92,5/490$ A; $P_0 = 18,5$ kW; $i_0 = 4,5\%$; $u_n = 7,5\%$; $P_n = 57$ kW; $f = 50$ Hz; Y/ Δ -11. Hãy tính:

- Độ thay đổi điện áp Δu khi tải định mức với $\cos \varphi_2 = 0,8$.
- Hiệu suất ở tải định mức đó.
- Hệ số tải ứng với hiệu suất cực đại.

Giải

a. Độ thay đổi điện áp Δu :

Trong ví dụ bài trước ta đã tính được:

$$u_{nr} = 0,825\%$$

$$u_{nx} = 7,45\%$$

Nên khi xét tải có tính chất điện cảm ta có:

$$\begin{aligned}\Delta u\% &= \beta(u_{nr}\% \cos \varphi_2 + u_{nx}\% \sin \varphi_2) \\ &= 1(0,825.0,8 + 7,45.0,6) = 5,13\end{aligned}$$

Khi xét tải có tính chất điện dung: $\sin \varphi_2 = -0,6$

$$\begin{aligned}\Delta u\% &= \beta(u_{nr}\% \cos \varphi_2 + u_{nx}\% \sin \varphi_2) \\ &= 1(0,825.0,8 - 7,45.0,6) = -3,81\end{aligned}$$

b. Hiệu suất của máy biến áp ở tải định mức :

$$\begin{aligned}\eta\% &= \left(1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_n}{\beta S_m \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_n} \right) 100 \\ &= 1 - \frac{18,5 + 1^2.57}{1.5600.0,8 + 18,5 + 1^2.57} \cdot 100 = 98,34\end{aligned}$$

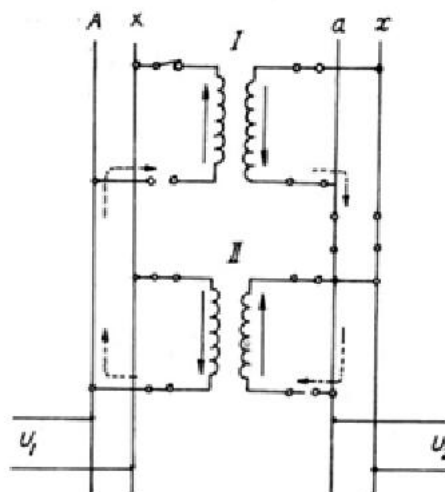
c. Hiệu suất cực đại của máy biến áp:

$$\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} = \sqrt{\frac{18,5}{57}} = 0,57$$

IV. Máy biến áp làm việc song song :

Trong các trạm biến áp, để đảm bảo các điều kiện kinh tế và kỹ thuật như tổn hao vận hành tối thiểu, liên tục truyền tải công suất khi xảy ra sự cố hay khi phải sửa chữa máy biến áp, người ta thường cho hai hoặc nhiều máy biến áp làm việc song song hình 2-57 .

Máy biến áp làm việc song song tốt nhất nếu điện áp thứ cấp của chúng bằng nhau về trị số và trùng nhau về góc pha và nếu tải được phân phối theo tỉ lệ công suất máy giống nhau (hay hệ số tải bằng nhau). Muốn vậy phải có các điều kiện cùng tổ nối dây, hệ số biến đổi điện áp k và điện áp ngắn mạch u_n như nhau.

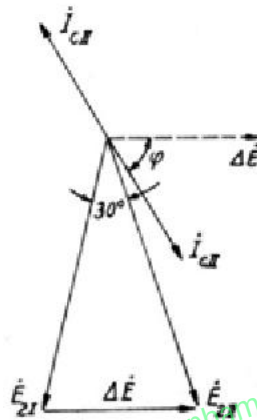


Hình 2-57. Sơ đồ ghép song song máy biến áp một pha.

Ta hãy xét ảnh hưởng riêng rẽ của từng điều kiện kể trên đối với sự làm việc song song của các máy biến áp.

1. Điều kiện cùng tổ nối dây:

Nếu các máy biến áp làm việc song song có cùng tổ nối dây thì điện áp thứ cấp của chúng sẽ trùng pha nhau. Trái lại nếu tổ nối dây của chúng khác nhau thì giữa các điện áp thứ cấp sẽ có góc lệch pha và góc lệch này do các tổ nối dây quyết định. Ví dụ nếu máy biến áp I có tổ nối dây Y/Δ -11 còn máy biến áp II nối Y/Y -12 thì điện áp thứ cấp của hai máy biến áp sẽ lệch nhau 30° như ở hình (2-58).



Hình 2-58. Sơ đồ điện áp và dòng điện của các máy biến áp có tổ nối dây khác nhau làm việc song song

Trong mạch nối liền các dây quấn thứ cấp của hai máy biến áp sẽ xuất hiện một sức điện động:

$$\Delta E = 2E \sin 15^\circ = 0,518E_2 \quad (2-111)$$

Kết quả là ngay khi không tải trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp của các máy biến áp sẽ có dòng điện:

$$I_{cb} = \frac{\Delta E}{z_{nI} + z_{nII}} \quad (2-112)$$

Giả sử $z_{nI} = z_{nII} = 0,05$ thì:

$$I_{cb} = \frac{0,518}{0,05 + 0,05} = 5,18$$

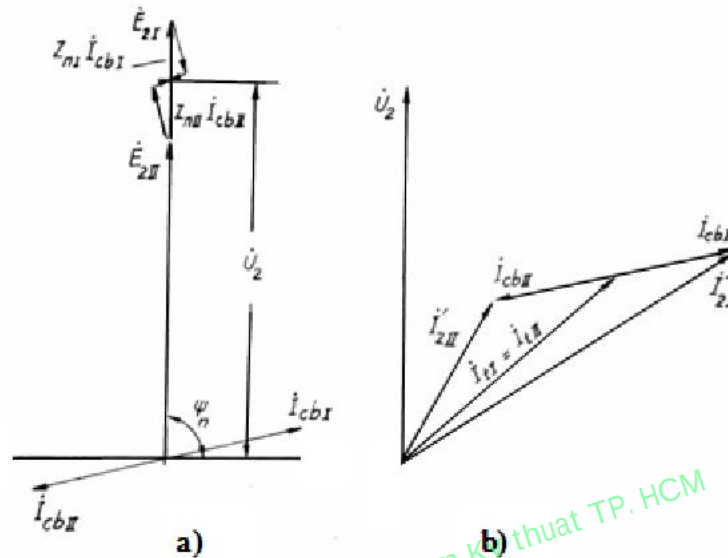
Trị số dòng điện gấp hơn năm lần dòng điện định mức này sẽ làm hỏng máy biến áp. Vì vậy qui định rằng các máy biến áp làm việc song song bắt buộc phải có cùng tổ nối dây.

Cần chú ý rằng có thể có trường hợp đổi lại ký hiệu hoặc đầu lại các đầu dây của các máy biến áp, ta có thể biến các máy biến áp vốn không cùng tổ nối dây trở thành có tổ nối dây giống nhau và làm việc song song được.

2. Điều kiện tỉ số biến đổi bằng nhau:

Nếu tỉ số biến đổi bằng nhau thì khi làm việc song song điện áp thứ cấp lúc không tải của các máy biến áp sẽ bằng nhau ($E_{2I} = E_{2II}$), trong mạch nối liền các dây quấn thứ cấp của các máy biến áp sẽ không có dòng điện.

Giả sử tỉ số biến đổi k khác nhau thì $E_{2I} \neq E_{2II}$ và ngay khi không tải trong dây quấn thứ cấp của các máy biến áp đã có dòng điện cân bằng I_{cb} sinh ra bởi điện áp $\Delta E = E_{2I} - E_{2II}$. Dòng điện đó sẽ chạy trong dây quấn của máy biến áp theo chiều ngược nhau, thí dụ ở máy biến áp I từ x đến a còn ở máy II từ a đến x, và chậm pha sau ΔE một góc 90° vì trong dây quấn $x \gg r$. Điện áp rơi trên các dây quấn máy biến áp do dòng điện cân bằng sinh ra sẽ bù trừ với các điện áp E_{2I} , E_{2II} và kết quả là trên mạch thứ cấp sẽ có một điện áp thống nhất U_2 như trên hình (2-59a).



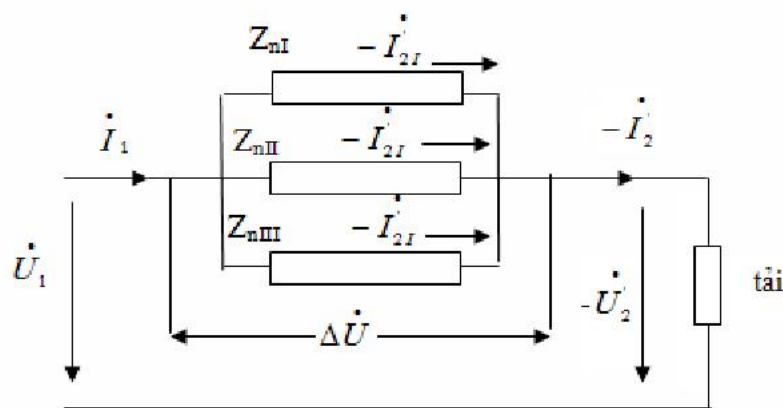
Hình 2-59. Đồ thị vector và sự phân phối tải của các máy biến áp làm việc song song.

a) khi không tải; b) khi có k khác nhau

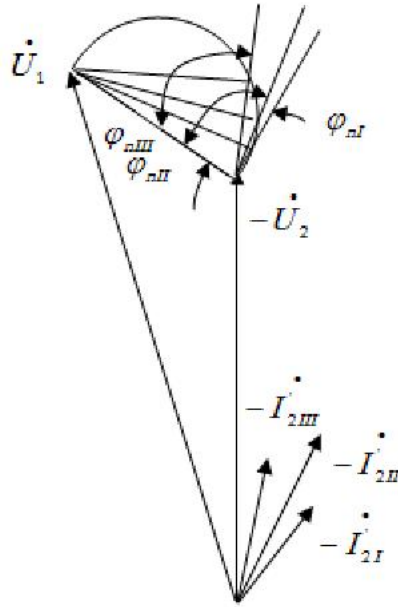
Khi có tải dòng điện cân bằng I_{cb} sẽ cộng vào dòng điện tải I_t làm cho hệ số tải lệch ra bằng nhau trở thành khác nhau, ảnh hưởng xấu tới việc lợi dụng công suất các máy (hình 2-59b). Vì vậy qui định rằng Δk của các máy biến áp làm việc song song không được lớn quá 0,5% trị số trung bình của chúng.

3. Điều kiện trị số điện áp ngắn mạch bằng nhau:

Trị số điện áp ngắn mạch u_n có liên quan trực tiếp đến sự phân phối tải giữa các máy biến áp làm việc song song. Ta hãy xét sự làm việc song song của máy biến áp có các điện áp ngắn mạch u_{nI} , u_{nII} , u_{nIII} . Nếu bỏ qua dòng điện từ hóa thì mạch điện thay thế của chúng có dạng như ở hình (2-60) và đồ thị vector tương ứng trên hình (2-61).



Hình 2-60. Mạch điện thay thế của các máy biến áp làm việc song song.



Hình 2- 61. Đồ thị véctơ của các máy biến áp làm việc song song

Tổng trở tương đương của mạch điện:

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_{nI}} + \frac{1}{Z_{nII}} + \frac{1}{Z_{nIII}}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{\text{III}} \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (2-113)$$

Và điện áp rơi trên mạch điện bằng:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = Z I \quad (2-114)$$

Trong đó:

$I = I_1 = I$ là dòng điện tổng của các máy biến áp, do đó dòng điện tải của mỗi máy biến áp:

$$I_{2I} = \frac{Z I}{Z_{nI}} = \frac{I}{Z_{nI} \sum \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (2-115a)$$

$$I_{2II} = \frac{Z I}{Z_{nII}} = \frac{I}{Z_{nII} \sum \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (2-115b)$$

$$I_{2III} = \frac{Z I}{Z_{nIII}} = \frac{I}{Z_{nIII} \sum \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (2-115c)$$

Trên thực tế góc φ_n của các tam giác điện kháng khác nhau không nhiều $\varphi_{nI} \approx \varphi_{nII} \approx \varphi_{nIII}$ nên các dòng điện tải được xem như trùng pha, do đó trong lúc tính toán có thể thay các số phức bằng môđun của chúng.

Ta có:

$$z_n = u_n \frac{U_m}{I_m}$$

Nên có:

$$I_{2I} = \frac{I}{\frac{u_{nI}}{I_{mI}} \sum \frac{I_{mi}}{u_{ni}}} \quad (2-116)$$

Nhân hai vế của đẳng thức trên với $\frac{U_{1m}}{S_{mI}} = \frac{U_{1m}}{U_{1m} I_{mI}}$

$$\Rightarrow \beta_I = \frac{S_1}{S_{mI}} = \frac{S}{u_{nI} \sum \frac{S_{mi}}{u_{ni}}} \quad (2-117a)$$

Trong đó $S = U_{1dm} I$ là tổng các công suất truyền tải của các máy biến áp. Cũng như vậy đối với các máy biến áp II, III ta có:

$$\beta_{II} = \frac{S_2}{S_{mII}} = \frac{S}{u_{nII} \sum \frac{S_{mi}}{u_{ni}}} \quad (2-117b)$$

$$\beta_{III} = \frac{S_3}{S_{mIII}} = \frac{S}{u_{nIII} \sum \frac{S_{mi}}{u_{ni}}} \quad (2-117c)$$

Từ đó ta có :

$$\beta_I : \beta_2 : \beta_3 = \frac{1}{u_{nI}} : \frac{1}{u_{nII}} : \frac{1}{u_{nIII}} \quad (2-118)$$

nghĩa là nếu u_n của máy bằng nhau thì bằng nhau, tải sẽ phân phối theo tỉ lệ công suất.

Ngược lại nếu u_n khác nhau thì máy biến áp nào có u_n nhỏ thì có lớn (tải nặng) còn máy nào có u_n lớn sẽ có nhỏ (tải nhẹ hơn). Khi máy biến áp có u_n nhỏ làm việc ở định mức ($\beta = 1$) thì máy biến áp có u_n lớn vẫn hút tải ($\beta < 1$), kết quả là không sử dụng hết công suất thiết kế của máy biến áp.

Thông thường máy biến áp có dung lượng nhỏ thì có u_n nhỏ, dung lượng lớn thì u_n lớn. Như vậy dung lượng các máy biến áp càng khác nhau quá nhiều thì khi làm việc song song càng không lợi. Cho nên theo qui định u_n của các máy biến áp làm việc song song không được khác nhau quá $\pm 10\%$ và tỉ lệ dung lượng máy vào khoảng 3:1.

VÍ DỤ:

Cho ba máy biến áp có cùng tổ nối dây quấn và tỉ số biến đổi với các số liệu: $S_{\text{dml}} = 180 \text{ kVA}$, $S_{\text{dmII}} = 240 \text{ Kva}$, $S_{\text{dmIII}} = 320 \text{ kVA}$, $u_{\text{nI}}\% = 5,4$, $u_{\text{nII}}\% = 6$, $u_{\text{nIII}}\% = 6,6$. hãy xác định tải của mỗi máy biến áp khi tải chung của máy biến áp bằng tổng công suất định mức của chúng: $S = 180 + 240 + 320 = 740 \text{ kVA}$ và tính xem tải tổng tối đa để không máy biến áp nào bị quá tải bằng bao nhiêu ?

Giải

Ta có:

$$\sum \frac{S_{mi}}{u_{ni}\%} = \frac{180}{5,4} + \frac{240}{6,0} + \frac{320}{6,6} = 121,8$$

Do đó:

$$\beta_I = \frac{740}{5,4 \cdot 121,8} = 1,125 \Rightarrow S_I = 1,125 \cdot 180 = 202,5 \text{ kVA}$$

$$\beta_{II} = \frac{740}{6 \cdot 121,8} = 1,01 \Rightarrow S_{II} = 1,01 \cdot 240 = 243 \text{ kVA}$$

$$\beta_{III} = \frac{740}{6,6 \cdot 121,8} = 0,92 \Rightarrow S_{III} = 0,92 \cdot 320 = 294,5 \text{ kVA}$$

Ta thấy máy biến áp I có u_n nhỏ nhất bị quá tải nhiều trong khi đó máy biến áp III có u_n lớn bị hụt tải. Tải tổng tối đa để không máy biến áp nào bị quá tải ứng với khi $\beta_I = 1$. Lúc đó ta có:

$$\frac{S}{5,4 \cdot 121,8} = 1$$

Hay :

$$S = 657,72 \text{ kVA.}$$

Vậy phần công suất đặt của các máy biến áp không được lợi dụng sẽ bằng:

$$740 - 658 = 82 \text{ kVA.}$$

CÂU HỎI:

1. Xét về mặt kết cấu của dây quấn, muốn giảm ΔU của máy biến áp phải làm như thế nào ?
2. Sự liên quan giữa các thí nghiệm không tải và ngắn mạch của máy biến áp đến việc xác định Δu và η như thế nào ?
3. Nếu xét thật chặt chẽ thì tổn hao trong lõi thép Δp_{Fe} khi có tải khác với tổn hao không tải P_0 như thế nào ? Tính chất của tải như thế nào sẽ ứng với $\Delta p_{Fe} > P_0$ và $\Delta p_{Fe} < P_0$.
4. Cho hai máy biến áp nối Y/Y-12 và Y/Y-6 có cùng tỉ số biến đổi k và điện áp ngắn mạch u_n . Muốn cho chúng có thể làm việc song song với nhau phải làm như thế nào ? Cũng với các điều kiện trên nếu hai máy biến áp có tổ nối dây Y/ Δ -11 và Y/ Δ -3 ?

BÀI TẬP:

1. Cho ba máy biến áp làm việc song song với các số liệu:

Máy	S_{dm} (Kva)	U_{1dm} (kV)	U_{2dm} (kV)	$u_n\%$	Tổ nối dây
I	1000	35	6,3	6,25	Y/ Δ -11
II	1800	35	6,3	6,6	Y/ Δ -11
III	2400	35	6,3	7	Y/ Δ -11

Tính:

- Tải của máy biến áp khi tải chung là 4500 Kva.
- Tải lớn nhất có thể cung cấp cho hệ dùng điện với điều kiện không một máy biến áp nào bị quá tải.
- Giả sử máy I được phép quá tải 20%, thì tải chung của các máy là bao nhiêu ?

Đáp Số:

- $S_1 = 928$ kVA, $S_2 = 1582$ kVA, $S_3 = 1990$ kVA.
- 4847 kVA.
- 5817 kVA.

2. Tính dòng điện cân bằng khi hai máy biến áp có các số liệu sau đây làm việc song song:

Các số liệu	Máy I	Máy II
S_{dm} kVA	320	420
U_1 kV	$6 \pm 5\%$	$6 \pm 5\%$
U_2 V	230	220
$U_n\%$	4	4
$U_{nr}\%$	1,8	1,7
Tổ nối dây	Y/ Δ -11	Y/ Δ -11

Đáp số: $I_{cb} = 298$ A.

3. Cho một máy biến áp ba pha với các số liệu sau:

$S_{dm} = 20$ kVA, $U_1/U_2 = 6/0,4$ KV, $P_n = 0,6$ KW, $u_n\% = 5,5$. nối Y/Y. Tính:

- $U_n(V)$, $U_{nr}(V)$, $U_{nx}(V)$.
- z_n , r_n , x_n , $\cos\varphi_n$.
- $\Delta u\%$ lúc hệ số tải 0,25; 0,5; 0,75; 1 và hệ số công suất $\cos\varphi_2 = 0,8$ (điện cảm).
- Biết $P_0 = 0,18$ kW, tính hiệu suất của máy ở các tải nói trên.

Đáp Số:

- $U_n = \sqrt{3} \cdot 190$ V, $U_{nr} = \sqrt{3} \cdot 104$ V, $U_{nx} = \sqrt{3} \cdot 159$ V.
- $z_n = 99$, $x_n = 83$, $r_n = 54,3$.
- $\Delta u = 1,29\%$; $2,58\%$; $3,87\%$; $5,16\%$.
- $\eta\% = 94,84\%$; $96,04\%$; $95,86\%$; $95,35\%$.

4. Cho một máy biến áp ba pha có $S_{dm} = 100$ kVA, $U_1/U_2 = 10/0,4$ KV. Đấu Y/Y₀-0, $u_n\% = 5,5$. $P_n = 12500$ W. Tính:

- u_{nr} , u_{nx} .
- ΔU khi máy biến áp làm việc ở 3/4 tải định mức với $\cos\varphi_2 = 0,8$.

Đáp Số:

- $u_{nr} = 1,25\%$; $u_{nx} = 5,356\%$.
- $\Delta U = 3,16\%$.

CHƯƠNG III: CÁC VẤN ĐỀ LÝ LUẬN CHUNG CỦA MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

§ 3.1 SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

I. Đặc tính cơ bản của sức điện động xoay chiều:

Sức điện động xoay chiều có ba đặc tính cơ bản: Độ lớn, tần số, dạng đường cong.

Thường người ta mong muốn có được sức điện động của máy điện dùng trong các thiết bị điện khác nhau có dạng hình sin. Đặc biệt đối với máy phát điện các sóng điều hòa bậc cao không những có tác hại đối với máy phát điện mà còn cả đối với phụ tải làm tăng tổn thất cũng như làm xuất hiện quá điện áp trên các đoạn khác nhau của đường dây. Trong bài này chúng ta nghiên cứu sức điện động của dây quấn và các biện pháp làm giảm hoặc triệt tiêu sức điện động bậc cao đưa dạng sóng về hình sin.

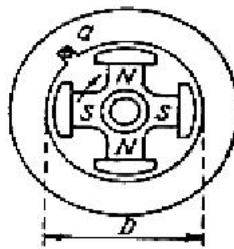
II. Sức điện động cảm ứng trong dây quấn:

1. Sức điện động cảm ứng trong dây quấn do từ trường cơ bản:

a. Sức điện động của một thanh dẫn:

Đặt một thanh dẫn a trong stato và những cực từ của rôto song song với trục máy điện (hình 3-1). Khởi động máy và cho quay với tốc độ $n = C^{te}$ thì khi đó trị số tức thời của sức điện động cảm ứng trong thanh dẫn là:

$$e_{td} = B \cdot l \cdot v$$



Hình 3-1. Cấu tạo

Trong đó:

B_x : là từ cảm nơi thanh dẫn quét qua.

$$v = \frac{\pi D n}{60} = \frac{2\tau \cdot p n}{60} = 2\tau \cdot f : \text{ là vận tốc dài của thanh dẫn.}$$

l : là chiều dài của thanh dẫn nằm trong từ trường.

$$\Rightarrow e_{td} = l \cdot v \cdot B_m \sin \omega t = l \cdot \tau \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{2}{\pi} B_m \sin \omega t$$

Do $\Phi = B_{tb} l \tau$ là từ thông tương ứng với một bước cực.

Ta có:

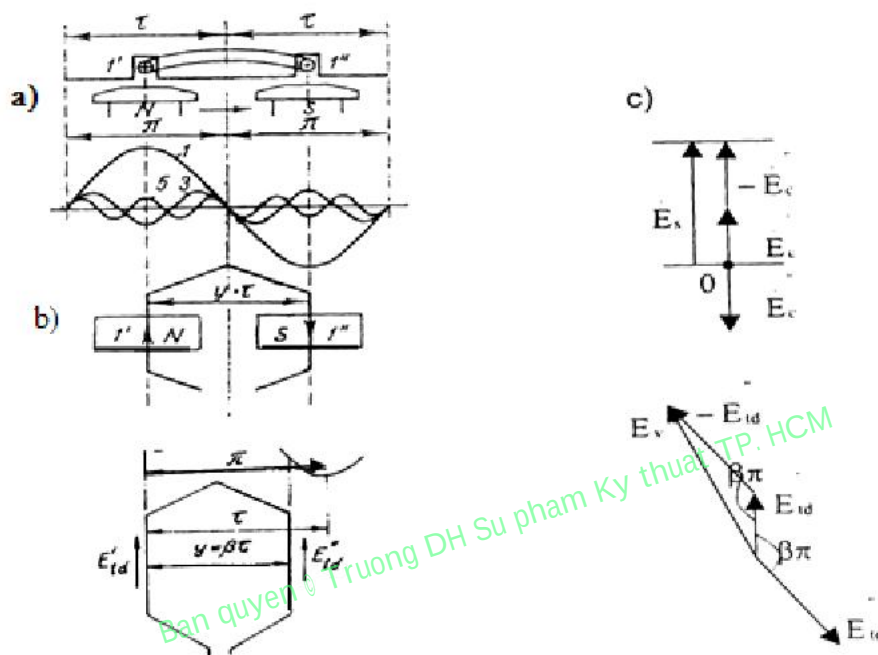
$$e_{tb} = \pi \Phi f \sin \omega t$$

$$\Rightarrow E_{td} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi f = 2,22 \Phi f \quad (3-1)$$

b. Sức điện động của một vòng dây và của một bối dây:

Nếu vòng dây có hai thanh dẫn là 1 và 2 đặt cách nhau một khoảng là y và gọi sức điện động trong thanh dẫn một là E_1 , trong thanh dẫn 2 là E_2 thì sức điện động hiệu dụng của một vòng dây bước đủ là:

$$E_v = |E_{hd1}| + |E_{hd2}| = 2E_{hd} = 4,44\Phi \cdot f$$



Hình 3-2. Sức điện động của một vòng dây.

Trong trường hợp bước ngắn: $\beta = \frac{y}{\tau}$ là bước tương đối của dây quấn.

$$\Rightarrow E_v = 2E_{hd} \sin \frac{\beta\pi}{2} = 4,44\Phi \cdot f \sin \frac{\beta\pi}{2}$$

Đặt $k_n = \sin \frac{\beta\pi}{2}$ là hệ số bước ngắn của dây quấn thì:

$$\Rightarrow E_v = 4,44\Phi \cdot f \cdot k_n \quad (3-2)$$

Nếu một bối dây có w_s vòng thì sức điện động của một bối dây là:

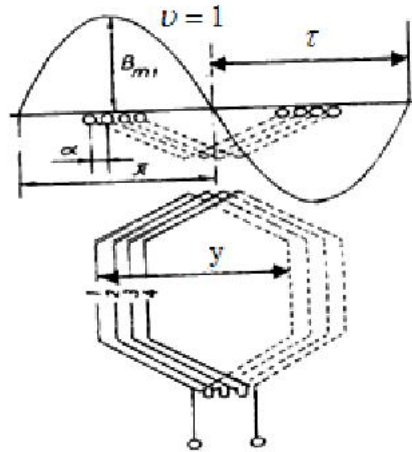
$$E_s = 4,44w_s \cdot \Phi \cdot f \cdot k_n \quad (3-3)$$

c. Sức điện động của một nhóm bối dây:

Ta có: $q = \frac{Z}{2mp} = 4$ là bối dây.

Góc độ điện giữa hai rãnh kề nhau là:

$$\alpha = \frac{2\pi}{Z/p} = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} \text{ trong đó } Z/p \text{ là số rãnh dưới một bước cực.}$$

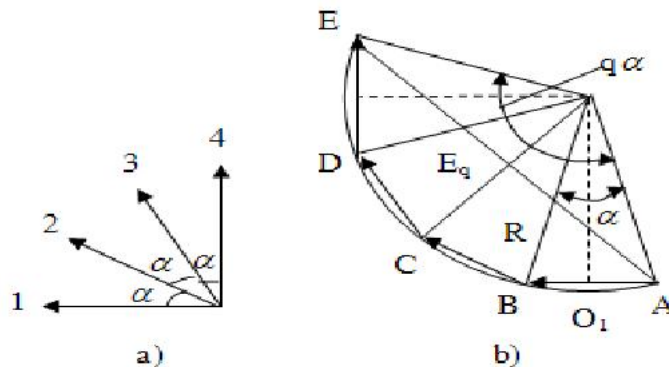


Hình 3-3. Nhóm bồi dây $q = 4$.

Giả sử số rãnh dưới một mặt cực là $Q = \frac{Z}{2p} = 6$ thì $\alpha = 30^\circ$ và nếu tại thời điểm đang xét bồi dây 1 nằm trên đường trung tính hình học thì trị số tức thời của sức điện động cảm ứng trong các bồi dây 1, 2, 3, 4 là:

$$\begin{aligned} E_{s1} &= E_{sm} \sin 0^\circ \\ E_{s2} &= E_{sm} \sin \alpha = E_{sm} \sin 30^\circ \\ E_{s3} &= E_{sm} \sin 2\alpha = E_{sm} \sin 60^\circ \\ E_{s4} &= E_{sm} \sin 3\alpha = E_{sm} \sin 90^\circ \end{aligned}$$

Ta có thể biểu diễn $\vec{q}$ lệch nhau một góc α như hình (3- 4). Mỗi một vector biểu diễn trị số biên độ hay trị số hiệu dụng của E_s của một bồi dây với những tỉ lệ tương ứng (hình 3- 4a). Những vector gần nhau lệch nhau một góc $\alpha = 30^\circ$. Tổng hình học của bốn vector làm thành đa giác ABCDE (hình 3- 4b) là vector đóng kín AE biểu diễn trị số hiệu dụng tổng của sức điện động E_q .



Hình 3- 4. Sức điện động của một vòng dây.

Để tính E_q ta vẽ vòng tròn ngoại tiếp đa giác ABCDE có bán kính R .

$$\Rightarrow E_q = qE_s k_r \quad (3-4)$$

Trong đó:

$$k_r = \frac{E_q}{qE_s} = \frac{2R \sin \frac{q\alpha}{2}}{2qR \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} \text{ là hệ số quấn rải của dây quấn.}$$

Ta có: $E_s = 2R \sin \frac{\alpha}{2} \Rightarrow R = \frac{E_s}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$

$$\Rightarrow E_q = 2 \frac{E_s \sin \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{qE_s \sin \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = qE_s k_r = 4,44 w_s q \Phi \cdot f \cdot k_n k_r \quad (3-5)$$

Đặt $k_{dq} = k_n k_r$ là hệ số dây quấn.

$$\Rightarrow E_q = 4,44 w_s q \Phi \cdot f \cdot k_{dq} \quad (3-6)$$

d. Sức điện động của dây quấn một pha:

Một pha có n nhóm bối dây có vị trí giống nhau trong từ trường các cực từ nên sức điện động của chúng có thể cộng số học với nhau:

$$E_f = 4,44 n q w_s \Phi \cdot f \cdot k_{dq} = 4,44 w \Phi \cdot f \cdot k_{dq} \quad (3-7)$$

Trong đó:

$w = n \cdot q \cdot w_s$ là số vòng dây nối tiếp của một pha.

Hoặc $w = \frac{Z \cdot N_r}{2am}$

Với:

Z là số rãnh.

a số nhánh song song.

m số pha.

N_r là số thanh dẫn trong rãnh.

$q = \frac{Z}{2mp}$ là số rãnh của một pha dưới một bước cực.

$n = \frac{2p}{a}$ là số nhóm bối dây trong một pha.

2. Sức điện động của dây quấn do từ trường bậc cao:

Giả thiết rằng đường cong cường độ từ cảm đối xứng với trục hoành cũng như đối với trục cực.

Trong trường hợp này, đường cong cường độ từ cảm bao gồm sóng điều hòa bậc nhất hay sóng điều hòa cơ bản và số sóng điều hòa bậc cao $\nu = 3, 5, 7, \dots$ nghĩa là $\nu = 2k \pm 1$. Trong đó sóng điều hòa bậc 1 có biên độ B_{m1} và bước cực τ tương ứng với số đôi cực p. Những sóng điều hòa bậc cao có

biên độ $B_{m3}, B_{m5}, \dots, B_{mv}$ và những bước cực $\frac{\tau}{3}, \frac{\tau}{5}, \dots, \frac{\tau}{v}$ tương ứng với số đôi cực $3p, 5p, \dots, v.p$. Tần số $f_v = v.f_1$

Từ đó từ thông tương ứng là:

$$\begin{aligned}\Phi_1 &= \tau l B_{tb1} = \frac{2}{\pi} \tau l B_{m1} \\ \Phi_3 &= \frac{\tau}{3} l B_{tb3} = \frac{2}{\pi} \frac{\tau}{3} l B_{m3} \\ &\dots\dots\dots \\ \Phi_v &= \frac{\tau}{v} l B_{tbv} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\tau}{v} l B_{mv}\end{aligned}$$

Các sức điện động:

$$\begin{aligned}E_{td1} &= \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi_1 \cdot f_1 = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \tau l B_{tb1} \cdot f_1 = \sqrt{2} \cdot \tau l B_{m1} \cdot f_1 \\ E_{td3} &= \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi_3 \cdot f_3 = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\tau}{3} l \cdot \frac{2}{\pi} B_{m3} \cdot 3 \cdot f_1 = \sqrt{2} \cdot \tau l B_{m3} \cdot f_1 \\ &\dots\dots\dots \\ E_{tdv} &= \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi_v \cdot f_v = \sqrt{2} \cdot \tau l B_{mv} \cdot f_1\end{aligned}$$

Sức điện động hiệu dụng tổng của thanh dẫn:

$$\begin{aligned}E_{td} &= \sqrt{E_{td1}^2 + E_{td3}^2 + \dots + E_{tdv}^2} \\ &= E_{td1} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{E_{td3}}{E_{td1}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{E_{tdv}}{E_{td1}}\right)^2} \\ &= E_{td1} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{B_{m3}}{B_{m1}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{B_{mv}}{B_{m1}}\right)^2} \\ &= E_{td1} \cdot \sqrt{1 + k_{B3}^2 + \dots + k_{Bv}^2} \\ &= \frac{\pi}{2} \cdot \Phi_1 \cdot f_1 \cdot \sqrt{1 + k_{B3}^2 + \dots + k_{Bv}^2}\end{aligned}$$

Những hệ số: $k_{B3} = \frac{B_{m3}}{B_{m1}}, \dots, k_{Bv} = \frac{B_{mv}}{B_{m1}}$ là tỉ số giữa biên độ từ cảm sóng bậc cao và biên độ từ cảm sóng cơ bản.

Mặt khác từ thông tổng của mỗi cực từ được biểu diễn bằng tổng đại số sau:

$$\begin{aligned}\Phi &= \Phi_1 \pm \Phi_3 \pm \Phi_5 \pm \dots \pm \Phi_v \\ &= \Phi_1 \left(1 \pm \frac{\Phi_3}{\Phi_1} \pm \frac{\Phi_5}{\Phi_1} \pm \dots \pm \frac{\Phi_v}{\Phi_1}\right) \\ &= \Phi_1 \left(1 \pm \frac{B_{m3}}{3B_{m1}} \pm \frac{B_{m5}}{5B_{m1}} \pm \dots \pm \frac{B_{mv}}{vB_{m1}}\right) \\ &= \Phi_1 \left(1 \pm \frac{1}{3} k_{B3} \pm \frac{1}{5} k_{B5} \pm \dots \pm \frac{1}{v} k_{Bv}\right)\end{aligned}$$

Từ đó ta có:

$$E_{td} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi \cdot f_1 \frac{\sqrt{1 + k_{B3}^2 + \dots + k_{Bv}^2}}{1 \pm \frac{1}{3} k_{B3} \pm \dots \pm \frac{1}{v} k_{Bv}} \quad (3-8)$$

Biểu thức tổng quát của sức điện động:

Đối với sóng điều hòa bậc 1:

$$E_1 = \pi \sqrt{2} \cdot w \cdot k_{n1} k_{r1} \cdot \Phi_1 \cdot f_1 = 2 \sqrt{2} \cdot \tau \cdot l \cdot w \cdot k_{dq1} \cdot B_{m1} \cdot f_1 \quad (3-9)$$

Đối với sóng điều hòa bậc v :

$$E_v = \pi \sqrt{2} \cdot w \cdot k_{nv} k_{rv} \cdot \Phi_v \cdot f_v = 2 \sqrt{2} \cdot \tau \cdot l \cdot w \cdot k_{dv} \cdot B_{mv} \cdot f_v \quad (3-10)$$

III. Cải thiện dạng sóng sức điện động:

Nguyên nhân khiến cho dạng sóng sức điện động không sin là do sự phân bố của từ trường khác hình sin. Thông thường B phân bố hình thang, muốn sức điện động là hình sin thì cực từ phải gọt vát hai đầu theo hình dạng và kích thước thích hợp. Thường người ta chế tạo mặt cực theo quy luật:

$$\delta_x = \frac{\delta}{\cos\left(\frac{\pi}{\tau} x\right)}$$

δ là khe hở nhỏ nhất giữa mặt cực.

Tuy nhiên biện pháp trên chưa cho được kết quả như mong muốn. vì vậy cần làm giảm hoặc triệt tiêu các sức điện động bậc cao bằng các cách sau:

1. Rút ngắn bước dây quấn:

Khi quấn bước đủ $y = \tau$ ta biết $k_{nv} = \pm 1$, nghĩa là tất cả các sóng hài bậc cao đều tồn tại. Để cho các sức điện động bậc cao bị triệt tiêu người ta phải chọn β thế nào đó để $k_{nv} = 0$.

$$\text{Mà } k_{nv} = \sin v\beta \frac{\pi}{2} \text{ nếu chọn } \beta = 1 - \frac{1}{v} \Rightarrow k_{nv} = \sin\left(1 - \frac{1}{v}\right)v \cdot \frac{\pi}{2} = \sin(v-1) \frac{\pi}{2}.$$

$$\text{Khi } v = 5 \Rightarrow k_{n5} = 0 \Rightarrow E_5 = 0 \text{ tương ứng với } \beta = \frac{4}{5}.$$

$$\text{Khi } v = 7 \Rightarrow k_{n7} = 0 \Rightarrow E_7 = 0 \text{ tương ứng với } \beta = \frac{6}{7}.$$

Nghĩa là khi ta rút ngắn bước dây quấn đi $\frac{1}{5}\tau$ và $\frac{1}{7}\tau$ thì E_5 và $E_7 = 0$. rõ ràng là biện pháp này không đồng thời triệt tiêu được tất cả các sức điện động bậc cao nên người ta chọn bước dây quấn sao cho giảm được các sức điện động bậc cao mạnh bậc 5 và 7. trong trường hợp đó thường rút ngắn bớt đi $\frac{1}{6}\tau$. Lúc đó $\beta = (0,8 \div 0,86)$ tùy theo từng máy.

2. Quấn rải:

Khi $q = 1$ thì $k_{nv} = \pm 1$ tức là tất cả các sóng bậc cao đều tồn tại.

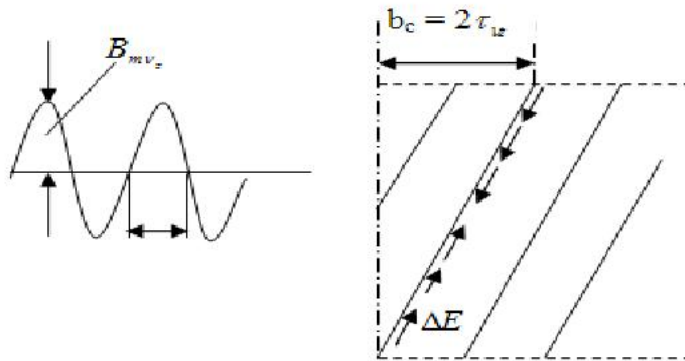
Khi $q > 1$ và q càng tăng thì k_{rv} càng giảm, xong k_{rv} sẽ lập lại trị số ban đầu sau một số sóng bậc cao nào đó theo những chu kỳ tương ứng. Một số sóng bậc cao có $k_{rv} = k_{r1}$ được gọi là sóng điều hòa răng. Tóm lại phương pháp này chỉ cải thiện dạng sóng được phần nào.

3. Rãnh chéo:

Tác dụng của nó để khử sóng điều hòa răng. Từ hình vẽ ta thấy sức điện động do từ cảm $B_{mv,z}$ cảm ứng trong thanh dẫn có chiều ngược nhau và bị triệt tiêu. Bước rãnh chéo cần phải chọn:

$$b_c = 2\tau_{v,z} = 2 \frac{\tau}{v_z}$$

Trong thực tế thường chọn $b_c = \frac{2p\tau}{z}$ là các sóng điều hòa răng đã giảm nhỏ đi nhiều.



Hình 3-5. Trường hợp rãnh chéo một bước răng $\Delta E_{v,z}$

CÂU HỎI:

1. Vì sao yêu cầu sức điện động của máy điện xoay chiều phải có dạng hình sin. Làm thế nào để đảm bảo yêu cầu đó ?
2. Hãy xác định biểu thức sức điện động của dây quấn một pha khi từ trường không hình sin ?
3. Các biện pháp để cải thiện sóng sức điện động và hiệu lực của các biện pháp đó.
4. Khi dùng rãnh chéo thì trị số sức điện động do từ trường cơ bản của dây quấn thay đổi như thế nào ?

BÀI TẬP:

1. Một máy phát điện có $p = 2$, đường kính trong của stato $D = 0,7$ m từ cảm trung bình $B_{tb1} = 0,6$ T; chiều dài tính toán của stato $l = 1,3$ m. Cho biết $B_{tb3} = 0,325B_{tb1}$; $B_{tb5} = 0,15B_{tb1}$. Hãy tính sức điện động E_1 , E_3 , E_5 và sức điện động tổng E_{td} của một thang dẫn, $f = 50$ Hz.

Đáp số:

$$E_1 = 47,6 \text{ V}; E_3 = 15,5 \text{ V}; E_5 = 7,1 \text{ V}.$$

$$E = 50,6 \text{ V}.$$

2. Tính hệ số dây quấn k_{dq} của dây quấn hai lớp có $q = 2$, $p = 2$, $z = 24$, $\beta = 5/6$. Biết rằng mỗi bó dây có $w_s = 5$ vòng và sức điện động của thanh dẫn $E_{td} = 5$ V. Hãy tính sức điện động của dây quấn đó.

Đáp số: $E_f = 93,3 \text{ V}$

3. Cho một máy phát điện ba pha 6000 kW; 6300 V; 3000 vg/ph; $f = 50$ Hz; $\cos\varphi = 0,8$; đường kính trong stato $D = 0,7$ m; $l = 1,35$ m; $B_{tb} = 0,4890$ T; $z = 36$; dây quấn hai lớp; $y = 13$; số vòng dây nối tiếp trong một pha $W = 24$. Hãy tính sức điện động pha của máy.

Đáp số: $E_f = 4617$ V.

Bản quyền © Truong DH Su pham Ky thuat TP. HCM

§ 3.2 DÂY QUẦN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

I. Đại cương

Dây quần máy điện xoay chiều có nhiệm vụ cảm ứng được sức điện động nhất định đồng thời cũng tham gia vào việc tạo nên từ trường cần thiết cho sự biến đổi năng lượng cơ điện trong máy.

Kết cấu của dây quần phải đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật sau:

- Tiết kiệm dây quần.
- Bền về cơ, nhiệt, điện.
- Chế tạo đơn giản, lắp ráp, sửa chữa dễ dàng.

Phân loại dây quần:

- Theo số pha: $m = 1, 2, 3$.
- Theo số bội dây q .
- Theo lớp: 1 lớp, 2 lớp.

Thường thì số rãnh của một pha dưới một cực q là số nguyên nhưng trong một số trường hợp cần thiết q có thể là phân số. Dây quần máy điện xoay chiều có thể đặt trong rãnh thành một lớp hoặc hai lớp và tương ứng là dây quần một lớp và hai lớp.

II. Dây quần có q là số nguyên:

1. Dây quần một lớp:

Thường được dùng cho các động cơ điện có công suất < 7 kW. Trong mỗi rãnh chỉ đặt một cạnh tác dụng nên số phân tử $S = Z/2$.

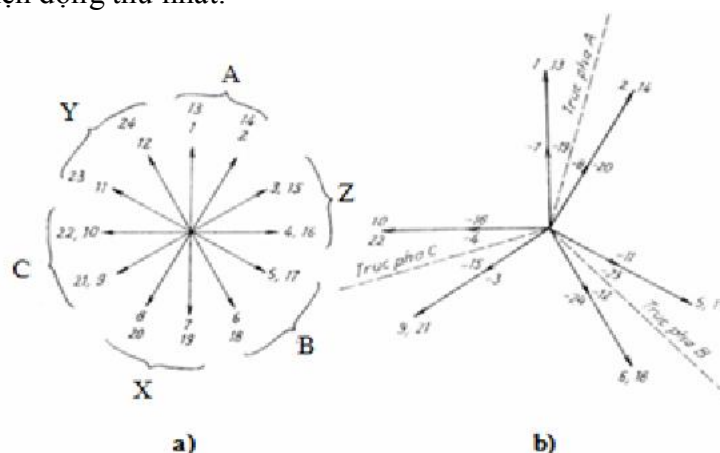
Ví dụ: Dây quần một lớp 3 pha có $Z = 24$, $2p = 4$.

Để lập được sơ đồ nối dây ta tiến hành như sau:

- Xác định góc độ điện giữa hai rãnh liên tiếp:

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{2 \cdot 360^\circ}{24} = 30^\circ$$

Nên cạnh tác dụng từ 1 đến 12 dưới đôi cực một làm thành hình sao sức điện động có 12 tia như hình 1-1a. Do vị trí của các cạnh 13 đến 24 dưới đôi cực thứ 2 hoàn toàn giống vị trí của các cạnh 1 đến 12 dưới đôi cực thứ nhất nên sức điện động của chúng được biểu thị bằng hình sao sức điện động trùng với hình sao sức điện động thứ nhất.



Hình 3-6. Hình sao sức điện động 12 tia.

Số rãnh của một pha dưới một cực:

$$q = \frac{Z}{2mp} = \frac{24}{2.3.2} = 2$$

Số phần tử dây quấn:

$$S = \frac{Z}{2} = \frac{24}{2} = 12$$

Số phần tử dây quấn trong một pha:

$$S_f = \frac{S}{m} = \frac{12}{3} = 4$$

Số nhóm bôi dây trong một pha:

$$n = \frac{Z}{mq} = \frac{12}{3.2} = 2$$

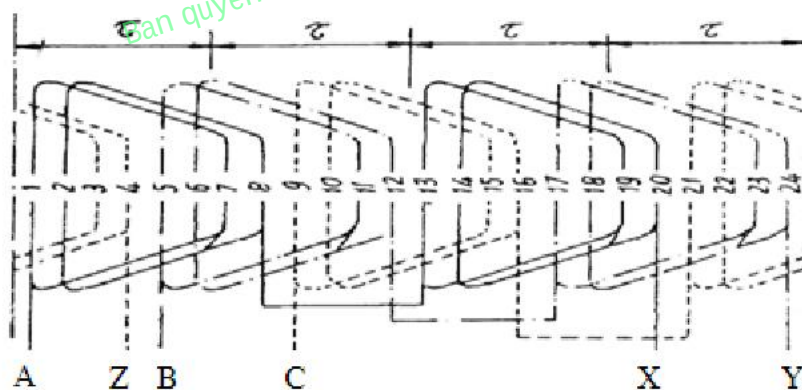
So sánh với số đôi cực $2p$ ta suy ra dây quấn phải đầu cực ảo.

Pha A cách pha B là 120° điện tương đương với:

$$\frac{120^\circ}{\alpha} = \frac{120^\circ}{30^\circ} = 4 \text{ rãnh}$$

Bước dây quấn $y = \tau = 6$.

Giản đồ khai triển của dây quấn.



Hình 3-7. Sơ đồ dây quấn ba pha một lớp đồng khuôn $z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$.

2. Dây quấn hai lớp:

Là loại dây quấn mà trong mỗi rãnh đặt hai cạnh tác dụng, nên số bôi dây bằng số rãnh của mạch từ $S = Z$. So với dây quấn một lớp dây quấn hai lớp có những ưu điểm sau:

- Loại này có thể thực hiện bước ngắn làm giảm sức điện động bậc cao, cải thiện được dạng sóng sức điện động, đặc tính làm việc của máy tốt hơn.

- Đầu nối của các bôi dây chắc chắn, gọn, ít choán chỗ, tránh được phần đầu nối chạm vào nắp máy.

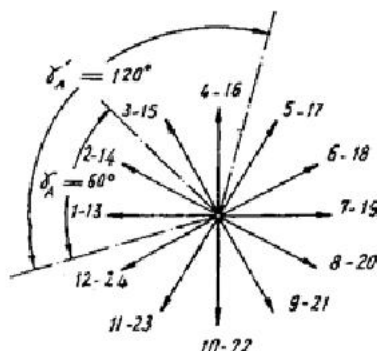
Tuy nhiên việc lồng dây cũng như sửa chữa gặp nhiều khó khăn hơn dây quấn một lớp. Có hai kiểu dây quấn: Quấn xếp và quấn sóng đa số dùng dây quấn xếp. Dây quấn sóng chỉ dùng với rôto dây quấn của động cơ điện không đồng bộ.

a. Dây quấn xếp:

Ví dụ: Vẽ sơ đồ trải dây quấn xếp ba pha, 2 lớp với $Z = 24$, $2p = 4$.

Vẽ hình tia sức điện động:

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{2 \cdot 360^\circ}{24} = 30^\circ$$



Hình 3-7. Hình tia sức điện động.

Số rãnh của một pha dưới một bước cực:

$$q = \frac{Z}{2mp} = \frac{24}{2 \cdot 3 \cdot 2} = 2$$

Số phần tử dây quấn:

$$S = Z = 24$$

Số phần tử dưới một pha:

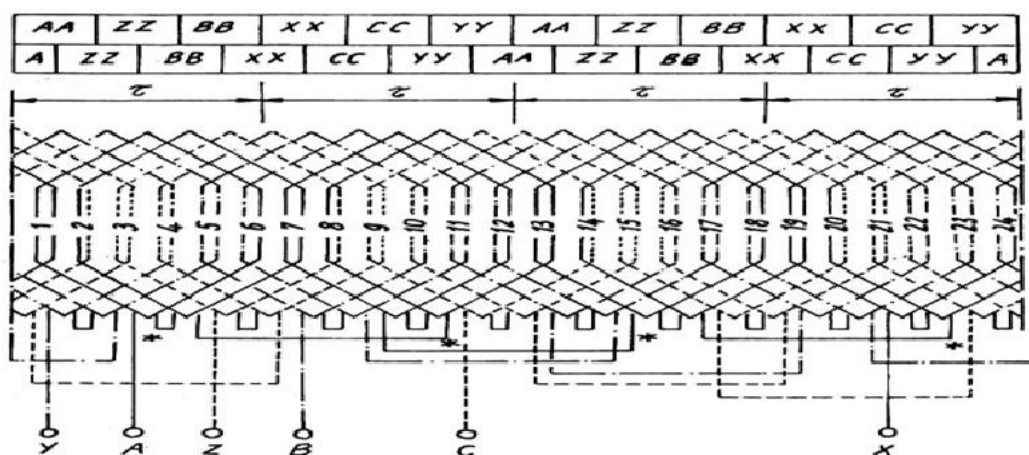
$$S_{pha} = \frac{S}{m} = \frac{24}{3} = 8$$

Số nhóm bố dây trong một pha:

$$n = \frac{S}{m \cdot q} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$$

$n = 2 \Rightarrow$ đấu cực thật.

Bước dây quấn: quấn bước ngắn $y = \beta \cdot \tau = 5 \Rightarrow \tau = \frac{y}{\beta} = \frac{5 \cdot 6}{5} = 6$



Hình 3-8. Dây quấn xếp hai lớp với $Z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$, $y = 5$, $\beta = 5/6$.

Cách Vẽ:

Đầu tiên ta phân bố cuộn dây theo vùng pha với $q = 2$ cho mỗi vùng. Nếu rãnh 1 và 2 thuộc vùng pha A thì vùng pha B phải đặt ở rãnh 5, 6 vì pha B cần phải dịch chuyển so với pha A là 120° tức là 4 rãnh ($1 + 4 = 5, 2 + 4 = 6$). Pha C cũng dịch chuyển tương đối với pha B và chiếm các rãnh ($5 + 4 = 9, 6 + 4 = 10$). Còn khoảng rãnh từ 13 ... 24 cũng được phân bố xen kẽ các pha A, B, C với cùng một quy luật như vậy (pha A: 13,14; pha B: 17,18; pha C: 21, 22). Như vậy một nửa vùng pha và lớp trên đã được phân bố. còn các vùng pha khác cũng được phân bố theo các pha A, B, C và được ký hiệu tương ứng X, Y, Z. Lúc này vùng X thuộc pha A dịch chuyển so với vùng A là $t = 6$ tức là ở các rãnh ($1 + 6 = 7, 2 + 6 = 8, 13 + 6 = 19, 14 + 6 = 20$). Tương tự vùng Y thuộc pha B ở các rãnh ($5 + 6 = 11, 6 + 6 = 12, 17 + 6 = 23, 18 + 6 = 24$). Còn vùng Z thuộc pha C ở các rãnh ($9 - 6 = 3, 10 - 6 = 4, 21 - 6 = 15, 22 - 6 = 16$). Sự khác nhau ở các vùng pha A, B, C và X, Y, Z là sức điện động ở các cạnh tương ứng của nó.

b. Dây quấn sóng:

Đối với máy điện xoay chiều dùng bước tổng hợp là:

$$y = \frac{Z}{p} = 6p = 2mq \quad (3-11)$$

Ở máy điện một chiều $y = \frac{Z \pm 1}{p} = \frac{6 \pm pq}{p}$ là không thích hợp vì loại dây quấn này yêu cầu số bội dây một pha bằng số rãnh chia 3.

Như vậy các sóng của cuộn dây sau khi đi một vòng liên tục dưới các cực khác nhau không tạo nên sự xê dịch từ trường nhưng khi sóng trở về thanh dẫn ban đầu thì người ta dịch đi một thanh về phía trước hay phía sau, sau đó lại bắt đầu một vòng mới cũng với một bước y .

Còn:

$$y_1 = \frac{Z}{2p}$$

$$y_2 = y - y_1$$

Chú ý:

Cũng như dây quấn xếp, dây quấn sóng bước ngắn cũng làm cho đặc tính điện của máy tốt hơn.

Ví dụ: Dây quấn sóng ba pha, 2 lớp có $Z = 24, 2p = 4$.

- Bước tổng hợp:

$$y = \frac{Z}{p} = \frac{24}{2} = 12$$

- Bước dây quấn thứ nhất:

$$y_1 = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{4} = 6$$

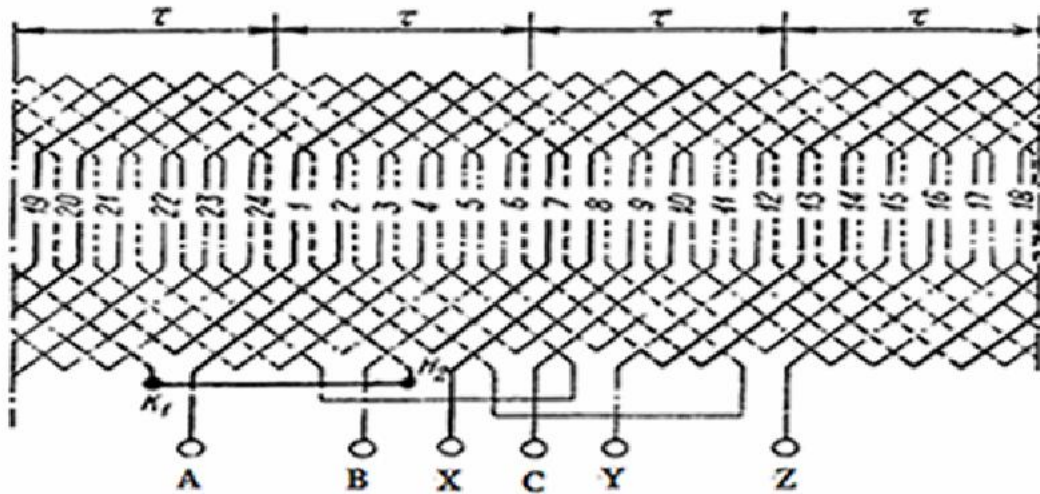
Xong ta quấn bước ngắn $y = 5$ với $\beta = 5/6$.

- Bước dây $y_2 = 12 - 5 = 7$.

- Số rãnh của một pha dưới một cực:

$$q = \frac{Z}{2mp} = \frac{24}{3.4} = 2$$

- Số phần tử $S = Z = 24$.



Hình 3-9. Dây quang sóng hai lớp với $Z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$, $y = 5$, $\beta = 5/6$.

III. Dây quang có q là phân số:

Phân bố q có thể đặt ở dạng:

$$q = b + \frac{c}{d} \quad (3-12)$$

Trong đó b, c, d là số nguyên ($c < d$ và c/d là phân số thật không rút gọn được)

Ta có thể viết:

$$q = b + \frac{c}{d} = \frac{bd + c}{d} = \frac{(d - c)b + c(b + 1)}{d} = \frac{\xi}{d} \quad (3-13)$$

Tức là ξ (Kxi) bởi dây của một pha được chia thành d nhóm bởi dây trong đó có $(d - c)$ nhóm cần có b bởi dây, còn c nhóm có $(b + 1)$ bởi dây.

Ví dụ: Dây quang ba pha với q là phân số, $Z = 15$, $2p = 4$.

$$q = \frac{Z}{2mp} = \frac{15}{12} = 1 + \frac{1}{4}$$

Tức là $b = 1$, $c = 1$, $d = 4$ và $q = bd + c = 4 + 1 = 5$ là số rãnh đương lượng của một pha dưới một bước cực.

Bước cực :

$$\tau = m.q = 3.(1 + \frac{1}{4}) = (3 + \frac{3}{4}) \text{ là bước răng.}$$

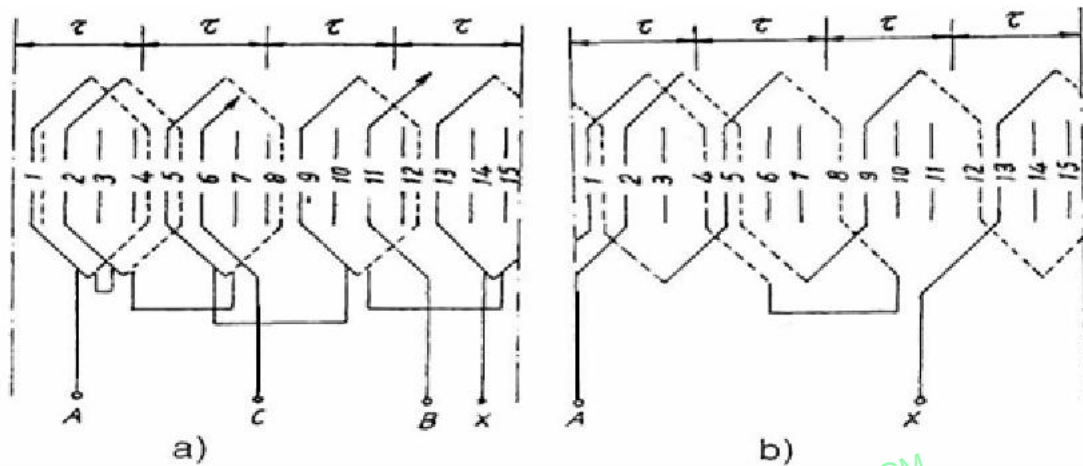
Chúng ta có thể lấy bước rãnh theo $y = 3$.

Khi đó:

$$\beta = \frac{y}{\tau} = \frac{3}{3 + \frac{3}{4}} = \frac{4}{5} = 0,8$$

Trong trường hợp này ta có $d = 4$ nhóm bồi dây phân bố trên 4 cực, phải có $d - c = 4 - 1 = 3$ nhóm có $b = 1$ bồi dây phải có $c = 1$ nhóm có $b + 1 = 1 + 1 = 2$ bồi dây. Các nhóm lớn và nhóm nhỏ cần được phân bố đối xứng.

$$\alpha = \frac{p \cdot 360}{Z} = \frac{2 \cdot 360}{15} = 48^\circ$$



Hình 3-10. Dây quấn xếp (a) và dây quấn sóng (b) ba pha hai lớp với $Z = 15, 2p = 4, q = 1 + 1/4$.

IV. Dây quấn ngắn mạch kiểu lồng sóc:

Dây quấn ngắn mạch kiểu lồng sóc được tạo thành bởi các thanh dẫn bằng đồng đặt trong rãnh, hai đầu hàn với hai đầu ngắn mạch cũng bằng đồng. Các thanh dẫn và vòng ngắn mạch nói trên cũng có thể được đúc bằng nhôm.

Sức điện động của các thanh dẫn kế tiếp lệch pha một góc $\alpha = \frac{2\pi \cdot p}{z}$ và có thể biểu thị thành hình sao sức điện động có z/t vectơ, trong đó t là ước số chung lớn nhất của z và p . Ở trường hợp dây quấn lồng sóc mỗi vectơ sức điện động ứng với một pha và như vậy số pha $m = \frac{Z}{t}$ và nếu có t hình sao sức điện động trùng nhau thì mỗi pha có t thanh dẫn ghép song song. Trên thực tế, lúc tính để đơn giản thường xem như mỗi thanh dẫn ứng với một pha và như vậy $m = z$, số vòng dây của một pha $w = 1/2$ và các hệ số bước ngắn, hệ số quấn rải đối với tất cả các sóng điều hòa $k_{nv} = k_{rv} = 1$.

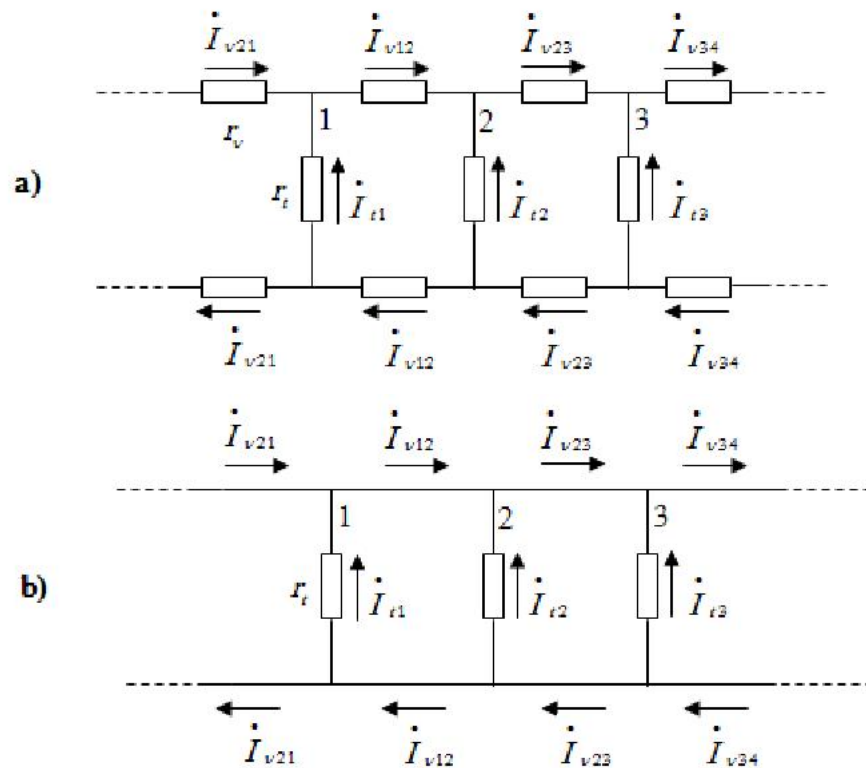
Sơ đồ mạch điện của dây quấn lồng sóc như hình 3-11a.

Trong đó:

R_t là điện trở thanh dẫn.

R_v là điện trở từng đoạn giữa hai thanh dẫn của vòng ngắn mạch.

Để xem dây quấn m pha đầu hình sao và bị nối ngắn mạch, ta thay thế mạch điện thực nói trên bằng mạch điện tương đương (hình 3-11b) dựa trên cơ sở tổn hao trên điện trở của hai mạch điện đó phải bằng nhau.



Hình 3-11. Sơ đồ mạch điện thực (a) và tương đương (b)

Do dòng điện trong các đoạn của vòng ngắn mạch cũng lệch pha nhau góc α như trên hình (3-12) nên:

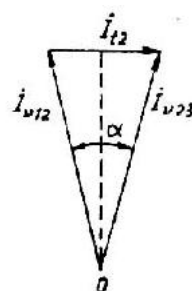
$$l_t = 2l_v \sin \frac{\alpha}{2} = 2l_v \sin \frac{p\pi}{z}$$

$$l_v = \frac{l_t}{2 \sin \frac{p\pi}{z}}$$

Vì tổn hao trên điện trở của mạch điện thực và mạch điện thay thế của cuộn dây phải bằng nhau:

$$Zl_t^2 r_t + 2Zl_v^2 r_v = Zl_t^2 r$$

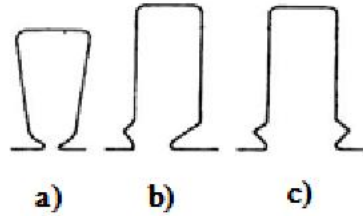
$$\Rightarrow r = r_t + \frac{r_v}{2 \sin^2 \frac{p\pi}{z}} \text{ là điện trở mỗi pha của dây quấn}$$



Hình 3-12. Quan hệ giữa dòng điện trong thanh dẫn và dòng điện trong vòng ngắn mạch.

V. Cách thực hiện dây quấn máy điện xoay chiều:

Dây quấn máy điện xoay chiều được đặt trong các rãnh trên stato hoặc rôto. Các rãnh này có thể có miệng rãnh nửa kín, nửa hở và hở như hình 3-13.



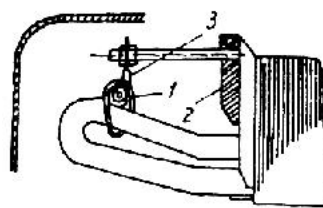
**Hình 3-13. Rãnh nửa kín (a), rãnh nửa hở (b)
và rãnh hở của máy điện xoay chiều (c)**

Rãnh nửa kín thường được dùng cho dây quấn stato của máy công suất tới 100 Kw và điện áp đến 650V. Cách điện rãnh thường dày khoảng $(0,35 \div 0,65)mm$ và gồm những phần tử nhiều vòng dây tiết diện tròn với đường kính $(2,2 \div 2,5)mm$. Khi lồng dây phải cho từng một hoặc hai vòng dây qua miệng rãnh.

Rãnh nửa hở thường dùng cho các máy có công suất lớn từ $(300 \div 400)kW$ ở tốc độ 1500 vg/ph. Ở trường hợp này bối dây được chia làm hai nửa bối theo chiều rộng của rãnh, các nửa bối đó gồm nhiều vòng dây tiết diện chữ nhật quấn theo khuôn định hình. Các nửa bối dây được bọc vải và khi lồng dây cho cả nửa bối qua miệng rãnh. Rãnh hở thường dùng với các máy có công suất lớn, điện áp cao. Trong trường hợp này dây quấn được chế tạo từ dây dẫn có tiết diện hình chữ nhật và các bối được cách điện trước khi đặt vào rãnh.

Sau khi lồng dây vào rãnh, miệng rãnh được nẹp kín bằng các thanh nẹp bằng vật liệu cách điện như tre, gỗ đã được xử lý gétinắc, textôlit, ... và như vậy tác dụng của bối dây được ép chặt trong rãnh.

Nếu dây quấn được đặt ở rôto thì phần đầu nối của nó được đai chặt bằng dây thép để tránh bị tung ra do lực li tâm khi rôto quay. Ở các máy điện công suất lớn, để tránh các lực điện từ rất mạnh lúc xảy ra ngắn mạch làm hỏng phần đầu nối dây quấn stato, bộ phận này được buộc chặt vào các vòng thép có bulông bắt vào thân máy như hình (3-14).



Hình 3-14. Cố định phần đầu nối của dây quấn rôto.

CÂU HỎI:

1. Nguyên tắc cuốn dây của dây quấn ba pha một lớp và hai lớp với q là số nguyên ?
2. Nguyên tắc cuốn dây của dây quấn ba pha hai lớp với q là phân số ? Ý nghĩa của dây quấn này đối với việc cải thiện dạng sóng sức điện động của dây quấn stato ? Phạm vi ứng dụng của nó ?
3. Vì sao dây quấn một pha chỉ đặt trong $2/3$ số rãnh của các cực ?

BÀI TẬP:

1. Dây quấn ba pha của máy điện xoay chiều có các số liệu sau: $z = 24$, $2p = 2$, $q = 4$. Vẽ giản đồ khai triển khi:

- a. Dây quấn đồng tâm ba mặt.
- b. Dây quấn đồng khuôn đơn giản.

2. Dây quấn ba pha của một máy điện xoay chiều có $z = 36$, $2p = 4$, $q = 3$. vẽ sơ đồ khai triển dây quấn đồng tâm một, hai, ba mặt phẳng.

3. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn xếp ba pha hai lớp với các số liệu sau: $z = 36$, $2p = 4$, $\beta = 7/9$.

4. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn sóng ba pha hai lớp với các số liệu sau: $z = 36$, $2p = 4$.

5. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn xếp ba pha hai lớp với các số liệu sau: $z = 15$, $2p = 2$.

Ban quyền © Truong DH Su pham Ky thuat TP. HCM

§ 3.3 SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

I. Sức từ động của dây quấn một pha:

Để nghiên cứu sức từ động của dây quấn một pha, trước hết ta xét sức từ động của một phần tử sau đó đến sức từ động của dây quấn một lớp gồm có q phần tử và cuối cùng sức từ động của dây quấn một pha hai lớp bước ngắn.

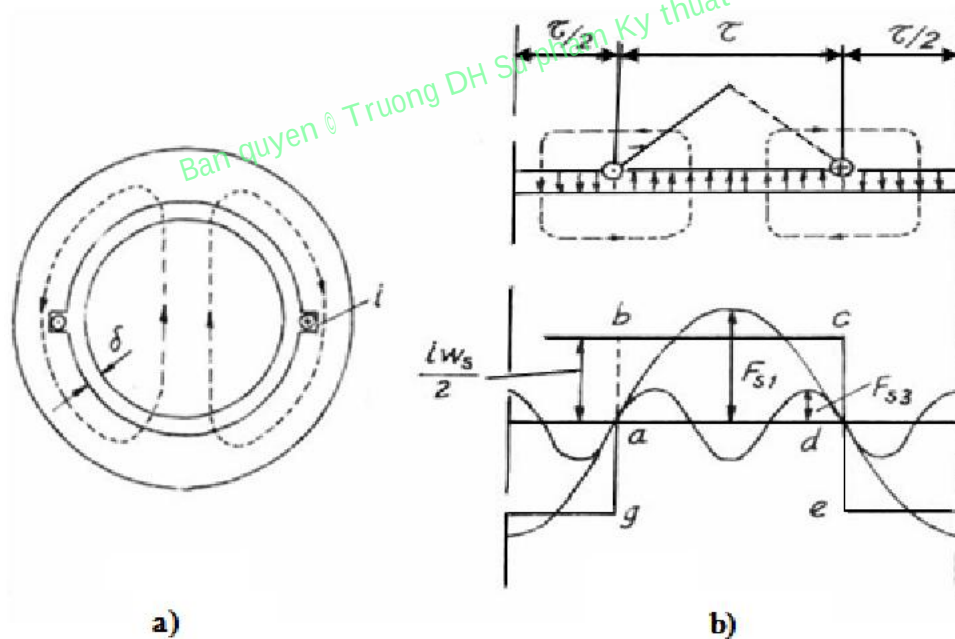
1. Sức từ động của một phần tử:

Giả sử ta có một phần tử gồm w_s vòng dây bước đủ ($y = \tau$) đặt ở stato của một máy điện như trên hình 3-15a. Khi trong phần tử có dòng điện $i = \sqrt{2} \sin \omega t$ thì các đường sức của từ trường do phần tử có dòng điện i sinh ra sẽ phân bố như các đường nét chấm.

Theo định luật toàn dòng điện, dọc theo một đường sức từ khép kín bất kỳ ta có thể viết:

$$\oint H dl = i.w_s \quad (3-14)$$

trong đó H là cường độ từ trường dọc theo đường sức từ.



Hình 3-15. Đường sức từ do dòng điện I trong phần tử bước đủ sinh ra (a) và đường biểu thị sức từ động dọc khe hở của máy (b)

Từ trở của thép rất nhỏ ($\mu_{Fe} = \infty$) nên $H_{Fe} = 0$ và sức từ động $i.w_s$ được xem như chỉ cần thiết để sinh ra từ thông đi qua hai lần khe không khí δ :

$$H.2\delta = i.w_s \quad (3-15)$$

Như vậy sức từ động ứng với một khe không khí bằng:

$$F_s = \frac{1}{2} i.w_s \quad (3-16)$$

và đường biểu diễn sức từ động khe hở dưới một bước cực có thể biểu thị được bằng hình chữ nhật abcd có độ cao $\frac{i \cdot w_s}{2}$ và ở bước cực tiếp theo bằng hình chữ nhật dega với quy ước ở khoảng có đường sức từ hướng lên trên thì F_s được biểu thị bằng tung độ dương.

Vì $i = \sqrt{2}I \sin \omega t$ nên sức từ động F_s phân bố dọc khe hở theo dạng hình chữ nhật có độ cao r thay đổi về trị số và dấu theo dòng điện xoay chiều i .

Sức từ động phân bố hình chữ nhật trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian đó có thể phân tích theo dãy Fourier thành các sóng điều hòa 1, 3, 5, 7, ... với góc tọa độ được chọn như ở trên hình (3-15b) ta có:

$$F_s = F_{s1} \cos \alpha + F_{s3} \cos 3\alpha + \dots + F_{sv} \cos v\alpha + \dots = \sum F_{sv} \cos v\alpha$$

Trong đó :

$$F_{sv} = \frac{2}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} F_s \cos v\alpha d\alpha = \frac{4}{v\pi} F_s \sin v \frac{\pi}{2} \quad (3-17)$$

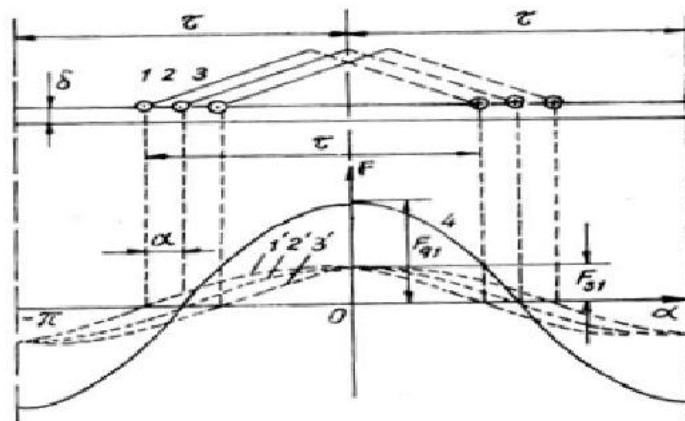
$$\Rightarrow F_s = \sum F_{sv} \cos v\alpha \sin \omega t \quad (3-18)$$

$$F_{sv} = \frac{2\sqrt{2}}{v\pi} I \cdot w_s \sin v \frac{\pi}{2} = \pm \frac{2\sqrt{2}}{v\pi} I \cdot w_s = \pm 0,9 \frac{I \cdot w_s}{v} \quad (3-19)$$

Ta thấy rằng sức từ động của một phần tử trong có dòng điện xoay chiều là tổng hợp của v sóng đập mạch phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian.

2. Sức từ động của dây quấn một lớp bước đủ:

Ta xét sức từ động của dây quấn một lớp có $q = 3$ phần tử, mỗi phần tử có w_s vòng dây như hình (3-16). Sức từ động của dây quấn đó là tổng của ba sức từ động của ba phần tử phân bố hình chữ nhật và lệch nhau góc không gian $\alpha = \frac{2\pi \cdot p}{Z}$. Nếu đem phân tích ba sóng chữ nhật đó theo cấp số Fourier thì tổng của ba sóng chữ nhật đó cũng chính là tổng tất cả các sóng điều hòa của chúng.



Hình 3-16. Sức từ động của dây quấn một lớp bước đủ có $q = 3$.

Dưới đây ta sẽ cộng các sóng điều hòa cùng bậc của các sức từ động của ba phần tử, cuối cùng lấy tổng của các sức từ động hợp thành ứng với tất cả các bậc ν để có sức từ động tổng của dây quấn đó.

Với $\nu = 1$ ta có ba sóng sức từ động hình sin cơ bản $1, 2, 3$ lệch nhau về không gian góc α và có thể biểu thị được bằng ba vectơ lệch nhau góc không gian α như trên hình (3-17). Tổng của ba sóng sức từ động hình sin đó cũng là một sóng hình sin (đường 4) và là sóng sức từ động cơ bản của nhóm ba phần tử đó. Biên độ của nó có trị số bằng độ dài của vectơ tổng của các vectơ 1, 2 và 3 trên hình 3-17. Đối với sức từ động tổng của nhóm phần tử ta có sức từ động cơ bản của nhóm q phần tử:

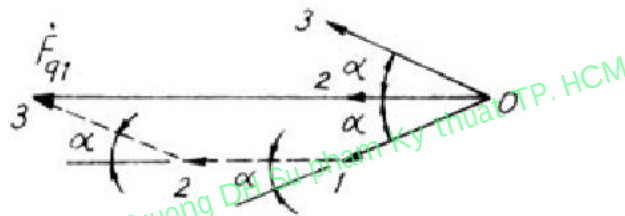
$$F_{q1} = qk_{r1}F_{sm1} \quad (3-20)$$

Với sóng bậc ν thì góc lệch giữa các sóng sức từ động bậc ν là $\nu\alpha$ và vectơ sức từ động tổng bậc ν có biên độ:

$$F_{q\nu} = qk_{r\nu}F_{sm\nu} \quad (3-21)$$

Như vậy sức từ động của dây quấn một lớp bước đủ có thể biểu thị như sau:

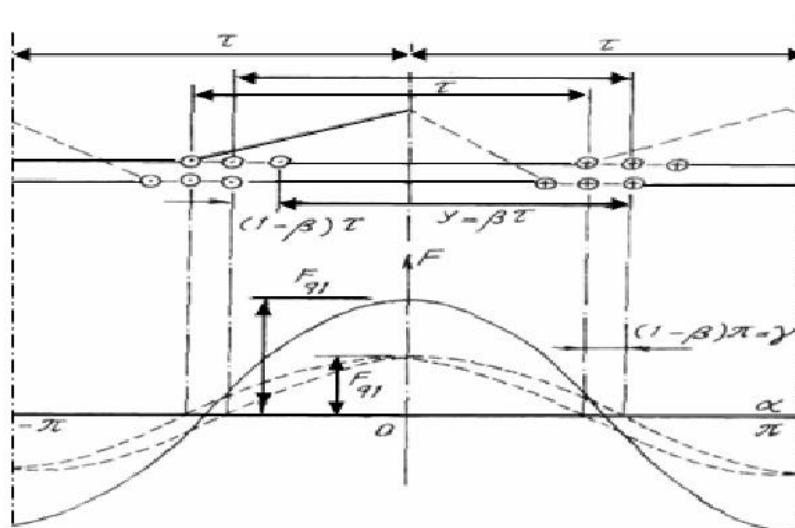
$$F_q = \sum qF_{sm\nu}k_{r\nu} \cos \nu\alpha \cdot \sin \omega t \quad (3-22)$$



Hình 3-17. Cộng sức từ động của ba phần tử.

3. Sức từ động của dây quấn một pha hai lớp bước ngắn:

Sức từ động của dây quấn hai lớp bước ngắn có thể được xem như tổng sức từ động của hai dây quấn một lớp bước đủ một đặt ở lớp trên và một đặt ở lớp dưới nhưng lệch nhau góc điện α như trên hình 3-18.



Hình 3-18. Sức từ động cơ bản của dây quấn một pha hai lớp bước ngắn.

Đối với sóng cơ bản ($\nu = 1$) góc lệch $\gamma = (1 - \beta)\pi$ trong đó $\beta = \frac{v}{\tau}$ nên có:

$$F_{f1} = 2F_{q1} \cos(1 - \beta) \frac{\pi}{2} = 2F_{q1} k_{n1} \quad (3-23)$$

Tương tự như vậy đối với sóng bậc ν :

$$F_{f\nu} = 2F_{q\nu} \cos(1 - \beta) \frac{\pi}{2} = 2F_{q\nu} k_{n\nu} \quad (3-24)$$

Kết quả là sức từ động của dây quấn một pha hai lớp bước ngắn có thể biểu thị dưới dạng:

$$F_f = \sum 2qF_{sm\nu} k_{n\nu} k_{rv} \cos \nu \alpha . \sin \omega t \quad (3-25)$$

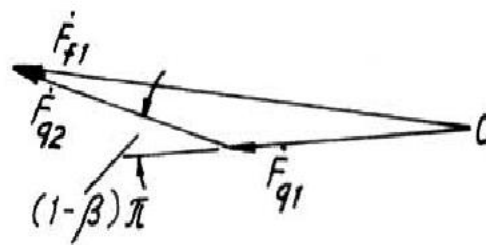
Thay trị số của $F_{sm\nu}$ và chú ý rằng trong dây quấn hai lớp số vòng dây của một pha $w = 2pq.w_s$ nên ta có thể viết:

$$F_f = \sum F_{f\nu} \cos \nu \alpha . \sin \omega t \quad (3-26)$$

Trong đó:

$$F_f = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{wk_{dq\nu}}{vp} I = 0,9 \frac{wk_{dq\nu}}{vp} I \quad (3-27)$$

Do đó sức từ động của dây quấn một pha là tổng hợp của một dãy các sóng đập mạch, nghĩa là phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian với tần số của dòng điện chảy trong dây quấn đó.



Hình 3-19. Cộng s.t.đ cơ bản của hai lớp của dây quấn một pha trên hình 3-18

II. Sức từ động của dây quấn m pha:

Ta hãy xét tổng quát sức từ động của dây quấn m pha rút từ đó suy ra sức từ động của dây quấn ba pha ($m = 3$) và sức từ động dây quấn hai pha ($m = 2$).

Giả sử cho dây quấn m pha đặt lệch nhau về không gian góc điện $\frac{2\pi}{m}$ (hình 3-20) trong đó có

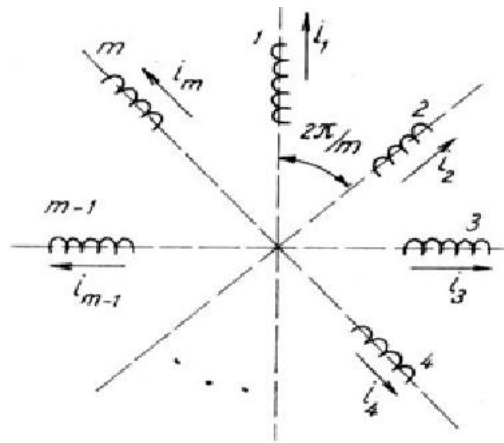
dòng điện m pha đối xứng lệch nhau về thời gian góc $\frac{2\pi}{m}$.

$$i_1 = \sqrt{2} \sin \omega t$$

$$i_1 = \sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{m}\right)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$i_m = \sqrt{2} \sin\left[\omega t - (m-1) \frac{2\pi}{m}\right]$$



Hình 3-20. Dây quấn m pha

Như đã biết sức từ động của mỗi pha là một sức từ động đập mạch và được biểu thị như sau:

$$F_1 = \sum F_{fv} \sin \omega t \cos v\alpha$$

$$F_2 = \sum F_{fv} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{m}\right) \cos v\left(\alpha - \frac{2\pi}{m}\right)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$F_m = \sum F_{fv} \sin\left[\omega t - (m-1) \frac{2\pi}{m}\right] \cos v\left[\alpha - (m-1) \frac{2\pi}{m}\right].$$

Để có sức từ động của dây quấn m pha ta lấy tổng của m sức từ động đập mạch đó. Muốn cho sự phân tích được dễ dàng, ta có thể phân tích sức từ động bậc v của mỗi pha thành hai sức từ động quay thuận và ngược. Như vậy sức từ động của dây quấn m pha sẽ là tổng của tất cả các sức từ động quay thuận và sức từ động quay ngược đó.

Ta có:

$$F_1 = F_{fv} \sin \omega t \cos v\alpha = \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t - v\alpha) + \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t + v\alpha)$$

$$F_2 = F_{fv} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{m}\right) \cos v\left(\alpha - \frac{2\pi}{m}\right) =$$

$$= \frac{F_{fv}}{2} \sin\left[(\omega t - v\alpha) + (v-1) \frac{2\pi}{m}\right] + \frac{F_{fv}}{2} \sin\left[(\omega t + v\alpha) + (v+1) \frac{2\pi}{m}\right]$$

$$\dots\dots\dots$$

$$F_m = \frac{F_{fv}}{2} \sin\left[(\omega t - (m-1) \frac{2\pi}{m})\right] \cos v\left[\alpha - (m-1) \frac{2\pi}{m}\right]$$

$$= \frac{F_{fv}}{2} \sin\left[(\omega t - v\alpha) + (m-1)(v-1) \frac{2\pi}{m}\right] + \frac{F_{fv}}{2} \sin\left[(\omega t + v\alpha) - (m-1)(v+1) \frac{2\pi}{m}\right]$$

Trong đó $\nu = 1, 3, 5, \dots$ có thể chia thành ba 38 nhóm như sau:

$$\begin{cases} \nu = mk \\ \nu = 2mk + 1 \\ \nu = 2mk - 1 \end{cases}$$

Trước hết ta hãy xét tổng của các sức điện động quay thuận, tức là tổng của các số hạng thứ nhất ở vế phải của các biểu thức trên. Các sức từ động quay thuận đó có thể viết như sau:

$$F_{1\nu t} = \frac{F_{f\nu}}{2} \sin(\omega t - \nu\alpha)$$

$$F_{2\nu t} = \frac{F_{f\nu}}{2} \sin\left[(\omega t - \nu\alpha) + (\nu - 1) \frac{2\pi}{m}\right]$$

.....

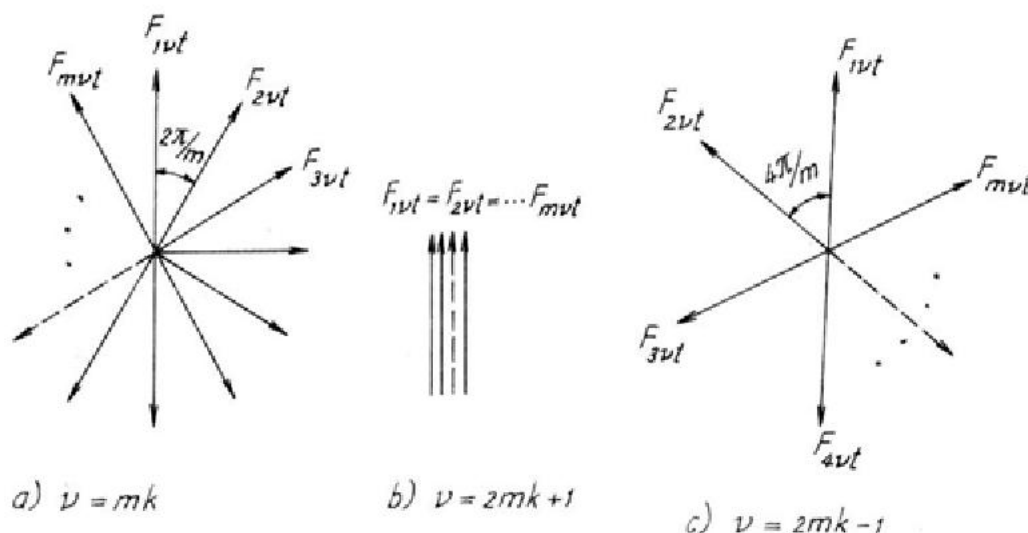
$$F_{m\nu t} = \frac{F_{f\nu}}{2} \sin\left[(\omega t - \nu\alpha) + (m - 1)(\nu - 1) \frac{2\pi}{m}\right]$$

Tổng của chúng là tổng của những sóng quay hình sin lệch nhau góc $(\nu - 1) \frac{2\pi}{m}$ trong đó ν có trị số xác định như sau:

- Với nhóm $\nu = mk$:

$$(\nu - 1) \frac{2\pi}{m} = (mk - 1) \frac{2\pi}{m} = 2k\pi - \frac{2\pi}{m}$$

Ta thấy với mỗi trị số của m, k sức từ động đó là những sóng hình sin quay với cùng tốc độ, các vectơ tương ứng với các sóng hình sin đó lệch nhau góc $\frac{2\pi}{m}$ làm thành một hình sao đối xứng (hình 3-21a) do đó tổng của chúng bằng không.



Hình 3-21. Cộng các sức từ động quay thuận bậc ν của các pha.

- Với nhóm $\nu = 2mk + 1$ ta có:

$$(\nu - 1) \frac{2\pi}{m} = 4\pi k$$

Các sức từ động tương ứng với mỗi trị số của k là những sức từ động quay thuận trùng pha nhau (hình 3- 21b) do đó tổng của chúng bằng:

$$F_t = \sum \frac{m}{2} F_{fv} \sin(\omega t - \nu \alpha)$$

- Với nhóm $\nu = 2mk - 1$:

$$(\nu - 1) \frac{2\pi}{m} = 4\pi k - \frac{4\pi}{m}$$

Các sức từ động tương ứng với mỗi trị số của k là những sức từ động quay với cùng tốc độ và lệch nhau $\frac{4\pi}{m}$ (hình 3- 21c) do đó tổng của chúng bằng không.

Tương tự như vậy xét tổng của các sức từ động quay ngược tức là tổng của các số hạng thứ hai ở vế phải của các biểu thức trên ta sẽ thấy tổng của các sức từ động có $\nu = mk$ và $\nu = 2mk + 1$ bằng không. Riêng nhóm sức từ động ứng với $\nu = 2mk - 1$ trùng pha nhau nên tổng của chúng là:

$$F_{ng} = \sum \frac{m}{2} F_{fv} \sin(\omega t + \nu \alpha) \quad (3-28)$$

Như vậy sức từ động của dây quấn m pha, ta có thể viết gộp lại cho tổng của các sóng quay thuận và quay ngược như sau:

$$F_{(m)} = \sum \frac{m}{2} F_{fv} \sin(\omega t \mp \nu \alpha) \quad (3-29)$$

Trong đó:

$$\frac{m}{2} F_{fv} = 0,45m \frac{wk_{dq\nu}}{\nu p} I \quad (3-30)$$

Tốc độ quay của sức từ động quay bậc ν là $w_\nu = \pm \frac{w}{\nu}$ hay là $n_\nu = \pm \frac{n}{\nu}$.

Điều đó có thể chứng minh bằng cách lấy đạo hàm theo t của biểu thức $\omega t \pm \nu \alpha = const$ để cho sức từ động bậc ν đó luôn có giá trị không đổi khi quay.

Đối với dây quấn ba pha ta thay m = 3 lúc đó sức từ động dây quấn ba pha như sau:

$$F_{(3)} = \sum \frac{3}{2} F_{fv} \sin(\omega t \mp \nu \alpha) \quad (3-31)$$

Trong đó:

$$\frac{3}{2} F_{fv} = 1,35 \frac{wk_{dq\nu}}{\nu p} I \quad (3-32)$$

Ta có thể kết luận rằng sức từ động của dây quấn ba pha là tổng của các sức từ động bậc $\nu = 6k + 1 = 1, 7, 13, \dots$ quay thuận và các sức từ động bậc $\nu = 6k - 1 = 5, 11, 17, \dots$ quay ngược.

biên độ của sức từ động quay bậc ν bằng $3/2$ lần biên độ của sức từ động một pha bậc ν và tốc độ quay của sức từ động bậc ν là $n_\nu = \frac{n}{\nu}$.

Đối với dây quấn hai pha đặt lệch nhau trong không gian góc điện $\pi/2$ có dòng điện trong hai pha lệch nhau về thời gian góc $\pi/2$ thì thay $m = 2$ vào ta được:

$$F_{(2)} = \sum F_{f\nu} \sin(\omega t \mp \nu\alpha) \quad (3-33)$$

Trong đó:

$$F_{f\nu} = 0,9 \frac{wk_{dq\nu}}{\nu p} I \quad (3-34)$$

Nghĩa là sức từ động của dây quấn hai pha là tổng của các sức từ động $\nu = 4k + 1$ quay thuận và các sức từ động bậc $\nu = 4k - 1$ quay ngược. biên độ của sức từ động quay bậc ν bằng biên độ của sức từ động một pha bậc ν , tốc độ quay của sức từ động bậc ν là $n_\nu = \frac{n}{\nu}$.

Chú thích:

Khi dòng điện m pha trong dây quấn m pha là không đối xứng thì ta có thể phân tích dòng không đối xứng đó thành dòng điện m pha thứ tự thuận I_1 , dòng điện m pha thứ tự ngược I_2 và dòng điện m pha thứ tự không I_0 theo phương pháp các thành phần đối xứng.

Thành phần dòng điện đối xứng thứ tự thuận $I_{11}, I_{21}, \dots, I_{m1}$ sẽ sinh ra sức từ động của dây quấn m pha :

$$F_{1(m)} = \sum \frac{m}{2} F_{1f\nu} \sin(\omega t \mp \nu\alpha) \quad (3-35)$$

Trong đó:

$$\frac{m}{2} F_{1f\nu} = 0,45m \frac{wk_{dq\nu}}{\nu p} I_1 \quad (3-36)$$

Thành phần dòng điện đối xứng thứ tự ngược $I_{12}, I_{22}, \dots, I_{m2}$ sẽ sinh ra sức từ động của dây quấn m pha :

$$F_{2(m)} = \sum \frac{m}{2} F_{2f\nu} \sin(\omega t \mp \nu\alpha) \quad (3-37)$$

Trong đó:

$$\frac{m}{2} F_{2f\nu} = 0,45m \frac{wk_{dq\nu}}{\nu p} I_2 \quad (3-38)$$

Thành phần dòng điện thứ tự không:

$$i_{01} = i_{02} = i_{03} = \dots = i_{0m} = \sqrt{2} I_0 \sin \alpha \omega t \quad (3-39)$$

Sinh ra trong dây quấn m pha các sức từ động đập mạch cùng pha về thời gian và lệch nhau trong không gian $\frac{2\pi}{m}$:

$$\begin{aligned} F_{01} &= F_{0f\nu} \sin \omega t \cos \nu\alpha \\ F_{02} &= F_{0f\nu} \sin \omega t \cos \nu\left(\alpha - \frac{2\pi}{m}\right) \\ &\dots\dots\dots \\ F_{0m} &= F_{0f\nu} \sin \omega t \cos \nu\left[\alpha - (m-1) \frac{2\pi}{m}\right] \end{aligned}$$

Với $\nu = mk$ các sức từ động đập mạch do dòng thứ tự không ở m pha lệch nhau $2k\pi$ trong không gian và cộng số học với nhau.

$$F_{0(m)} = \sum_{\nu=mk} F_{0\nu} \sin \omega t \cos \nu \alpha \quad (3-40)$$

Trong đó:

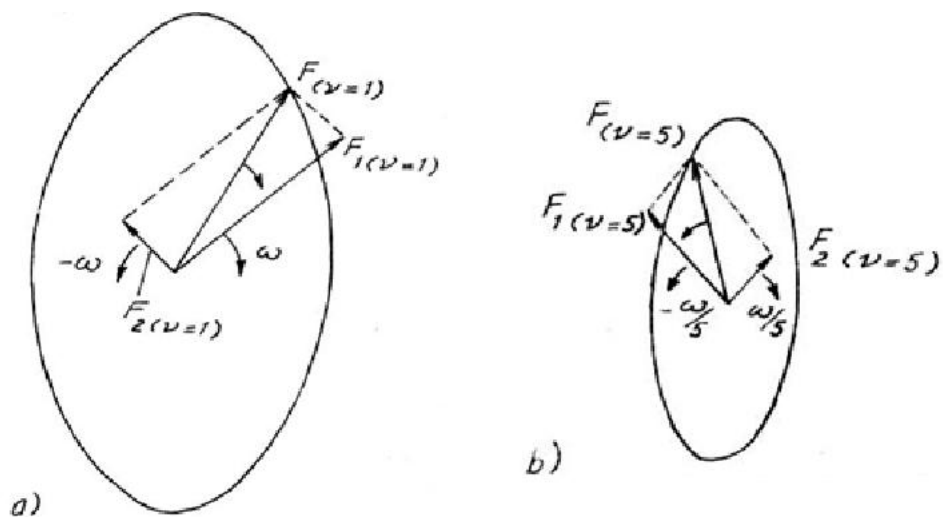
$$F_{0\nu} = 0,9m \frac{wk_{dq\nu}}{\nu p} I_0 \quad (3-41)$$

Với $\nu = 2mk \pm 1$ các sức từ động đập mạch do dòng thứ tự không ở m pha hình thành hệ vectơ lệch nhau góc không gian $\frac{2\pi}{m}$ và có tổng bằng không.

Qua những phân tích ở trên ta thấy sức từ động của dây quấn m pha khi có dòng điện m pha đối xứng chạy qua bao gồm các sức từ động quay và các sức từ động đập mạch. Trong các máy điện xoay chiều các sức từ động đập mạch chủ yếu chỉ sinh ra từ trường tản của dây quấn, còn các sức từ động quay sẽ tham gia trực tiếp vào các quá trình biến đổi năng lượng cơ điện. ta thấy các sức từ động quay tròn thuận và ngược cùng bậc, có biên độ khác nhau do $I_1 \neq I_2$ tổng hợp lại sẽ cho những sức từ động elip.

Đối với dây quấn ba pha ($m = 3$) ứng với $\nu = 1, 7, 13, \dots$ là các sức từ động elip quay thuận, $\nu = 5, 11, \dots$ là các sức từ động quay ngược.

Hình 3-22 trình bày sức từ động elip ứng với $\nu = 1$ và $\nu = 5$ của dây quấn ba pha.

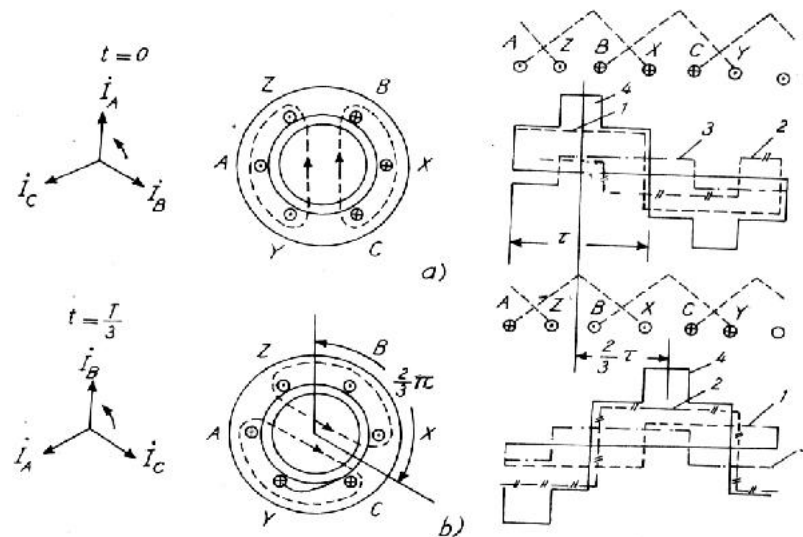


Hình 3-22. Sức từ động elip của dây quấn ba pha ở tải không đối xứng.
a. bậc $\nu = 1$ và b. bậc $\nu = 5$

Phân tích sức từ động của dây quấn m pha bằng phương pháp đồ thị :

Ở trên ta đã nghiên cứu sức từ động của dây quấn m pha bằng phương pháp giải tích và đi đến kết luận rằng dòng điện ba pha (hoặc hai pha) chạy trong dây quấn ba pha (hoặc hai pha) sẽ tạo ra từ trường quay. Ở đây ta sẽ dùng phương pháp đồ thị để chứng minh điều đó.

Để đơn giản trước hết ta hãy xét sức từ động sinh ra bởi dòng điện ba pha i_A, i_B, i_C chảy trong dây quấn ba pha A-X, B-Y, C-Z, có $q = 1, p = 1$ như trên hình (3-23) ở các thời điểm khác nhau.



Hình 3-23. Sức từ động của dây quấn ba pha có $q = 1, 2p = 2$ ở các thời điểm $t = 0$ và $t = T/3$

Giả sử ở thời điểm $t = 0$ dòng điện pha A là cực đại:

$$i_A = I_m$$

Còn:

$$i_B = i_C = -\frac{I_m}{2}$$

và giả sử rằng dòng điện ở pha A có chiều từ X đến A còn ở các pha B và C có chiều từ B đến Y và C đến Z như ký hiệu trên hình (3-23).

Các sức từ động FA, FB, FC có trị số tỷ lệ với dòng điện chảy trong các pha đó phân bố dọc hai cực như trình bày bằng các đường biểu diễn 1, 2, 3 trên hình (3-23a). Cộng các tung độ của ba đường biểu diễn đó ở từng điểm ta sẽ được sức từ động tổng của dây quấn ba pha như đường 4. Ta thấy rằng trị số cực đại của sức từ động tổng trùng với trục của pha A là pha có dòng điện cực đại ở thời điểm $t = 0$.

Ở thời điểm $t = T/3$ thì:

$$i_B = I_m$$

Còn:

$$i_A = i_C = -\frac{I_m}{2}$$

Lập lại cách vẽ trên ta có các đường biểu diễn sức từ động của từng pha và sức từ động tổng như trên hình (3-23b). Ta thấy rằng khi dòng điện biến đổi một phần ba chu kỳ $T/3$ thì sức điện động tổng của dây quấn ba pha cũng xê dịch trong không gian khoảng cách $2\pi/3$ và có trị số cực đại của sức từ động tổng đó trùng với trục của pha B là pha có dòng điện cực đại ở thời điểm $t = T/3$.

Từ những kết quả phân tích ở trên ta có thể kết luận như sau:

- Sức từ động của dây quấn ba pha là sức từ động quay. Khi dòng điện biến đổi được một chu kỳ T thì sức từ động đó quay được 2π trong không gian. Nếu máy có p đôi cực thì sức từ động đó quay được $1/p$ vòng. Vậy tốc độ quay của sức từ động là:

$$n = \frac{60f}{p} \text{ (vg/ph)}$$

- Trục của sức từ động luôn trùng với trục của pha có dòng điện cực đại:

Để có phương pháp tổng quát vẽ đường phân bố sức từ động tổng của dây quấn khi $q \neq 1$, ta nhận xét rằng trị số của sức từ động tăng tỷ lệ với phụ tải đường A dọc chu vi hở. Do dây quấn chỉ đặt tập trung trong các rãnh nên sức từ động không thay đổi ở khoảng giữa các rãnh mà chỉ thay đổi ở vị trí của rãnh tỷ lệ với tổng đại số các dòng điện trong rãnh đó. Trục ngang của đường biểu diễn được vẽ ở vị trí sao cho hình thành với đường biểu diễn sức từ động đó các diện tích trên và dưới trục ngang bằng nhau, thể hiện rằng từ thông của cực N và cực S phải cùng một trị số.

CÂU HỎI :

1. Phân biệt s.t.đ đập mạch và s.t.đ quay . Sức từ động trong máy biến áp khác các s.t.đ đó như thế nào ?
2. Phân tích s.t.đ của dây quấn một pha quấn rải bước ngắn . Biểu thức và tính chất của s.t.đ đó ?
3. Phân tích s.t.đ của dây quấn ba pha quấn rải bước ngắn . Biểu thức và tính chất của s.t.đ đó ?
4. Tác dụng của bước ngắn và quấn rải đối với s.t.đ ?
5. Đặt điện áp xoay chiều ba pha vào dây quấn ba pha. Giả sử một pha bị đứt thì s.t.đ của dây quấn thuộc loại s.t.đ nào ?

BÀI TẬP

1. Cho một máy phát điện ba pha tốc độ quay $n = 75$ vg/ph, dây quấn một lớp, dòng điện đi qua mỗi phần tử $I = 230A$ (trị số hiệu dụng), số rãnh phần tĩnh $Z = 480$, trong mỗi rãnh có 8 thanh dẫn, tần số $f = 50Hz$. Tính :
 - a. Biên độ của các sóng điều hoà s.t.đ bậc 1, 3, 5 của mỗi phần tử khi $i = I_{dm}$.
 - b. Biên độ của các s.t.đ bậc 1, 3, 5 của dây quấn mỗi pha.

Đáp số : a. $F_{s1,3,5} = 1656; 552; 331,2$ A/cực
b. $F_{q1,3,5} = 3196; 780; 171$ A/cực

2. Vẽ đường biểu diễn s.t.đ của dây quấn ba pha một lớp với $Z = 24; 2p = 4$, ở thời điểm ứng với $i_A = I_m$.
3. Vẽ đường biểu diễn s.t.đ của dây quấn ba pha hai lớp quấn xếp với $Z = 15; 2p = 4$, ở thời điểm ứng với $i_A = I_m$.

CHƯƠNG IV : MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

§ 4.1 ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

I. Phân loại và kết cấu:

1. Phân loại:

Theo kết cấu của vỏ, máy điện không đồng bộ có thể chia thành các kiểu chính sau: kiểu hở, kiểu bảo vệ, kiểu kín, kiểu phòng nổ, ...

Theo kết cấu của roto, máy điện không đồng bộ chia làm hai loại: Loại roto kiểu dây quấn và loại roto kiểu lồng sóc.

Theo số pha trên dây quấn stato có thể chia thành các loại: Một pha, hai pha, ba pha.

2. Kết cấu: Giống như các máy điện quay khác, máy điện không đồng bộ gồm các bộ phận chính sau.

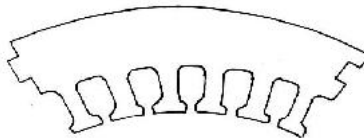
a. Phần tĩnh hay stato: trên stato có vỏ, lõi sắt và dây quấn.

- Vỏ máy:

Vỏ máy có tác dụng cố định lõi sắt và dây quấn, không dùng để làm mạch dẫn từ. Thường vỏ máy làm bằng gang. Đối với máy có công suất tương đối lớn (1000 kW) thường dùng thép tấm hàn lại làm thành vỏ. Tùy theo cách làm nguội máy mà dạng vỏ cũng khác nhau.

- Lõi sắt:

Lõi sắt là phần dẫn từ. Vì từ trường đi qua lõi sắt là từ trường quay nên để giảm tổn hao, lõi sắt được làm bằng những lá thép kỹ thuật điện dày 0,5 mm ép lại. Khi đường kính ngoài lõi sắt nhỏ hơn 990 mm thì dùng cả tấm tròn ép lại. Khi đường kính ngoài lớn hơn trị số trên thì phải dùng những tấm hình rẽ quạt (hình 4-1) ghép lại thành khối tròn.



Hình 4-1. Lá thép kỹ thuật điện hình rẽ quạt dùng để ghép lõi sắt stato của máy điện không đồng bộ cỡ vừa và lớn

Mỗi lá thép kỹ thuật điện đều có phủ sơn cách điện trên bề mặt để giảm hao tổn do dòng điện xoáy gây nên. Nếu lõi sắt ngắn thì có thể ghép thành một khối. Nếu lõi sắt dài quá thì thường ghép thành từng thép ngắn, mỗi thép dài từ 6 đến 8 cm, đặt cách nhau 1 cm để thông gió cho tốt. Mặt trong của lá thép có xẻ rãnh để đặt dây quấn.

-Dây quấn:

Dây quấn stato được đặt vào các rãnh của lõi sắt và được cách điện tốt với lõi sắt.

b. Phần quay hay roto:

Phần này có hai bộ phận chính là lõi sắt và dây quấn.

- Lõi sắt:

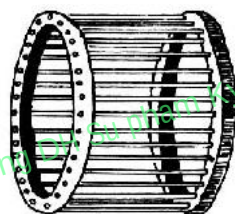
Nói chung thì người ta dùng các lá thép kỹ thuật điện như ở stato. Lõi sắt được ép trực tiếp lên trục máy hoặc lên một giá rôto của máy. Phía ngoài của lá thép có xẻ rãnh để đặt dây quấn.

-Rôto và dây quấn rôto:

Rôto có hai loại chính: rôto kiểu dây quấn và rôto kiểu lồng sóc.

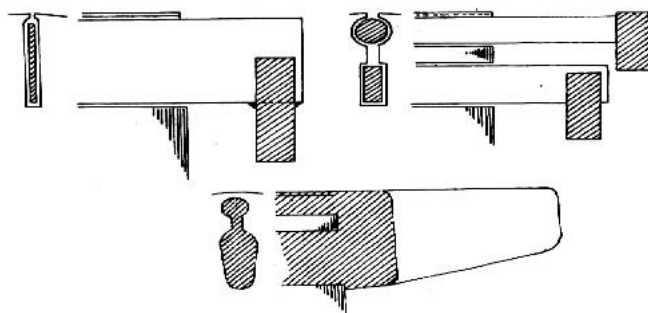
Loại rôto kiểu dây quấn: Rôto có dây quấn giống như dây quấn stato. Trong máy điện cỡ trung bình trở lên thường dùng dây quấn kiểu sóng hai lớp vì bớt được những dây đầu nối, kết cấu dây quấn trên rôto chặt chẽ. Trong máy điện cỡ nhỏ thường dùng dây quấn đồng tâm một lớp. Dây quấn ba pha của rôto thường đấu hình sao, còn ba đầu kia được nối vào ba vành trượt thường làm bằng đồng đặt cố định ở một đầu trục và thông qua chổi than có thể đấu với mạch điện bên ngoài. Đặc điểm của loại động cơ điện rôto kiểu dây quấn là có thể thông qua chổi than đưa điện trở phụ hay sức điện động phụ vào mạch điện rôto để cải thiện tính năng mở máy, điều chỉnh tốc độ hoặc cải thiện hệ số công suất của máy. Khi máy làm việc bình thường dây quấn rôto được nối ngắn mạch.

Loại rôto kiểu lồng sóc: kết cấu của loại dây quấn này rất khác với dây quấn stato. Trong mỗi rãnh của lõi sắt rôto đặt vào thanh dẫn bằng đồng hay nhôm dài ra khỏi lõi sắt và được nối tắt lại ở hai đầu bằng hai vành ngắn mạch bằng đồng hay nhôm làm thành một cái lồng mà người ta quen gọi là lồng sóc (hình 4-2).



Hình 4-2. Dây quấn rôto kiểu lồng sóc làm bằng đồng.

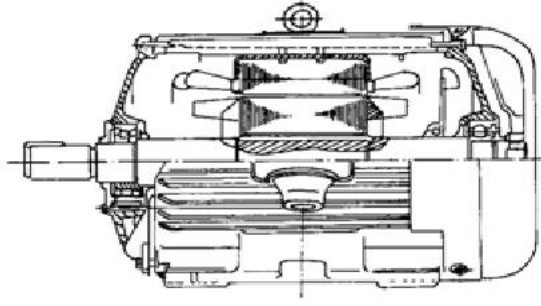
Dây quấn lồng sóc không cần cách điện với lõi sắt. Để cải thiện tính năng mở máy, trong máy công suất tương đối lớn, rãnh rôto có thể làm thành dạng rãnh sâu hoặc làm thành hai rãnh lồng sóc hay còn gọi là lồng sóc kép (hình 4-3). Trong máy điện cỡ nhỏ, rãnh rôto thường được làm chéo đi một góc so với tâm trục.



Hình 4 -3. Những kiểu rãnh đặc biệt của rôto lồng sóc.

c. Khe hở:

Vì rôto là một khối tròn nên khe hở đều. Khe hở trong máy điện không đồng bộ rất nhỏ (từ 0,2 đến 1 mm trong máy điện cỡ nhỏ và vừa), để hạn chế dòng điện từ hóa lấy từ lưới vào và như vậy mới có thể làm cho hệ số công suất của máy cao hơn.



Hình 4 - 4. Động cơ điện rôto lồng sóc

II. Các lượng định mức :

Cũng như tất cả máy điện khác, máy điện không đồng bộ có các trị số định mức đặc trưng cho điều kiện kỹ thuật của máy. Các trị số này do nhà máy thiết kế, chế tạo quy định và được ghi trên nhãn máy. Vì máy điện không đồng bộ chủ yếu làm việc ở chế độ động cơ điện nên trên nhãn máy ghi các trị số định mức của động cơ điện khi máy tải định mức. Các trị số đó thường bao gồm:

- Công suất định mức ở đầu trục P_{dm} (kW hay W).
- Dòng điện dây định mức I_{dm} (A).
- Điện áp dây định mức U_{dm} (V).
- Cách đấu dây (Y hay Δ).
- Tốc độ quay định mức n_{dm} (vg/ph).
- Hiệu suất định mức η_{dm} (%).
- Hệ số công suất định mức $\cos\varphi_{dm}$.
- Các đại lượng khác.

Từ các trị số định mức ghi trên nhãn máy có thể tìm được các trị số quan trọng khác:

Công suất định mức mà động cơ điện tiêu thụ:

$$P_{1m} = \frac{P_m}{\eta_m} = \sqrt{3} U_m I_m \cos\varphi_m$$

Mô men quay định mức ở đầu trục:

$$M_m = \frac{P_m}{\omega} \frac{1}{9,81} = 0,975 \frac{P_m}{n_m}$$

Trong đó $\omega = \frac{2\pi n_{dm}}{60}$ là tốc độ quay tính bằng rad/s.

III. Công dụng của máy điện không đồng bộ:

Máy điện không đồng bộ là loại máy điện xoay chiều chủ yếu dùng làm động cơ. Do kết cấu đơn giản, làm việc chắc chắn, hiệu suất cao, giá thành hạ nên động cơ không đồng bộ là một loại máy được dùng rộng rãi nhất trong các ngành kinh tế quốc dân với công suất từ vài chục đến hàng nghìn kilôoat. Trong công nghiệp thường dùng máy điện không đồng bộ làm nguồn động lực cho

máy cán thép loại vừa và nhỏ, động lực cho các máy công cụ ở các nhà máy công nghiệp nhẹ, ... trong hầm mỏ dùng làm quạt gió. Trong nông nghiệp dùng để làm máy bơm hay máy gia công nông sản phẩm. Trong đời sống hàng ngày, máy điện không đồng bộ cũng dần dần chiếm một vị trí quan trọng: quạt gió, máy quay đĩa, động cơ trong tủ lạnh, ... Tóm lại, theo sự phát triển của nền sản xuất điện khí hóa, tự động hóa và sinh hoạt hằng ngày, phạm vi ứng dụng của máy điện không đồng bộ ngày càng rộng rãi.

Tuy vậy, máy điện không đồng bộ có những nhược điểm như sau: $\cos\phi$ của máy thường không cao và đặc tính điều chỉnh tốc độ không tốt nên ứng dụng của máy điện không đồng bộ có phần bị hạn chế.

Máy điện không đồng bộ có thể dùng làm máy phát điện nhưng đặc tính không tốt so với máy phát điện đồng bộ, nên chỉ trong một vài trường hợp nào đó (như trong quá trình điện khí hóa nông thôn) cần nguồn điện phụ hay tạm thời thì nó cũng có một ý nghĩa quan trọng.

CÂU HỎI:

1. Một động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn, dây quấn stato ngắn mạch. Cho điện xoay chiều ba pha tần số f_1 vào dây quấn rôto, từ trường quay so với rôto quay với tốc độ n_1 theo chiều kim đồng hồ. Hỏi lúc đó rôto quay theo chiều nào ? Tính toán hệ số trượt s như thế nào ? Khi $s = 0$ thì tốc độ bằng bao nhiêu ?
2. Tại sao máy điện không đồng bộ là loại máy điện được dùng rộng rãi nhất ?
3. Máy điện không đồng bộ thường chia thành những loại nào ? Đặc điểm của từng loại ?

§ 4.2 QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

I. Đại cương:

Nói chung trên stato của máy điện không đồng bộ có dây quấn m_1 pha (thường $m_1 = 3$), trên rôto có dây quấn m_2 pha ($m_2 = 3$ đối với động cơ rôto dây quấn, còn đối với động cơ rôto lồng sóc thì $m_2 > 3$ dây quấn nhiều pha). Như vậy trong máy có hai mạch điện không nối với nhau và giữa chúng chỉ có sự liên hệ về cảm ứng từ. Khi máy làm việc bình thường, trên dây quấn stato có từ thông tản và tương ứng có điện kháng tản, trên dây quấn rôto cũng vậy và giữa hai dây quấn có hồ cảm.

Vì vậy ta có thể coi máy điện không đồng bộ như một máy biến áp mà dây quấn stato là dây quấn sơ cấp, dây quấn rôto là dây quấn thứ cấp và sự liên kết giữa hai mạch điện sơ cấp và thứ cấp là thông qua từ trường quay (ở máy biến áp là từ trường xoay chiều). Do đó có thể dùng cách phân tích kiểu máy biến áp để nghiên cứu những nguyên lý làm việc cơ bản của máy điện không đồng bộ như: Thiết lập các phương trình cơ bản, mạch điện thay thế, đồ thị vectơ, ... và phân nào sử dụng những kết quả đạt được khi phân tích máy biến áp.

Cần chú ý là khi phân tích nguyên lý cơ bản của máy điện không đồng bộ, ta chỉ xét đến tác dụng của sóng cơ bản mà không xét đến tác dụng của sóng bậc cao vì tác dụng của chúng là thứ yếu.

II. Máy điện không đồng bộ làm việc khi rôto đứng yên:

Bình thường khi làm việc, dây quấn rôto của máy điện không đồng bộ được nối ngắn mạch và máy quay với tốc độ nào đó ($n \neq 0$). Nhưng có một số quan hệ mà khi rôto đứng yên ($n = 0$) vẫn tồn tại và qua trạng thái đó có thể hiểu một cách dễ hơn nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ. Vì thế trước hết ta sẽ nghiên cứu trường hợp rôto đứng yên. Thực ra có thể coi động cơ điện lúc mở máy nằm trong trường hợp này.

Đặt một điện áp U_1 có tần số f_1 vào dây quấn stato, trong dây quấn stato sẽ có dòng điện I_1 , tần số f_1 ; trong dây quấn rôto có dòng điện I_2 , tần số cũng là f_1 . Dòng điện I_1 và I_2 sinh ra sức từ động quay F_1 và F_2 có trị số:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \cdot I_1 \\ F_2 &= \frac{m_2 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_2 k_{dq2}}{p} \cdot I_2 \end{aligned} \right\} \quad (4-1)$$

Trong đó:

m_1, m_2 là số pha của dây quấn stato và rôto;

p là số đôi cực;

$w_2, w_1, k_{dq1}, k_{dq2}$ là số vòng dây nối tiếp trên một pha và hệ số dây quấn stato, rôto.

Hai sức từ động này cũng quay với tốc độ đồng bộ $n_1 = 60f_1/p$ và tác dụng với nhau để sinh ra sức từ động tổng trong khe hở F_0 . Vì vậy phương trình cân bằng về sức từ động có thể viết:

$$\begin{aligned} \dot{F}_1 + \dot{F}_2 &= \dot{F}_0, \\ \dot{F}_1 &= \dot{F}_0 + (-\dot{F}_2) \end{aligned} \quad (4-2)$$

Giống như cách phân tích máy biến áp, ở đây có thể coi như dòng điện stato I_1 gồm hai thành phần: một thành phần là I_0 tạo nên sức từ động $\dot{F}_0 = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \cdot I_0$ và một thành phần là

$\left(-\dot{I}_2\right)$ tạo nên sức từ động $(-F_2) = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \cdot \dot{I}_2$ bù lại sức từ động $\dot{F}_2$ của dòng điện thứ cấp $\dot{I}_2$.

Như vậy ta có:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \left(-\dot{I}_2\right)$$

Hay $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_0$ (4-3)

So sánh sức từ động $\dot{F}_2$ do dòng điện $\dot{I}_2$ của rôto và thành phần $\dot{I}_2$ của dòng điện stato sinh ra, ta có:

$$\frac{m_2 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_2 k_{dq2}}{p} \cdot \dot{I}_2 = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \cdot \dot{I}_2$$

Từ đó tìm ra được tỷ số biến đổi dòng điện:

$$k_i = \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} \quad (4-4)$$

Dòng điện quy đổi của rôto sang stato bằng:

$$\dot{I}_2' = \frac{\dot{I}_2}{k_i}$$

Từ thông chính Φ do sức từ động F_0 sinh ra trong khe hở quét qua hai dây quấn stato và rôto và cảm ứng ở đó những sức điện động mà trị số bằng:

$$\begin{aligned} E_1 &= 4,44 f_1 w_1 k_{dq1} \Phi \\ E_2 &= 4,44 f_2 w_2 k_{dq2} \Phi \end{aligned} \quad (4-5)$$

Khi rôto đứng yên, $f_1 = f_2$ nên tỷ số biến đổi điện áp của máy điện không đồng bộ bằng:

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} \quad (4-6)$$

Quy đổi E_2 sang bên sơ cấp ta được:

$$\dot{E}_2' = E_1 = k_e E_2$$

Do từ thông tản của stato $\Phi_{\sigma 1}$ nên trong dây quấn stato sẽ cảm ứng nên sức điện động tản $E_{\sigma 1} = -j \dot{I}_1 x_1$, trong đó x_1 là điện kháng tản của dây quấn stato. Nếu xét cả điện áp rơi trên điện trở r_1 của dây quấn stato $\dot{I}_1 r_1$ thì phương trình cân bằng về sức điện động trong mạch điện stato bằng:

$$\dot{U}_1 = -\left(\dot{E}_1 + E_{\sigma 1}\right) + \dot{I}_1 r_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 (r_1 + jx_1) = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 \dot{Z}_1 \quad (4-7)$$

Trong đó $Z_1 = r_1 + jx_1$ là tổng trở của dây quấn stato.

Trên dây quấn rôto cũng vậy. Do dây quấn rôto ngắn mạch nên phương trình cân bằng về sức điện động trong mạch điện rôto như sau:

$$0 = -E_2 + I_2(r_2 + jx_2) = -E_2 + I_2 Z_2 \quad (4-8)$$

Trong đó:

R_2 là điện trở rôto bao gồm cả điện trở phụ mắc vào nếu có;

X_2 là điện kháng tản trên dây quấn rôto;

$Z_2 = r_2 + jx_2$ là tổng trở của dây quấn rôto.

Cũng giống như máy biến áp ta có thể viết:

$$-E_1 = I_o Z_m = I_o(r_m + jx_m) \quad (4-9)$$

Trong đó:

I_o là dòng điện từ hóa sinh ra sức từ động F_o

r_m là điện trở từ hóa đặc trưng cho tổn hao sắt

x_m là điện kháng từ hóa biểu thị sự hỗ cảm giữa stato và rôto.

Muốn qui đổi điện trở và điện kháng rôto sang bên stato phải áp dụng nguyên tắc tổn hao không đổi và góc pha giữa E_2 và I_2 không đổi. Khi qui đổi r_2 ta có:

$$m_2 I_2^2 r_2 = m_1 I_2'^2 r_2'$$

Từ đó ta được:

$$r_2' = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{I_2}{I_2'} \right) r_2 = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} \right) r_2 = k_e k_i r_2 = k r_2 \quad (4-10)$$

Trong đó $k = k_e k_i$ là hệ số qui đổi của tổng trở.

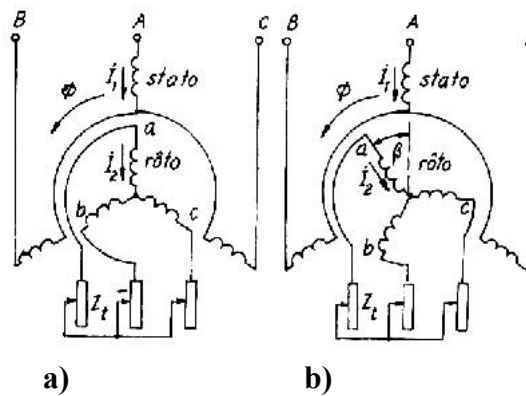
Khi qui đổi x_2 , ta có :

$$\tan \varphi_2 = \frac{x_2}{r_2} = \frac{x_2'}{r_2'}$$

Và được:

$$x_2' = \frac{r_2'}{r_2} x_2 = k x_2 \quad (4-11)$$

Khi viết phương trình trên ta coi như trục dây quấn stato và rôto cùng pha trùng pha (hình 4-5a).



Hình 4-5. Sơ đồ máy điện không đồng bộ có trục dây quấn stato và rôto cùng pha trùng nhau (a) và lệch pha nhau 1 góc β (b)

Trong trường hợp chung, giả sử dây quấn rôto lệch với dây quấn stato một góc không gian theo chiều của từ trường quay (hình 4-5b), thì khi từ trường quay quét qua các dây quấn ta có:

$$\dot{E}_2 = \frac{1}{k_e} \dot{E}_1 e^{-j\beta}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{Z_2} = \frac{1}{k_e} \frac{\dot{E}_1}{Z_2} e^{-j\beta}$$

Ta thấy khi dây quấn rôto dịch phía trước dây quấn stato một góc không gian thì sức điện động và dòng điện của nó chậm sau một góc pha về thời gian so với khi hai dây quấn cùng pha có trục trùng nhau. Trong trường hợp đó, biên độ của sức từ động quay F_2 do dòng điện của rôto I_2 sinh ra sẽ đạt tới vị trí trùng với trục pha của dây quấn rôto (ví dụ pha a) chậm một khoảng thời gian ứng với thời gian cần thiết để F_2 quay đi một góc.

Vì ở đây (hình 4-5b) trục pha a của rôto đã có vị trí vượt trước trục pha A của stato một góc, nên sức từ động F_2 có vị trí tương đối so với sức từ động F_1 hoàn toàn giống như khi hai trục dây quấn stato và rôto trùng nhau như đã xét ở trường hợp của hình 4-5a. Kết quả là sức từ động tổng F_0 và từ thông tổng tương ứng sẽ không đổi, do đó trị số của sức điện động, điện áp, dòng điện đều không thay đổi.

Từ phân tích ở trên ta rút ra kết luận là ở một thời điểm nhất định, trục sức từ động của rôto so với vị trí của dây quấn stato vẫn không vì vị trí của dây quấn rôto mà thay đổi. Do đó phương trình cân bằng sức từ động đã viết ở trên vẫn đúng. Khi trục dây quấn rôto lệch với trục dây quấn stato cùng pha thì chỉ có sức điện động và dòng điện lệch đi một góc pha. Nhưng vì chúng ta chỉ cần giải ra dòng điện và sức điện động của stato, còn rôto chỉ tác dụng lên stato thông qua sức từ động của nó, cho nên khi $\beta = 0$ hay $\beta \neq 0$ ta coi như ở trên stato không có gì thay đổi, vì vậy là dùng trường hợp $\beta = 0$ để lập quan hệ giữa stato và rôto. Như vậy có thể tránh sự phức tạp khi xét thêm góc.

Tóm lại các phương trình cơ bản đặc trưng cho tình trạng làm việc ngắn mạch của máy điện không đồng bộ khi quy đổi sang stato bao gồm:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_2 + \dot{I}_1 Z \\ 0 &= -\dot{E}_2 + \dot{I}_2 Z_2 \\ \dot{E}_2 &= \dot{E}_1 \\ \dot{I}_2 + \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 \\ -\dot{E}_1 &= \dot{I}_0 Z_m \end{aligned} \right\} \quad (4-12)$$

Khi rôto đứng yên mà dây quấn rôto ngắn mạch, nếu muốn giới hạn các dòng điện $\dot{I}_1$ và $\dot{I}_2$ trong dây quấn stato và rôto đến các trị số định mức của chúng thì cũng như ở máy biến áp lúc ngắn mạch cần phải giảm thấp điện áp đặt vào. Điện áp ấy (gọi là điện áp ngắn mạch) vào khoảng $15 \div 20\% U_m$. Cũng do đó mà sức điện động $\dot{E}_1$ trong máy nhỏ đi rất nhiều, từ thông chính trong máy rất ít, nghĩa là sức từ động trong máy từ hóa $\dot{F}_0$ rất nhỏ so với $\dot{F}_1$ và $\dot{F}_2$, do đó ta có thể bỏ qua $\dot{F}_0$. Lúc đó ta có:

$$\dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \dot{F}_0 \approx 0$$

Hay:

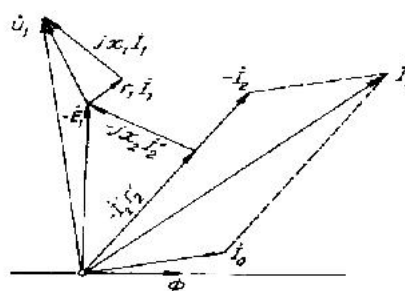
$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 \approx 0 \quad (4-13)$$

$$\Rightarrow \dot{I}_1 \approx \frac{\dot{U}_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{\dot{U}}{Z_n}$$

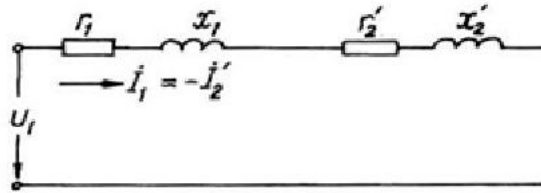
Trong đó: $Z_n = Z_1 + Z_2 = (r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2) = r_n + jx_n$

Khi $\dot{U}_1 = U_m$ thì $\dot{I}_1$ đó chính là dòng điện mở máy.

Đồ thị vector và mạch điện thay thế như ở hình 4-6 và 4-7.



Hình 4-6. Đồ thị vector của máy điện không đồng bộ khi rôto đứng yên.



Hình 4-7. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ khi ngắn mạch.

III. Máy điện không đồng bộ làm việc khi rôto quay:

Khi rôto quay thì trị số tần số sức điện động và dòng điện của rôto thay đổi, điều đó ảnh hưởng rất lớn đến sự làm việc của máy điện, nhưng nó không làm thay đổi những qui luật và quan hệ về điện từ khi rôto đứng yên. Điều này cần chú ý khi nghiên cứu sau này.

1. Các phương trình cơ bản:

Máy điện không đồng bộ khi làm việc thì dây quấn rôto nhất định phải kín mạch và thường là ngắn mạch. Nối dây quấn stato với nguồn điện ba pha thì trong dây quấn có dòng điện I_1 , do đó phương trình cân bằng về sức điện động trên dây quấn stato vẫn như cũ:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1) \quad (4-14)$$

Từ trường khe hở sinh ra F_1 quay với tốc độ đồng bộ n_1 . Nếu rôto quay với tốc độ n theo chiều quay của từ trường quay thì tốc độ tương đối giữa từ trường quay với dây quấn rôto là $n_2 = n_1 - n$. Tần số sức điện động và dòng điện trong dây quấn sẽ là:

$$f_2 = \frac{n_2 p}{60} = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot \frac{n_1 p}{60} = s \cdot f_1 \quad (4-15)$$

Trong đó $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$ là hệ số trượt của máy điện không đồng bộ. Thường khi động cơ điện không

đồng bộ ở tải định mức thì $s = 0,02 \div 0,05$.

Trị số sức điện động trên dây quấn rôto lúc đó bằng:

$$E_{2s} = 4,44 f_2 w_2 k_{dq2} \Phi = s E_2 \quad (4-16)$$

Vì điện kháng $x = \omega L = 2\pi f L$ nên với dòng điện I_2 có tần số f_2 thì trị số điện kháng của rôto bằng:

$$x_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi s f_1 L_2 = s x_2 \quad (4-17)$$

Do đó phương trình cân bằng về sức điện động của mạch điện rôto là:

$$0 = -\dot{E}_{2s} + \dot{I}_2(r_2 + jx_{2s}) \quad (4-18)$$

Hay sau khi đã quy đổi:

$$0 = -\dot{E}_2 + \dot{I}_2(r_2' + jx_2') \quad (4-19)$$

Trong phương trình trên, sức điện động và dòng điện đều có tần số f_2 , còn bên sơ cấp thì sức điện động và dòng điện có tần số là f_1 , do đó cần phải quy đổi tần số sang bên sơ cấp thì việc lập hệ thống phương trình mới có ý nghĩa. Muốn cho tần số phía thứ cấp cũng là f_1 thì từ trường quay phải quét dây quấn rôto với cùng tốc độ quét dây quấn stato, nghĩa là dây quấn rôto cũng phải đứng yên như dây quấn stato ($n = 0$). Khi rôto đứng yên so với khi rôto quay tốc độ từ trường quét dây quấn rôto

tăng theo tỉ lệ $\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{s}$ và sức điện động của dây quấn rôto cũng tăng theo tỉ lệ đó. Vì từ trường và

dòng điện I_2 đều không đổi nên dòng điện rôto I_2' cũng không đổi. Kết quả là phương trình mạch điện của rôto lúc rôto quay sau khi quy đổi sang tần số f_1 sẽ có dạng:

$$0 = \dot{E}_2' - \dot{I}_2' \left(\frac{r_2'}{s} + jx_2' \right) = \dot{I}_2' \left(r_2' + jx_2' + \frac{1-s}{s} r_2' \right) \quad (4-20)$$

Đó là ý nghĩa vật lý của việc quy đổi phương trình có tần số f_2 sang phương trình có tần số f_1 .

Khi rôto quay máy sinh ra công suất cơ. So sánh các phương trình mạch điện rôto khi quay và khi đứng yên ta thấy chúng khác nhau ở điện trở giả tưởng $\frac{1-s}{s} r_2'$. Vậy công suất cơ là công suất tiêu

thụ trên điện trở giả tưởng đó và có giá trị bằng $m_1 I_2'^2 \frac{1-s}{s} r_2'$.

Công suất cơ phụ thuộc vào hệ số trượt s hoặc tốc độ n . Khi tốc độ bằng không, điện trở giả tưởng bằng không dẫn đến công suất cơ không còn.

Tóm lại toàn bộ các phương trình cơ bản lúc rôto quay:

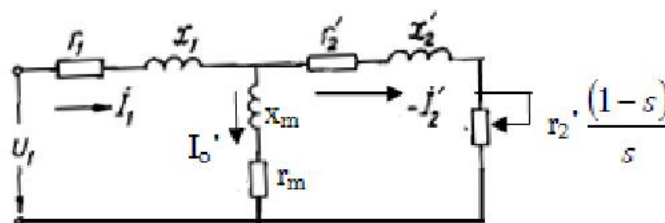
$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 (r_1 + jx_1) \\ 0 &= \dot{E}_2' - \dot{I}_2' \left(\frac{r_2'}{s} + jx_2' \right) \\ \dot{E}_2' &= \dot{E}_1 \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_2' &= \dot{I}_0 \\ -\dot{E}_1 &= \dot{I}_0 Z_m \end{aligned} \right\} \quad (4-21)$$

2. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ:

Dựa vào phương trình cơ bản trên, tương tự như máy biến áp ta có thể thiết lập được mạch điện thay thế hình T cho máy điện không đồng bộ khi rôto quay như ở hình 4-8. Nhưng chú ý cho điện trở giả tưởng của máy điện không đồng bộ đặc trưng cho sự thể hiện công suất cơ trên trục của máy. Điện trở giả tưởng biến đổi, biểu thị cho sự thay đổi của tải cơ trên trục máy.

Dùng mạch điện thay thế có thể tính ra dòng điện stato, rôto, mômen, ... và những tham số khác thuộc về đặc tính làm việc.

Như vậy ta đã chuyển việc tính toán một hệ thống điện cơ của máy điện không đồng bộ thành việc tính toán một mạch điện đơn giản. Vì vậy mạch điện thay thế được sử dụng rộng rãi.



Hình 4-8. Mạch điện thay thế hình T của máy điện không đồng bộ.

Thường dễ thuận lợi cho tính toán, người ta biến đổi mạch điện thay thế hình T thành mạch điện thay thế hình Γ đơn giản hơn.

Cách biến đổi : ta coi dòng điện mạch chính của giản đồ biến đổi hình như là hiệu số hình học của dòng điện mạch chính và dòng điện không tải lý tưởng lúc $s = 0$ của giản đồ thay thế hình T.

Từ hình 4-8 ta có :

$$I_{oo} = \frac{\dot{U}_1}{z_1 + \frac{z_{2s}' \cdot z_m}{z_{2s}' + z_m}} = \frac{z_{2s}' + z_m}{z_1 \cdot z_{2s}' + z_1 z_m + z_{2s}' z_m} \dot{U}_1 \quad (4-22)$$

Và dòng điện trong mạch từ hoá khi $s = 0$:

$$I_{oo} = \frac{\dot{U}_1}{z_1 + z_m} = \frac{\dot{U}_1}{z_m \left(1 + \frac{z_1}{z_m} \right)} = \frac{\dot{U}_1}{\sigma_1 \cdot z_m} = \frac{\dot{U}_1}{z_m'} \quad (4-23)$$

với $\sigma_1 = 1 + \frac{z_1}{z_m}$ và $z_m' = \sigma_1 z_m = z_1 + z_m$

σ_1 : hệ số hiệu chỉnh (hệ số sửa chữa biến đổi)

Dòng điện mạch chính của giản đồ biến đổi :

$$-I_2'' = I_1 - I_{oo} = \dot{U}_1 \left(\frac{z_{2s}' + z_m}{z_1 \cdot z_{2s}' + z_1 z_m + z_{2s}' z_m} - \frac{1}{z_1 + z_m} \right) \quad (4-24)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\dot{U}_1 \cdot z_m^2}{(z_1 + z_m)(z_1 \cdot z_{2s}' + z_1 z_m + z_{2s}' z_m)} = \frac{\dot{U}_1}{z_1 \left(1 + \frac{z_1}{z_m} \right) + z_{2s}' \left(1 + \frac{z_1}{z_m} \right)^2} \\ &= \frac{\dot{U}_1}{\sigma_1 z_1 + \sigma_1^2 \cdot z_{2s}'} = \frac{\dot{U}_1}{\sigma_1 (r_1 + jx_1) + \sigma_1^2 \left(\frac{r_2'}{s} + jx_2' \right)} \end{aligned}$$

Các quan hệ vừa nhận được tương ứng với giản đồ thay thế hình Γ (dựa vào biểu thức của I_{oo} và $-I_2''$, ta vẽ được giản đồ thay thế)

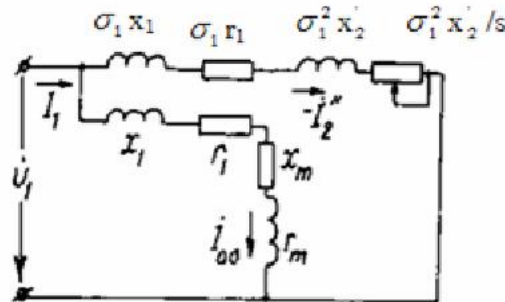
$$\begin{aligned} -I_2'' &= \frac{\dot{U}_1 - i_1 z_1}{z_{2s}'} = \frac{\dot{U}_1}{z_{2s}'} \left(1 - \frac{(z_{2s}' + z_m) z_1}{z_1 \cdot z_{2s}' + z_1 z_m + z_{2s}' z_m} \right) \\ &= \frac{\dot{U}_1}{z_1 + z_{2s}' \left(1 + \frac{z_1}{z_m} \right)} = \frac{\dot{U}_1}{z_1 + \Gamma_1 z_{2s}'} \quad (4-25) \end{aligned}$$

Do đó, tỷ số của dòng điện ở mạch chính của hình T và Γ là :

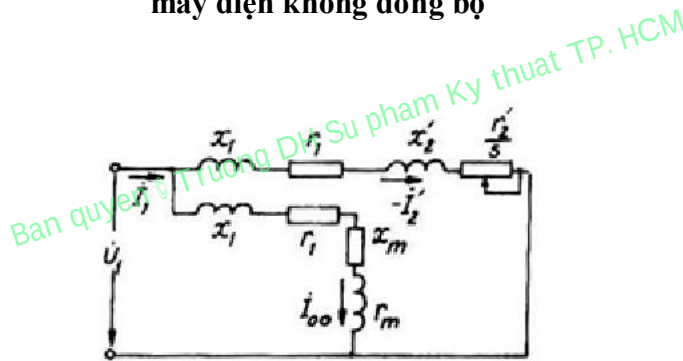
$$\frac{I_2'}{I_2} = 1 + \frac{z_1}{z_m} = \sigma_1 \text{ coi } r_m \ll x_m: \quad \sigma_1 = 1 + \frac{z_1}{z_m} = \left(1 + \frac{x_1}{x_m} \right) - j \frac{r_1}{r_m}$$

Vì $\frac{r_1}{r_m}$ rất bé nên có thể bỏ qua phần ảo của σ_1

$$\Rightarrow \sigma_1 = 1 + \frac{x_1}{x_m} = 1 + \frac{\Phi_{\sigma 1}}{\Phi_{\sigma m}} \quad \text{trong thực tế : } \sigma_1 = 1,04 \div 1,08$$



Hình 4-9. Mạch điện thay thế hình Γ của máy điện không đồng bộ



Hình 4-10. Mạch điện thay thế hình Γ đơn giản hoá của máy điện không đồng bộ

IV. Các chế độ làm việc, giản đồ năng lượng và đồ thị vectơ của máy điện không đồng bộ:

Máy điện không đồng bộ có thể làm việc ở ba chế độ là động cơ, máy phát và trạng thái hãm. Tùy theo hệ số trượt s mà có thể dùng mạch điện thay thế để nghiên cứu các đặc tính làm việc của máy ở ba chế độ đó.

1. Máy làm việc ở chế độ động cơ điện ($0 < s < 1$):

Động cơ điện lấy điện năng từ lưới điện vào với $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \phi_1$. Một phần nhỏ của công suất đó biến thành tổn hao đồng của dây quấn stato $\Delta p_{Cu1} = m_1 I_1^2 r_1$ và tổn hao trong lõi sắt stato $\Delta p_{Fe} = m_1 I_{\sigma m}^2$, còn lại phần lớn công suất đưa vào chuyển thành công suất điện từ P_{dt} truyền qua rôto. Như vậy:

$$P_t = P_1 - \Delta p_{Cu1} - \Delta p_{Fe} = m_1 I_2'^2 \frac{r_2'}{s} \quad (4-26)$$

Vì trong rôto có dòng điện nên có tổn hao đồng trong rôto $\Delta p_{Cu2} = m_1 I_2^2 r_2'$, do đó công suất cơ của động cơ điện là :

$$P_{cơ} = P_t - \Delta p_{Cu2} = m_1 I_2^2 \left(\frac{1-s}{s} \right) r_2' \quad (4-27)$$

Công suất đưa ra đầu trục động cơ điện P_2 sẽ nhỏ hơn công suất cơ vì khi máy quay có tổn hao cơ $\Delta p_{cơ}$ và tổn hao phụ Δp_f :

$$P_2 = P_{cơ} - (\Delta p_{cơ} + \Delta p_f) \quad (4-28)$$

Như vậy tổng tổn hao trong động cơ điện là:

$$\sum p = \Delta p_{Cu1} + \Delta p_{Fe} + \Delta p_{Cu2} + \Delta p_{cơ} + \Delta p_f \quad (4-29)$$

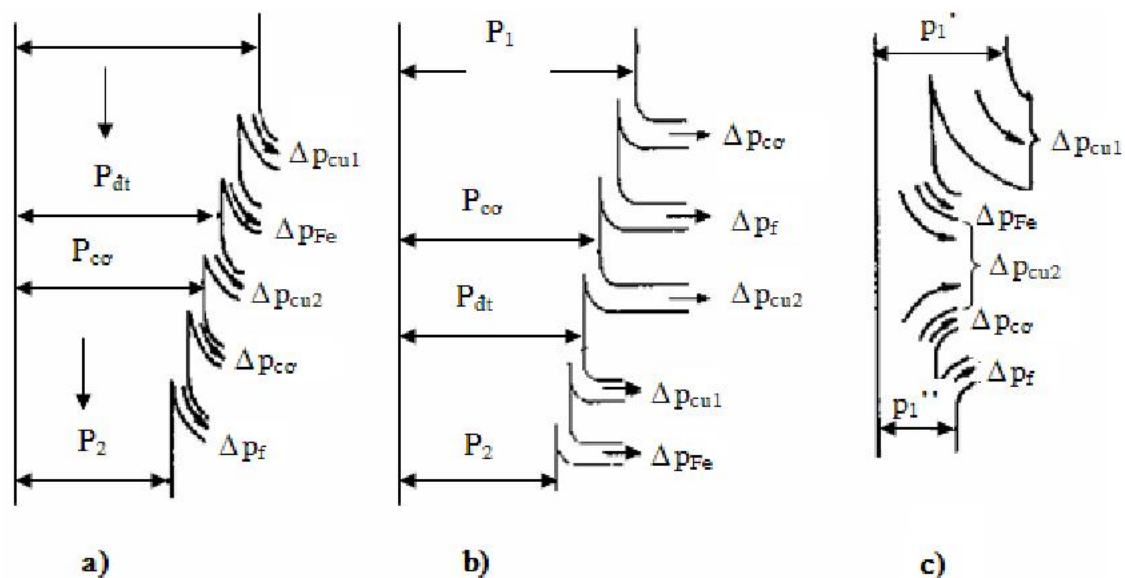
Và công suất đưa ra đầu trục:

$$P_2 = P_1 - \sum p \quad (4-30)$$

Hiệu suất của động cơ điện:

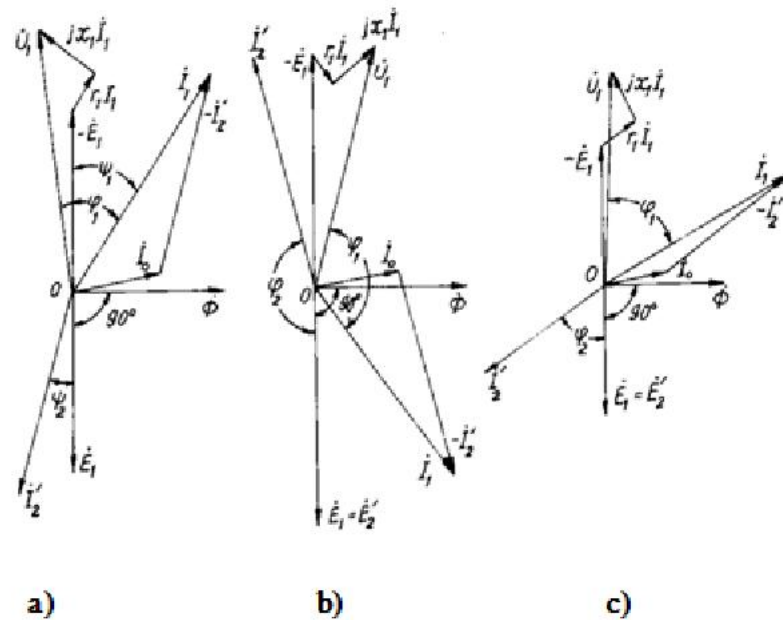
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_1} \quad (4-31)$$

Giản đồ năng lượng của động cơ điện không đồng bộ như ở hình 4-11a.



Hình 4-11. Giản đồ năng lượng của động cơ điện không đồng bộ.
a) chế độ động cơ điện; b) chế độ máy phát điện; c) trạng thái hãm

Cũng giống như ở máy biến áp, đồ thị vectơ của động cơ điện không đồng bộ có thể vẽ theo các phương trình cơ bản (4-21) như ở hình 4-12a.



Hình 4-12. Đồ thị vector của động cơ điện không đồng bộ.
a) ở chế độ động cơ; b) ở chế độ máy phát; c) ở trạng thái hãm

Theo mạch điện thay thế hình T ở hình 4-8, có thể thấy rõ sự phân phối công suất phản kháng trong máy điện không đồng bộ. Động cơ điện không đồng bộ lấy từ lưới vào một công suất phản kháng bằng:

$$Q_1 = m_1 U_1 I_1 \sin \varphi_1 \quad (4-32)$$

Một phần nhỏ công suất phản kháng này được sử dụng để sinh ra từ trường tản trong mạch điện sơ cấp q_1 và thứ cấp q_2 :

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= m_1 I_1^2 x_1 \\ q_2 &= m_1 I_2^2 x_2 \end{aligned} \right\} \quad (4-33)$$

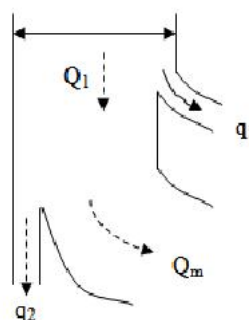
Phần lớn công suất phản kháng còn lại dùng để sinh ra từ trường khe hở:

$$Q_m = m_1 E_1 I_0 = m_1 I_0^2 x_m \quad (4-34)$$

Do đó ta có:

$$Q_1 = Q_m + q_1 + q_2 = m_1 U_1 I_1 \sin \varphi_1 \quad (4-35)$$

Giải đồ công suất phản kháng của động cơ điện không đồng bộ được thể hiện trên hình 4-13.



Hình 4-13. Giải đồ công suất phản kháng của động cơ điện không đồng bộ

Do trong máy điện không đồng bộ khe hở lớn hơn trong máy biến áp, nên dòng điện từ hóa I_0 trong máy điện không đồng bộ lớn hơn dòng điện từ hóa trong máy biến áp. Do Q_m và I_0 tương đối lớn hơn hệ số công suất $\cos\varphi$ của máy biến áp. Thường trong động cơ điện không đồng bộ, $\cos\varphi_m = 0,7 \div 0,95$. Khi không tải $\cos\varphi$ rất thấp, thường $\cos\varphi_0 = 0,1 \div 0,15$.

2. Máy làm việc ở chế độ máy phát ($-\infty < s < 0$):

Khi hệ số trượt s có giá trị âm thì công suất cơ $P_{co} = m_1 I_2'^2 \left(\frac{1-s}{s} \right) r_2'$ có giá trị âm, nghĩa là máy lấy công suất cơ vào. Ngoài ra ta có:

$$\tan\psi_2 = \frac{x_2'}{r_2'/s} = \frac{s x_2'}{r_2'} < 0$$

nên góc pha ψ_2 giữa sức điện động E_2 và dòng điện I_2 nằm trong khoảng $90^\circ < \psi_2 < 180^\circ$. Từ đồ thị vector của máy phát điện không đồng bộ (hình 4-12b) ta thấy $\varphi_1 > 90^\circ$, do đó công suất điện $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos\varphi_1 < 0$ nên máy phát công suất điện vào lưới.

Tuy vậy công suất phản kháng $Q_1 = m_1 U_1 I_1 \sin\varphi_1 > 0$, do đó máy vẫn nhận công suất phản kháng từ lưới vào như ở trường hợp động cơ điện, đó là đặc điểm của máy phát không đồng bộ. Giảm đồ năng lượng của máy phát không đồng bộ như hình 4-11b.

3. Máy làm việc ở chế độ hãm ($1 < s < +\infty$):

Khi $s > 1$ thì công suất $P_{co} = m_1 I_2'^2 \left(\frac{1-s}{s} \right) r_2' < 0$, nên máy lấy công suất cơ từ ngoài vào. Công suất điện từ $P_{dt} = \frac{m_1 I_2'^2 r_2'}{s} > 0$ nên máy cũng lấy công suất điện từ lưới vào.

Tất cả công suất cơ và điện lấy ở ngoài vào đều biến thành tổn hao đồng trên mạch rôto:

$$P_{dt} + (-P_{co}) = m_1 I_2'^2 \frac{r_2'^2}{s} + \left[-m_1 I_2'^2 \left(\frac{1-s}{s} \right) r_2' \right] = m_1 I_2'^2 r_2' = \Delta p_{Cu2}$$

Vì tất cả năng lượng lấy vào đều tiêu thụ trên máy nên theo quan điểm phát nhiệt thì khi $U_1 = U_{dm}$ chỉ cho phép máy làm việc trong khoảng thời gian tương đối ngắn.

Trong trường hợp máy làm việc ở chế độ hãm, đồ thị vector giống như trường hợp làm việc ở chế độ động cơ. Giảm đồ năng lượng và đồ thị vector của máy hãm được trình bày hình 4-11c và 4-12c.

V. Biểu thức mômen điện từ của máy điện không đồng bộ:

Vì máy điện không đồng bộ thường được dùng làm động cơ điện, nên khi phân tích sẽ lấy động cơ điện làm ví dụ và suất phát từ quá trình vật lý về trao đổi năng lượng tìm ra công thức về mômen để tìm ra quan hệ giữa năng lượng trao đổi với mômen điện từ.

Cũng giống như những máy điện khác, động cơ điện không đồng bộ lúc làm việc phải khắc phục mômen tải bao gồm mômen không tải M_0 và mômen cản của tải M_2 . Vì vậy phương trình cân bằng mômen lúc làm việc ổn định là:

$$M = M_0 + M_2 \quad (4-36)$$

Trong đó M là mômen điện từ của động cơ điện:

$$M_0 = \frac{\Delta p_{cs} + \Delta p_f}{\omega}$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega}$$

Trong đó:

$\omega = \frac{2\pi n}{60}$ là tốc độ góc của rôto.

n là tốc độ quay của rôto.

$$\Rightarrow M = \frac{\Delta p_{cs} + \Delta p_f + P_2}{\omega} = \frac{P_{cs}}{\omega} \quad (4-37)$$

Mặt khác mômen điện từ do từ trường quay Φ và dòng điện rôto I_2 tác dụng lẫn nhau mà sinh ra và từ trường đó quay với tốc độ đồng bộ n_1 , do đó quan hệ giữa công suất điện từ và mômen điện từ như sau:

$$M = \frac{P_{dt}}{\omega_1} \quad (4-38)$$

Trong đó:

$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}$ là tốc độ góc đồng bộ của từ trường quay.

Từ đó ta có:

$$P_{cs} = \frac{\omega}{\omega_1} P_{dt} = \frac{n}{n_1} P_{dt} = (1-s) P_{dt} \quad (4-39)$$

Và tổn hao đồng trên rôto bằng:

$$\Delta p_{Cu2} = P_{dt} - P_{cs} = s P_{dt} \quad (4-40)$$

Vì $P_{dt} = m_2 E_2 I_2 \cos \psi_2$ nên có:

$$P_{cs} = m_2 (1-s) E_2 I_2 \cos \psi_2 \quad (4-41)$$

Lại có:

$$E_2 = \sqrt{2} \pi f_1 w_2 k_{dq2} \Phi.$$

$$f_1 = \frac{p n_1}{60} \text{ là tần số lưới.}$$

$$\omega = (1-s) \frac{2\pi n_1}{60} \text{ là tốc độ góc của rôto.}$$

$$\Rightarrow M = \frac{P_{cs}}{\omega} = \frac{1}{\sqrt{2}} m_2 p w_2 k_{dq2} \Phi I_2 \cos \psi_2 \quad (4-42)$$

Từ những quan hệ trên ta thấy rõ vấn đề trao đổi năng lượng từ điện sang cơ (hay ngược lại) trong máy điện không đồng bộ. Cách chuyển hóa năng lượng này về mặt điện phụ thuộc vào góc lệch pha giữa sức điện động và dòng điện, về mặt cơ thì phụ thuộc vào mômen điện từ và tốc độ quay của máy.

Thường chúng ta lợi dụng mạch điện thay thế để tính ra mômen điện từ theo hệ số trượt s . Theo mạch điện thay thế hình Γ của máy điện không đồng bộ ta có:

$$I_2' = \sigma_1 I_2'' = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + \sigma_1 r_2' / s)^2 + (x_1 + \sigma_1 x_2')^2}}$$

$$P_{dt} = m_1 I_2'^2 \frac{r_2'}{s} = \frac{m_1 U_1^2 \frac{r_2'}{s}}{(r_1 + \sigma_1 r_2' / s)^2 + (x_1 + \sigma_1 x_2')^2}$$

Từ đó ta được quan hệ giữa mômen điện từ với hệ số trượt s:

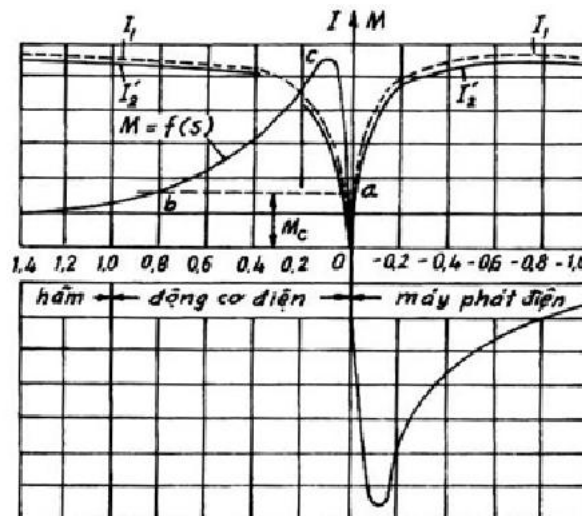
$$M = \frac{P_{dt}}{\omega_1} = \frac{m_1 U_1^2 p \frac{r_2'}{s}}{2\pi f_1 [(r_1 + \sigma_1 r_2' / s)^2 + (x_1 + \sigma_1 x_2')^2]} \quad (4-43)$$

Trong đó: $\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}$

Từ đó ta rút ra được nhận xét chung về mômen điện từ của máy điện không đồng bộ như sau:

- Với tần số và tham số cho trước, mômen điện từ tỉ lệ với bình phương của điện áp.
- Mômen tỉ lệ nghịch với điện kháng $(x_1 + \sigma_1 x_2')$ khi tần số cho trước.

Dòng điện và mômen của máy điện không đồng bộ là hai tham số rất quan trọng để chỉ tính năng của máy. Trong những công thức trên, dòng điện và mômen đều là hàm của s, do đó có thể vẽ được đặc tính $I = f(s)$ và $M = f(s)$ như ở hình 4-14.



Hình 4-14. Đường biểu diễn mômen điện từ và dòng điện theo hệ số trượt

Trên hình vẽ có thể thấy được trị số mômen của máy điện không đồng bộ ở chế độ động cơ điện ($0 < s < 1$), ở chế độ máy phát điện ($s < 0$) và ở trạng thái hãm ($s > 1$).

Muốn tìm mômen cực đại ta lấy đạo hàm $dM/ds = 0$ và được hệ số trượt s_m ứng với mômen cực đại M_{max} :

$$s_m = \frac{\pm \sigma_1 r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + \sigma_1 x_2')^2}} \quad (4-44)$$

$$M_{\max} = \pm 2\sigma_1 \frac{1}{2\pi f_1} \cdot \frac{m_1 p U_1^2}{\left[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + \sigma_1 x_2')^2} \right]} \quad (4-45)$$

Trong công thức trên dấu “+” dùng cho động cơ điện, dấu “-” dùng cho máy phát. Thường r_1^2 không vượt quá $5\%(x_1 + \sigma_1 x_2')^2$ nên có thể bỏ qua. Như vậy ta có:

$$M_{\max} = \pm 2\sigma_1 \frac{1}{2\pi f_1} \cdot \frac{m_1 p U_1^2}{\left[\pm r_1 + \sqrt{\pm r_1 + (x_1 + \sigma_1 x_2')} \right]} \quad (4-46)$$

Ta rút ra những nhận xét về mômen cực đại:

- Với tần số và tham số cho trước, $M_{\max}$ tỉ lệ với U_1^2 .
- $M_{\max}$ không phụ thuộc vào điện trở của rôto.
- Điện trở rôto r_2' càng lớn thì s_m càng lớn.
- Với tần số cho trước, $M_{\max}$ tỷ lệ nghịch với điện kháng $(x_1 + \sigma_1 x_2')$.

Dòng điện mở máy và mômen mở máy có thể tìm ra được khi đem $s = 1$ thế vào công thức $M_{\max}$. Ta có mômen mở máy hay mômen khởi động bằng:

$$M_K = \frac{1}{2\pi f_1} \cdot \frac{m_1 p U_1^2 r_2'}{\left[(r_1 + \sigma_1 r_2')^2 + (x_1 + \sigma_1 x_2')^2 \right]} \quad (4-47)$$

Ta có nhận xét về mômen mở máy như sau:

- Với tần số và tham số cho trước, M_K tỷ lệ với U_1^2 .
- Muốn cho khi mở máy $M_K = M_{\max}$ thì phải tăng điện trở r_2' lên.

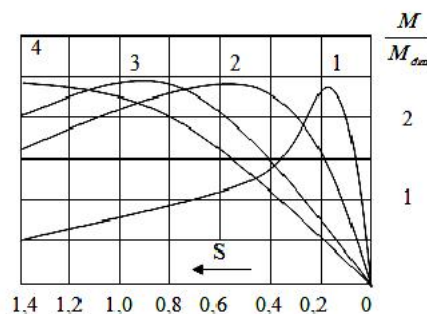
$$\Rightarrow s_m = \frac{\sigma_1 r_2'}{x_1 + \sigma_1 x_2'} = 1$$

Như vậy điện trở rôto lúc đó bằng:

$$\sigma_1 r_2' = x_1 + \sigma_1 x_2'$$

- Với tần số cho trước thì M_K tỷ lệ nghịch với điện kháng $(x_1 + \sigma_1 x_2')$.

Các đường biểu diễn 1, 2, 3, 4 trong hình 4-15 chỉ đặc tính $M = f(s)$ khi điện trở rôto tăng dần.



Hình 4-15. Đặc tính $M = f(s)$ với điện trở rôto khác nhau.

Trong thực tế thường không biết các tham số của máy điện không đồng bộ có thể dùng công thức thực dụng (biểu thức Klôx) để tính mômen.

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2\sigma_1 r_2' \left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + \sigma_1 x_2')^2} \right]}{s \left[(r_1 + \sigma_1 \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + \sigma_1 x_2')^2 \right]} \quad (4-48)$$

Mặt khác ta có:

$$\begin{aligned} \sqrt{r_1^2 + (x_1 + \sigma_1 x_2')^2} &= \frac{\sigma_1 r_2'}{s_m} \\ \Rightarrow \frac{M}{M_{\max}} &= \frac{2 \left[1 + \frac{r_1}{\sigma_1 r_2'} s_m \right]}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s} + \frac{2r_1}{\sigma_1 r_2'} s_m} \end{aligned} \quad (4-49)$$

Trong máy điện không đồng bộ thường $r_1 \approx r_2'$ mà $s_m = (0,1 \div 0,2)$ nên $\frac{r_1}{\sigma_1 r_2'} s_m$ rất nhỏ so với số hạng đứng trước nên ta có thể viết lại là:

$$\Rightarrow \frac{M}{M_{\max}} = \frac{2}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} \quad \text{đây là biểu thức Klôx (KLOSS)}$$

Thường trong lý lịch máy cho biết tỷ số $k_m = \frac{M_{\max}}{M_m}$ và hệ số trượt s_{dm} ứng với công suất định mức. Lợi dụng những trị số đó tính ra được s_m . Thế vào biểu thức Klôx có thể tính được mômen theo s . Tỷ số k_m gọi là năng lực quá tải của động cơ điện không đồng bộ, nó phản ánh khả năng quá tải mà động cơ điện có thể chịu được.

Do mômen đầu trục M_2 của động cơ điện không đồng bộ nhỏ hơn mômen điện từ một ít và bằng:

$$M_2 = M - M_0$$

Do M_0 rất nhỏ so với mômen đầu trục M_2 nên đặc tính cơ của động cơ điện $M_2 = f(n)$ có thể coi bằng $M = f(n)$, do đó đường đặc tính cơ của động cơ điện không đồng bộ có dạng như đường đặc tính $M = f(s)$ vẽ ở hình 4-14.

Cuối cùng ta phân tích qua sự ổn định của động cơ điện không đồng bộ lúc làm việc. Giả sử động cơ điện làm việc với một mômen tải M_c nào đó. Theo phương trình cân bằng về mômen thì động cơ điện có thể làm việc ở hai điểm a và b (hình 4-14).

- Xét trường hợp máy làm việc ở điểm a: Vì lý do nào đấy đột nhiên M_c tăng lên thì lúc đó $M_c > M$ nên tốc độ của máy chậm lại. Ta thấy lúc đó M tăng lên cân bằng với M_c và động cơ điện sẽ làm việc ổn định ở thể cân bằng mới.

- Khi máy làm việc ở điểm b thì tình hình không như thế, lúc này nếu M_c tăng lên thì do $M_c > M$ nên tốc độ chậm lại. Nhưng lúc đó M lại giảm đi, M_c càng lớn hơn M nên không thể ở thể cân bằng về mômen được nữa và tốc độ tiếp tục giảm đến không. Ta nói máy làm việc ở điểm b không ổn định. Từ đó ta thấy động cơ điện không đồng bộ chỉ làm việc ổn định ở đoạn OC trên đường biểu diễn $M = f(s)$, nghĩa là trong điều kiện:

$$\frac{dM}{ds} > \frac{dM_c}{ds} \text{ hay } \frac{dM_c}{dn} > \frac{dM}{dn}$$

VI. Mômen phụ của máy điện không đồng bộ:

Khi phân tích về mômen và đặc tính $M = f(s)$ ở trên, chúng ta chỉ xét đến tác dụng của từ trường sóng cơ bản. Nhưng sức từ động và từ cảm trong máy điện không phải hoàn toàn phân bố theo hình sin, nghĩa là sức từ động của dây quấn stato và rôto ngoài sóng cơ bản ra còn có sóng bậc cao trong đó bao gồm sóng điều hòa răng. Những từ trường bậc cao đó quay với những tốc độ khác nhau và cùng sinh ra mômen. Những mômen đó gọi là mômen phụ của máy điện.

Cũng giống như mômen do sóng cơ bản của từ trường sinh ra, những mômen phụ này đều là hàm của tốc độ quay của máy điện. Mặc dầu những mômen phụ này rất yếu so với mômen do sóng cơ bản của từ trường sinh ra nhưng trong những trường hợp nhất định như ở tốc độ thấp nó có thể sinh ra mômen hãm tương đối lớn, làm cho mômen của máy điện giảm xuống rõ rệt ảnh hưởng đến sự làm việc của máy điện, nhất là trong quá trình mở máy của động cơ điện không đồng bộ.

1. Các loại mômen phụ:

a. Mômen phụ không đồng bộ:

Như ta đã biết dù tốc độ rôto như thế nào, sức từ động sóng cơ bản của stato và rôto đều quay trong không gian với tốc độ đồng bộ n_1 , do đó sinh ra mômen điện từ và có đặc tính $M = f(s)$. Khái niệm này cũng thích ứng cho cả các sóng điều hòa.

Các sóng điều hòa của sức từ động có tốc độ quay khác nhau và cảm ứng trên rôto những sức từ động quay có cùng tốc độ và số đôi cực do đó cùng sinh ra mômen. Tốc độ quay của từ trường sóng bậc ν là:

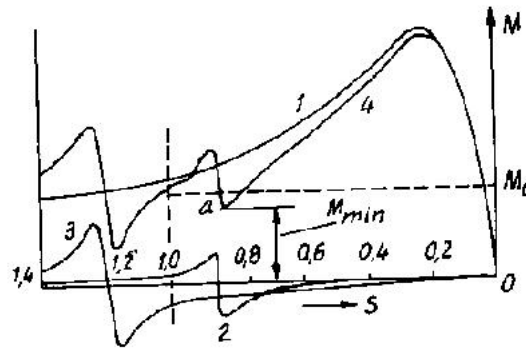
$$n_\nu = \pm \frac{1}{\nu} n_1$$

Trong các sóng bậc cao thì sóng bậc 5 và 7 quan trọng hơn cả vì biên độ tương đối lớn và mômen phụ sinh ra ảnh hưởng nhiều đến mômen của máy điện.

Sóng bậc 7 quay thuận với tốc độ đồng bộ $n_7 = \frac{1}{7} n_1$ cho nên khi tốc độ máy nằm trong khoảng $0 < n < \frac{1}{7} n_1$ thì với từ trường sóng bậc 7 máy ở chế độ động cơ điện., khi $n > \frac{1}{7} n_1$ máy ở chế độ máy phát điện.

Sóng bậc 5 quay nghịch với tốc độ đồng bộ $n_5 = -\frac{1}{5} n_1$ cho nên tốc độ đồng bộ của nó ở trong khu vực $s > 1$ của máy điện. Vì từ trường sóng bậc 5 quay nghịch nên khi tốc độ rôto ở trong khoảng $-\frac{1}{5} n_1 < n < n_1$ mômen sinh ra là âm và chỉ khi $n < -\frac{1}{5} n_1$ thì mômen mới có giá trị dương.

Trong hình (4-16) đường 2 là đường $M = f(s)$ do từ trường sóng bậc 7 sinh ra, đường 3 do từ trường sóng bậc 5 sinh ra, đường 4 là mômen tổng khi xét đến ảnh hưởng của mômen phụ sóng bậc 5 và 7. Ta thấy rõ ở quãng tốc độ bằng $\frac{1}{7}$ tốc độ đồng bộ có một mômen cực tiểu $M_{\min}$ thì động cơ điện sẽ dừng ở tốc độ tương ứng với điểm a ở hình (4-16).



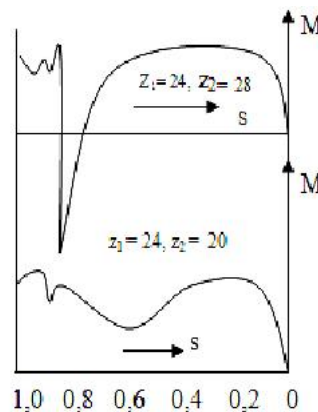
Hình 4-16. Đặc tính $M = f(s)$ khi có cả sóng điều hòa bậc 5, 7 của từ trường.

Ngoài sóng bậc 5 và bậc 7 ra thì trong các sóng bậc cao khác chỉ có sóng điều hòa răng là có ảnh hưởng rõ ràng.

b. Mômen phụ đồng bộ:

Mômen phụ đồng bộ sinh ra do một sóng điều hòa bậc cao nào đó của từ trường stato tác dụng với một sóng điều hòa bậc cao có cùng số đôi cực của từ trường rôto. Tác dụng này giống như trong máy điện đồng bộ, chỉ khi nào hai sóng điều hòa cùng số đôi cực có tốc độ trong không gian như nhau mới sinh ra được mômen.

Mômen phụ đồng bộ chủ yếu do sức từ động sóng điều hòa răng của stato và rôto sinh ra, do đó sự phối hợp răng giữa stato và rôto có quan hệ nhiều đến việc sinh ra mômen này. Kết quả phân tích chứng minh rằng. Khi $Z_1 = Z_2$ hoặc $Z_1 - Z_2 = \pm 2p$ thì sẽ có mômen phụ đồng bộ. Hình 4-17 vẽ đường $M = f(s)$ với kiểu phối hợp răng đó.



Hình 4-17. Đặc tính $M = f(s)$ với $2p = 4$.

a) $Z_1 = 24, Z_2 = 28$; b) $Z_1 = 24, Z_2 = 20$.

c. Mômen sinh ra chấn động và tạp âm do từ trường sóng điều hòa gây nên:

Động cơ điện khi làm việc thường kêu và rung. Những tạp âm và chấn động đó ngoài nguyên nhân cơ khí ra, trong nhiều trường hợp là do lực từ kéo lệch trong khe hở sinh ra. Khi trục của răng stato và răng rôto trùng nhau thì lực kéo đó càng lớn. Nếu trên chu vi khe hở không có chỗ đối xứng nào giống như vậy thì sẽ sinh ra lực từ kéo lệch một chiều theo hướng kính. Khi rôto quay, lực từ

lệch đó cũng quay làm máy rung và tần số rung đó trùng với tần số rung tự nhiên thì sẽ sinh ra cộng hưởng nghiêm trọng. Kết quả phân tích cho thấy $Z_1 = Z_2 \pm 1 \pm 2p$ thì sẽ rung.

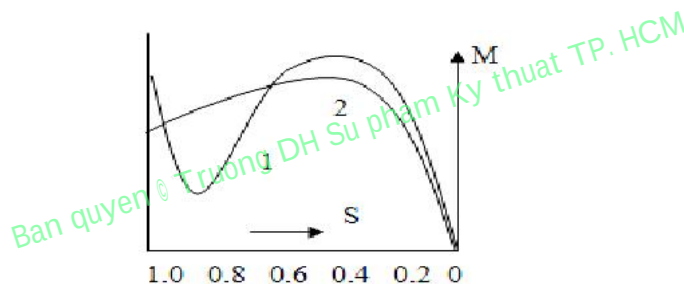
2. Phương pháp trừ khử mômen phụ:

Nguyên nhân sinh ra mômen phụ là do sức từ động sóng điều hòa. Vì vậy muốn trừ khử mômen phụ thì phải làm yếu sức từ động sóng điều hòa đi.

Muốn làm yếu sóng bậc 5 hay bậc 7 có thể dùng dây quấn bước ngắn. Muốn làm yếu sóng điều hòa răng thì chọn phối hợp rãnh thích đáng. Một phương pháp có hiệu quả nữa là dùng rãnh chéo ở rôto, thường là chéo một bước răng.

Tác dụng của rãnh chéo là làm cho sức từ động của rãnh phân phối đều trên quãng chéo mà không tập chung tại một điểm nên có thể làm yếu sóng điều hòa răng của đường phân bố sức từ động khe hở tổng. Rãnh chéo thường dùng trong động cơ điện rôto lồng sóc công suất nhỏ.

Hình 4-18 chỉ rõ tác dụng của rãnh chéo trong việc trừ khử mômen phụ. Trong hình đường 1 là đường $M = f(s)$ ứng với rãnh không chéo, đường 2 ứng với rãnh chéo.



Hình 4-18. Đặc tính mômen của động cơ điện không đồng bộ có rãnh chéo ở rôto.

VII. Các đường đặc tính của máy điện điện không đồng bộ:

1. Đặc tính tốc độ $n = f(P_2)$:

Ta có:

$$n = n_1(1 - s)$$

$$s = \frac{\Delta p_{Cu2}}{P_{dt}}$$

Khi không tải tổn hao đồng trên rôto Δp_{Cu2} rất nhỏ so với công suất điện từ nên hệ số trượt $s \approx 0$, động cơ điện quay gần tốc độ đồng bộ $n \approx n_1$. Khi tải tăng lên thì tổn hao Δp_{Cu2} cũng tăng lên nên tốc độ giảm xuống một ít. Thường khi tải định mức hệ số trượt vào khoảng $1,5 \div 5\%$ đặc tính $n = f(P_2)$ là một đường hơi dốc xuống (hình 4-19).

2. Đặc tính mômen $M = f(P_2)$:

Theo đường $M = f(s)$ thì mômen thay đổi rất nhiều theo hệ số trượt s , nhưng trong phạm vi $0 < s < s_m$ thì đường $M = f(s)$ rất gần giống đường thẳng mà s_m lại tương đối nhỏ vì vậy đặc tính mômen $M = f(P_2)$ cũng gần giống đường thẳng. Trong phạm vi làm việc bình thường do tốc độ thay

đổi ít nên mômen không tải M_0 hầu như không đổi và quan hệ giữa mômen đưa ra $M_2 = M - M_0$ với công suất P_2 đưa ra cũng gần giống đường thẳng.

3. Tổn hao và hiệu suất $\eta = f(P_2)$:

Tổn hao trong máy điện không đồng bộ bao gồm tổn hao đồng trong stato và rôto, tổn hao sắt trong stato, tổn hao cơ và tổn hao phụ. Tổn hao sắt trong rôto rất nhỏ do tần số thấp nên có thể bỏ qua.

Tổn hao phụ bao gồm tổn hao phụ trong đồng và sắt. Tổn hao phụ trong đồng bao gồm có tổn hao do hiệu ứng mặt ngoài gây nên và do sóng bậc cao của từ thông sinh ra dòng điện trong rôto. Thường dùng dây quấn stato có bước ngắn, rãnh chéo ở rôto, chọn phối hợp rãnh thích hợp như $Z_2 \leq 1,25Z_1$ để giảm bớt tổn hao phụ.

Tổn hao phụ trong sắt cũng do sóng bậc cao của từ thông gây nên. Trong máy điện không đồng bộ, tổn hao sinh ra trên bề mặt của rôto do ảnh hưởng của miệng rãnh stato và tổn hao đập mạch trên răng rôto tương đối lớn. Hai loại tổn hao này trên stato cũng có nhưng vì miệng rãnh rôto rất nhỏ nên có thể bỏ qua.

Tính tổn hao phụ rất phức tạp nên thường lấy bằng 0,5% công suất đưa vào.

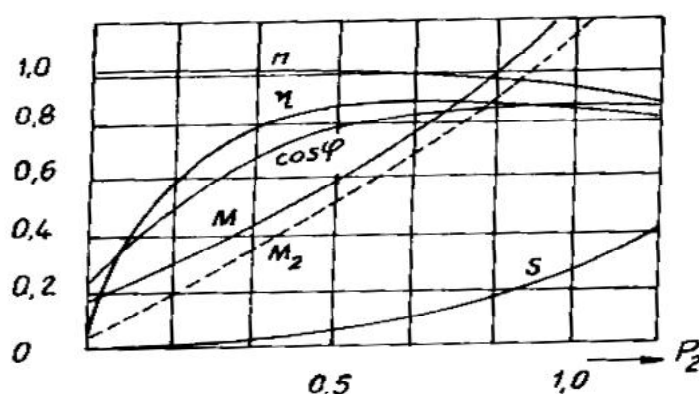
Trong các tổn hao thì tổn hao đồng thay đổi theo bình phương của dòng điện, còn các tổn hao khác không đổi theo tải.

Hiệu suất của máy bằng:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum P} \cdot 100\%$$

Đường biểu diễn $\eta = f(P_2)$ như ở hình (4-19). Thường thiết kế :

$$\eta_{\max} = (0,5 \div 0,75)P_{2m}$$



Hình 4-19. Đặc tính làm việc của máy không đồng bộ.

4. Hệ số công suất $\cos\varphi = f(P_2)$:

Vì máy điện không đồng bộ phải lấy công suất kích từ từ lưới vào nên $\cos\varphi$ luôn luôn nhỏ hơn 1 và chậm sau. Lúc không tải do dòng điện I_2 tăng lên nên $\cos\varphi$ cũng tăng lên và đạt trị số lớn nhất khi tải xấp xỉ định mức.

5. Năng lực quá tải $k_m = \frac{M_{\max}}{M_m}$:

Khi máy điện làm việc bình thường thì $M \leq M_m$. Nhưng trong một thời gian ngắn máy có thể chịu tải lớn hơn (quá tải) mà không xảy ra hư hỏng gì. Trong động cơ điện không đồng bộ năng lực quá tải $k_m = (1,6 \div 1,8)$ đối với máy nhỏ, còn đối với máy vừa và lớn thì $k_m = 1,8 \div 2,5$.

Trong máy điện không đồng bộ thì dòng điện mở máy, mômen mở máy, mômen cực đại, hiệu suất và hệ số công suất đều tiêu chuẩn hóa.

VIII. Các đường đặc tính của máy điện không đồng bộ trong điều kiện không định mức

1. Điện áp không định mức:

Đây là trường hợp thường gặp trong thực tế và thường $U < U_{dm}$ khi lấy điện ở cuối đường dây tải điện.

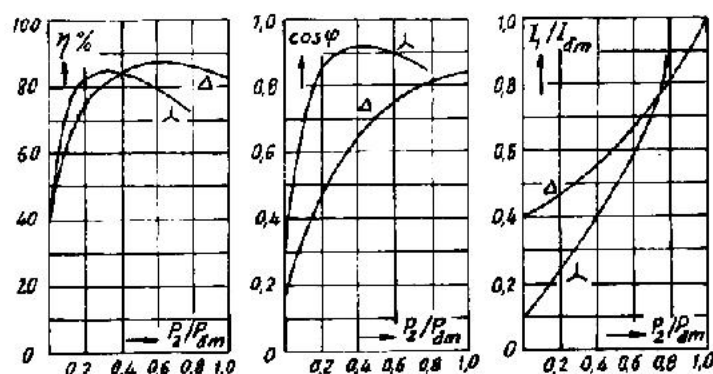
Giả thiết điện áp đặt vào động cơ điện không đồng bộ thấp hơn điện áp định mức. Như ta đã biết $M \propto U^2$ nên mômen sẽ giảm bình phương lần so với điện áp. Nếu bỏ qua điện áp rơi trong dây quấn stato thì $U_1 \approx E_1 \propto \Phi$, do đó khi U_1 giảm thì E_1 và Φ cũng giảm theo với mức độ như vậy. Nếu mômen tải không đổi thì vì $M = C_m \Phi I_2 \cos\varphi_2$ nên I_2 phải tăng lên và tỷ lệ nghịch với sự biến thiên của Φ làm máy nóng lên.

Khi điện áp giảm, hệ số công suất có xu hướng tăng lên, điều đó đặc biệt rõ rệt khi tải nhỏ vì dòng điện từ hóa của động cơ giảm xuống.

Về mặt tổn hao điện áp giảm có ảnh hưởng như sau: Tổn hao trong thép giảm đi gần tỉ lệ với bình phương của điện áp, tổn hao đồng trong rôto tăng tỉ lệ với bình phương dòng điện, tổn hao đồng trong stato phụ thuộc vào quan hệ giữa dòng điện từ hóa I_0 và I_2 , trong đó I_0 giảm đi còn I_2 tăng lên.

Rút cục ở những tải nhỏ (dưới 40%) tổn hao có giảm đi, nên hiệu suất của động cơ điện hơi tăng lên so với lúc máy ở điện áp định mức, nhưng khi tải lớn hơn thì hiệu suất bắt đầu giảm nhanh.

Qua đây ta thấy khi máy làm việc tải nhẹ ($< 50\%P_{dm}$) thì nên giảm điện áp máy xuống (nếu đầu Δ thì chuyển qua Y) để có tính năng về $\cos\varphi$ và hiệu suất tốt hơn (hình 4-20).



Hình 4-20. Các đặc tính làm việc của động cơ điện không đồng bộ khi đổi nối dây quấn từ Δ sang Y.

2. Tần số không định mức:

Nói chung tần số của lưới giữ rất đúng tiêu chuẩn. Nhưng ở những trạm phát điện nhỏ, khi tải thay đổi thì tốc độ quay của động cơ kéo có thể thay đổi làm tần số lưới điện thay đổi. Theo điều kiện kỹ thuật khi tần số f thay đổi trong khoảng $\pm 5\% f_m$ được coi như định mức.

Nếu không kể đến điện áp rơi trên dây quấn stato có thể coi $U = E \equiv f\Phi$. Khi U không đổi thì $\Phi \equiv \frac{1}{f}$ vì vậy $f \neq f_m$. Tần số giảm xuống còn làm cho tốc độ giảm xuống $\left[n = \frac{60f_1}{p}(1-s) \right]$ nên điều kiện làm nguội cũng giảm đi vì phải giảm công suất của máy xuống. Mặt khác vì M giữ không đổi nên khi f giảm làm Φ tăng dẫn đến I_2 giảm và do $sP_{dt} = \Delta p_{Cu2} = m_1 I_2^2 r_2'$ nên hệ số trượt s cũng giảm xuống. Ngoài ra mômen cực đại của động cơ điện biến thiên tỷ lệ nghịch với bình phương của tần số.

3. Điện áp đặt vào không đối xứng:

Có thể phân tích hệ thống điện áp sơ cấp thành các hệ thống thứ tự thuận, nghịch và không. Khi các dây quấn nối Δ hay Y và điểm trung tính không nối đất như thường gặp trong các động cơ điện không đồng bộ thì hệ thống điện áp thứ tự không không ảnh hưởng đến sự làm việc của động cơ và ta có thể không chú ý tới.

Hệ thống điện áp thứ tự nghịch tạo nên từ trường quay ngược nên hệ số trượt của rôto đối với từ trường nghịch $2-s > 1$ và mômen do từ trường nghịch này sinh ra có tác dụng hãm. Vì vậy hệ thống thứ tự nghịch làm giảm mômen quay có ích và gây nên tổn hao phụ, do đó phải hạn chế công suất của động cơ điện.

VÍ DỤ

Ví dụ 1:

Một động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn khi để rôto hở mạch và cho điện áp định mức vào stato thì điện áp trên vành trượt là 250 V. Khi động cơ làm việc với tải định mức thì tốc độ $n = 1420$ vg/ph. Tính:

- Tốc độ đồng bộ.
- Tốc độ từ trường quay do dòng điện rôto sinh ra so với tốc độ rôto.
- Tần số dòng điện ở rôto.
- Sức điện động của rôto khi tải định mức.

Giải

a. Vì hệ số trượt của động cơ rất bé, $s = (3 \div 6)\%$ nên tốc độ đồng bộ của từ trường quay $n_1 = 1500$ vg/ph, tức là máy có hai đôi cực (khi tần số là 50 Hz).

b. Tốc độ từ trường rôto so với rôto:

$$n_2 = n_1 - n = 1500 - 1420 = 80 \text{ vg/ph.}$$

n_2 quay cùng chiều với rôto.

c. Tần số dòng điện rôto:

$$f_2 = \frac{pn_2}{60} = \frac{2.80}{60} = 2,66 \text{ Hz}$$

$$\text{Hay } f_2 = sf_1 = 0,053.50 = 2,66 \text{ Hz}$$

$$\text{Trong đó: } s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1420}{1500} = 0,053$$

d. Sức điện động của rôto khi quay ở tốc độ định mức:

$$E_{2s} = sE_2 = 0,053.250 = 13,4 \text{ V}$$

Ví dụ 2:

Một động cơ không đồng bộ có các số liệu sau: dây quấn stato và rôto đều nối Y, số rãnh stato $Z_1 = 72$, số rãnh rôto $Z_2 = 12$, số thanh dẫn ở một rãnh stato $S_{r1} = 9$ và ở rôto $S_{r2} = 2$, dây quấn bước đủ có 4 bước cực.

Khi thí nghiệm ngắn mạch, điện áp đặt vào stato là $U_n = 110 \text{ V}$, dòng điện $I_n = 61 \text{ A}$ và $\cos\varphi_n = 0,336$. Tính:

- Điện trở và điện kháng ngắn mạch r_n, x_n .
- Điện trở và điện kháng dây quấn rôto r_2, x_2 . Biết $r_1 = 0,159\Omega$, $x_1 = 0,46\Omega$.
- Công suất động cơ điện tiêu thụ và công suất tiêu hao trên dây quấn khi ngắn mạch.

Giải

a. Tacó:

$$z_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{110}{\sqrt{3.61}} = 1,044\Omega$$

$$\Rightarrow r_n = z_n \cos\varphi_n = 1,044.0,336 = 0,351\Omega$$

$$\Rightarrow x_n = z_n \sin\varphi_n = 1,044.0,94 = 0,98\Omega$$

b. Ta có:

$$r_2' = r_n - r_1 = 0,351 - 0,159 = 0,192\Omega$$

$$x_2' = x_n - x_1 = 0,98 - 0,46 = 0,52\Omega$$

Để tìm r_2, x_2 ta cần tìm các hệ số quy đổi k_e, k_1 :

Ta có:

$$w_1 = \frac{S_{r1}Z_1}{2m_1} = \frac{9.72}{2.3} = 108$$

$$w_2 = \frac{S_{r2}Z_2}{2m_2} = \frac{2.120}{2.3} = 40$$

Hệ số dây quấn stato: $k_{dq1} = k_{n1}k_{r1}$ vì bước đủ nên $k_{n1} = 1$ còn:

$$k_{r1} = \frac{\sin q_1 \frac{\alpha_1}{2}}{q_1 \sin \frac{\alpha_1}{2}} = \frac{\sin \frac{\pi}{2m_1}}{q_1 \sin \frac{\pi}{2q_1m_1}} = \frac{\sin \frac{180}{2.3}}{\sin \frac{180}{2.3.3}} = 0,963$$

Trong đó :

$$q_1 = \frac{Z_1}{2pm_1} = \frac{72}{2.4.3} = 3$$

$$\alpha_1 = \frac{2\pi p}{Z_1} = \frac{\pi}{q_1 m_1}$$

$$\Rightarrow k_{dq1} = k_{r1} = 0,963$$

Hệ số dây quấn rôto: $k_{dq2} = k_{n2} k_{r2} = k_{r2}$

$$k_{r2} = \frac{\sin \frac{\pi}{2m_2}}{q_2 \sin \frac{\pi}{2q_2 m_2}} = \frac{\sin \frac{180}{2.3}}{\sin \frac{180}{2.5.3}} = 0,955$$

Trong đó :

$$q_2 = \frac{Z_2}{2pm_2} = \frac{120}{2.4.3} = 5$$

$$\Rightarrow k_{dq2} = k_{r2} = 0,955$$

Vì $m_1 = m_2$ nên:

$$k_i = k_e = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} = \frac{108.0,963}{40.0,955} = 2,71$$

$$r_2 = \frac{r_2'}{k_e k_i} = \frac{0,192}{2,71.2,71} = 0,0207$$

$$x_2 = \frac{x_2'}{k_e k_i} = \frac{0,52}{2,71.2,71} = 0,0708$$

c. Công suất động cơ tiêu thụ:

$$P_n = \sqrt{3} U_n I_n \cos \varphi_n = \sqrt{3} . 110 . 61 . 0,336 = 3920W$$

Hoặc có thể tính theo công suất tổn hao trên r_n :

$$P_n = 3 I_n^2 r_n = 3 . 61^2 . 0,351 = 3920W$$

Tổn hao sắt trong trường hợp ngắn mạch được bỏ qua, do đó công suất động cơ điện tiêu thụ đều bù đắp vào tổn hao đồng trên hai dây quấn stato và rôto.

Ví dụ 3:

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc có các số liệu sau: $P_{dm} = 11,9 \text{ kW}$, $U_{fdm} = 220 \text{ V}$, $I_{fdm} = 25 \text{ A}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $2p = 6$, $\Delta p_{Cu1} = 745 \text{ W}$, $\Delta p_{Cu2} = 480 \text{ W}$, $\Delta p_{Fe} = 235 \text{ W}$, $\Delta p_{cơ} = 180 \text{ W}$, $\Delta p_f = 60 \text{ W}$. Tính công suất điện từ, mômen điện từ và tốc độ quay của động cơ.

Giải

a. Công suất điện từ của động cơ:

$$P_{dt} = P_2 + \Delta p_{c\sigma} + \Delta p_f + \Delta p_{Cu2} = 11900 + 180 + 60 + 480 = 12620W$$

b. Mômen điện từ:

$$M = \frac{P_{dt}}{\omega_1} = \frac{P_{dt}}{\frac{2\pi n_1}{60}} = \frac{12620}{\frac{2\pi 1000}{60}} = 120N.m$$

Trong đó:

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60.50}{3} = 1000 \text{ vg / ph.}$$

c. Tốc độ quay của động cơ:

$$n = n_1(1 - s) = 1000(1 - 0,038) = 962 \text{ vg / ph}$$

Với:

$$s = \frac{\Delta p_{Cu2}}{P_{dt}} = \frac{480}{12620} = 0,038$$

Ví dụ 4:

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc có các số liệu sau: $P_{đm} = 11,9 \text{ kW}$, $U_{đm} = 220 \text{ V}$, $I_{đm} = 25 \text{ A}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $2p = 6$, $\Delta p_{Cu1} = 745 \text{ W}$, $\Delta p_{Cu2} = 480 \text{ W}$, $n_{đm} = 960 \text{ vg/ph}$, $I_2 = 20,25 \text{ A}$, $x_n = x_1 + x_2 = 2,18 \Omega$. Tính công suất điện từ, mômen điện từ, và tốc độ quay của động cơ. Tính mômen điện từ của động cơ.

Giải

Ta có:

$$r_1 = \frac{\Delta p_{Cu1}}{m I_2^2} = \frac{745}{3.25^2} = 0,398 \Omega$$

$$r_2' = \frac{\Delta p_{Cu2}}{m_1 I_2^2} = \frac{480}{3.20,25^2} = 0,39 \Omega$$

Tốc độ đồng bộ:

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60.50}{3} = 1000 \text{ vg / ph}$$

Hệ số trượt :

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0,04 \text{ vg / ph}$$

Mômen điện từ:

$$M_{dt} = \frac{m_1 p U_1^2 \frac{r_2'}{s}}{2\pi f_1 \left[\left(r_1 + \sigma_1 \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + \sigma_1 x_2')^2 \right]} = \frac{3.3.(220)^2 \cdot \frac{0,39}{0,04}}{2\pi 50 \left[\left(0,398 + \frac{0,39}{0,04} \right)^2 + (2,18)^2 \right]} = 120N.m$$

Coi $\sigma_1 = 1$.

CÂU HỎI:

1. Phân tích những điểm giống nhau và khác nhau trong nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ và máy biến áp.
2. Một động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn, trước kia có số vòng dây của một pha của dây quấn rôto đều nối nối tiếp nay phân đôi thành hai mạch song song. Hỏi như vậy có ảnh hưởng đến điện áp và dòng điện trên vành trượt của rôto không? Có ảnh hưởng gì đến tham số rôto đã quy đổi r_2' và x_2' ? Nếu hệ số trượt s trước và sau khi đổi vẫn như nhau thì công suất đưa vào và đưa ra có thay đổi gì không?
3. Nếu ở dây quấn stato của một động cơ không đồng bộ đặt vào một điện áp thứ tự thuận có tần số f_1 để sinh ra từ trường thuận, ở dây quấn rôto đặt vào một điện áp thứ tự nghịch có tần số f_2 để sinh ra từ trường nghịch, hỏi lúc đó rôto quay theo chiều nào? Tốc độ bao nhiêu? Khi tải thay đổi thì tốc độ có thay đổi không?
4. Tại sao dòng điện không tải phần trăm của máy điện không đồng bộ $i_0\%$ lớn hơn dòng điện không tải phần trăm của máy biến áp, còn dòng điện ngắn mạch phần trăm $I_n\%$ thì lại nhỏ hơn? Dòng điện không tải lớn ảnh hưởng như thế nào đến tính năng của máy?
5. Tìm sự liên hệ giữa các công suất ở giản đồ năng lượng của máy điện không đồng bộ với các công suất, các tổn hao trên mạch điện thay thế.
6. Nếu điện áp nguồn giảm đi 5% thì ảnh hưởng đến $M_{\max}$, M_k như thế nào? Nếu mômen tải không đổi thì ảnh hưởng đến n , I_1 , Φ , $\cos\varphi$ như thế nào?
7. Một động cơ điện không đồng bộ thiết kế với tần số $f = 60\text{Hz}$ nếu đem dùng ở tần số 50 Hz và giữ điện áp không đổi thì điện kháng tản, $\cos\varphi$, $M_{\max}$, M_k và tổn hao không tải sẽ thay đổi như thế nào? Có ảnh hưởng đến công suất của máy không?
8. Mômen phụ của động cơ không đồng bộ là những mômen gì? Ý nghĩa và ảnh hưởng của các loại mômen đó?
9. Vẽ và giải thích các đường đặc tính là việc của động cơ điện không đồng bộ?
10. Cho những kết luận chính khi động cơ làm việc trong điều kiện không định mức và điện áp không đối xứng?

BÀI TẬP:

1. Một máy điện không đồng bộ ba pha 6 cực, 50 Hz. Khi đặt điện áp định mức lên stato còn dây quấn rôto hở mạch thì sức điện động cảm ứng trên mỗi pha dây quấn rôto là 110 V. Giả thiết tốc độ làm việc lúc định mức là $n = 980$ vg/ph, rôto quay cùng chiều với từ trường quay. Hỏi:
 - a. Máy làm việc ở chế độ nào?
 - b. Lúc đó sức điện động E_{2s} bằng bao nhiêu?
 - c. Nếu giữ chặt rôto lại và đo được $r_2 = 0,1 \Omega$; $x_2 = 0,5 \Omega$ hỏi chế độ làm việc định mức I_2 bằng bao nhiêu?

Đáp số:

- a. Chế độ động cơ.
- b. $E_{2s} = 2,2 \text{ V}$.
- c. $I_2 = 21,89 \text{ A}$.

2. Một động cơ điện không đồng bộ ba pha đấu Y, 380 V, 50 Hz, $n_{dm} = 1440$ vg/ph. Tham số như sau: $r_1 = 0,2 \Omega$, $r_2' = 0,25 \Omega$, $x_1 = 1 \Omega$, $x_2' = 0,95 \Omega$, $x_m = 40 \Omega$, bỏ qua r_m . Tính số đôi cực, tốc độ đồng bộ, hệ số trượt định mức, tần số dòng điện rôto lúc tải định mức. Vẽ mạch điện thay thế hình T và căn cứ vào đó tính giá trị số của các dòng điện I_1 , I_0 và I_2' .

Đáp số:

$$P = 2, n_{dm} = 1500 \text{ vg/ph}, s_{dm} = 0,04, f_2 = 2 \text{ Hz}.$$

$$I_1 = 33 \text{ A}, I_0 = 5 \text{ A}, I_2 = 31,92 \text{ A}.$$

3. Một động cơ điện không đồng bộ ba pha 6 cực, điện áp định mức là 380 V đấu Y, tần số 50 Hz, công suất định mức là 28 Kw, tốc độ định mức là 980 vg/ph, lúc tải định mức $\cos\varphi = 0,88$. Tổn hao đồng và sắt stato là 2,2 Kw, tổn hao cơ là 1,1 kW. Tính hệ số trượt, tổn hao đồng rôto, hiệu suất, dòng điện stato và tần số dòng điện rôto khi tải định mức.

Đáp số:

$$s = 0,02; \Delta p_{Cu2} = 594 \text{ W};$$

$$\eta = 87,8\%; I_1 = 55 \text{ A}; f_2 = 1 \text{ Hz}.$$

4. Một động cơ điện không đồng bộ tiêu thụ năng lượng điện là 60 kw, tổng tổn hao trên stato là 1 kw, hệ số trượt $s = 0,03$. Tính công suất cơ và tổn hao đồng của rôto.

Đáp số:

$$P_{co} = 57,23 \text{ kw}.$$

$$\Delta p_{Cu2} = 1,77 \text{ kw}.$$

5. Cho một động cơ không đồng bộ rôto dây quấn có $P_{dm} = 155 \text{ kW}$, $p = 2$, $U = 380 \text{ V}$, đấu Y, $\Delta p_{Cu2} = 2210 \text{ W}$, $P_{co} = 2640 \text{ W}$, $\Delta p_f = 310 \text{ W}$, $r_2' = 0,012 \Omega$.

a. Lúc tải định mức tính: P_{dt} , $s_{dm}\%$, n_{dm} , M_{dm} .

b. Giả sử mômen tải không đổi, nếu cho vào dây quấn phần quay một điện trở quy đổi $r_f' = 0,1 \Omega$ thì hệ số trượt, tốc độ quay và tổn hao đồng rôto sẽ bằng bao nhiêu?

c. Biết $r_1 = r_2'$, $x_1 = x_2' = 0,06 \Omega$. Tính M_{max} , s_m .

d. Tính điện trở phụ cần thiết phải cho vào rôto để có mômen mở máy cực đại.

Đáp số:

$$\text{a. } P_{dt} = 160,16 \text{ kw}; s_{dm} = 1,38\%;$$

$$n_{dm} = 1479 \text{ vg/ph}; M_{dm} = 1000,7 \text{ N.m}$$

$$\text{b. } s' = 12,88\%; n' = 1307 \text{ vg/ph};$$

$$\Delta p_{Cu2} = 20,63 \text{ kW}.$$

$$\text{c. } M_{max} = 3503 \text{ N.m}; s_m = 0,1.$$

$$\text{d. } r_f = 0,180 \Omega.$$

6. Một động cơ điện không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc có: $P_{dm} = 20 \text{ kW}$, $U_1 = 380 \text{ V}$, đấu Y, $\eta = 88\%$, $\cos\varphi = 0,84$; $n_{dm} = 970 \text{ vg/ph}$.

$$\text{Biết rằng: } I_k/I_{dm} = 4,5; M_k/M_{dm} = 1,2; M_{max}/M_{dm} = 1,8.$$

Tính:

$$\text{a. } I_{dm}, I_k, s_{dm}.$$

b. M_{dm} , M_k , M_{max} và tổng tổn hao trong động cơ khi làm việc định mức.

Đáp số:

- a. $I_{dm} = 41,1 \text{ A}$; $I_k = 185 \text{ A}$; $s_{dm} = 0,03$.
- b. $M_{dm} = 197 \text{ N.m}$; $M_k = 236,2 \text{ N.m}$;
 $M_{max} = 354,4 \text{ N.m}$.

7). Cho một động cơ không đồng bộ ba pha bốn cực $P_{dm} = 10\text{kw}$, $U_{dm} = 380/220 \text{ V}$, Y/Δ , có tham số $r_1 = 0,355\Omega$; $r_2' = 0,38\Omega$; $r_m = 1,92 \Omega$; $x_1 = 1,1\Omega$; $x_2' = 1,2\Omega$; $x_m = 30 \Omega$. Hãy xác định:

- a. Tốc độ động cơ khi tiêu thụ từ lưới điện 8 kw với $\cos\varphi = 0,75$ (động cơ đấu Y).
- b. Công suất và mômen trên trục động cơ (cho $\Delta p_{co} + \Delta p_f = 233 \text{ W}$).
- c. Tốc độ mới của động cơ khi cho thêm một điện trở phụ $r_f = 1,5 \Omega$ vào mạch của rôto.

Đáp số:

- a. $n = 1455 \text{ vg/ph}$.
- b. $P_2 = 7,03 \text{ kW}$; $M = 4,66 \text{ kG.m}$.
- c. $n = 1277 \text{ vg/ph}$.

Ban quyền © Truong DH Su pham Ky thuat TP. HCM

§4.3 MỞ MÁY VÀ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

I. Quá trình mở máy động cơ điện không đồng bộ:

Trong quá trình mở máy động cơ điện, mômen mở máy là đặc tính chủ yếu nhất trong những đặc tính mở máy của động cơ điện. muốn cho máy quay được thì mômen mở máy của động cơ điện phải lớn hơn mômen tải tĩnh và mômen ma sát tĩnh. Trong quá trình tăng tốc, phương trình cân bằng động về mômen như sau:

$$M - M_c = M_j = J \frac{d\omega}{dt} \quad (4-50)$$

Trong đó :

M , M_c và M_j là mômen điện từ của động cơ điện, mômen cản và mômen quán tính.

$J = \frac{GD^2}{4g}$ là hằng số quán tính.

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ là gia tốc trọng trường.

G và D là trọng lượng và đường kính quay.

ω là tốc độ góc của rôto.

Khi đã biết đặc tính cơ của động cơ điện $M = f_1(n)$ và của tải $M_c = f_2(n)$ thì có thể tìm ra quan hệ giữa tốc độ và thời gian $n = f(t)$ trong quá trình mở máy. Cũng từ đó ta thấy muốn đảm bảo tăng tốc thuận lợi thì trong quá trình mở máy phải giữ $\frac{d\omega}{dt} > 0$ nghĩa là $M > M_c$. Với một quán tính như nhau thì $M - M_c$ càng lớn tốc độ tăng càng nhanh, ngược lại những máy có quán tính lớn thì thời gian mở máy lâu. Đối với trường hợp có yêu cầu mở máy nhiều lần thì thời gian mở máy ảnh hưởng nhiều đến năng suất lao động.

Khi bắt đầu mở máy thì rôto đứng yên, hệ số trượt $s = 1$ nên trị số dòng điện mở máy có thể tính theo mạch điện thay thế:

$$I_k = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + \sigma_1 r_2')^2 + (x_1 + \sigma_1 x_2')^2}} \quad (4-51)$$

Ở điện áp định mức thường $I_{mm} = (4 \div 7)I_{dm}$. Dòng điện quá lớn không những làm cho bản thân máy bị nóng mà còn làm cho điện áp lưới giảm sút nhiều, nhất là đối với những lưới điện công suất nhỏ.

II. Các phương pháp mở máy:

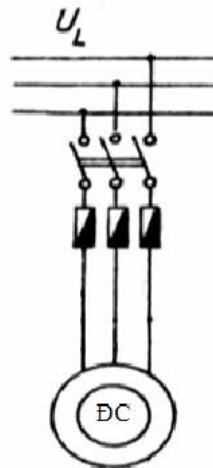
Theo yêu cầu sản xuất, động cơ điện không đồng bộ lúc làm việc thường phải mở máy và ngừng nhiều lần. Tùy theo tính chất của tải và tình hình của lưới điện mà yêu cầu về mở máy đối với động cơ điện cũng khác nhau. Có khi thì yêu cầu mômen mở máy lớn, có khi cần hạn chế dòng điện mở máy và có khi cần cả hai. Những yêu cầu trên đòi hỏi động cơ điện phải có tính năng mở máy thích ứng. Nói chung khi mở máy một động cơ điện cần xét đến những yêu cầu cơ bản sau:

1. Phải có mômen mở máy đủ lớn để thích ứng với đặc tính cơ của tải.
2. Dòng điện mở máy càng nhỏ càng tốt.
3. Phương pháp mở máy và thiết bị cần dùng đơn giản, rẻ tiền, chắc chắn.
4. Tồn hao công suất trong quá trình mở máy càng thấp càng tốt.

Những yêu cầu trên thường mâu thuẫn với nhau như khi đòi hỏi dòng điện mở máy nhỏ thì thường làm cho mômen mở máy giảm theo hoặc cần thiết bị đắt tiền. Vì vậy phải căn cứ vào điều kiện làm việc cụ thể mà chọn phương pháp mở máy thích hợp.

1. Mở máy trực tiếp động cơ điện rôto lồng sóc:

Đây là phương pháp mở máy đơn giản nhất, chỉ việc đóng trực tiếp động cơ điện vào lưới điện là được (hình 4-21).



Hình 4-21. Mở máy trực tiếp động cơ điện không đồng bộ

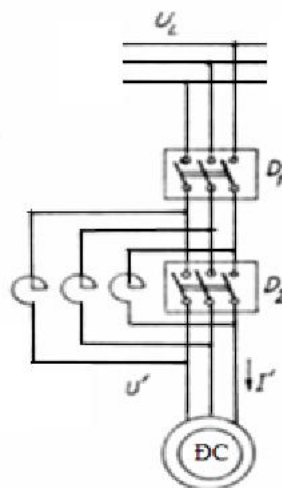
Nhưng lúc mở máy trực tiếp, dòng điện mở máy tương đối lớn. Nếu quán tính của tải lớn, thời gian mở máy quá dài thì có thể làm cho máy nóng và ảnh hưởng đến điện áp của lưới điện. Nhưng nếu nguồn điện tương đối lớn thì nên dùng phương pháp này vì mở máy nhanh, đơn giản.

2. Hạ điện áp mở máy:

Mục đích của phương pháp này là giảm dòng điện mở máy nhưng đồng thời mômen mở máy cũng giảm xuống, do đó đối với những tải yêu cầu có mômen mở máy lớn thì phương pháp này không dùng được. Tuy vậy đối với những thiết bị yêu cầu mômen mở máy nhỏ thì phương pháp này rất thích hợp.

a. Nối điện kháng nối tiếp vào mạch stato:

Khi mở máy trong mạch điện stato đặt nối tiếp một điện kháng. Sau khi mở máy xong bằng cách đóng cầu dao D_2 thì điện kháng này bị nối ngắn mạch. Điều chỉnh trị số của điện kháng thì có thể có được dòng điện mở máy cần thiết. do có điện áp giáng trên điện kháng nên điện áp mở máy trên đầu cực động cơ điện U_k sẽ nhỏ hơn điện áp lưới U_L (hình 4-22).



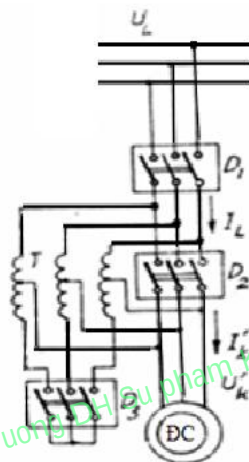
Hình 4-22. Hạ điện áp mở máy bằng điện kháng

Gọi dòng điện mở máy và mômen mở máy trực tiếp là I_k và M_k . Sau khi thêm điện kháng vào, dòng điện mở máy còn lại $I'_k = kI_k$, trong đó $k < 1$. nếu cho rằng khi hạ điện áp mở máy, tham số của máy điện vẫn giữ không đổi thì khi dòng điện mở máy nhỏ đi, điện áp đầu cực động cơ điện sẽ bằng $U'_k = kU_k$. Vì mômen mở máy tỉ lệ với bình phương của điện áp nên lúc đó mômen mở máy bằng $M'_k = k^2 M_k$.

Ưu điểm của phương pháp này là thiết bị đơn giản, nhưng nhược điểm là khi giảm dòng điện mở máy thì mômen mở máy giảm xuống bình phương lần.

b. Dùng biến áp tự ngẫu hạ điện áp mở máy:

Sơ đồ lúc mở máy như hình 4-23, trong đó T là biến áp tự ngẫu, bên cao áp nối với lưới điện, bên hạ áp nối với động cơ điện. Sau khi mở máy xong thì cắt T ra (bằng cách đóng cầu dao D_2 và mở cầu dao D_3).



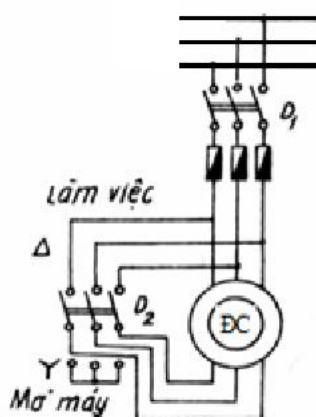
Hình 4-23. Hạ điện áp mở máy bằng biến áp tự ngẫu

Gọi tỷ số biến đổi điện áp của biến áp tự ngẫu là k_T ($k_T < 1$) thì $U'_k = k_T U_l$. Do đó dòng điện mở máy và mômen mở máy của động cơ điện sẽ là: $I'_k = k_T I_k$ và $M'_k = k_T^2 M_k$. Gọi dòng điện lấy từ lưới vào là I_l thì dòng điện đó bằng: $I_l = k_T^2 I_k$.

c. Mở máy bằng phương pháp Y - Δ :

Phương pháp mở máy Y - Δ thích ứng với những máy khi làm việc bình thường đầu tam giác, khi mở máy ta đổi thành Y. Như vậy điện áp đưa vào hai đầu mỗi pha chỉ còn có $U_l / \sqrt{3}$.

Sau khi máy đã chạy rồi, đổi lại thành cách đầu tam giác. Sơ đồ cách đấu dây như ở hình 4-24.



Hình 4-24. Mở máy Y - Δ

Khi mở máy thì đóng cầu dao D_1 còn cầu dao D_2 thì đóng về phía dưới như vậy máy đầu Y. Theo phương pháp Y- Δ thì khi dây quấn đầu Y điện áp pha trên dây quấn là:

$$U_{kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_l$$

$$I'_{kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_k$$

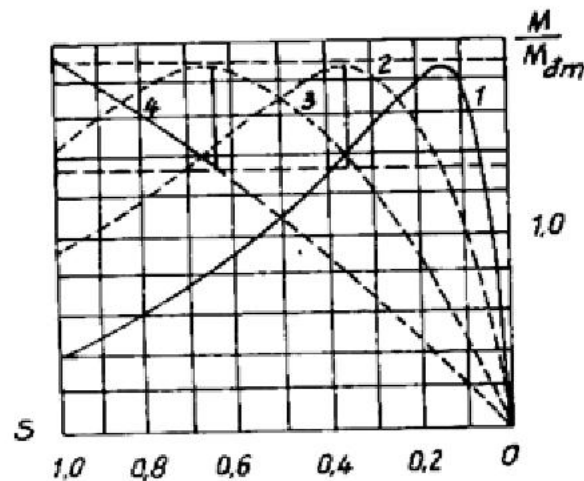
$$M_k = \frac{1}{3} M_k$$

Do khi đầu Y để mở máy thì dòng điện pha bằng dòng điện dây mà khi mở máy trực tiếp thì máy đầu Δ (khi ấy $U_{kf} = U_l$ và $I_k = \sqrt{3} I_{kf}$) cho nên khi mở máy đầu Y thì dòng điện bằng $I_1 = I'_{kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{kf} = \frac{1}{3} I_k$. Trên thực tế trường hợp này tương tự như dùng một biến áp tự ngẫu để mở máy mà tỉ số biến đổi điện áp $k_T = \frac{1}{\sqrt{3}}$.

Trong các phương pháp hạ điện áp mở máy nói trên, phương pháp mở máy Y - Δ tương đối đơn giản nên được dùng rộng rãi đối với những động cơ điện khi làm việc đầu tam giác.

3. Mở máy bằng cách thêm điện trở phụ vào rôto:

Phương pháp này chỉ thích dùng với những động cơ điện rôto dây quấn vì đặc điểm của loại động cơ điện này là có thể thêm điện trở vào cuộn dây rôto. Như ta đã biết khi điện trở rôto thay đổi thì đặc tính $M = f(s)$ cũng sẽ thay đổi. Khi điều chỉnh điện trở mạch điện rôto thích đáng thì sẽ được trạng thái mở máy lý tưởng (đường 4 hình 4-25).



Hình 4-25. Đặc tính mômen khi thêm điện trở vào rôto để mở máy

Sau khi máy đã quay để duy trì một mômen điện từ nhất định trong quá trình mở máy, ta cắt dần điện trở thêm vào rôto làm cho quá trình tăng tốc của động cơ điện thay đổi từ đường $M = f(s)$ này sang đường $M = f(s)$. Như ở hình (4-25) đổi từ đường 4 sang đường 3, đường 2 và sau khi cắt toàn bộ điện trở thì sẽ theo đường 1 tăng tốc đến điểm làm việc.

Dùng động cơ điện rôto dây quấn có thể đạt được mômen mở máy lớn, đồng thời có dòng điện mở máy nhỏ nên những nơi nào mở máy khó khăn thì dùng động cơ điện loại này. Nhược điểm của động cơ điện rôto dây quấn là rôto dây quấn chế tạo phức tạp hơn rôto lồng sóc nên đắt hơn, bảo quản cũng khó khăn hơn, hiệu suất của máy cũng thấp hơn.

III. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ:

Mặc dầu việc điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ có một số khó khăn nhất định, nhưng trong những trường hợp nào đó thì dùng phương pháp điều chỉnh tốc độ thích hợp cũng có thể thỏa mãn được yêu cầu.

Các phương pháp điều chỉnh tốc độ chủ yếu có thể thực hiện:

1. Trên stato: Thay đổi điện áp đưa vào stato, thay đổi số đôi cực của dây quấn stato hay thay đổi tần số nguồn điện.
2. Trên rôto: Thay đổi điện trở rôto hoặc nối nối tiếp trên mạch điện rôto một hay nhiều máy phụ gọi là nối cấp.

1. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực:

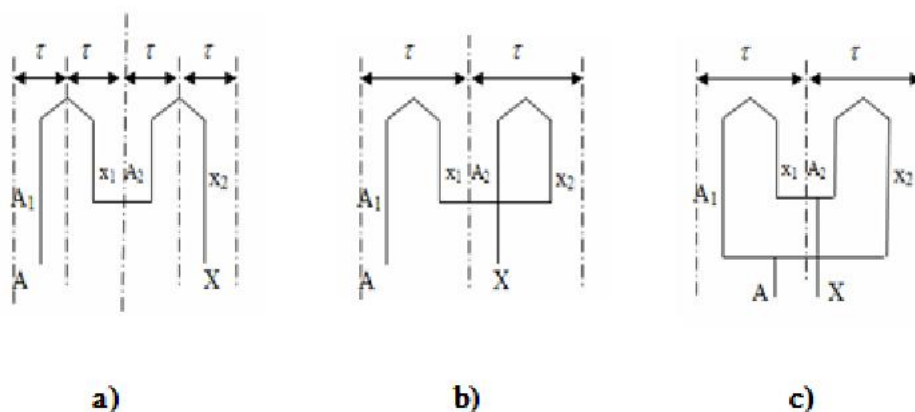
Nói chung động cơ điện không đồng bộ trong điều kiện làm việc bình thường có hệ số trượt nhỏ, do đó tốc độ động cơ điện gần bằng tốc độ đồng bộ $n_1 = 60 f_1 / p$. Từ đây ta thấy khi tần số không đổi thì tốc độ đồng bộ của động cơ điện tỷ lệ nghịch với số đôi cực, do đó khi thay số đôi cực của dây quấn stato có thể thay đổi được tốc độ.

Dây quấn stato có thể nối thành bao nhiêu số đôi cực khác nhau thì tốc độ có bấy nhiêu cấp, vì vậy thay đổi tốc độ chỉ có thể thay đổi từng cấp một. Thường thì có hai cấp tốc độ gọi là động cơ điện hai tốc độ. Cũng có loại ba, bốn tốc độ. Có nhiều cách thay đổi số đôi cực của dây quấn stato :

- Đổi cách nối để có số đôi cực khác nhau. Dùng trong động cơ điện hai tốc độ theo tỷ lệ 2 : 1.
- Trên rãnh stato đặt hai dây quấn độc lập có số đôi cực khác nhau, thường để đạt hai tốc độ theo tỷ lệ 4 : 3 hay 6 : 5.
- Trên rãnh stato đặt hai dây quấn độc lập có số đôi cực khác nhau, mỗi dây quấn lại có thể đổi cách nối để có số đôi cực khác nhau. Dùng trong động cơ điện ba, bốn tốc độ.

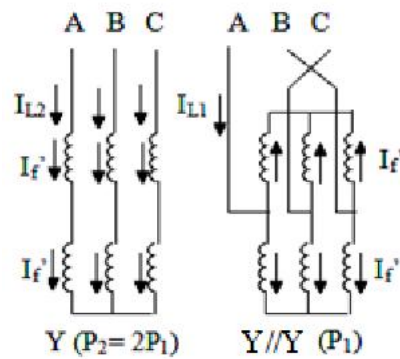
Do stato lồng sóc có thể thích ứng với bất cứ số đôi cực nào của dây quấn stato, nên thích hợp cho động cơ điện thay đổi số đôi cực để điều chỉnh tốc độ.

Sơ đồ cách đổi số đôi cực như ở hình 4-26.

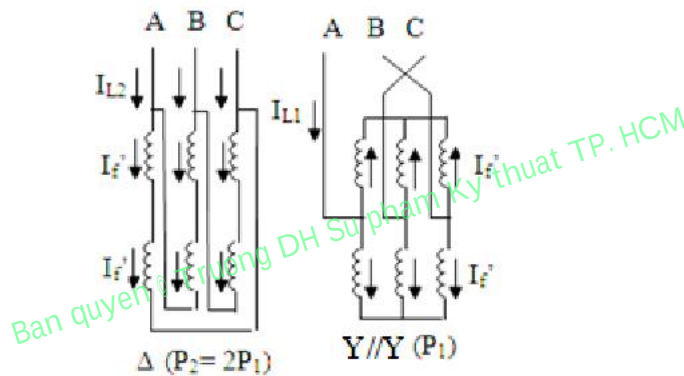


Hình 4-26. Sơ đồ nguyên lý về thay đổi số đôi cực

Tùy theo cách đấu Y hay Δ và cách đấu dây quấn pha song song hay nối tiếp mà người ta chế tạo động cơ điện hai tốc độ thành loại mômen không đổi và loại công suất không đổi (hình 4-27 và hình 4-28).



Hình 4-27. Sơ đồ đấu dây quấn khi đổi tốc độ theo tỷ lệ 2 : 1 với mômen không đổi.



Hình 4-28. Sơ đồ đấu dây quấn khi đổi tốc độ theo tỷ lệ 2 : 1 với công suất không đổi.

Gọi công suất động cơ điện hai tốc độ với số đôi cực ít là P_1 , với số đôi cực gấp đôi là P_2 từ cách đấu Y/YY ở hình 4-27 ta có:

$$P_2 = \sqrt{3} U_1 I_f' \eta \cos \varphi_1$$

$$P_1 = \sqrt{3} U_1 2 I_f' \eta \cos \varphi_1$$

Giả sử η và $\cos \varphi$ không đổi thì :

$$\frac{P_1}{P_2} = 2 \quad (4-52)$$

Vì tốc độ khi máy có công suất P_1 gấp đôi tốc độ khi máy có công suất P_2 ($n_1 = 2n_2$) và do quan hệ $P = \omega M$ nên ta có:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\omega_1 M_1}{\omega_2 M_2} = \frac{2M_1}{M_2} = 2$$

$\Rightarrow M_1 = M_2$ nghĩa là máy được chế tạo theo loại mômen không đổi.

Ở hình 4-28 với cách đấu Δ/YY công suất của máy là:

$$\begin{aligned} P_2 &= \sqrt{3}U_1 \sqrt{3} I_f' \eta \cos \varphi_1 \\ P_1 &= \sqrt{3}U_1 2 I_f' \eta \cos \varphi_1 \\ \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} &= \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,15 \approx 1. \end{aligned} \quad (4-53)$$

Động cơ điện hai tốc độ đấu theo kiểu này thuộc loại công suất không đổi.

2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số:

Tốc độ của động cơ điện không đồng bộ:

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s)$$

Khi hệ số trượt thay đổi ít thì n tỷ lệ thuận với f_1 .

Phương pháp thay đổi tần số điều chỉnh tốc độ là một phương pháp điều chỉnh bằng phẳng, động cơ điện có thể quay với bất cứ tốc độ nào. muốn vậy phải sử dụng một nguồn điện đặc biệt, do đó chỉ khi nào có nhiều động cơ điện dùng thay đổi tốc độ theo một quy luật chung thì cách điều chỉnh này mới có ý nghĩa thực tế vì có thể dùng một nguồn điện biến tần chung.

Khi ta bỏ qua điện trở r_1 trong công thức tính mômen cực đại thì:

$$M_{\max} = C \frac{U_1^2}{f_1^2} \quad (4-54)$$

trong đó C là hệ số.

Giả sử U_1' và M' là điện áp và mômen lúc tần số là f_1' , căn cứ vào điều kiện năng lực quá tải không đổi ta có:

$$\begin{aligned} \frac{M'_{\max}}{M'} &= \frac{M_{\max}}{M} \\ \Rightarrow \frac{M'}{M} &= \frac{M'_{\max}}{M_{\max}} = \frac{U_1'^2 f_1'^2}{U_1^2 f_1^2} \\ \Rightarrow \frac{U_1'}{U_1} &= \frac{f_1'}{f_1} \sqrt{\frac{M'}{M}} \end{aligned} \quad (4-55)$$

Trong thực tế ứng dụng thường yêu cầu mômen không đổi:

$$\Rightarrow \frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1}$$

Hay

$$\frac{U_1}{f_1} = const$$

Khi yêu cầu điều chỉnh tốc độ đảm bảo công suất cơ $P_{cơ}$ không đổi, nghĩa là M tỷ lệ nghịch với tần số f_1 nên có:

$$\frac{M_1}{M_1} = \frac{f_1}{f_1} \Rightarrow \frac{U_1}{U_1} = \sqrt{\frac{f_1}{f_1}} \quad (4-56)$$

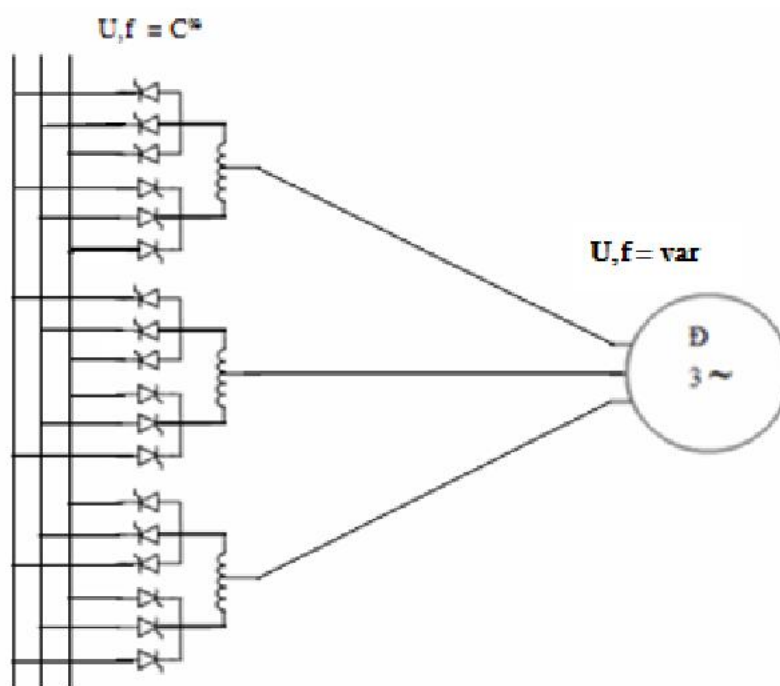
Nếu yêu cầu mômen tỷ lệ với bình phương của tốc độ, nghĩa là M tỷ lệ với f^2 thì ta có:

$$\Rightarrow \frac{U_1}{U_1} = \left(\frac{f_1}{f_1} \right)^2 \quad (4-57)$$

Tóm lại khi thay đổi tần số điều chỉnh tốc độ ta phải đồng thời điều chỉnh cả điện áp đưa vào động cơ điện.

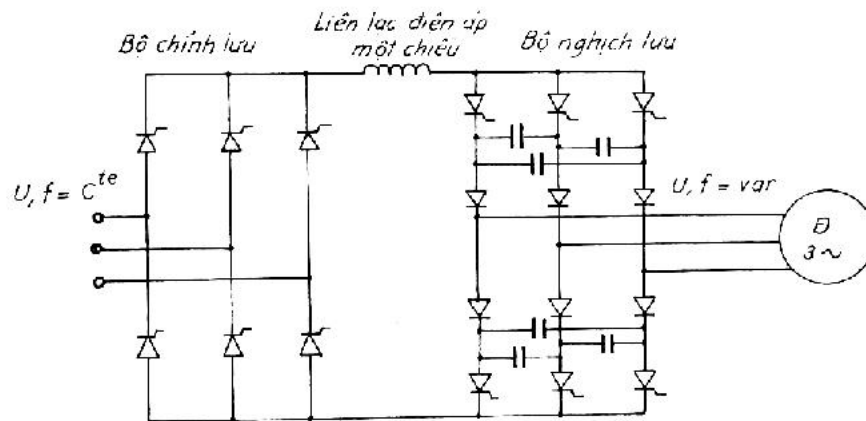
Để thay đổi tần số của nguồn xoay chiều đặt vào từng động cơ, ngày nay người ta dùng các bộ biến tần trực tiếp hoặc biến tần qua trung gian điện một chiều dùng nghịch lưu dòng hoặc nghịch lưu áp.

Sơ đồ nguyên lý của bộ biến tần trực tiếp dùng cho động cơ không đồng bộ ba pha được trình bày trên hình (4-29). Ưu điểm của bộ biến tần trực tiếp là điện áp ra gần hình sin, hiệu suất cao và khả năng hãm tái sinh động cơ điện. Tuy nhiên do có nhược điểm sử dụng nhiều tiristo khiến mạch điều khiển phức tạp và đắt, hơn nữa tần số ra hạn chế trong khoảng từ 0 đến $f/3$ nên nó chỉ thích hợp với các truyền động tốc độ thấp, công suất lớn và hiện còn ít được sử dụng.



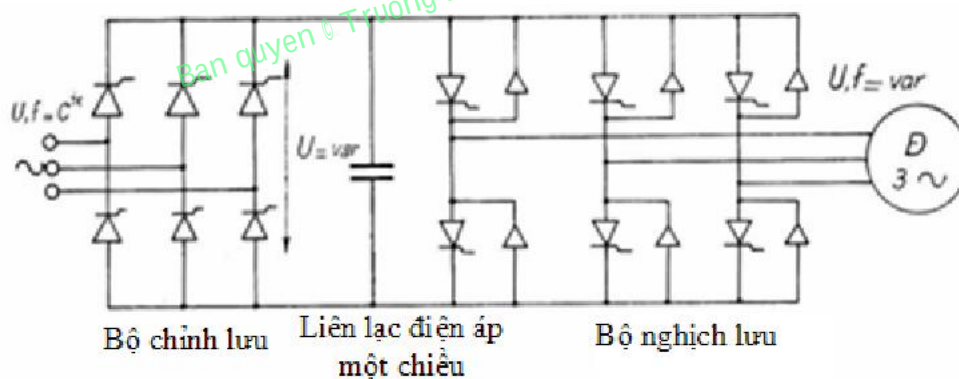
Hình 4-29. Điều chỉnh tốc độ bằng bộ biến tần trực tiếp.

Bộ biến tần qua trung gian điện một chiều được trình bày trên hình (4-30), sử dụng bộ nghịch lưu dòng cho phép điều chỉnh tần số từ 0 đến f dùng cho động cơ có công suất từ vài kilôat đến hàng ngàn kW .



Hình 4-30. Điều chỉnh tốc độ dùng bộ biến tần qua nghịch lưu dòng.

Bộ biến tần nghịch lưu áp được trình bày trên hình 4-31, nó cũng cho phép điều chỉnh tần số từ 0 đến f , cho động cơ có công suất dưới 100 Kw.



Hình 4-31. Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ dùng biến tần nghịch lưu áp.

3. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp:

Khi thay đổi điện áp lưới, ví dụ giảm xuống còn x lần ($x < 1$) điện áp định mức ($U_1 = xU_{dm}$) thì mômen sẽ giảm xuống còn x^2 lần: $M = x^2 M_{dm}$. Nếu mômen tải không đổi thì tốc độ giảm xuống, hệ số trượt tăng từ s đến s_b rồi về s_c như trong hình (4-32).

Theo công thức về mômen $M = C_m I_2' \Phi$ thì điện áp lưới $U_1 = xU_{dm}$. E và từ thông Φ cũng bằng x lần trị số ban đầu và I_2' tăng lên $1/x$ lần. vì hệ số trượt:

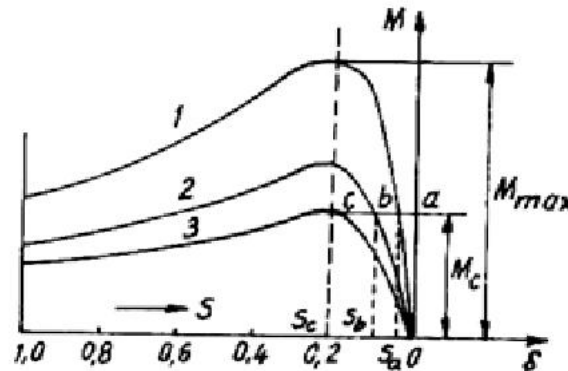
$$s = \frac{\Delta p_{Cu2}}{P_{dt}} = \frac{m_1 I_2'^2 r_2'}{M \omega_1}$$

Nên hệ số trượt s sẽ bằng $1/x^2$ lần hệ số trượt cũ và tốc độ động cơ điện ở điện áp $U_1 = xU_{dm}$ sẽ là:

$$n = n_1 \left(1 - \frac{s}{x^2}\right) \quad (4-58)$$

Theo hình (4-32) ta thấy hệ số trượt tối đa có thể điều chỉnh được là $s = s_{dm}$. Giả thiết $M_{max}/M_{dm} = 2$, hệ số trượt định mức $s_{dm} = 0,04$ thì theo biểu thức Klôx tính ra được $s_{dm} = 0,15$ nghĩa là phạm vi điều chỉnh tối đa là 15%.

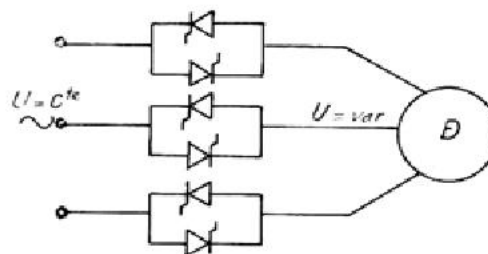
Khi mômen tải bằng mômen định mức thì điện áp thấp nhất là $U_1 = 0,707U_{dm}$. Nếu mômen tải nhỏ hơn tải định mức thì điện áp còn có thể giảm hơn nữa.



Hình 4-32. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp của stato.

Có thể dùng phương pháp đổi nối Y- Δ hoặc dùng điện kháng nối nối tiếp với dây quấn stato để hạ điện áp.

Cũng có thể thay đổi điện áp bằng ba cặp tiristo đấu song song ngược theo sơ đồ trên hình 4-33. ứng với các góc mở α khác nhau của các tiristo, điện áp trung bình đặt vào động cơ giảm nhỏ khác nhau. Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng bộ điều khiển điện áp xoay chiều này dùng thích hợp khi mômen tải giảm theo tốc độ. Nó cũng cho phép mở máy động cơ dễ dàng bằng cách điều khiển góc mở α lớn để hạn chế dòng điện mở máy.



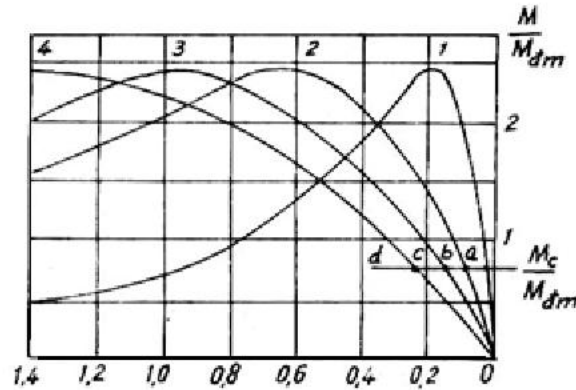
Hình 4-33. Điều chỉnh tốc độ bằng bộ biến đổi điện áp xoay chiều ba pha.

4. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thêm điện trở phụ vào mạch rôto:

Phương pháp này chỉ có thể dùng đối với động cơ điện rôto dây quấn. Thông qua vành trượt ta nối một biến trở ba pha có thể điều chỉnh được vào dây quấn rôto. Hình (4-34) chỉ rõ khi thêm điện trở phụ vào thì các đường đặc tính $M = f(s)$ nghiêng về phía trái. Với một mômen tải nhất định, điện trở phụ càng lớn thì hệ số trượt ở điểm làm việc càng lớn nghĩa là tốc độ càng giảm xuống. Vì mômen tỷ lệ với công suất điện từ nên ta có:

$$\frac{r_2}{s} = \frac{r_2 + r_f}{s'} \quad (4-59)$$

Do P_{dt} bản thân không đổi, I_2 cũng không đổi nên một bộ phận công suất cơ trước kia đã biến thành tổn hao đồng $m_2 I_2^2 r_f$. Vì lúc đó công suất đưa vào không đổi nên hiệu suất đã giảm. Đó là khuyết điểm của phương pháp điều chỉnh này. Mặt khác tốc độ điều chỉnh được nhiều hay ít còn tùy theo tải lớn hay nhỏ, do đó khi không tải không thể dùng phương pháp này để điều chỉnh tốc độ được.



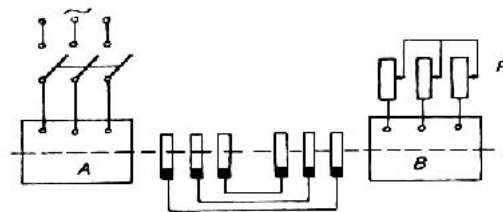
Hình 4-34. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thêm điện trở phụ vào rôto.

5. Điều chỉnh tốc độ bằng nối cấp:

Dùng phương pháp này có thể đem năng lượng tiêu hao trên điện trở phụ của phương pháp trên truyền cho một động cơ điện nối cấp để đổi thành cơ năng. Như vậy có thể lợi dụng triệt để năng lượng lấy từ lưới điện.

Nối nối cấp có nhiều kiểu, ở đây chỉ giới thiệu một trong những kiểu nối cấp với máy điện không đồng bộ.

Khi nối cấp thì rôto của hai động cơ điện không đồng bộ được nối với nhau cả về điện lẫn về cơ như trên hình 4-35.



Hình 4-35. Động cơ điện không đồng bộ nối cấp.

Động cơ điện A làm việc bình thường với lưới điện còn dây quấn stato của động cơ B nối với một biến trở ba pha đối xứng, như vậy điện áp đưa vào động cơ B chỉ là điện áp tần số thấp của rôto động cơ điện A thông qua vành trượt chuyển sang động cơ điện B. Gọi số cực của máy A và B là p_A và p_B , tần số lưới là f_1 , tần số dòng điện rôto của má A là f_2 , tốc độ đồng bộ của các máy là n_{1A} và n_{1B} , tốc độ rôto chung của cả hai máy là n_c thì ta có:

$$n_{1A} = \frac{60 f_1}{p_A} \Rightarrow f_2 = \frac{n_{1A} - n_c}{60} p_A \quad (4-60)$$

Tốc độ đồng bộ của máy B bằng:

$$n_{1B} = \frac{60 f_2}{p_B} = (n_{1A} - n_c) \frac{p_A}{p_B} \Rightarrow s_B = \frac{n_{1B} - n_c}{n_{1B}} \quad (4-61)$$

Ta nhận thấy máy B làm việc giống như động cơ điện không đồng bộ thường mà tần số nguồn đưa vào trên rôto là f_2 , còn máy A làm việc như một động cơ điện không đồng bộ thường mà trên rôto nối thêm một mạch điện đẳng trị của động cơ điện B. Cuối cùng thì hai máy nối chặt với nhau về cơ khí nên cùng quay với tốc độ n_c . Hiểu như vậy thì rất dễ thấy, khi không tải hệ số trượt của máy B là $s_B = 0$ nên $n_{1B} = n_c$. Lúc đó n_c là tốc độ đồng bộ của cả hệ thống nối cấp gọi là n_{1c} và có quan hệ:

$$n_{1c} = n_c = n_{1B} = (n_{1A} - n_{1c}) \frac{P_A}{P_B}$$

$$\Rightarrow n_{1c} = n_{1A} \frac{P_A}{P_A + P_B} = \frac{60f_1}{P_A + P_B} \quad (4-62)$$

Như vậy n_{1c} được xem như tốc độ của hệ thống nối cấp khi hệ số trượt của động cơ điện B bằng không.

Các động cơ A, B có thể làm việc riêng lẻ nên ta được ba tốc độ tương ứng với ba số đôi cực p_A , p_B và $p_A + p_B$.

Công suất điện từ của máy A là P_{dtA} chia làm hai phần: một phần biến thành công suất cơ ở đầu trục P_{coA} , một phần thành công suất điện truyền cho máy B là P_s . Bỏ qua tổn hao trên máy thì công suất phân phối của hai máy như sau:

$$P_{coA} = P_{dtA} \frac{n_c}{n_{1A}}$$

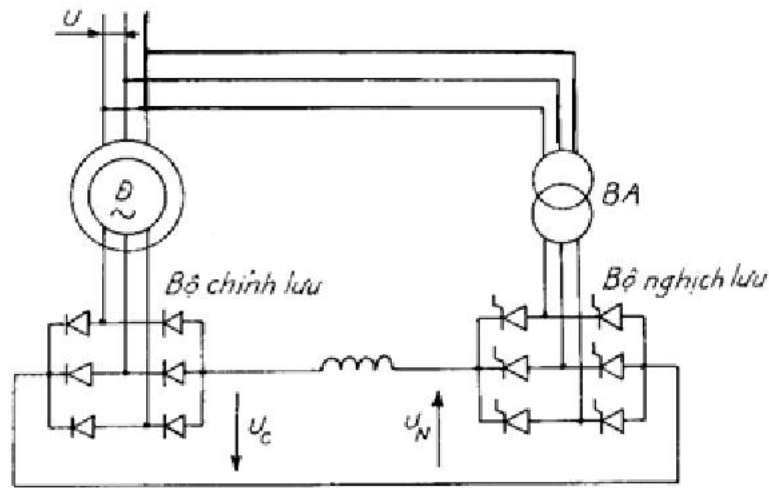
$$P_{coB} = P_s = P_{dtA} \frac{n_{1A} - n_c}{n_{1A}}$$

$$\frac{P_{coA}}{P_{coB}} = \frac{n_c}{n_{1A} - n_c} = \frac{p_A}{p_B} \quad (4-63)$$

Vì công suất kích từ dùng để gây nên từ trường quay của cả hai máy nên dòng điện không tải lớn hơn so với một động cơ bình thường. Tổng trở ngắn mạch Z_n cũng lớn hơn do đó dòng điện ngắn mạch nhỏ đi. Điều đó làm cho $\cos\phi$ và $M_{\max}$ giảm xuống.

6. Điều chỉnh tốc độ bằng nối cấp trả năng lượng trượt về nguồn:

Dùng bộ biến tần qua khâu trung gian một chiều nối cấp với động cơ không đồng bộ rôto dây quấn như trên hình 4-36 thì năng lượng trượt ở tần số $f_2 = f_s$ sẽ bị tiêu hao trên điện trở phụ được chỉnh lưu thành năng lượng điện một chiều, sau đó qua bộ nghịch lưu được biến đổi thành năng lượng điện xoay chiều tần số f trả về nguồn. Việc điều chỉnh tốc độ động cơ được thực hiện bằng cách thay đổi góc mở tiristo của bộ nghịch lưu.



Hình 4-36. Điều chỉnh tốc độ bằng trả năng lượng về nguồn

Quan hệ của tốc độ hoặc hệ số trượt s của động cơ với góc mở α được xác định như sau:

gọi $k_D = \frac{w_2 k_{dq2}}{w_1 k_{dq1}}$ là tỷ lệ số vòng dây có kể đến hệ số dây quấn của rôto và stato thì điện áp ở rôto động cơ là $s k_D U$ và điện áp ở đầu ra của bộ chỉnh lưu cầu ba pha là:

$$U_c = 1,35 s k_D U \quad (4-64)$$

Gọi k_B là tỷ số biến áp của máy biến áp BA thì điện áp trung bình ở bộ nghịch lưu cầu có biểu thức:

$$U_N = 1,35 k_B U \cos \alpha \quad (4-65)$$

Các điện áp phải bằng nhau và ngược dấu $\Rightarrow 1,35 s k_D U = -1,35 k_B U \cos \alpha$ hay là:

$$s = -\frac{k_B}{k_D} \cos \alpha \quad (4-66)$$

Khi làm việc ở chế độ nghịch lưu $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ do đó s là dương, tốc độ động cơ nhỏ hơn tốc độ đồng bộ.

CÂU HỎI:

1. Tại sao khi thêm điện trở phụ vào mạch rôto thì có thể cải thiện được đặc tính mở máy của động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn? Nếu thêm điện kháng vào thì đặc tính mở máy có bị ảnh hưởng không?
2. Có hai động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc cùng công suất đầu liên trực cùng kéo một tải. khi mở máy đầu hai dây quấn stato của hai máy nối tiếp với nhau, mở máy xong thì đầu song song như bình thường, cách mở máy như vậy có ảnh hưởng như thế nào đến mômen và dòng điện mở máy?
3. Tóm tắt các phương pháp mở máy động cơ không đồng bộ và so sánh ưu nhược điểm của mỗi phương pháp?

4. Trong động cơ điện rôto dây quấn, nếu nối điện kháng vào mạch điện rôto thì có thể điều chỉnh tốc độ được không, lúc đó đặc tính cơ thay đổi như thế nào ? M_k , M_{max} , s_m , s_{dm} , hiệu suất, $\cos\phi$ thay đổi như thế nào ?
5. Tóm tắt các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ, so sánh ưu khuyết điểm và phạm vi ứng dụng của từng phương pháp.

BÀI TẬP:

1. Một động cơ điện không đồng bộ ba pha 50 Hz, 6 cực, $P_{dm} = 100 \text{ kW}$, $n = 980 \text{ vg/ph}$. Giả thiết tổn hao cơ của máy bằng 1% công suất định mức đưa ra và mômen tải luôn giữ không đổi. trong mạch rôto nối thêm điện trở phụ để tốc độ giảm xuống còn 750 vg/ph.

Hãy tính công suất tiêu hao trên điện trở phụ và công suất đưa ra của động cơ điện khi giảm tốc độ.

Đáp số:

$$\Delta P_{Cu2} = 23,7 \text{ kW}$$

$$P_2' = 76,3 \text{ kW}$$

2. Cho một động cơ điện rôto dây quấn $p = 2$; $f = 50 \text{ Hz}$; $r_2 = 0,02 \Omega$; $n = 1485 \text{ vg/ph}$. Nếu mômen tải không đổi, muốn có $n = 1050 \text{ vg/ph}$ thì phải thêm điện trở phụ vào rôto là bao nhiêu ? Nếu thay đổi điện áp đặt vào dây quấn stato để có được tốc độ nói trên (không có điện trở phụ vào rôto) thì phải đặt vào stato một điện áp là bao nhiêu ?

Đáp số:

$$R_f = 0,58 \Omega$$

$$U' = 0,182 U_{dm}$$

CHƯƠNG V: MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

§ 5.1 ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Máy điện đồng bộ được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp. Phạm vi sử dụng đó là biến đổi cơ năng thành điện năng, nghĩa là làm máy phát điện. Điện năng ba pha được chủ yếu dùng trong nền kinh tế quốc dân và trong đời sống được sản xuất từ máy phát điện quay bằng tuabin hơi, tuabin khí hoặc tuabin nước.

Máy điện đồng bộ còn được dùng làm động cơ, đặc biệt trong các thiết bị lớn, vì với các động cơ không đồng bộ, chúng có khả năng phát ra công suất phản kháng.

Thông thường các máy đồng bộ được tính toán sao cho chúng có thể phát ra công suất phản kháng gần bằng công suất tác dụng. Trong một số trường hợp, việc đặt các máy đồng bộ ở gần các trung tâm công nghiệp lớn để chỉ phát ra công suất phản kháng đủ bù hệ số công suất $\cos \varphi$ cho lưới điện là hợp lý. Những máy như vậy gọi là máy bù đồng bộ.

Các động cơ đồng bộ công suất nhỏ (đặc biệt là các động cơ kích từ bằng nam châm vĩnh cửu) cũng được dùng rất rộng rãi trong các trang bị tự động và điều khiển.

I. PHÂN LOẠI VÀ KẾT CẤU CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

1. PHÂN LOẠI

Theo kết cấu có thể chia máy điện đồng bộ thành hai loại: Máy đồng bộ cực ẩn thích hợp với tốc độ quay cao (số cực $2p=2$) và máy đồng bộ cực lộ thích hợp khi tốc độ quay thấp ($2p \geq 4$).

Theo chức năng, có thể chia máy điện đồng bộ thành các loại chủ yếu sau :

a. Máy phát điện đồng bộ : Máy phát điện đồng bộ thường được kéo bởi tuabin hơi hoặc tuabin nước và được gọi là máy phát tuabin hơi hoặc máy phát tuabin nước. Máy phát tuabin hơi có tốc độ quay cao, do đó được chế tạo theo kiểu cực ẩn và có trục máy đặt nằm ngang. Máy phát điện tuabin nước thường có tốc độ quay thấp nên có kết cấu theo kiểu cực lộ và nói chung trục quay được đặt thẳng đứng. Trong trường hợp máy phát có công suất nhỏ và cần di động thì thường dùng điêzen làm động cơ sơ cấp và được gọi là máy phát điện điêzen. Máy phát điện điêzen thường có cấu tạo cực lộ.

b. Động cơ điện đồng bộ : Động cơ điện đồng bộ thường được chế tạo theo kiểu cực lộ và được sử dụng để kéo các tải không đòi hỏi phải thay đổi tốc độ, với công suất chủ yếu từ 200kW trở lên.

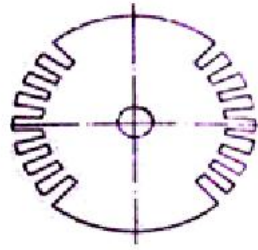
c. Máy bù đồng bộ : Máy bù đồng bộ chủ yếu để cải thiện hệ thống công suất $\cos \varphi$ của lưới điện.

Ngoài các loại máy trên còn có các máy điện đồng bộ đặc biệt như máy biến đổi một phần ứng, máy đồng bộ tần số cao,... và các máy đồng bộ công suất nhỏ dùng trong tự động, như động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, động cơ đồng bộ phản kháng, động cơ đồng bộ từ trễ, động cơ bước,...

2. KẾT CẤU

Để thấy rõ đặc điểm về kết cấu của máy điện đồng bộ, ta sẽ xét riêng rẽ kết cấu của máy cực ẩn và của máy cực lộ.

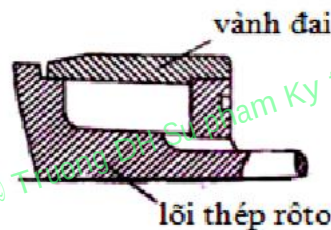
a. Kết cấu của máy đồng bộ cực ẩn : Rôto của máy đồng bộ cực ẩn làm bằng thép hợp kim chất lượng cao, được rèn thành khối hình trụ, sau đó được gia công và phai rãnh để đặt dây quấn kích từ. Phần không phay rãnh của rôto hình thành mặt cực từ. Mặt cắt ngang trục lõi thép rôto như hình 5-1.



Hình 5-1. Mặt cắt ngang trục lõi thép rôto

Các máy điện đồng bộ hiện đại cực ẩn thường được chế tạo với số cực $2p = 2$, tốc độ quay của rôto là 3000 vg/ph và để hạn chế lực ly tâm, trong phạm vi an toàn đối với thép hợp kim được chế tạo thành lõi thép rôto, đường kính D của rôto không được vượt quá $1,1 \div 1,15m$. Để tăng công suất máy, chỉ có thể tăng chiều dài l của rôto. Chiều dài tối đa của rôto vào khoảng 6,5 m.

Dây quấn kích từ đặt trong rãnh rôto được chế tạo từ dây đồng trần tiết diện chữ nhật, quấn theo chiều mỏng thành các bó dây đồng tâm. Các vòng dây của bó dây được cách điện với nhau bằng một lớp mica mỏng. Để cố định và ép chặt dây quấn kích từ trong rãnh, miệng rãnh được nẹp kín bởi các thanh nẹp bằng thép không từ tính. Phần đầu nổi (nằm ngoài rãnh) của dây quấn kích từ được đai chặt bằng các ống trụ thép không từ tính (hình 5-2) .



Hình 5-2. Cố định phần đầu nổi của dây quấn kích từ

Hai đầu của dây quấn kích từ đi luôn trong trục và nối với hai vành trượt đặt ở đầu trục thông qua hai chổi điện để nối với dòng kích từ một chiều.

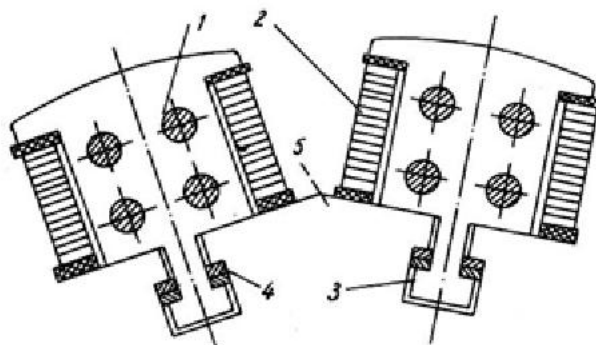
Máy kích từ thường được nối trực với trục máy đồng bộ hoặc có máy chung trục với máy đồng bộ.

Stato của máy đồng bộ cực ẩn bao gồm lõi thép, trong có đặt dây quấn ba pha và thân máy, nắp máy. Lõi thép stato được ép bằng các lá tôn silic dày 0.5 mm, hai mặt có phủ sơn cách điện. Dọc theo chiều dài của lõi thép stato cứ cách khoảng $3 \div 6$ cm lại có một rãnh thông gió ngang trục, rộng 10 mm. Lõi thép stato được đặt cố định trong thân máy.

Trong các máy đồng bộ công suất trung bình và lớn, thân máy được chế tạo theo cơ cấu khung thép, mặt ngoài được bọc bằng các tấm thép dát dày. Thân máy được thiết kế và chế tạo để sao cho trong nó hình thành hệ thống đường thông gió làm lạnh máy điện. Nắp máy cũng được chế tạo từ thép tấm hoặc từ gang đúc. Ở trong các máy công suất trung bình và lớn, ổ trục không đặt ở nắp mà ở giá đỡ, ổ trục đặt cố định trên bệ máy.

b. Kết cấu của máy đồng bộ cực lõi : máy đồng bộ cực lõi thường có tốc độ quay thấp, vì vậy khác với máy đồng bộ cực ẩn, đường kính rôto D của nó có thể đạt tới 15 m trong khi chiều dài l lại nhỏ, với tỉ lệ $l/D = 0,15 \div 0,2$.

Rôto của máy điện đồng bộ cực lõi công suất nhỏ và trung bình có lõi thép được chế tạo bằng thép đúc và gia công thành khối lăng trụ hoặc khối lăng trụ (bánh xe) trên mặt có đặt các cực từ. Ở các máy lớn, lõi thép đó được hình thành bởi các tấm thép dày khoảng $(1 \div 6)$ mm, được dập hoặc đúc định hình sẵn để ghép thành khối lăng trụ và lõi thép này thường không trực tiếp lồng vào trục máy mà được đặt trên giá đỡ của rôto. Giá này lồng vào trục máy. Cực từ đặt trên lõi thép rôto được ghép bằng những lá thép dày $(1 \div 1,5)$ mm.



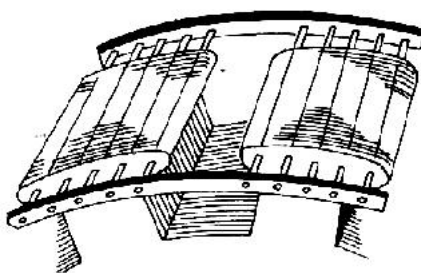
Hình 5-3. Cực từ của máy điện đồng bộ cực lõi

1. lá thép cực từ; 2. dây quấn kích thích; 3. đuôi hình; 4. nêm; 5. lõi thép rôto

Việc cố định cực từ trên lõi thép được thực hiện nhờ đuôi hình T hoặc bằng các bulông xuyên qua mặt cực và được vít chặt vào lõi thép rôto.

Dây quấn kích từ được chế tạo từ dây đồng trần tiết diện hình chữ nhật được quấn uốn theo chiều mỏng thành từng cuộn dây. Cách điện giữa các lớp vòng dây là các lớp mica hoặc amiăng. Các cuộn dây sau khi đã gia công được lồng vào thân cực.

Dây quấn cản (trường hợp máy phát đồng bộ) hoặc dây quấn mở máy (trường hợp động cơ đồng bộ) được đặt trên các đầu cực. Các dây quấn này giống như dây quấn kiểu lồng sóc của máy điện không đồng bộ, nghĩa là làm bằng các thanh đồng đặt vào rãnh các đầu cực và được nối hai đầu bởi hai vòng ngắn mạch (hình 5-4).



Hình 5-4. Dây quấn cản (dây quấn mở máy) của máy điện đồng bộ

Dây quấn mở máy chỉ khác dây quấn cản ở chỗ điện trở các thanh dẫn của nó lớn hơn. Stato của máy điện đồng bộ cực lõi có cấu tạo tương tự như máy điện đồng bộ cực ẩn.

Trục của máy điện đồng bộ cực lõi có thể đặt nằm ngang như ở các động cơ đồng bộ, máy bù đồng bộ, máy phát điện điêzen hoặc máy phát turbin nước công suất nhỏ và tốc độ quay tương đối lớn

(khoảng trên 200 vg/ph). Ở các trường hợp máy phát turbin nước, turbin nước công suất lớn, tốc độ chậm, trục của máy được đặt thẳng đứng. Khi trục máy đặt thẳng đứng, ổ trục đỡ rất quan trọng. Nếu ổ trục đỡ đặt ở đầu trên của trục thì máy thuộc kiểu treo, còn nếu đặt ở đầu dưới của trục thì máy thuộc kiểu dầm .

Ở máy phát turbin nước kiểu treo, xà đỡ trên tựa vào thân máy , do đó tương đối dài và phải rất khoẻ vì nó chịu toàn bộ trọng lượng của rôto máy phát, rôto turbin nước và xung lực của nó đi vào turbin. Như vậy, kích thước xà đỡ trên rất lớn, tốn nhiều sắt thép, đồng thời bản thân máy cũng cao lớn do đó cũng tăng thêm chi phí xây dựng buồng đặt máy. Ở máy phát turbin nước kiểu dầm, ổ trục đỡ tựa trên xà dưới. Xà đỡ dưới được cố định trên nền của gian máy, do đó ngắn hơn và ở một số máy, ổ trục đỡ được đặt ngay trên nắp của turbin nước. Trong cả hai trường hợp đều giảm được vật liệu chế tạo (có thể tới vài trăm tấn đối với các máy lớn) và khiến cho bản thân máy và buồng đặt máy đều thấp hơn.

Trên cùng trục với máy phát turbin thường có đặt thêm các máy phụ- máy kích thích, để cung cấp dòng điện một chiều cho cực từ của máy đồng bộ và máy phát điều chỉnh, để làm nguồn cung cấp điện cho bộ điều chỉnh tự động của turbin.

II. Hệ kích từ máy đồng bộ

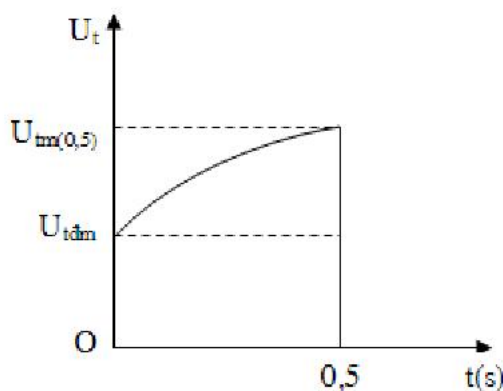
Hệ kích từ máy đồng bộ phải đảm bảo:

1. Điều chỉnh dòng kích từ $I_t = \frac{U_t}{r_t}$ để duy trì điện áp máy phát U trong điều kiện làm việc bình thường (bằng cách điều chỉnh điện áp kích thích U_t).

2. Cường bức kích thích để giữ đồng bộ máy phát với lưới khi điện áp lưới hạ thấp do xảy ra. Muốn vậy hệ kích thích từ phải có khả năng tăng nhanh gấp đôi dòng kích từ trong khoảng 0,5 giây

hay là $\frac{U_{tm(0,5)} - U_{tdm}}{U_{tdm}} \approx 2$ như hình 5-5.

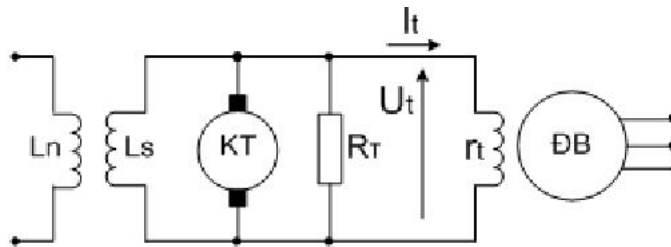
3. Triệt từ trường kích thích, nghĩa là giảm nhanh dòng I_t đến không (khi sự cố ngắn mạch nội bộ dây quấn stator) mà điện áp trên điện trở triệt từ R_T không vượt quá 5 lần U_{tdm} để bảo vệ cách điện của dây quấn kích từ.



Hình 5-5. Cường bức kích thích máy đồng bộ

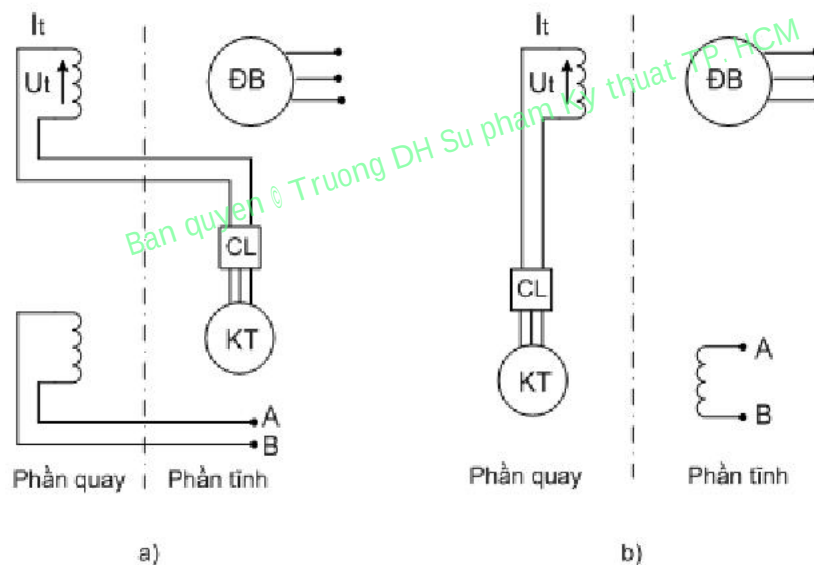
Có 3 loại hệ kích từ máy đồng bộ sau đây :

a. Hệ kích từ dùng máy kích từ một chiều (hình 5-6), trong đó máy kích từ KT có dây quấn kích thích song song L_s và dây quấn kích thích độc lập L_n được đưa vào dây quấn kích từ có điện trở r_t thông qua vành trượt và chổi điện.



Hình 5-6. Hệ kích từ dùng máy kích từ một chiều KT

b. Hệ kích từ dùng máy kích từ xoay chiều KT kết hợp với bộ chỉnh lưu CL (hình 5-7)



Hình 5-7. Hệ kích từ máy phát xoay chiều - chỉnh lưu

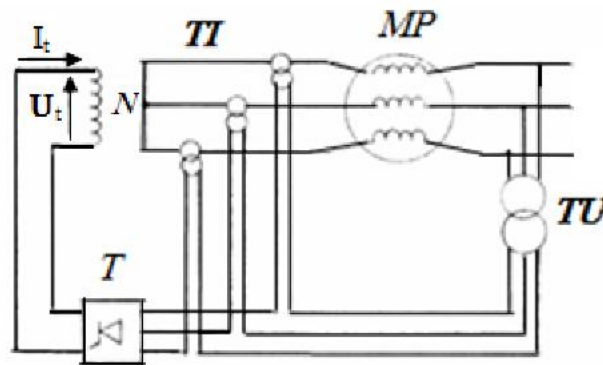
Trên hình vẽ có hai phương án: a) máy kích từ xoay chiều có phần cảm quay, phần ứng tĩnh và b) máy kích từ xoay chiều có phần cảm tĩnh và phần ứng quay. Ở đây phần tĩnh và phần quay được trình bày tách biệt bằng đường phân ranh giới thẳng đứng.

Muốn dòng điện đi qua đường phân ranh giới đó cần phải có vành trượt và chổi điện. Rõ ràng là phương án b) không đòi hỏi có vành trượt và chổi điện. Ưu điểm đó rất quan trọng đối với những máy đồng bộ công suất lớn cần dòng kích từ mạnh (khoảng 3000 A cho máy phát đồng bộ 600 MW).

Tuy nhiên giải pháp này kéo theo những khó khăn về chế tạo phần ứng quay (so với chế tạo phần cảm quay), hơn nữa các diốt chỉnh lưu phải chịu các lực ly tâm lớn và phải được đặt sao cho rôto đảm bảo cân bằng động. Máy kích từ xoay chiều được nối trực với máy phát đồng bộ. Dòng

điện phản ứng của máy kích từ điều chỉnh trực tiếp dòng kích từ I_t . Dùng tiristo chỉnh lưu sẽ làm tăng nhanh đáp ứng điều khiển, nhưng đối với phương án b) khó khăn gặp phải là vấn đề truyền tín hiệu điều khiển vào tiristo quay.

c. Hệ tự kích thích : hình (5-8) trình bày một sơ đồ tự kích thích hỗn hợp nối tiếp. Trong trường hợp này điện áp và dòng kích từ tỷ lệ với tổng vector các điện áp U_T và U_I của các máy biến điện áp TU và máy biến dòng TI.



Hình 5-8. Hệ tự kích thích hỗn hợp của máy đồng bộ

III. CÁC TRỊ SỐ CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Công suất có ý nghĩa là công suất đầu ra của máy tính toán theo các điều kiện phát nóng và làm việc lâu dài mà không bị hư hỏng được gọi là công suất định mức của máy .

Các đại lượng có liên quan biểu thị cho chế độ làm việc đó cũng được gọi là các đại lượng định mức và đều được ghi trên nhãn máy.

Nói chung trên nhãn của máy điện đồng bộ có ghi các số liệu sau đây: 1.kiểu máy, 2.số pha, 3.tần số(Hz), 4.công suất định mức (KW hay KVA), 5.điện áp dây (V), 6.sơ đồ nối các pha của phần tĩnh, 7.các dòng điện stato và rôto (A), 8.hệ số công suất, 9.tốc độ quay (vg/ph), 10.cấp cách điện của dây quấn stato và rôto.

Ngoài ra trên nhãn máy còn ghi tên nhà máy chế tạo, năm chế tạo.

CÂU HỎI

1. Vì sao lõi thép rôto của máy điện đồng bộ có thể chế tạo được bằng khối thép rèn hoặc bằng các lá thép dày mà không cần phải dùng đến tôn silic như ở lõi thép stator ?
2. Thử vẽ cách nối các cuộn dây của cực từ trong máy điện đồng bộ cực ẩn và cực lộ ?

§ 5.2 QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

I. ĐẠI CƯƠNG

Sau khi đã phân tích từ trường của máy điện đồng bộ lúc không tải và lúc có tải, trong chương này ta phân tích các quan hệ điện từ chính làm cơ sở cho việc nghiên cứu các đặc tính của máy phát và động cơ điện đồng bộ. Các quan hệ điện từ chính được nêu lên ở đây bao gồm các phương trình điện áp và đồ thị vectơ tương ứng, giản đồ cân bằng năng lượng, công suất điện từ của máy điện đồng bộ. Do tính chất thuận nghịch của máy điện nên ta sẽ xét các quan hệ điện từ nói trên trong các trường hợp máy làm việc như máy phát điện và động cơ điện, ngoài ra còn xét trường hợp đặc biệt khi máy làm việc như máy bù đồng bộ.

Vì cấu tạo của máy điện đồng bộ có thể là cực ẩn hoặc cực lồi và tương ứng máy sẽ có những đặc điểm khác cho nên trong từng vấn đề trên ta cũng cần xét riêng biệt đối với từng loại máy.

II. PHƯƠNG TRÌNH ĐIỆN ÁP VÀ ĐỒ THỊ VECTƠ CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Chế độ làm việc của máy điện đồng bộ ở tốc độ quay $n = \text{const}$ được thể hiện rõ ràng thông qua các quan hệ giữa các đại lượng E , U , I , I_t , $\cos \varphi$, trong đó một số quan hệ chính được suy ra từ phương trình cân bằng điện áp của máy. Ở tải đối xứng ta có thể xét riêng rẽ từng pha và phương trình cân bằng điện áp tổng quát của một pha có dạng sau đây:

Đối với máy phát điện đồng bộ:

$$\dot{U} = \dot{E}_u - \dot{I}(r_u + jx_{ou}) \quad (5-1)$$

Đối với động cơ điện đồng bộ (hoặc máy bù đồng bộ):

$$\dot{U} = \dot{E}_u + \dot{I}(r_u + jx_{ou}) \quad (5-2)$$

Trong các phương trình (5-1) và (5-2):

$\dot{U}$ là điện áp ở hai đầu cực máy.

r_u và x_{ou} là điện trở và điện kháng tản từ của dây quấn phần ứng.

$\dot{E}_u$ là sức điện động cảm ứng trong dây quấn do từ trường khe hở.

Từ trường khe hở lúc có tải là do từ trường cực từ $\dot{F}_t$ và từ trường phản ứng $\dot{F}_u$ sinh ra.

Khi mạch từ của máy không bão hoà có thể xem như các từ trường $\dot{F}_t$, $\dot{F}_u$ độc lập sinh ra trong dây quấn các s.đ.đ $\dot{E}_o$ và $\dot{E}_u$, và ứng dụng nguyên lý xếp chồng ta có:

$$\dot{E}_\delta = \dot{E}_o + \dot{E}_u \quad (5-3)$$

Khi mạch từ của máy bão hoà thì nguyên lý xếp chồng nói trên không áp dụng được. Trong trường hợp đó phải xác định từ trường tổng $\dot{F}_o + \dot{F}_u$ và từ thông tổng ở khe hở, sau đó suy ra s.đ.đ $\dot{E}_\delta$.

1. Trường hợp máy phát điện

Vì hiện tượng bão hoà mạch từ có ảnh hưởng rất nhiều đối với việc thành lập s.đ.đ. và điện áp ở đầu máy nên dưới đây sẽ xét chương trình cân bằng điện áp và đồ thị vectơ trong hai trường hợp máy điện không bão hoà và máy điện bão hoà.

a. Trường hợp mạch từ không bão hoà : Giả thử máy phát điện đồng bộ làm việc với tải đối xứng có tính cảm $0 < \varphi < 90^\circ$.

Trong trường hợp máy cực ẩn, đem kết hợp (5-1) và (5-3) ta có phương trình cân bằng điện áp sau:

$$\dot{U} = \dot{E}_o + \dot{E}_u - \dot{I}(r_u + jx_{ou}) \quad (5-4)$$

Ta có :

$$\dot{E}_u = -j \dot{I} x_u$$

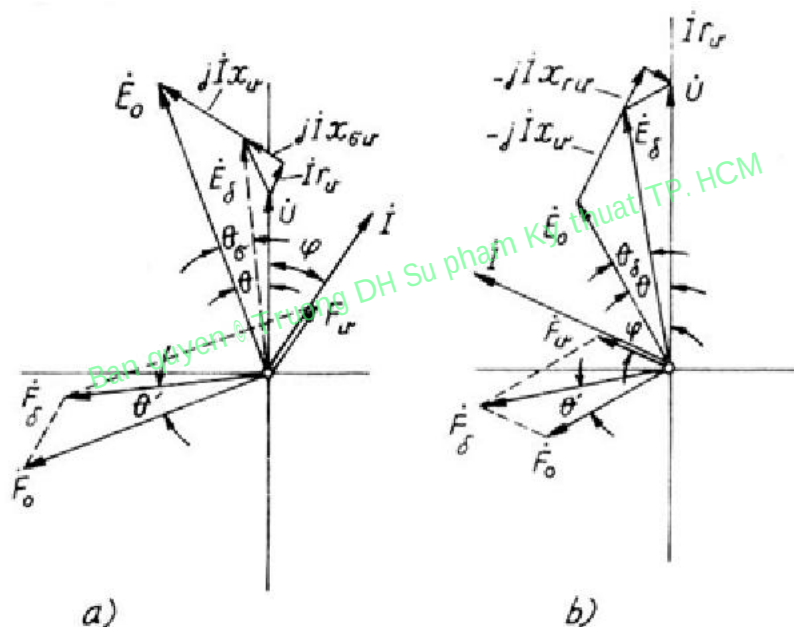
$$\Rightarrow \dot{U} = \dot{E}_o - j \dot{I}(x_u + x_{ou}) - \dot{I} r_u \quad (5-5)$$

$$= \dot{E}_o - j \dot{I} x_{db} - \dot{I} r_u \quad (5-6)$$

trong đó $x_{db} = x_u + x_{ou}$ là điện kháng đồng bộ.

Đối với máy phát điện đồng bộ cực ẩn : $x_{db} = 0,7 \div 1,6$.

Đồ thị vector tương ứng với (5-5) trình bày trên hình 5-9.



Hình 5-9. Đồ thị s.d.d của máy phát điện đồng bộ cực ẩn ở tải có tính cảm a) và ở tải có tính dung b)

Trên hình cũng vẽ vector Φ_o (F_o), vượt trước $\dot{E}_o$ góc $\pi/2$ và vector Φ_u (F_u) vượt trước $\dot{E}_u = -j \dot{I} x_u$ góc $\pi/2$. Tổng hình học của $\Phi_o + \Phi_u = \Phi_\delta$ sinh ra $\dot{E}_\delta$ và cũng vượt trước vector $\dot{E}_\delta$ góc $\pi/2$. Trong trường hợp máy điện cực lồi ta phân s.t.d phản ứng $\dot{F}_u$ thành hai thành phần dọc trục $\dot{F}_{ud}$ và ngang trục $\dot{F}_{uq}$.

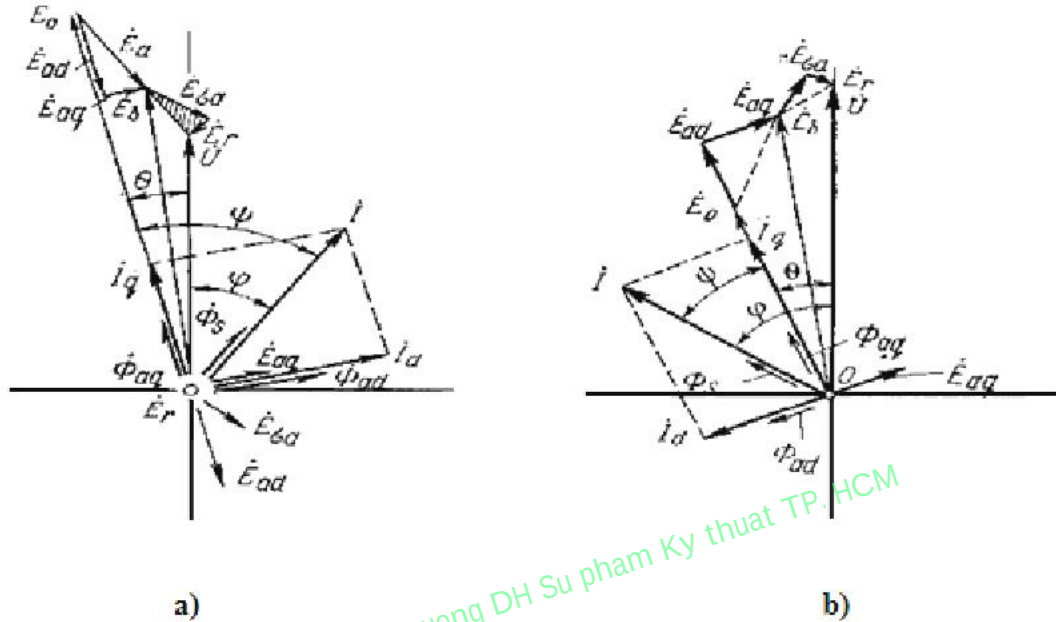
Từ thông Φ_{ud} , Φ_{uq} tương ứng với các s.t.d $\dot{F}_{ud}$, $\dot{F}_{uq}$ sẽ sinh ra trong dây quấn phần ứng các s.d.d $\dot{E}_{ud} = -j \dot{I}_d x_{ud}$ và $\dot{E}_{uq} = -j \dot{I}_q x_{uq}$.

Phương trình cân bằng s.t.d có dạng:

$$\vec{U} = \vec{E}_0 + \vec{E}_{ud} + \vec{E}_{uq} - I (r_{ur} + jx_{\sigma ur}) \quad (5-7)$$

$$= \vec{E}_0 - jI_d x_{ud} - jI_q x_{uq} - jI x_{\sigma ur} - I r_{ur} \quad (5-8).$$

Đồ thị vector s.d.đ. tương ứng với (5-8) được trình bày trên hình 5-10 và mang tên là đồ thị Blondel.



Hình 5-10. Đồ thị s.d.đ. của máy phát điện cực lõi ở tải có tính cảm a) và ở tải có tính dung b)

Vector $-jI x_{\sigma ur}$ trong biểu thức (5-8) do từ thông tản sinh ra và không phụ thuộc vào từ dẫn của khe hở theo các hướng dọc trục và ngang trục. Tuy nhiên nếu phân tích nó thành các thành phần theo hai hướng đó ta có:

$$\begin{aligned} -jI x_{\sigma ur} &= -j(I x_{\sigma ur} \cos \Psi + I x_{\sigma ur} \sin \Psi) \\ &= -jI_q x_{\sigma ur} - jI_d x_{\sigma ur} \end{aligned}$$

Lúc này biểu thức (5-8) trở thành:

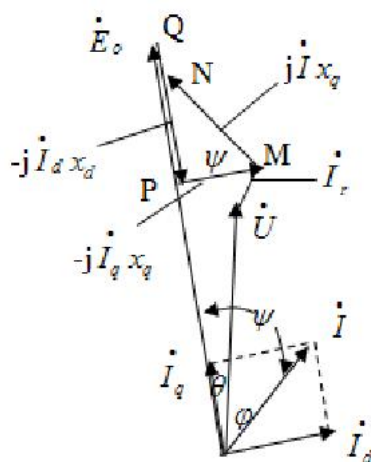
$$\begin{aligned} \vec{U} &= \vec{E}_0 - jI_d (x_{ud} + x_{\sigma ur}) - jI_q (x_{uq} + x_{\sigma ur}) - I r_{ur} \\ &= \vec{E}_0 - jI_d x_d - jI_q x_q - I r_{ur} \end{aligned} \quad (5-9)$$

Trong đó : $x_d = x_{ud} + x_{\sigma ur}$ là điện kháng đồng bộ dọc trục.

$x_q = x_{uq} + x_{\sigma ur}$ là điện kháng đồng bộ ngang trục.

Thường thì $x_d^* = 0,7 \div 1,2$; $x_q^* = 0,46 \div 0,76$.

Đồ thị s.d.đ. tương ứng với biểu thức (5-9) trình bày trên hình (5-11).



Hình 5-11. Đồ thị s.d.đ đã biến đổi của máy phát điện cực lỗi.

Chú ý rằng ở hình (5-11), trên đường thẳng góc I và qua điểm M thì đoạn $MN = I_q x_q / \cos \Psi = I x_q$. Vì vậy trong trường hợp biết $U, I, \varphi, r_u, x_q, x_d$, và cần xác định E_0 ta lần lượt vẽ các vectơ $U, I r_u$, sau đó vẽ $MN = I x_q$ thì N sẽ nằm trên phương của E_0 . Hạ đoạn thẳng thẳng góc MP với phương của E_0 thì $MP = I_q x_q$ và vẽ $PQ = I_d x_d$ thì OQ chính là s.d.đ E_0 .

Ở trên, các đồ thị vector đều được thành lập ứng với tải có tính cảm. Nếu tải có tính dung $0 > \varphi > -\pi/2$ thì các đồ thị vector có dạng như trên hình 5-9b và 5-10b, khi đó do tính chất trợ từ của phản ứng nên $E_\delta > E_0$.

b. Đồ thị vector điện áp của máy điện đồng bộ khi xét đến bão hoà

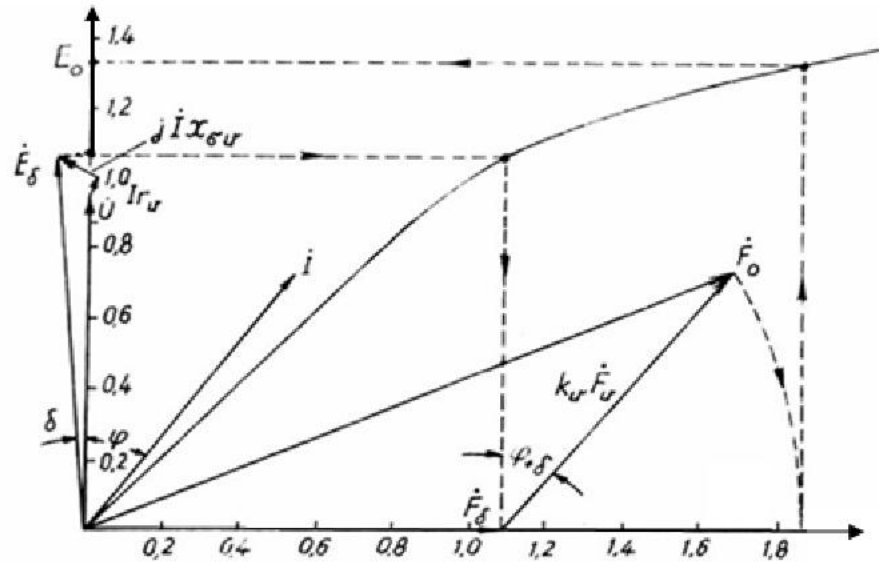
Các đồ thị trên những hình 5-9 và 5-10 được suy ra ứng với trường hợp mạch từ không bão hoà, tuy nhiên vẫn có thể ứng dụng đối với trường hợp mạch từ bão hoà ở chế độ tải lúc đó.

Vì các hệ số bão hoà $k_{\mu d}$ và $k_{\mu q}$ rất khó tính được chính xác, nên trên thực tế các đồ thị vector điện áp của máy điện đồng bộ trong trường hợp mạch từ bão hoà được thành lập dựa vào các đồ thị s.d.đ. và s.t.đ kết hợp với đường cong không tải (tức đường cong từ hoá) của máy.

Đối với máy phát đồng bộ cực ẩn, đồ thị vector điện áp thành lập dựa theo cơ sở nói trên được gọi là đồ thị sức từ điện động (viết tắt là s.t.đ.đ.) và có tên là đồ thị Pôchiê. Giả sử $U, I, \cos \varphi, r_u, x_{\delta u}$ và đặc tính không tải được cho trước. Để thành lập đồ thị s.t.đ.đ., trên trục tung của đường cong không tải vẽ vector U và vector I chậm sau U góc φ . Cộng vector U với các vector $I r_u$ và $j I x_{\delta u}$ được E_δ . Từ đường cong không tải ứng với E_δ có thể xác định được s.t.đ F_δ hoặc dòng điện từ hoá tương ứng. Cộng hình học F_δ và $F_u k_u$ với sự chú ý rằng $F_u k_u$ làm thành với F_δ góc $90^\circ + (\varphi + \delta)$ như đã biết trên hình (5- 12) ta tìm được F_0 . Từ đường cong không tải ứng với trị số của F_0 ta xác định được trị số của E_0 lúc không tải.

Đồ thị Pôchiê cho phép xác định $\Delta U = E_0 - U_{dm}$ và dòng điện từ hoá i_t (hoặc F_0) ứng với tải định mức hoặc tải bất kì, do đó rất cần thiết cho lúc thiết kế và vận hành. Tuy ở đây s.t.đ của phản ứng

không được phân thành F_{ud} và F_{uq} nhưng đôi khi đồ thị Pôchiê cũng được ứng dụng cả cho máy điện cực lõi. Sai số lúc đó thuộc về E_0 vào khoảng $5 \div 10 \%$.



Hình 5-12. Đồ thị Pôchiê của máy phát điện đồng bộ

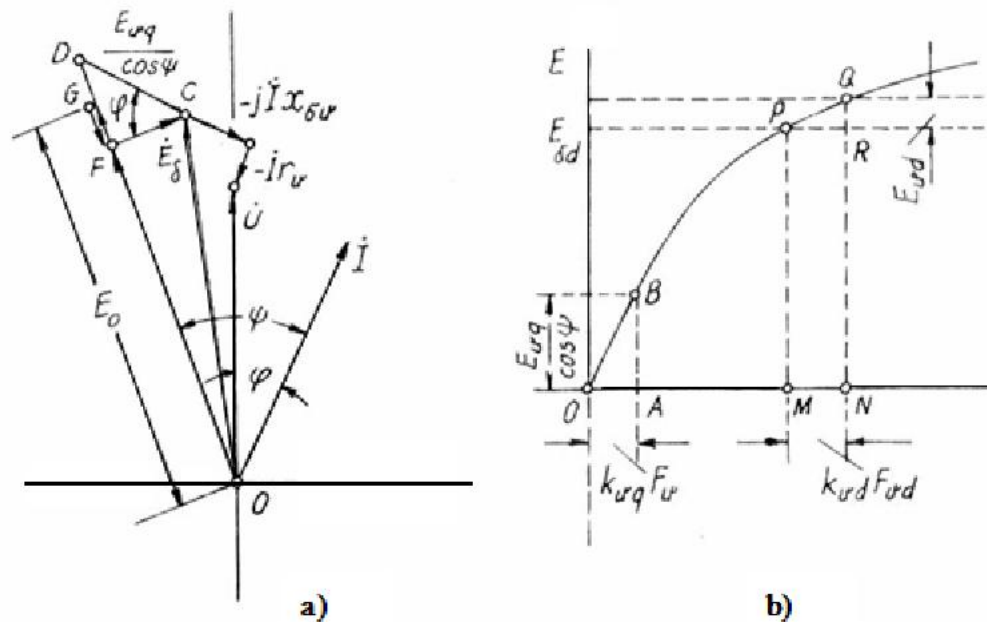
Đối với máy phát đồng bộ cực lồi, việc thành lập đồ thị vector có xét đến trạng thái bão hoà của mạch từ một cách chính xác gặp rất nhiều khó khăn, vì lúc đó từ thông dọc trục Φ_d và ngang trục Φ_q có liên quan với nhau và thường trạng thái bão hoà theo hai phương đó là khác nhau. Như vậy x_{ud} không những phụ thuộc vào Φ_d mà còn phụ thuộc vào Φ_q và tương tự thì x_{uq} cũng phụ thuộc theo cả Φ_d và Φ_q . Để đơn giản ta cho rằng từ thông dọc trục hoặc ngang trục chỉ ảnh hưởng đến trạng thái bão hoà của hướng trục đó thôi, hơn nữa giả thử rằng mức độ bão hoà hướng ngang trục $k_{\mu q}$ đã biết.

Như vậy sau khi vẽ các vectơ $\overset{*}{U}$, $\overset{*}{I_{r_{ur}}}$, $\overset{*}{jI_{x_{sur}}}$ và có được $\overset{*}{E_{\delta}}$ (hình 5-13a) theo hướng $\overset{*}{I_{x_{sur}}}$ ta vẽ đoạn :

$$CD = I_{x_{rq}} = \frac{E_{uq}}{\cos \Psi} \quad (5-10)$$

$$X_{uq} = \frac{E_{uq}}{I_a}$$

và xác định được phương của E_0^* . Nếu k_{uq} chưa cho trước thì có thể lấy gần đúng bằng $1,1 \div 1,15$. Nếu không tính x_{uq} thì CD cũng có thể xác định được bằng trị số AB của đường cong không tải ứng với s.t.đ ngang trục của phần ứng đã qui đổi về s.t.đ của cực từ : $F_{uq} = k_{uq}F_u = OA$ vì có thể xem như E_{uq} tỷ lệ F_{uq} (hình 5-13b).



Hình 5-13. Xác định đồ thị vector s.t.d.đ và độ thay đổi điện áp của máy đồng bộ cực lồi khi bão hòa

Vì điểm D nằm trên phương của E_0^* nên đoạn CF thẳng góc với phương của E_0^* chính là $I_q x_{uq}$.

Sức từ động của cực từ theo hướng dọc trục gồm hai phần : một phần để sinh ra s.đ.đ $E_{\delta d} = OF = MP$ có trị số bằng OM (hình 5-13b) và một phần để khắc phục phản ứng dọc trục $MN = OM + MN$ là s.đ.đ $E_0 = NQ$ lúc không tải của máy. Từ hình 5-13b ta cũng thấy $E_{ud} = NQ - RN$. Lấy đoạn $OG = E_0$ trên phương của E_0^* trên hình 5-13a thì $GF = E_{ud}$ và đồ thị véctơ của máy được thành lập xong.

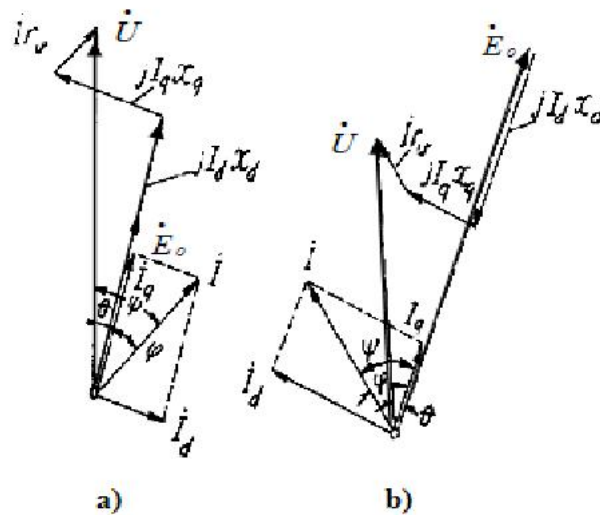
2. Trường hợp động cơ điện

Khi chuyển sang làm việc như động cơ điện đồng bộ, máy phát ra công suất âm đưa vào mạng điện hay nói khác đi tiêu thụ công suất lấy từ mạng để biến thành cơ năng. Như đã biết, động cơ đồng bộ thường có cấu tạo cực lồi nên nếu gọi điện áp lưới điện là U , từ phương trình (5-2) đối với máy cực lồi ta có:

$$\begin{aligned} U &= E_{\delta}^* + I (r_u + j x_{\sigma u}) \\ &= E_0^* + E_{ud}^* + E_{uq}^* + I (r_u + j x_{\sigma u}) \\ &= E_0^* + j I_d x_d + j I_q x_q + I r_u. \end{aligned} \quad (5-11)$$

Đồ thị véctơ tương ứng với phương trình (5-11) được trình bày trên hình 5-14.

Từ đồ thị ta thấy công suất do động cơ tiêu thụ từ lưới mạng điện $P = mUI \cos \varphi < 0$.



Hình 5-14. Đồ thị vector của động cơ điện đồng bộ khi thiếu kích thích a) và khi quá kích thích b)

III. Cân bằng năng lượng trong máy điện đồng bộ

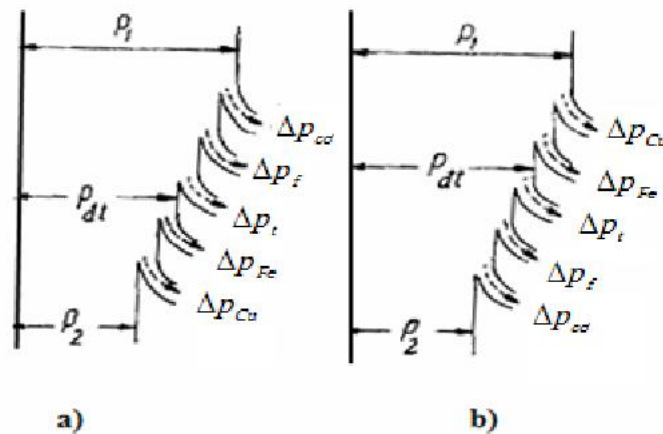
Giả thử rằng máy đồng bộ có cấu tạo thông thường, nghĩa là cực từ trên rôto và máy kích thích đặt trên cùng trục.

Ở trường hợp máy phát điện đồng bộ thì công suất điện từ P_{dt} chuyển từ rôto sang stato bằng công suất cơ P_1 đưa vào trừ các tổn hao cơ Δp_{co} , tổn hao kích từ Δp_t và tổn hao phụ Δp_f do các từ trường bậc cao trong sắt rôto và stato:

$$P_{dt} = P_1 - (\Delta p_{co} + \Delta p_t + \Delta p_f).$$

Công suất điện P_2 ở đầu ra sẽ bằng công suất điện từ trừ đi tổn hao đồng Δp_{Cu} trên dây quấn phần ứng và tổn hao sắt từ Δp_{Fe} :

$$P_2 = P_{dt} - \Delta p_{Cu} - \Delta p_{Fe}$$



Hình 5-15. Giải đồ năng lượng của máy phát điện đồng bộ a) và động cơ điện đồng bộ b)

Đối với động cơ điện thì quá trình biến đổi năng lượng tiến hành ngược lại. Sơ đồ năng lượng của máy phát điện và động cơ điện đồng bộ trình bày trên hình (5-15). Ta thấy ở trường hợp động cơ điện, công suất điện từ P_{dt} truyền qua từ trường stato sang rôto, ngoài tổn hao kích từ Δp_t lấy từ công suất điện của mạng khác với trường hợp máy phát điện, lấy từ công suất cơ trên trục.

IV. Các đặc tính góc của máy điện đồng bộ

Giả thử tốc độ quay n của máy và điện áp U của nạng điện là không đổi, ta hãy xét các đặc tính góc công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy điện đồng bộ.

1. Đặc tính góc công suất tác dụng

Đặc tính công suất tác dụng của máy điện đồng bộ là quan hệ $P = f(\theta)$ khi $E_0 = \text{const}$, $U = \text{const}$, trong đó θ là góc tải giữa các vectơ s.d.đ $\dot{E}_0$ và điện áp $\dot{U}$. Việc nghiên cứu các đặc tính này cho phép giải thích được nhiều được nhiều tính chất quan trọng của máy.

Trong khi nghiên cứu đặc tính góc đó, để đơn giản ta bỏ qua r_u vì trị số của nó rất nhỏ so với các điện kháng đồng bộ (x_{db}, x_d, x_q).

Như đã biết, công suất của máy đồng bộ ở đầu cực của máy bằng:

$$P = mUI \cos \varphi$$

Đối với máy đồng bộ cực lõi theo đồ thị vectơ hình (5-11) với $r_u = 0$, ta có:

$$I_d = \frac{E_0 - U \cos \theta}{x_d};$$

$$I_q = \frac{U \sin \theta}{x_q}$$

$$\varphi = \Psi - \theta$$

(5-12)

Do đó:

$$P = mUI \cos \varphi = mUI \cos (\Psi - \theta)$$

$$= mU(I \cos \Psi \cos \theta + I \sin \Psi \sin \theta)$$

$$= mU(I_q \cos \theta + I_d \sin \theta)$$

$$= \frac{mU^2}{x_q} \sin \theta \cos \theta + \frac{mE_0 U}{x_d} \sin \theta - \frac{mU^2}{x_d} \sin \theta \cos \theta$$

$$\text{Hay : } P = \frac{mUE_0}{x_d} \sin \theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (5-13)$$

$$= P_e + P_u.$$

Trong hệ đơn vị tương đối ta có:

$$P_* = \frac{E_{0*} U_*}{x_{d*}} \sin \theta + \frac{U_*^2}{2} \left(\frac{1}{x_{q*}} - \frac{1}{x_{d*}} \right) \sin 2\theta. \quad (5-14)$$

Trị số của P_u nhỏ hơn nhiều so với P_e . Để thấy rõ điều đó ta ví dụ máy phát điện cực lõi có $x_{d*} = 1,1$; $x_{q*} = 0,75$. Khi máy làm việc với tải định mức ($U_* = 1$; $I_* = 1$; $\cos \varphi = 0,8$) qua đồ thị vectơ s.d.đ. có thể suy ra $E_{0*} = 1,87$; $\theta_{dm} = 22^\circ 27'$. Thay các trị số đó vào (5-14) được:

$$P_{dm*} = \frac{1,87.1}{1,1} \sin 22^\circ 27' + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{0,75} - \frac{1}{1,1} \right) \sin 2.22^\circ 27'$$

$$= 0,65 + 0,15 = 0,8.$$

Ta thấy rằng $P_{u*} = 0,15$ và chỉ chiếm 19% công suất của máy.

Ở trên là biểu thức toán học của công suất tác dụng $P = f(\theta)$ trong điều kiện E_0 (hoặc i_t) không đổi và điện áp U của máy điện ở đầu cực của máy không đổi. Cần chú ý rằng do bỏ qua tổn hao đồng trên dây quấn phần tĩnh và tổn hao sắt từ nên nó cũng là công suất điện từ của máy.

Từ biểu thức đó ta thấy công suất tác dụng của máy cực lõi gồm hai thành phần: thành phần P_e tỉ lệ với $\sin \theta$ và phụ thuộc vào E_0 (hoặc i_t) và thành phần P_u tỉ lệ với $\sin 2\theta$ và không phụ thuộc vào E_0 (hoặc i_t).

Như vậy trong máy động bộ cực lõi, khi bị mất hoặc không có kích thích $i_t = 0$ ($E_0 = 0$) công suất $P = P_u \neq 0$.

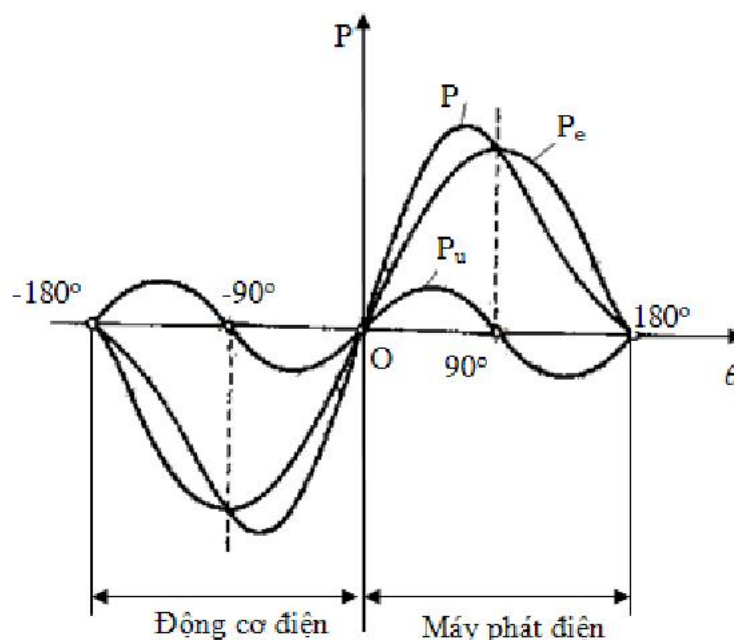
Điều đó có thể giải thích được như sau: khi $i_t = 0$ trong máy chỉ có từ trường của phần ứng. Do cấu tạo bởi cực lõi của rôto, từ trở dọc trục nhỏ hơn từ trở ngang trục nên các đường sức của từ trường quay của phần ứng luôn có xu hướng đi theo dọc trục. Khi có sự xô dịch giữa trục từ trường phần ứng và trục cực, các đường sức đó bị uốn, tạo momen và công suất điện. Do công suất P_u rất nhỏ nên kiểu máy có rôto cực lõi và không có dây quấn kích thích được dùng chủ yếu làm động cơ điện có công suất vài chục oát và mang tên là động cơ điện phản kháng.

Đối với đồng bộ cực ẩn, do $x_d = x_q$ nên từ biểu thức (5-13) có:

$$P = m \frac{UE_0}{x_d} \sin \theta \quad (5-15)$$

với θ là góc giữa các vector E_0^* và U^*

Đường biểu diễn đặc tính góc công suất tác dụng $P = f(\theta)$ của các máy điện đồng bộ cực lõi trình bày trên hình 5-16, trong đó $\pi > \theta > 0$ ứng với trường hợp làm việc như máy điện, còn $0 > \theta > -\pi/2$ ứng với trường hợp làm việc như động cơ điện.



Hình 5-16. Đặc tính góc công suất tác dụng của máy phát đồng bộ cực lõi

2. Đặc tính góc công suất phản kháng

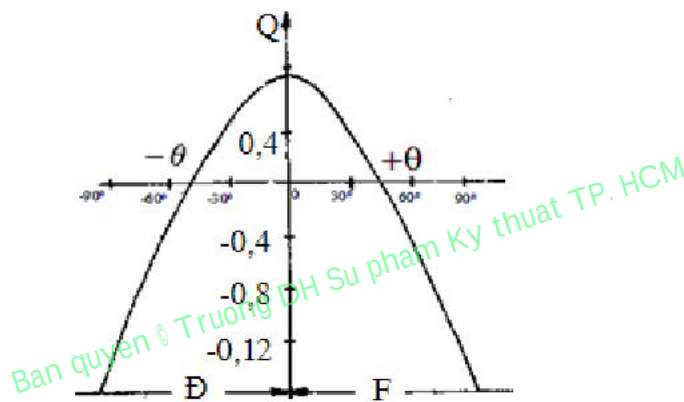
Công suất phản kháng của máy điện đồng bộ bằng :

$$\begin{aligned} Q &= mUI \sin \varphi = mUI \sin(\Psi - \theta) \\ &= mU (I \sin \Psi \cos \theta - I \cos \Psi \sin \theta) \\ &= mU (I_d \cos \theta - I_q \sin \theta) \end{aligned}$$

Sau khi thay trị số của I_d , I_q theo (5-12) ta được :

$$Q = \frac{mUE_o}{x_d} \cos \theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta - \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_d} + \frac{1}{x_q} \right) \sin^2 \theta \quad (5-16)$$

Vì khi θ có trị số dương hoặc âm thì trị số của Q theo (5-16) vẫn không đổi nên đặc tính góc công suất phản kháng của máy phát điện và động cơ điện giống nhau và có dạng như hình 5-17 .



Hình 5-17. Đặc tính góc công suất phản kháng của máy điện đồng bộ cực lỗi

Khi $-\theta' < \theta < +\theta'$ máy phát công suất phản kháng vào lưới điện. Ngoài phạm vi trên của θ , máy tiêu thụ công suất phản kháng lấy từ lưới điện .

VÍ DỤ :

Một máy phát điện tuabin nước có các tham số $x_d^* = 0,843$; $x_q^* = 0,554$. Giả sử máy làm việc ở tải định mức với U_{dm} , I_{dm} , $\cos \varphi_{dm} = 0,8$. Hãy tính s.đ.đ E_o , góc tải θ_{dm} và độ thay đổi điện áp ΔU .

Giải

Dựa vào đồ thị s.đ.đ trên hình (5-11) : lấy vector $\dot{U}$ làm gốc và biểu thị trong hệ đơn vị tương đối ta có :

$$\dot{U}_{dm} = 1 \angle 0^\circ$$

$$\dot{I}_{dm} = 1 \angle -36^\circ 9' \quad (\text{vì } \cos \varphi_{dm} = 0,8 \Rightarrow \varphi_{dm} = 36^\circ 9')$$

$$\dot{U}_{dm} + j \dot{I}_{dm} x_q^* = 1 \angle 0^\circ + j (1 \angle -36^\circ 9') \cdot 0,554$$

$$= 1 + j(0,8 - j0,6).0,554$$

$$= 1,332 + j0,443$$

$$\theta_{dm} = \arctg \frac{0,443}{1,332} = 18^\circ 5$$

Góc giữa các vectơ $\dot{E}_o$ và $\dot{U}$ có trị số :

$$\Psi = \Psi_{dm} + \theta_{dm} = 36^\circ 9 + 18^\circ 5 = 55^\circ 4$$

Từ đồ thị s.d.đ trên hình (5-11), trị số của $\dot{E}_{o*}$ xác định như sau :

$$\dot{E}_{o*} = U_* \cos \theta + I_{d*} x_{d*}$$

với

$$I_{d*} = I_* \sin \Psi = 1. \sin 55^\circ 4 = 0,823$$

$$\Rightarrow \dot{E}_{o*} = 1 \cos 18^\circ 5 + 0,823.0,844 = 1,643$$

Độ thay đổi điện áp :

$$\Delta U_{dm} \% = \frac{E_o - U_{dm}}{U_{dm}} 100 = 64,3 \%$$

CÂU HỎI

1. Vì sao trong máy điện đồng bộ cực lõi phải chia s.d.đ F_{ur} thành 2 thành phần F_{ur} và F_{urq}
2. Vẽ sơ đồ không gian biểu thị vị trí cực từ so với dây quấn ba pha tương ứng với các hình 5-9a và 5-10a. Giả sử rằng máy có $2p = 2$; $q = 1$.
3. Nêu rõ sự khác nhau giữa đồ thị s.d.đ và đồ thị s.t.đ của máy phát điện đồng bộ ?

BÀI TẬP

1. Cho một máy phát điện đồng bộ cực lõi 8750 kVA , 11 kV , nối Y có $x_d = 17 \Omega$, $x_q = 9 \Omega$, $r_{ur} = 0$, làm việc ở tải định mức với $\cos \varphi_{dm} = 0,8$. Hãy tính :

- a. Trị số của x_d , x_q trong hệ đơn vị tương đối
- b. Sức điện động E_o và góc θ ứng với tải định mức .
- c. Công suất điện từ của máy lúc đó

Đáp số : a. $x_{d*} = 1,23$
 $x_{q*} = 0,464$
 b. $E_{o*} = 1,97$; $E_o = 12,51$ kV
 $\theta = 20^\circ 5$
 c. $P_{dt} = 0,8$; $P_{dt} = 7000$ kW

2. Cho một máy phát điện 3 pha cực lõi $U_{f\bar{a}m} = 220$ V, $I_{dm} = 10$ A, $r_{ur} = 0,4 \Omega$, $\cos \varphi_{dm} = 0,8$; $\Psi = 60^\circ$; $E_o = 400$ V. Tính x_d ; x_q .

Đáp số : $x_d = 22,56 \Omega$; $x_q = 17,95 \Omega$

3. Cho máy phát điện đồng bộ 3 pha $P_{dm} = 500$ kW, $U_{dm} = 525$ kV, nối Y, $\cos \varphi_{dm} = 0,8$, $x_{ur*} = 0,84$; $x_{urq*} = 0,45$; $x_{o*} = 0,16$; $E_{f\bar{a}} = 404$; $\Psi = 42^\circ$, $r_{ur} = 0$. Hãy tính :

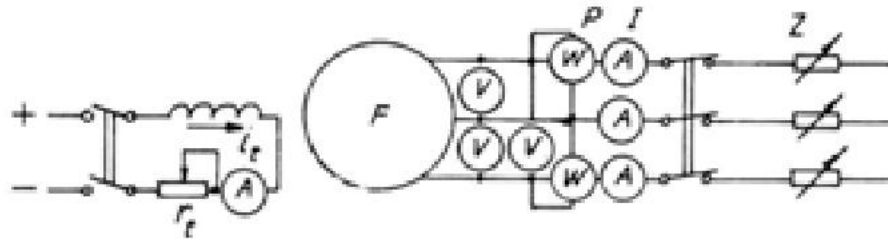
- a. Điện áp U và $\cos \varphi$ của máy khi làm việc ở tải nửa định mức .
- b. Công suất điện từ tương ứng.

Đáp số : a. $U = 303$ V; $\cos \varphi = 0,87$
 b. $P_{dt} = 250$ kW

§ 5.3 MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

I. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Sơ đồ nối dây của máy phát điện đồng bộ cần thiết để làm thí nghiệm lấy các đặc tính của máy phát điện đồng bộ được trình bày trên hình 5-18. Tải của máy điện là tổng trở Z có thể biến đổi (ví dụ tải điện trở ba pha ghép song song với tải cảm ba pha). Dòng điện kích thích i_t của máy phát điện lấy từ nguồn điện bên ngoài và điều chỉnh được nhờ biến trở r_t .

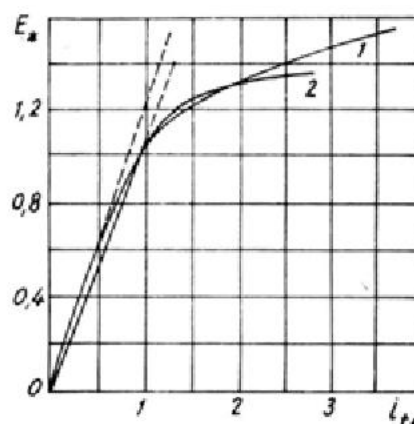


Hình 5-18. Sơ đồ nối dây xác định đặc tính của máy phát điện đồng bộ

1. Đặc tính không tải

Đặc tính không tải là quan hệ $E_o = U_o = f(i_t)$ khi $I = 0$ và $f = f_{dm}$.

Dạng đặc tính không tải của các máy phát điện đồng bộ cực ẩn và cực lồi khác nhau không nhiều và có thể biểu thị theo đơn vị tương đối $E_* = E_o/U_{dm}$ và $i_{t*} = i_t/i_{tdmo}$ như hình 5-19, trong đó i_{tdmo} là dòng điện không tải khi $U = U_{dm}$. Ta chú ý rằng mạch từ của máy phát điện turbin hơi bão hòa hơn mạch từ của máy phát điện turbin hơi nước. Khi $E_o = U_{dm} = E_* = 1$, đối với máy phát điện turbin hơi $k_{\mu l} = k_{\mu} = 1,2$; còn đối với máy phát điện turbin nước $k_{\mu l} = 1,06$.



Hình 5-19. Đặc tính không tải của máy phát turbin hơi (1) và máy phát turbin nước (2)

2. Đặc tính ngắn mạch và tỷ số ngắn mạch K

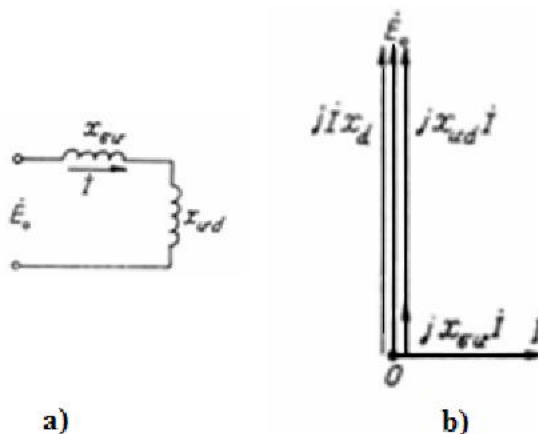
a. Đặc tính ngắn mạch là quan hệ $I_n = f(i_t)$ khi $U = 0$; $f = f_{dm}$ (khi đó dây quấn phần ứng được nối tắt ngay ở đầu máy).

Nếu bỏ qua điện trở của dây quấn phần ứng ($r_r = 0$) thì mạch điện dây quấn phần ứng lúc ngắn mạch là thuần cảm ($\psi = 90^\circ$), như vậy $I_q = I \cos \psi = 0$ và $I_d = I \sin \psi = I$ và đồ thị vectơ của máy phát điện lúc đó như hình 5-20a.

Theo biểu thức (5-9), ta có :

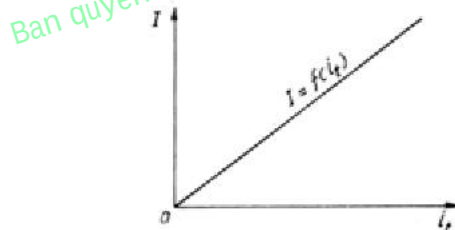
$$\dot{E}_o = +j \dot{I} x_d$$

Và mạch điện thay thế của máy có dạng như trên hình 5-20b.



Hình 5-20. Đồ thị véctơ và mạch điện thay thế của máy phát đồng bộ lúc ngắn mạch

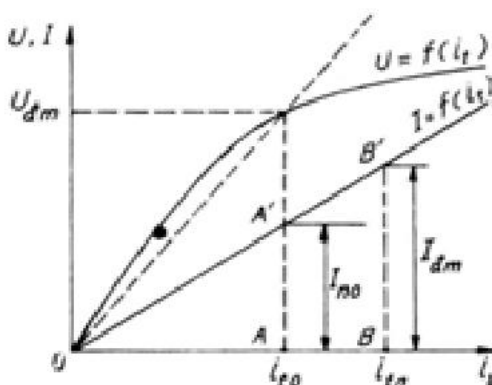
Lúc ngắn mạch phản ứng phần ứng là khử từ, mạch từ của máy không bão hoà, vì từ thông khe hở Φ_δ cần thiết để sinh ra $E_\delta = E_o - jIx_{ad} = jIx_{sc}$ rất nhỏ. Do đó quan hệ $I = f(i_t)$ là đường thẳng như hình 5-21.



Hình 5-21. Đặc tính ngắn mạch của máy phát đồng bộ

b. Tỷ số ngắn mạch K theo định nghĩa là tỷ số giữa dòng điện ngắn mạch I_{no} ứng với dòng điện kích thích sinh ra s.đ.đ $E_o = U_{dm}$ khi không tải với dòng điện định mức I_{dm} , nghĩa là :

$$K = \frac{I_{no}}{I_{dm}}$$



Hình 5-22. Xác định tỷ số ngắn mạch K

Theo định nghĩa đó từ hình 5-22, ta có :

$$I_{no} = \frac{U_{dm}}{x_d}$$

Trong đó x_d là trị số bão hoà của điện kháng đồng bộ dọc trục ứng với $E_o = U_{dm}$.

Từ hai biểu thức trên ta có :

$$K = \frac{U_{dm}}{x_d I_{dm}} = \frac{1}{x_{d*}}$$

Trong đó $x_{d*} > 1$ do đó $K < 1$ và dòng điện ngắn mạch xác lập $I_{no} < I_{dm}$, vì vậy có thể kết luận rằng dòng điện ngắn mạch xác lập của máy phát điện đồng bộ không lớn. Sở dĩ như vậy là do tác dụng khử từ rất mạnh của phản ứng phần ứng.

Từ hình 5-22, dựa vào các tam giác OAA' và OBB' có thể biểu thị tỷ số ngắn mạch K theo các dòng điện kích thích như sau :

$$K = \frac{I_{no}}{I_{dm}} = \frac{i_{to}}{i_{tm}}$$

Trong đó :

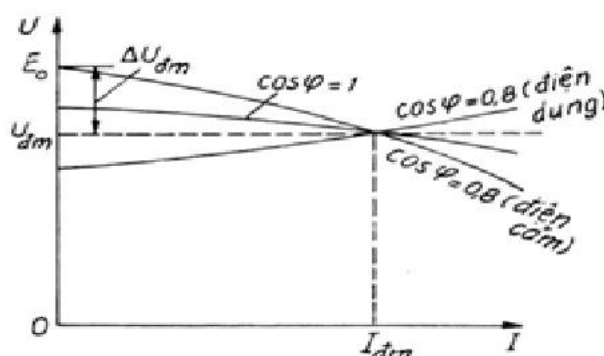
i_{to} là dòng điện kích thích khi không tải lúc $U_o = U_{dm}$

i_{tm} là dòng điện kích thích lúc ngắn mạch khi $I = I_{dm}$

Tỷ số ngắn mạch K là một tham số quan trọng của máy điện đồng bộ. Máy với K lớn có ưu điểm cho chế độ thay đổi điện áp ΔU nhỏ và theo biểu thức (5-13) sinh ra công suất điện từ lớn khiến cho máy làm việc ổn định khi tải dao động. Nhưng muốn K lớn nghĩa là x_{d*} nhỏ, phải tăng khe hở δ và như vậy đòi hỏi phải tăng cường dây quấn kích thích từ và tương ứng phải tăng kích thước máy. Kết quả là phải dùng nhiều vật liệu hơn và giá thành của máy cao. Thông thường đối với máy phát turbin nước $K = 0,8 \div 1,8$; còn đối với máy phát turbin hơi $K = 0,5 \div 1,0$.

3. Đặc tính ngoài và độ thay đổi điện áp ΔU_{dm} của máy phát đồng bộ

a. Đặc tính ngoài là quan hệ $U = f(I)$ khi $i_t = \text{Const.}$; $\cos \varphi = \text{Const.}$ và $f = f_{dm}$. Nó cho thấy lúc giữ kích thích không đổi, điện áp của máy thay đổi như thế nào theo tải. Khi lấy đặc tính này phải thay đổi tải I trên hình 5-18 sao cho $\cos \varphi = \text{Const.}$ rồi đo U và I ứng với các trị số khác nhau của tải Z. Dạng của các đặc tính ngoài ứng với các tính chất khác nhau của tải được trình bày trên hình 5-23.



Hình 5-23. Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ

Chú ý rằng trong mỗi trường hợp phải điều chỉnh dòng điện kích thích sao cho khi $I = I_{dm}$ có $U = U_{dm}$ sau đó giữ nó không đổi khi thay đổi tải. Dòng điện i_t ứng với $U = U_{dm}$; $I = I_{dm}$; $\cos \varphi = \cos \varphi_{dm}$; $f = f_{dm}$ được gọi là dòng điện từ hoá định mức.

Từ hình 5-23 ta thấy dạng của các đặc tính ngoài phụ thuộc vào tính chất của tải. Nếu tải có tính cảm khi I tăng, phản ứng khử từ của phần ứng tăng, điện áp giảm và đường biểu diễn đi xuống. Ngược lại nếu tải có tính dung khi I tăng, phản ứng phần ứng là trợ từ, điện áp tăng và đường biểu diễn đi lên.

b. Độ thay đổi điện áp định mức ΔU_{dm} của máy phát điện đồng bộ theo định nghĩa là sự thay đổi điện áp khi tải thay đổi từ định mức với $\cos \varphi = \cos \varphi_{dm}$ đến không tải, trong điều kiện không thay đổi dòng điện kích thích. Trị số của ΔU_{dm} thường biểu thị theo phần trăm của điện áp định mức, nghĩa là :

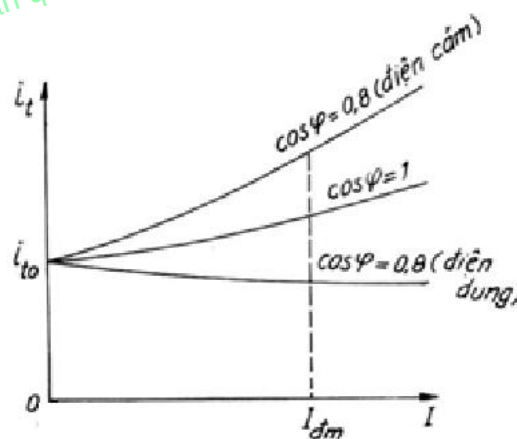
$$\Delta U_{dm} \% = \frac{E_o - U_{dm}}{U_{dm}} 100$$

Máy phát điện turbin hơi do có x_d lớn nên có ΔU lớn hơn so với máy phát điện turbin nước. Thông thường $\Delta U \% = (25 \div 35) \%$.

4. Đặc tính điều chỉnh

Đặc tính điều chỉnh là quan hệ $i_t = f(I)$ khi $U = \text{Const.}$; $\cos \varphi = \text{Const.}$; $f = f_{dm}$. Nó cho biết chiều hướng điều chỉnh dòng điện i_t của máy phát đồng bộ để giữ cho điện áp U ở đầu máy không đổi. Khi làm thí nghiệm lấy đặc tính điều chỉnh theo sơ đồ hình 5-18, phải thay đổi Z và đồng thời thay đổi i_t để có $U = \text{Const.}$; $\cos \varphi = \text{Const.}$.

Dạng của đặc tính ở các trị số $\cos \varphi$ khác nhau như trên hình 5-24.



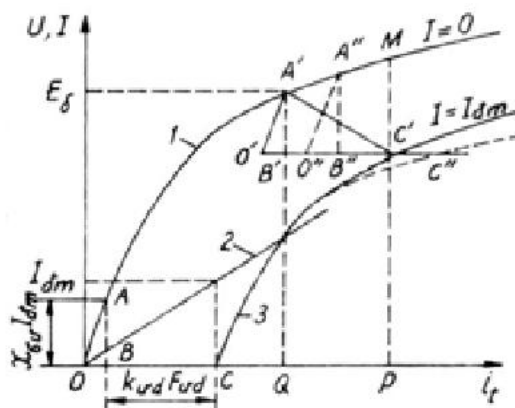
Hình 5-24. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện đồng bộ

Ta thấy với tải cảm khi I tăng, tác dụng khử từ của phần ứng cũng tăng làm cho U bị giảm. Để giữ cho U không đổi phải tăng dòng điện từ hoá i_t ; ngược lại ở tải dung khi I tăng, muốn giữ U không đổi phải giảm i_t . Thông thường $\cos \varphi_{dm} = 0,8$ (thuần cảm), nên từ không tải ($U = U_{dm}$; $I = 0$) đến tải định mức ($U = U_{dm}$; $I = I_{dm}$) phải tăng dòng điện từ hoá i_t khoảng $1,7 \div 2,2$ lần.

5. Đặc tính tải

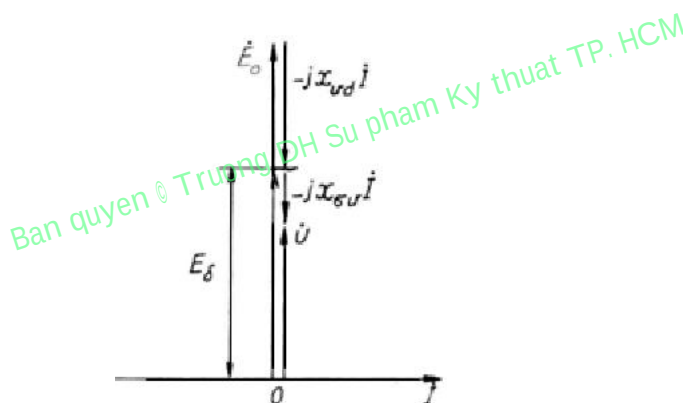
Đặc tính tải là quan hệ $U = f(i_t)$ khi $I = \text{Const.}$, $\cos \varphi = \text{Const.}$; $f = f_{dm}$. Với các trị số khác nhau của I và $\cos \varphi$ sẽ có các đặc tính tải khác nhau, trong đó có ý nghĩa nhất là đặc tính tải thuần cảm ứng với $\cos \varphi = 0 \left(\varphi = \frac{\pi}{2} \right)$ và $I = I_{dm}$.

Để có đặc tính đó phải điều chỉnh r_t và Z (khi đó phải có cuộn cảm có thể điều chỉnh được) sao cho $I = I_{dm}$. Dạng của đặc tính tải thuần cảm như đường 3 trên hình 5-25.



Hình 5-25. Xác định đặc tính tải thuần cảm từ đặc tính không tải và tam giác điện kháng

Đồ thị vectơ tương ứng với chế độ làm việc đó khi bỏ qua trị số rất nhỏ của r_t như ở hình 5-26.



Hình 5-26. Đồ thị vectơ s.d.đ của máy điện đồng bộ ở tải thuần cảm

Đặc tính tải thuần cảm có thể suy ra được từ đặc tính không tải và tam giác điện kháng. Cách thành lập tam giác điện kháng như sau :

Từ đặc tính ngắn mạch (đường 2 trên hình 5-25) để có trị số $I_n = I_{dm}$, dòng điện kích thích i_{tn} hoặc s.t.đ F_{tn} cần thiết bằng $F_{tn} \equiv i_{tn} = OC$. Khi máy điện làm việc ở chế độ ngắn mạch, s.t.đ của cực từ $F_{tn} = OC$ gồm hai phần : một phần để khắc phục phản ứng khử từ của phần ứng $BC = k_{ud}F_{ud}$ sinh ra

E_{ud} ; phần còn lại $OB = OC - BC$ sẽ sinh ra s.d.đ tản từ $E_{\sigma t} = \dot{I}_{dm} x_{\sigma t} = AB$. Điểm A nằm trên đoạn thẳng của đặc tính không tải (đường 1) vì lúc đó mạch từ không bão hoà. Tam giác ABC được hình thành như trên được gọi là tam giác điện kháng. Các cạnh BC và AB của tam giác đều tỉ lệ với dòng điện tải định mức I_{dm} .

Dưới đây trình bày cách thành lập đặc tính tải thuần cảm từ đặc tính không tải và tam giác điện kháng.

Đem tịnh tiến tam giác điện kháng ABC (hoặc tam giác OAC) sao cho điểm A tựa trên đặc tính không tải thì đỉnh C sẽ vẽ thành đặc tính tải thuần cảm (đường 3). Nếu các cạnh của tam giác

điện kháng được vẽ tỉ lệ với dòng điện tải $I = I_{dm}$, thì đặc tính tải thuần cảm $U = f(I_t)$ trên là ứng với $I = I_{dm}$.

Để chứng minh ta chú ý rằng, ở hai trường hợp : ngắn mạch với $I = I_{dm}$ và tải thuần cảm với $I = I_{dm}$, s.d.đ E_{out} và phản ứng khử từ F_{ud} không thay đổi. Do đó các cạnh $AB = E_{out}$ và $BC = k_{ud}F_{ud}$ của tam giác điện kháng đều không đổi. Như vậy với một s.t.đ tùy ý của cực từ $F_o = OP$ lúc không tải, điện áp đầu cực máy $U_o = E_o = PM$, còn khi tải thuần cảm với $I = I_{dm}$, điện áp đầu cực máy $U = PC'$. Sở dĩ như vậy vì lúc đó tải thuần cảm như trên, s.t.đ có hiệu lực chỉ bằng $OP - PQ = OQ$ (trong đó $PQ = B'C' = BC$ là phản ứng khử từ của phần ứng) và s.d.đ $E_\delta = QA'$. Kết quả là $U = E_\delta - E_{out} = QA' = AB' = QA' - AB = QB' = PC'$.

Trên thực tế do ảnh hưởng của bão hoà, đặc tính tải thuần cảm có được bằng thí nghiệm tải trực tiếp hơi khác và có dạng như đường nét đứt. Nguyên nhân của sự sai khác đó ở chỗ, khi dòng điện kích từ tăng, cực từ của máy càng bão hoà do từ thông tản của dây quấn kích từ lớn hơn thì s.t.đ của cực từ cần thiết để khắc phục phản ứng khử từ của phần ứng càng phải lớn hơn, nghĩa là cạnh BC của tam giác điện kháng càng phải dài hơn.

II. MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC SONG SONG

1. ĐẠI CƯƠNG

Trong mỗi nhà máy điện thường đặt nhiều máy phát điện đồng bộ, nói chung các nhà máy điện đều làm việc trong một hệ thống điện lực. Như vậy trong một hệ thống điện lực có rất nhiều máy phát điện đồng bộ làm việc song song. Việc nối các máy phát điện làm việc chung trong hệ thống điện lực là cần thiết vì giảm bớt vốn đầu tư đặt máy phát điện dự trữ để phòng sửa chữa và sự cố để đảm bảo an toàn cung cấp điện hoặc sử dụng hợp lý các nguồn năng lượng như cho các trạm thủy điện làm việc với công suất lớn trong mùa mưa lũ để giảm bớt công suất của các trạm nhiệt điện, do đó tiết kiệm được nhiên liệu trong thời gian đó. Tóm lại là nâng cao chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật khi thiết kế và vận hành.

2. GHÉP MỘT MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC SONG SONG

Khi ghép một máy phát điện đồng bộ làm việc song song trong hệ thống điện lực hoặc với một máy phát điện đồng bộ khác, để tránh dòng điện xung và các mômen điện từ có trị số rất lớn có thể sinh ra sự cố làm hỏng máy và các thiết bị điện khác, gây rối loạn hệ thống điện lực thì các trị số tức thời của điện áp máy phát điện và hệ thống điện lực phải luôn bằng nhau. Muốn vậy phải đảm bảo các điều kiện sau đây :

1. Điện áp của máy phát U_F phải bằng điện áp của lưới điện U_L
2. Tần số của máy phát f_F phải bằng tần số của lưới điện f_L
3. Thứ tự pha của máy phát phải giống thứ tự pha của lưới điện
4. Điện áp của máy và của lưới phải trùng pha nhau

Nếu không đảm bảo đúng các điều kiện nói trên thì khi ghép song song máy phát điện có thể xảy ra các sự cố nghiêm trọng, ví dụ như khi đóng cầu dao mà điện áp của máy phát và của lưới lệch pha

nhau 180° thì sẽ tương đương với nối ngắn mạch máy phát điện với điện áp $U_F - U_L = 2U_F$, dòng điện xung khi đóng cầu dao có thể lớn gấp hai lần dòng điện ngắn mạch thông thường, lực và mômen điện từ sẽ lớn gấp bốn lần, phá hỏng dây quấn, kết cấu thép, lõi thép, trục... của máy phát điện.

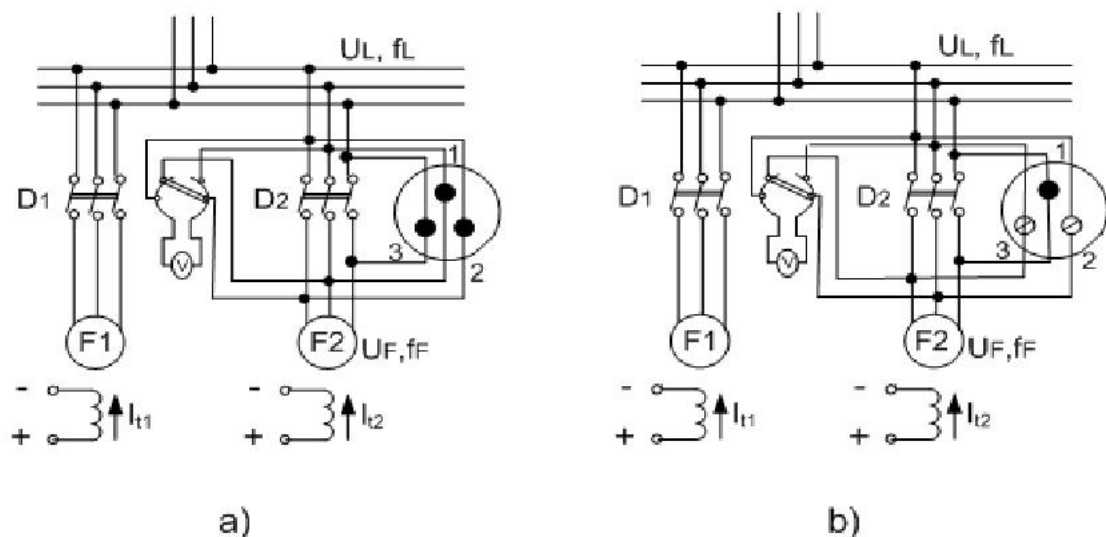
Khi ghép song song, việc điều chỉnh điện áp U_F của máy phát điện đồng bộ được thực hiện bằng cách thay đổi dòng điện kích thích của máy, tần số f_F của máy được điều chỉnh bằng cách thay đổi mômen hoặc tốc độ quay của động cơ sơ cấp kéo máy phát điện. Sự trùng pha giữa điện áp của máy phát điện và của lưới điện được kiểm tra bằng đèn, vônmet có chỉ số không hoặc dụng cụ đo đồng bộ. Thứ tự pha của máy phát điện thường chỉ được kiểm tra một lần sau khi lắp ráp máy và hoà đồng bộ vào lưới điện lần đầu.

Việc ghép song song máy phát điện vào hệ thống điện theo các điều kiện trên gọi là hoà đồng bộ chính xác máy phát điện. Trong một số trường hợp ó thể dùng phương pháp hoà đồng bộ không chính xác, nghĩa là không phải so sánh tần số, trị số góc pha các điện áp của máy phát điện cần được ghép song song và của lưới điện. Phương pháp này còn gọi là phương pháp tự đồng bộ. Dưới đây sẽ lần lượt xét các phương pháp hoà đồng bộ chính xác và tự đồng bộ.

a. Các phương pháp hoà đồng bộ chính xác

• Hoà đồng bộ bằng bộ đồng bộ kiểu sáng đèn

Phương pháp này dùng cho các máy phát điện đồng bộ công suất nhỏ và được thực hiện với kiểu nối tối theo sơ đồ hình 5-27a hoặc với kiểu ánh sáng đèn quay theo sơ đồ hình 5-27b.



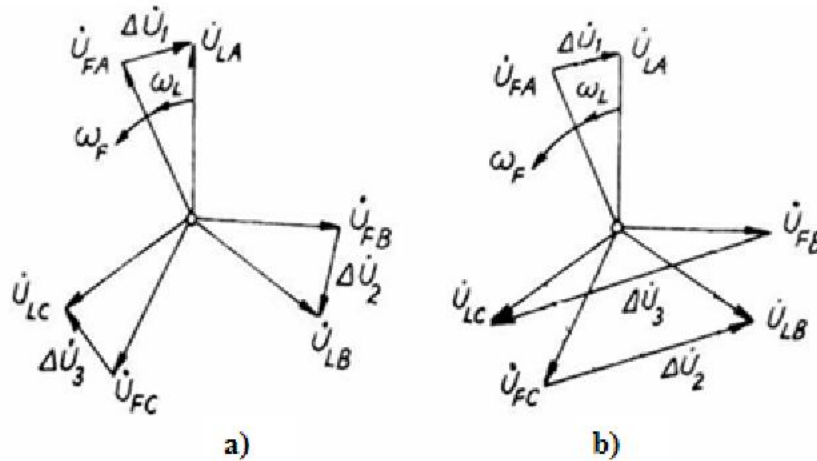
Hình 5-27. Sơ đồ hoà đồng bộ máy phát điện kiểu nối tối a) và kiểu ánh sáng đèn quay b)

Trong sơ đồ trên: F_1 là máy phát điện đang làm việc; F_2 là máy phát điện cần ghép song song với F_1 . Bộ đồng bộ kiểu ánh sáng được hình thành bằng các ngọn đèn 1, 2, 3.

Khi hoà đồng bộ theo kiểu nối tối (hình 5-27a): mỗi ngọn đèn 1, 2, 3 của bộ đồng bộ được nối giữa 2 đầu tương ứng của cầu dao D_2 . Trong quá trình hoà đồng bộ thường phải điều chỉnh đồng thời điện áp U_F và tần số f_F của máy phát điện F_2 . Điện áp U_F của máy phát điện được kiểm tra theo điều kiện $U_F = U_L$ (với U_L là điện áp của lưới điện và cũng là điện áp của máy phát điện F_1 đang làm

việc) bằng vônmet V có cầu dao đổi nối. Tần số và thứ tự pha được kiểm tra bằng bộ đồng bộ với 3 đèn 1, 2, 3. Khi tần số $f_F \neq f_L$ thì điện áp đặt vào các đèn 1, 2, 3 sẽ có tần số $f_F - f_L$. Nếu thứ tự pha của máy phát điện và của lưới điện giống nhau thì cả 3 ngọn đèn sẽ lần lượt cùng tối và cùng sáng như nhau với tần số $f_F - f_L$ đó.

Sở dĩ như vậy vì các điện áp ΔU đặt lên 3 ngọn đèn chính là hiệu số các điện áp pha tương ứng của hai hình sao điện áp của máy phát điện F_2 và của lưới điện, quay với các tần số góc $\omega_F = 2\pi f_F$ và $\omega_L = 2\pi f_L$ như hình 5-28a.



**Hình 5-28. Đồ thị vector điện áp
khi nối tối a) và khi nối theo ánh sáng quay b)**

Khi $f_F \neq f_L$ thì các điện áp đặt vào 3 ngọn đèn sẽ thay đổi giống nhau trong phạm vi $0 \leq \Delta U \leq 2U_F$ và 3 ngọn đèn sẽ cùng sáng và tối với hiệu các tần số $f_F - f_L$ đó. Tiếp tục điều chỉnh tần số f_F của máy phát F_2 sao cho chu kỳ tối và sáng bằng $3 \div 5$ giây (lúc đó $f_F \approx f_L$) và chờ cho lúc các đèn tắt hẳn ứng với lúc điện áp của máy phát điện F_2 và của lưới điện trùng pha nhau thì có thể đóng cầu dao D_2 và việc ghép song song máy phát điện vào lưới điện được hoàn thành.

Khi hoà đồng bộ theo kiểu ánh sáng quay (hình 5-27b) thì 2 trong 3 ngọn đèn ví dụ các đèn 2, 3 phải được nối với các đầu không tương ứng của cầu dao D_2 . Trong quá trình ghép song song nếu thứ tự pha giống nhau thì khi $f_F \neq f_L$ các đèn 1, 2, 3 sẽ lần lượt sáng và tối tạo thành ánh sáng quay. Vì điện áp đặt vào các đèn đó sẽ không bằng nhau và thay đổi lần lượt trong phạm vi $0 \leq \Delta U \leq 2U_F$ như hình 5-28b. Khi $f_F > f_L$ nếu ánh sáng quay theo một chiều nhất định thì khi $f_F < f_L$ ánh sáng sẽ quay theo chiều ngược lại. Tốc độ quay nhanh hay chậm phụ thuộc vào sự khác nhau của f_F và f_L . Điều chỉnh cho $f_F = f_L$ và tốc độ ánh sáng quay thật chậm, đợi cho đến khi đèn không nối chéo (đèn 1 tắt hẳn) và các đèn nối chéo (đèn 2 và 3) sáng bằng nhau ứng với lúc các điện áp của máy phát điện và lưới điện trùng pha nhau thì có thể đóng cầu dao D_2 .

• Hoà đồng bộ bằng bộ đồng bộ kiểu điện từ

Trong các nhà máy điện có đặt các máy phát điện công suất lớn, để kiểm tra các điều kiện ghép song song máy phát điện vào lưới điện người ta dùng cột đồng bộ tức là bộ đồng bộ kiểu điện từ. Cột đồng bộ gồm 3 dụng cụ đo sau : một vônmet có hai kim, một kim chỉ điện áp U_F của máy phát điện, một kim chỉ điện áp U_L của lưới điện, một tần số kế có hai dây phiên rung để chỉ đồng thời tần số f_F của máy và tần số f_L của lưới và một dụng cụ đo làm việc theo nguyên lý từ trường quay có kim quay với tần số $f_F - f_L$. Tốc độ quay của kim phụ thuộc vào trị số $f_F - f_L$ và chiều quay của kim thuận hay

ngược chiều kim đồng hồ tùy theo $f_F > f_L$ hay ngược lại. Khi $f_F = f_L$ và kim quay thật chậm thì thời điểm đóng cầu dao là lúc kim trùng với đường thẳng đứng và hướng lên trên.

b. Phương pháp tự đồng bộ

Việc ghép máy phát điện làm việc song song với lưới điện theo phương pháp tự đồng bộ được tiến hành như sau: đem quay máy phát điện không được kích thích ($U_F = 0$) với dây quấn kích thích được nối tắt qua điện trở triệt từ đến tốc độ sai khác với tốc độ đồng bộ khoảng 2% rồi không cần kiểm tra tần số, trị số và góc pha của điện áp cứ việc đóng cầu dao ghép máy phát điện vào lưới điện. Sau đó lập tức cho kích thích máy phát điện và do tác dụng của mômen đồng bộ, máy phát điện được lôi vào tốc độ đồng bộ ($f_F = f_L$). Quá trình ghép máy phát điện làm việc song song trong lưới điện được hoàn thành.

Chú ý rằng việc đóng cầu do nối máy phát điện chưa được kích thích vào lưới điện có điện áp U_L tương đương với trường hợp ngắn mạch đột nhiên của lưới điện. Vì ngoài tổng trở của bản thân máy phát điện còn có tổng trở của các phần tử khác của lưới điện nên dòng điện xung chạy trong máy phát điện không vượt quá ba hoặc bốn lần dòng điện định mức. Hơn nữa vì dây quấn kích thích được nối qua điện trở triệt từ nên dòng điện xung quá độ giảm rất nhanh. Phương pháp tự đồng bộ được phép sử dụng trong trường hợp $I_{xg} < 3,5 I_{dm}$.

3. ĐIỀU CHỈNH CÔNG SUẤT TÁC DỤNG VÀ CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG CỦA MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ

Tải của hệ dùng điện trong lưới điện thường luôn thay đổi theo điều kiện của sản xuất hoặc tuy tải không thay đổi nhưng do điều kiện vận hành của lưới điện mà cần thiết phải thay đổi chế độ làm việc của các máy phát điện, do đó trên thực tế phải điều chỉnh công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q của máy phát điện đồng bộ.

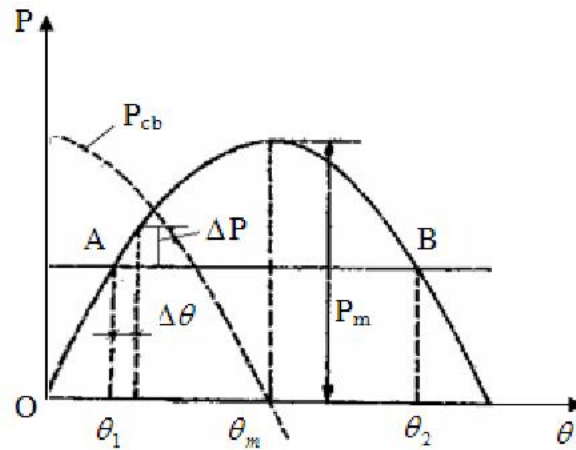
Ta hãy xét vấn đề ở hai trường hợp điển hình. Trường hợp thứ nhất: máy phát điện làm việc trong hệ thống điện lực có công suất vô cùng lớn với $U, f = \text{const}$, nói khác đi tổng công suất của các máy phát điện đang làm việc song song trong hệ thống rất lớn so với công suất của máy phát điện đang được xét, do đó việc điều chỉnh P và Q của máy phát điện đó không làm thay đổi U, f của hệ thống điện. Trường hợp thứ hai là trường hợp chỉ có hai hoặc vài máy phát điện công suất tương tự làm việc song song và sự thay đổi chế độ làm việc của một máy sẽ làm thay đổi U, f chung của cả các máy phát điện đó.

a. Điều chỉnh công suất tác dụng P của máy phát điện đồng bộ.

- Trường hợp máy phát điện làm việc trong hệ thống điện công suất vô cùng lớn

Trong trường hợp này U và f không đổi nên nếu giữ dòng điện kích thích i_t không đổi thì E_0 là hằng số và theo biểu thức (5-14) thì P là hàm số của góc θ và đường biểu diễn của nó có dạng như hình (5-16). Ở chế độ làm việc xác lập công suất tác dụng P của máy ứng với góc θ nhất định phải cân bằng với công suất cơ trên trục làm quay máy phát điện

Đường biểu diễn công suất cơ của động cơ sơ cấp được biểu thị bằng đường thẳng song song với trục ngang và cắt đặc tính góc ở điểm A trên hình (5-29).



Hình 5-29. Công suất tác dụng và công suất chỉnh bộ của máy phát điện đồng bộ cực lỗi

Như vậy muốn điều chỉnh công suất tác dụng P của máy phát thì phải thay đổi góc θ , nghĩa là giao điểm A bằng cách thay đổi công suất cơ trên trục máy.

Công suất tác dụng cực đại P_m mà máy phát điện có thể cung cấp cho hệ thống điện ứng với khi $dP/d\theta = 0$. Áp dụng điều kiện đó đối với biểu thức (5-14) của máy phát đồng bộ cực ẩn suy ra được $\theta_m = 90^\circ$ và :

$$P_m = \frac{mUE_o}{x_d} \quad (5-17)$$

Đối với máy cực lỗi, từ biểu thức (5-13) suy ra được góc θ_m xác định bởi :

$$\cos \theta_m = \frac{\sqrt{A^2 + 8B^2} - A}{4B}$$

$$\text{với } A = \frac{mE_o U}{x_d}, \quad B = mU^2 \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right)$$

$$\text{và } P_m = \frac{mUE_o}{x_d} \sin \theta_m + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta_m \quad (5-18)$$

Khi điều chỉnh công suất tác dụng cần chú ý rằng máy phát điện đồng bộ chỉ làm việc ổn định khi tĩnh khi $0 < \theta < \theta_m$. Để thay rõ điều đó, giả sử rằng máy đang làm việc ở giao điểm A ứng với $\theta_1 < \theta_m$.

Nếu do một nguyên nhân nào đó công suất cơ P_{co} của động cơ sơ cấp tăng lên trong một thời gian ngắn, sau đó lại trở về trị số ban đầu thì rôto của các máy phát điện sẽ quay nhanh lên. Như vậy góc θ sẽ tăng thêm $+\Delta\theta$ và tương ứng công suất P sẽ tăng thêm ΔP . Vì lúc đó công suất cơ P_{co} đã trở về trị số ban đầu nên $P + \Delta P > P_{co}$, kết quả là rôto sẽ bị ghìm và máy phát điện trở lại làm việc ở góc θ ban đầu sau vài chu kỳ dao động.

Trái lại nếu máy phát điện làm việc xác lập ở $\theta_2 > \theta_m$, ví dụ ở điểm B trên hình (5-29) thì khi công suất cơ thay đổi như trên, góc θ tăng thêm $\Delta\theta$ sẽ làm cho P của máy phát điện giảm, như vậy $P < P_{co}$, kết quả là rôto quay nhanh thêm, góc θ càng tăng và máy phát điện sẽ mất đồng bộ với lưới điện.

Từ những điều trên ta thấy rằng, khi điều chỉnh công suất tác dụng mà muốn giữ cho máy phát điện làm việc ổn định thì phải có điều kiện sau :

$$\frac{dP}{d\theta} > 0 \quad (5-19)$$

Trong đó $\frac{dP}{d\theta}$ gọi là công suất chỉnh bộ đặc trưng cho khả năng giữ cho máy làm việc đồng bộ trong lưới điện và được kí hiệu bằng P_{cb} .

Từ các biểu thức (5-13), (5-15) suy ra được hệ số công suất chỉnh bộ đối với máy cực lớn:

$$P_{cb} = \frac{mUE_o}{x_d} \cos \theta + mU^2 \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta \quad (5-20)$$

Đối với máy cực ỏn :

$$P_{cb} = \frac{mUE_o}{x_d} \cos \theta$$

Đường biểu diễn của công suất chỉnh bộ như trên hình 5-29. Ta thấy khi không tải ($\theta = 0$), khả năng chỉnh bộ tức khả năng của ΔP giữa công suất cơ đưa vào máy và công suất tác dụng đưa ra lưới điện ứng với sự thay đổi $\Delta \theta$ làm cho máy phát vẫn duy trì làm việc đồng bộ với lưới điện là lớn nhất, còn khi $\theta = \theta_m$ thì khả năng chỉnh bộ bằng không.

Trên thực tế vận hành, để đề phòng trường hợp U hoặc E_o giảm hoặc những nguyên nhân khác làm cho công suất P đưa ra lưới điện giảm theo nhưng vẫn duy trì được đồng bộ, máy phát điện thường làm việc với công suất định mức P_{dm} ứng với $\theta < 30^\circ$. Như vậy khả năng quá tải của máy phát điện đồng bộ được xác định bằng tỉ số :

$$k_m = \frac{P_m}{P_{dm}} \quad \text{gọi là hệ số năng lực quá tải}$$

Đối với máy cực ỏn :

$$k_m = \frac{1}{\sin \theta_{dm}}$$

Theo quy định thì cần đảm bảo $k_m > 1,7$ và muốn như vậy thì máy phải có tỷ số ngắn mạch K lớn, nghĩa là x_d phải nhỏ (hoặc khe hở lớn). Chú ý rằng khi điều chỉnh công suất tác dụng P, do θ thay đổi nên công suất phản kháng cũng thay đổi theo.

b. Trường hợp máy phát điện công suất tương tự làm việc song song

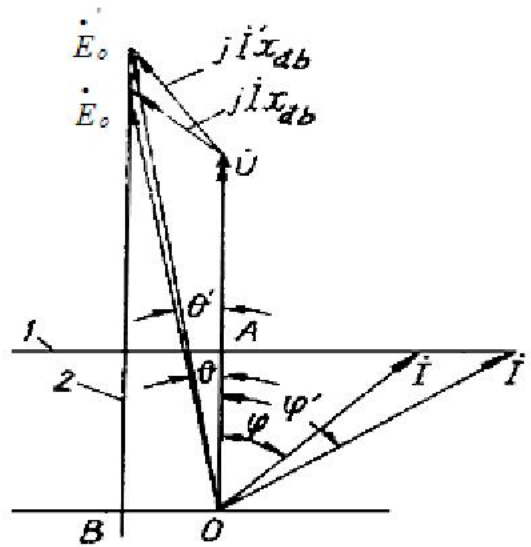
Giả sử có hai máy phát điện công suất bằng nhau làm việc song song. Ở trường hợp này, trong điều kiện tải của lưới điện không đổi, khi tăng công suất tác dụng của một máy mà không giảm tương ứng công suất tác dụng của máy kia thì tần số của lưới điện sẽ thay đổi cho đến khi có sự cân bằng mới và khiến cho hệ dùng điện phải làm việc trong điều kiện tần số khác định mức.

Vì vậy, để giữ cho $f = \text{const}$ khi tăng công suất tác dụng của một máy thì phải giảm công suất tác dụng của máy kia. Chính cũng bằng cách đó mà có thể thay đổi sự phân phối công suất tác dụng giữa hai máy.

2. Điều chỉnh công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ.

Ta xét việc điều chỉnh công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ làm việc trong lưới điện vô cùng lớn ($U, f = \text{const}$) khi công suất tác dụng của máy được giữ không đổi.

Giả sử máy có cực ẩn và dễ đơn giản, bỏ qua tổn hao trên dây quấn phản ứng ($r_d = 0$). Trong trường hợp đó, đồ thị vectơ s.d.đ có dạng như hình 5-30.

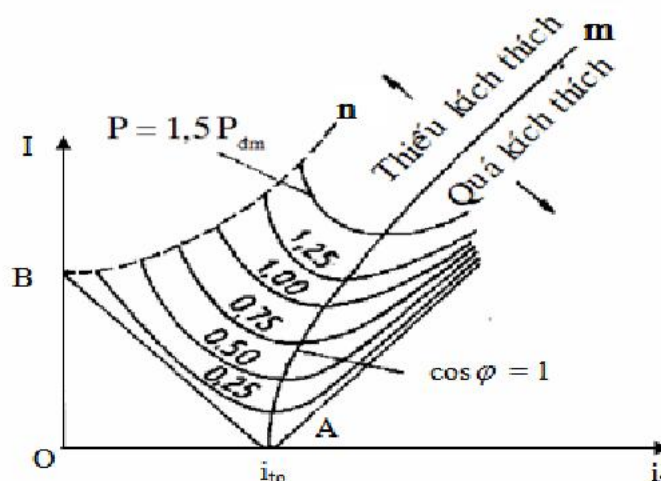


Hình 5-30. Điều chỉnh công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ

Vì $P = mUI \cos \varphi \equiv OA$ là không đổi và với điều kiện $U = \text{Const.}$ nên khi thay đổi Q , mút của vectơ I luôn nằm trên đường thẳng 1, thẳng góc với U . Với mỗi trị số của I sẽ có một trị số của $\cos \varphi$ và vẽ đồ thị vectơ s.d.đ tương ứng sẽ xác định được độ lớn của vectơ E_0 , từ đó suy ra được dòng điện kích thích i_t cần thiết để suy ra E_0 . Chú ý rằng, $P = mUE_0 \sin \theta / x_d \approx P_1 = \text{Const.}$, trong đó U, x_d không đổi nên $P \equiv E_0 \sin \theta = \text{Const.}$ và mút của vectơ E_0 luôn nằm trên đường thẳng 2 thẳng góc với OB .

Kết quả phân tích cho thấy rằng, muốn điều chỉnh công suất phản kháng Q thì phải thay đổi dòng điện kích thích i_f của máy phát điện.

Với mỗi trị số của $P = \text{Const.}$, thay đổi Q và vẽ đồ thị vectơ s.đ.đ như trên ta xác định được quan hệ $I = f(i_t)$, còn gọi là đặc tính hình V của máy phát điện đồng bộ. Thay đổi các trị số của P với phương pháp trên sẽ thành lập được một họ các đặc tính hình V như hình (5-31).



Hình 5-31. Họ các đặc tính hình V của máy điện đồng bộ

Trên hình, đường Am đi qua các điểm cực tiểu của họ đặc tính hình V tương ứng với khi $\cos \varphi = 1$. Khu vực bên phải của đường Am ứng với tải có tính cảm ($\varphi > 0$) và chế độ làm việc quá kích thích của máy phát điện, còn khu vực bên trái của đường đó ứng với tải có tính dung ($\varphi < 0$) và chế độ làm việc thiếu kích thích của máy. Đường Bn ứng với giới hạn làm việc ổn định với lưới khi máy phát điện làm việc ở chế độ thiếu kích thích.

Ở trên ta xét đối với máy phát điện cực ẩn, nhưng tất cả những phân tích đó đều áp dụng được cho máy phát điện cực lõi.

Trong trường hợp công suất của lưới điện nhỏ (ví dụ chỉ có hai máy phát điện công suất bằng nhau làm việc song song), nếu tần dòng điện kích thích i_t của một máy mà vẫn giữ dòng điện kích thích của máy thứ hai không đổi thì do công suất phản kháng của máy 1 tăng, tổng công suất phản kháng sẽ tăng làm thay đổi điện áp U của lưới điện, ảnh hưởng đến trạng thái làm việc bình thường của hệ dùng điện. Như vậy để duy trì trạng thái làm việc bình thường của lưới điện với $U = \text{const}$, khi tăng dòng điện kích thích của một máy thì phải giảm tương ứng dòng điện kích thích của máy thứ hai. Bằng phương pháp đó sẽ thực hiện được sự phân phối lại công suất phản kháng Q giữa hai máy phát điện.

VÍ DỤ

Hai máy phát điện giống nhau làm việc song song có điện trở phản ứng $r_d = 2,18 \Omega$, điện kháng đồng bộ $x_{db} = 62 \Omega$ cùng cung cấp điện cho một tải 1830 kW với $\cos \varphi = 0,83$ (chậm sau). Điện áp đầu cực của tải là 13800 V. Điều chỉnh kích từ của 2 máy sao cho một máy có dòng điện phản kháng là 40 A. Tính :

- Dòng điện của mỗi máy phát điện
- Sức điện động E_o của mỗi máy và góc pha giữa các s.d.đ đó.

Giải

Dòng điện tải có trị số :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi} = \frac{1830 \cdot 10^3}{\sqrt{3}13800 \cdot 0,83} = 92,3 \text{ A}$$

chậm sau điện áp góc $\varphi = \arccos 0,83 = 33^\circ 9$ và biểu thị dưới dạng phức số như sau :

$$\dot{I} = 92,3 \angle -33^\circ 9 = 76,8 - j51,4 \text{ A}$$

Vì công suất tác dụng phân phối đều cho 2 máy nên dòng điện tác dụng của mỗi máy là :

$$\frac{76,8}{2} = 38,4 \text{ A}$$

Mà dòng điện phản kháng của máy 1 là 40 A nên :

$$\dot{I}_1 = 38,4 - j40$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I} - \dot{I}_1 = 38,4 - j11,4 \text{ A}$$

Theo biểu thức (5-6) ta có :

$$\begin{aligned}\dot{E}_1 &= \dot{U} + \dot{I}_1(r_x + jx_{\sigma}) = E_1 \angle \theta_1 \\ &= \frac{13800}{\sqrt{3}} + (38,4 - j40)(2,18 + j62) = 10720 \angle 12,22^\circ \text{ V}\end{aligned}$$

$$\dot{E}_2 = \dot{U} + \dot{I}_2(r_x + jx_{\sigma}) = E_2 \angle \theta_2 = 9030 \angle 15,1^\circ \text{ V}$$

Góc lệch giữa hai s.đ.đ đó :

$$\theta_2 - \theta_1 = 15,1^\circ - 12,22^\circ = 2,88^\circ$$

CÂU HỎI

1. Ý nghĩa của tỷ số ngắn mạch K. Trị số của nó ảnh hưởng thế nào đến cấu tạo và tính năng của máy điện đồng bộ ?
2. Ý nghĩa của tam giác điện kháng trong máy điện đồng bộ ?
3. Hãy suy ra các đặc tính tải ứng với $I = \text{Const}$ nhưng $\cos \varphi$ khác nhau?
4. Phân tích hậu quả xảy ra đối với máy phát điện khi hòa đồng bộ mà không thỏa mãn từng điều kiện ghép song song với lưới điện ?
5. Vì sao khi ghép song song máy phát điện vào lưới điện bằng phương pháp tự đồng bộ, dây quấn kích thích phải được nối tắt qua điện trở triệt từ ?
6. Ổn định tĩnh là gì ? Về mặt này máy điện cực lõi và cực ỏn khác nhau chỗ nào ?

BÀI TẬP

1. Cho hai máy phát điện đồng bộ làm việc song song, cung cấp điện cho hai tải :

Tải 1 : $S_{t1} = 5000 \text{ kVA}$, $\cos \varphi_1 = 0,8$

Tải 2 : $S_{t2} = 3000 \text{ kVA}$, $\cos \varphi_2 = 1$

Máy thứ nhất phát ra $P_1 = 4000 \text{ kW}$, $Q_1 = 2500 \text{ kVar}$.

Tính công suất máy phát thứ 2 và hệ số công suất của mỗi máy phát .

Đáp số : $P_2 = 3000 \text{ kW}$; $Q_2 = 500 \text{ kVar}$

$\cos \varphi_1 = 0,848$; $\cos \varphi_2 = 0,986$

2. Cho máy phát đồng bộ 3 pha $S_{dm} = 35 \text{ kVA}$, $U_{dm} = 400/230 \text{ V}$, Y/Δ , $x_{db}^* = 1,2$; làm việc trong hệ thống điện với tải cảm định mức $\cos \varphi_{dm} = 0,8$, dòng điện kích từ $I_{tdm} = 25 \text{ A}$. Hãy tính :

a. Sức điện động E_0 và góc ψ

b. Dòng điện kích từ để máy có $\cos \varphi = 0,9$ khi $P = \text{Const}$.

c. $\cos \varphi$ và công suất phản kháng Q khi dòng kích từ $I_t = 30 \text{ A}$

Đáp số : a. $E_o = 453 \text{ V}$

$$\psi = 66^\circ$$

b. $I_t = 22,2 \text{ A}$

c. $\cos \varphi = 0,435$

$$Q = 33,6 \text{ kVAr}$$

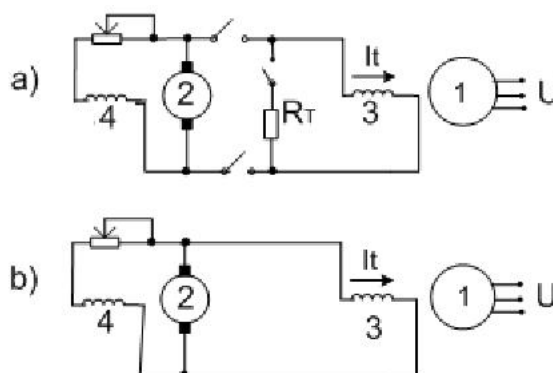
Bản quyền © Truong DH Su pham Ky thuat TP. HCM

§ 5.4 MỞ MÁY VÀ ĐIỀU CHỈNH CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG CỦA ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

I. Các phương pháp mở máy động cơ điện đồng bộ

1. Mở máy theo phương pháp không đồng bộ

Quá trình mở máy động cơ đồng bộ bằng phương pháp không đồng bộ có thể chia thành hai giai đoạn. Lúc đầu việc mở máy được thực hiện với $i_t = 0$, dây quấn kích thích được nối tắt qua điện trở R_T như hình 5-32a.



Hình 5-32. Sơ đồ mạch kích từ của động cơ đồng bộ lúc mở máy với dây quấn kích thích nối tắt qua điện trở R_T a) và nối thẳng vào máy kích thích b)

1. Phần ứng động cơ đồng bộ; 2. Phần ứng máy kích thích;

3. Dây quấn kích từ của động cơ đồng bộ;

4. dây quấn kích từ của máy kích thích .

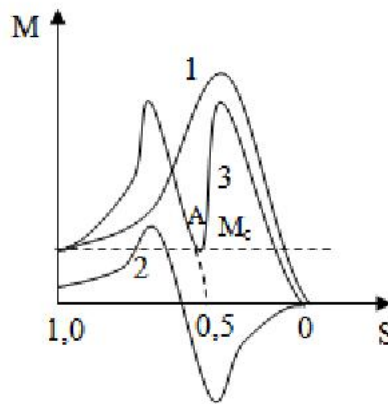
Sau khi đóng cầu dao nối dây quấn stato với nguồn điện, do tác dụng của mômen không đồng bộ rôto sẽ quay và tăng tốc độ đến gần tốc độ đồng bộ n_1 của từ trường quay. Trong giai đoạn này, việc nối dây quấn kích thích với điện trở R_T có trị số bằng $10 \div 12$ lần điện trở r_t của bản thân dây quấn kích từ là cần thiết, vì nếu để dây quấn này hở mạch sẽ có điện áp cao, làm hỏng cách điện của dây quấn, do lúc bắt đầu mở máy từ trường quay của stato quét nó với tốc độ đồng bộ .

Chú ý rằng, nếu đem nối ngắn mạch dây quấn kích thích thì sẽ tạo thành mạch một pha có điện trở nhỏ ở rôto và sinh ra mômen cản lớn khiến cho tốc độ quay của rôto không thể vượt quá tốc độ bằng một nửa tốc độ đồng bộ. Hiện tượng này giải thích như sau : dòng điện có tần số $f_2 = sf_1$ trong dây quấn kích thích bị nối ngắn mạch sẽ sinh ra từ trường đập mạch. Từ trường này có thể phân tích thành hai từ trường quay thuận và ngược với chiều quay của rôto với tốc độ tương đối so với rôto $n_1 - n$, trong đó n_1 là tốc độ từ trường quay của stato và n là tốc độ của rôto .

Từ trường quay thuận có tốc độ so với dây quấn phần tĩnh :

$$n_{th} = n + (n_1 - n) = n_1$$

nghĩa là quay đồng bộ với từ trường quay của stato. Tác dụng của nó với từ trường quay của stato tạo nên mômen không bộ và hỗ trợ với mômen không đồng bộ do dây quấn mở máy sinh ra và có dạng như đường 1 trên hình (5-33).



Hình 5-33. Đường cong mômen của động cơ đồng bộ mở máy không đồng bộ với dây quấn kích từ bị nối ngắn mạch

Từ trường quay ngược có tốc độ so với dây quấn phần tĩnh :

$$n_{ng} = n - (n_1 - n) = 2n - n_1 = 2n_1(1 - s) - n_1 = n_1(1 - 2s)$$

và sinh ra trong dây quấn phần tĩnh dòng điện tần số :

$$f' = f_1(1 - 2s)$$

Như vậy khi $0,5 < s < 1$, nghĩa là tốc độ quay của rôto $n < n_1/2$ thì từ trường quay ngược sẽ quay so với dây quấn phần tĩnh theo chiều ngược so với chiều quay của rôto. Tác dụng của nó với dòng điện phần tĩnh tần số f' sẽ sinh ra mômen phụ cùng dấu và hỗ trợ với mômen không đồng bộ do từ trường quay thuận tác dụng với dây quấn mở máy (đường 2 trên hình 5-33) .

Khi $s = 0,5$ (tức $n = n_1/2$), từ trường quay ngược sẽ đứng yên so với dây quấn phần tĩnh, mômen phụ bằng không . Khi $0 < s < 0,5$ (tức $n > n_1/2$) thì từ trường quay ngược sẽ quay cùng chiều với chiều quay của rôto. Tác dụng của nó với dòng điện phần tĩnh tần số f' lúc đó sinh ra mômen phụ trái dấu với mômen không đồng bộ do từ trường quay thuận, do đó có tác dụng như mômen hãm .

Kết quả là khi dây quấn kích từ bị nối ngắn mạch, đường biểu diễn mômen của động cơ trong quá trình mở máy tổng của các đường 1 và 2 có tác dụng như đường 3 trên hình (5-33) . Rõ ràng là khi mômen cản M_c trên trục động cơ đủ lớn thì rôto sẽ làm việc ở điểm A ứng với tốc độ $n = n_1/2$ và không thể đạt được đến tốc độ gần tốc độ đồng bộ .

Khi rôto quay đến tốc độ $n = n_1$, có thể tiến hành giai đoạn thứ 2 của quá trình mở máy : đem nối dây quấn kích từ với điện áp một chiều của máy kích thích. Lúc đó ngoài mômen không đồng bộ tỉ lệ với hệ số trượt s và mômen gia tốc tỉ lệ với ds/dt sẽ có mômen đồng bộ phụ thuộc vào góc θ cùng tác dụng. Do rôto chưa quay đồng bộ nên góc θ luôn thay đổi. Khi $0 < \theta < 180^\circ$ thì mômen đồng bộ sẽ cộng tác dụng với mômen không đồng bộ làm tăng thêm tốc độ quay của rôto và như vậy rôto sẽ được lôi vào tốc độ đồng bộ sau một quá trình dao động .

Để tránh việc mở máy qua hai giai đoạn như trên, trong đó phải thao tác tách dây quấn kích thích khỏi điện trở R_T và sau đó nối máy kích từ, có thể nối thẳng dây quấn kích thích với máy kích từ trong suốt quá trình mở máy theo sơ đồ hình 5-32b như thường gặp gần đây. Như vậy, trong dây quấn phần ứng của máy kích từ sẽ có dòng điện xoay chiều nhưng không gây ra tác hại gì. Khi rôto đạt đến tốc độ quay $n = (0,6 \div 0,7) n_{dm}$, máy kích thích bắt đầu cung cấp dòng điện kích từ cho động cơ điện đồng bộ, nhờ đó mà lúc đến gần tốc độ đồng bộ động cơ được kéo vào tốc độ đồng bộ.

Chú ý rằng quá trình mở máy theo sơ đồ hình 5-32b được thực hiện trong những điều kiện khó khăn hơn vì động cơ điện đồng bộ được kích thích quá sớm, như vậy sẽ tạo nên dòng ngắn mạch :

$$I_n = \frac{(1-s)E_o}{\sqrt{r_u^2 + (1-s)^2 x_d^2}} \quad (5-21)$$

Trong đó :

E_o là s.đ.đ cảm ứng do dòng điện kích từ i_t

x_d là điện kháng đồng bộ dọc trục khi $s = 0$

Do đó động cơ phải tăng thêm công suất :

$$P_n = m.I_n^2.r_u$$

Kết quả là trên trục động cơ điện sẽ có thêm mômen cản :

$$M_c = \frac{pP_n}{\omega} \quad (5-22)$$

Khiến cho quá trình kéo động cơ vào tốc độ đồng bộ gặp khó khăn hơn, vì vậy phương pháp mở máy động cơ đồng bộ theo sơ đồ hình (5-32b) áp dụng được tốt khi mômen cản trên trục động cơ điện $M_c = (0,4 \div 0,5) M_{dm}$. Chỉ khi đây quán mở máy được thiết kế hoàn hảo mới cho phép mở máy như trên với $M_c = M_{dm}$. Do cách mở máy này đơn giản, hoàn toàn giống cách mở máy của động cơ điện không đồng bộ nên càng được ứng dụng rộng rãi.

2. Các phương pháp mở máy khác

Mở máy theo phương pháp hoà đồng bộ : các điều kiện hoà đồng bộ đối với động cơ đồng bộ hoàn toàn giống như máy phát điện đồng bộ. Trường hợp này động cơ đồng bộ được quay bởi máy nối cùng trục với nó (ví dụ trong bộ động cơ đồng bộ - máy phát điện một chiều, máy phát điện một chiều lúc mở máy làm việc như động cơ điện để quay động cơ đồng bộ đến tốc độ đồng bộ).

Trong một số trường hợp có thể mở máy động cơ điện đồng bộ bằng nguồn có tần số thay đổi. Muốn vậy động cơ đồng bộ phải lấy điện từ một máy phát điện riêng có tần số điều chỉnh được từ không đến tần số định mức trong quá trình mở máy. Như vậy động cơ được quay đồng bộ với máy phát ngay từ lúc tốc độ còn rất thấp. Chú ý rằng trong trường hợp này, dòng điện kích thích của cả động cơ và máy phát điện đều phải do nguồn điện một chiều riêng cung cấp.

II. Điều chỉnh công suất phản kháng của động cơ đồng bộ

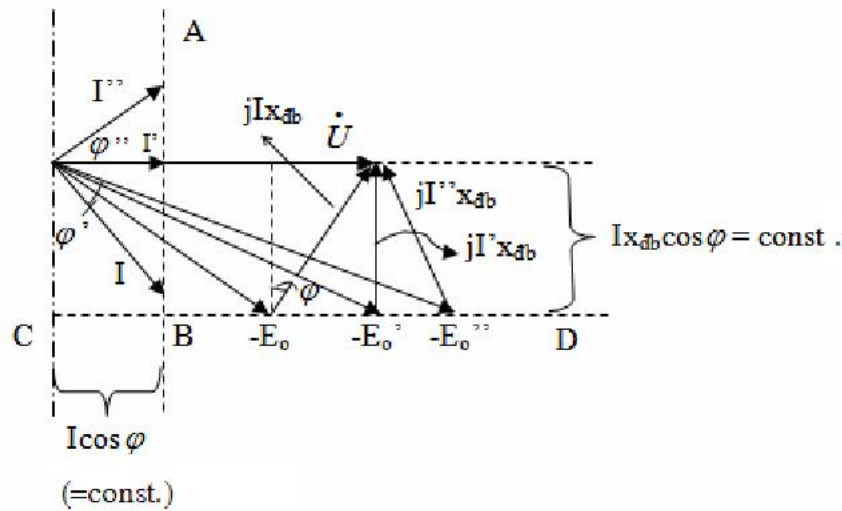
Động cơ điện đồng bộ có đặc điểm là có thể thay đổi $\cos\varphi$ của máy bằng cách thay đổi dòng kích từ. Ta dùng đồ thị vectơ đơn giản để chứng minh điều này.

Dựa vào phương trình cân bằng điện áp của động cơ :

$$\dot{U} = -\dot{E}_o + \dot{I}(r_u + jx_{db})$$

Nếu bỏ qua r_u :

$$\dot{U} = -\dot{E}_o + j \dot{I} x_{db}$$



Hình 5-34. Đồ thị vectơ đơn giản ($r_r = 0$) của động cơ đồng bộ ứng với các dòng điện kích thích khác nhau

Khi động cơ kéo tải không đổi thì công suất tác dụng P đưa vào động cơ sẽ không đổi :

$$P = mUI \cos \varphi = m \frac{U}{x_{db}} I x_{db} \cos \varphi = \text{const}$$

Với $U = \text{const}$ thì khi $P = \text{const}$ (tải không đổi), $I \cos \varphi$ và $I x_{db} \cos \varphi$ không đổi. Nếu thay đổi I_{kt} thì E_0 thay đổi về trị số nhưng đầu mút các vector $-E_0$, $-E_0'$, $-E_0''$ ứng với các I_{kt} khác nhau sẽ chạy trên đường CD .

Vì $U = \text{const}$ nên ứng với các vectơ s.d.đ $-E_0$, $-E_0'$, $-E_0''$ ta có thể xác định được các vectơ I, I', I'' vì các dòng điện này chậm sau $I x_{db}$ một góc 90° .

CÂU HỎI

1. Nêu ưu, nhược điểm của động cơ đồng bộ ?
2. Phân tích sự dao động tốc độ của rôto để đạt tốc độ đồng bộ trong giai đoạn thứ hai của quá trình mở máy động cơ đồng bộ theo phương pháp không đồng bộ ?
3. Nếu mở máy động cơ đồng bộ theo sơ đồ hình 5-32b, vì sao khi rôto đạt đến tốc độ $n = (0,6 \div 0,7) n_{đm}$ mới bắt đầu có dòng điện kích thích trong động cơ đồng bộ ?

BÀI TẬP

Tổng công suất tác dụng của một nhà máy $P_1 = 527 \text{ kW}$, $\cos \varphi_1 = 0,7$. Để kéo thêm một tải động lực có công suất $P_2 = 150 \text{ kW}$ nhà máy dùng một động cơ điện đồng bộ. Hỏi công suất S_{db} của động cơ đồng bộ đó là bao nhiêu kVA để kéo được tải động lực trên và nâng $\cos \varphi$ của nhà máy lên 0,9 ? Biết hiệu suất của động cơ đồng bộ $\eta = 0,87$.

Đáp số : $S_{db} = 263 \text{ kVA}$

PHẦN 2 : KHÍ CỤ ĐIỆN

Bản quyền © Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM

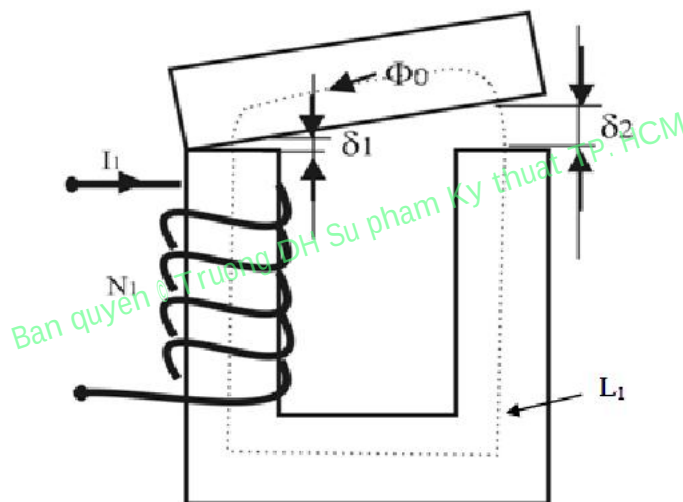
CHƯƠNG I : MẠCH TỪ VÀ SỰ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

§ 1.1 KHÁI NIỆM CHUNG

I. Nam châm điện từ:

Nam châm điện từ (NCD) là thiết bị biến đổi điện năng thành cơ năng. Nam châm điện từ được sử dụng rộng rãi trong các bộ truyền động của rơle cơ điện, contactor, các thiết bị đóng cắt, bảo vệ, các cơ cấu chấp hành như các van điện từ, khớp nối, ly hợp từ, phanh hãm, nam châm lấy hàng,...

Trong thực tế hình dáng kích thước của nam châm điện rất đa dạng tùy thuộc vào tính chất và công dụng của nó. Hình 1-1 trình bày một kết cấu phổ biến của NCD được sử dụng trong các rơle bảo vệ.



Hình 1-1. Kết cấu cơ bản của nam châm điện

Cấu tạo của nam châm thường gồm hai phần chính: phần mạch từ và phần cuộn dây (mạch điện)

- Mạch từ: là bộ phận dẫn từ thông chính trong NC điện gồm hai phần: phần làm bằng vật liệu sắt từ (L_1) và phần còn lại là khe hở không khí (δ_1 và δ_2).
- Cuộn dây: gồm có w vòng dây được quấn trên mạch từ tĩnh.

Bình thường mạch từ động được một lò xo kéo lên. Khi có dòng điện I chạy trong cuộn dây sẽ sinh ra từ thông, phần từ thông móc vòng qua mạch từ và khe hở không khí (gọi là từ thông chính) sẽ sinh ra lực điện từ làm hút mạch từ động.

II. Những định luật cơ bản áp dụng trong mạch từ:

Việc nghiên cứu mạch từ riêng biệt là 1 vấn đề phức tạp vì mối quan hệ thực tế tồn tại của điện trường và từ trường. Để tiện lợi cho việc nghiên cứu, cũng giống như ở mạch điện, người ta sử dụng mô hình mạch từ tương đương. Vấn đề mấu chốt là sự chuyển đổi năng lượng giữa mạch điện và mạch từ. Năng lượng chuyển đổi này được giải quyết từ hệ phương trình Maxwell hay còn gọi là định luật toàn dòng điện.

1. Định luật toàn dòng điện:

Tích phân trên đường cong khép kín theo chiều dài mạch từ bằng tổng các dòng điện móc vòng qua mạch từ đó:

$$\oint Hdl = \sum I = IN$$

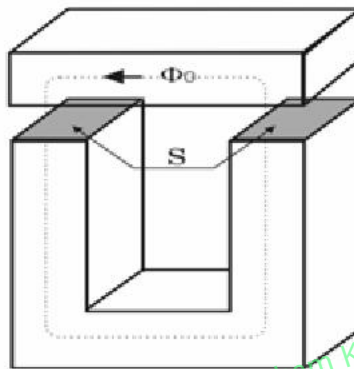
trong đó:

I: dòng điện chạy trong cuộn dây quấn quanh mạch từ.

N: số vòng dây

F = IN gọi là sức từ động [A.vòng]

Xét mạch từ như hình 1-2 :



Hình 1-2

Áp dụng định luật toàn dòng điện, ta có:

$$L_1 H_1 + L_2 H_2 + 2\delta H_\delta = I_1 N_1$$

Với : L_1, L_2, δ là độ dài các đoạn mạch từ tương ứng.

H_1, H_2, H_δ là cường độ từ trường các đoạn mạch từ tương ứng

$L_1 H_1, L_2 H_2, \delta H_\delta$: từ áp rơi trên các đoạn mạch từ

2. Định luật kirckhoff

- Định luật kirckhoff 1: Đối với 1 nút bất kỳ trong mạch từ, tổng từ thông đi vào và đi ra tại nút đó bằng 0.

$$\sum_{i=1}^n \Phi_i = 0$$

- Định luật kirckhoff 2: Đối với 1 mạch vòng khép kín trong mạch từ, tổng các từ áp rơi trên mạch vòng và các sức từ động bằng 0 .

$$\sum_{i=1}^n F_i + \sum_{k=1}^m \Phi_k . R_{mk} = 0$$

Hay :

$$\sum_{i=1}^n F_i = \sum_{k=1}^m \Phi_k . R_{mk}$$

Trong đó: $R_{mi} = \frac{l_i}{\mu_i . S_i}$ gọi là từ trở của đoạn mạch từ tương ứng

l_i : chiều dài của nhánh mạch từ (m)

S_i : tiết diện của nhánh từ đó (m²)

μ_i : từ thẩm của vật liệu

Nghịch đảo của giá trị từ trở: $G = 1/R_{mi}$ được gọi là từ dẫn.

3. Định luật ohm cho mạch từ:

Đối với 1 nhánh bất kỳ trong mạch từ, tích số giữa từ thông chảy qua và tổng trở từ gọi là từ áp rơi trên 2 đầu của nhánh mạch từ đó.

$$\Phi \cdot Z_m = U_m$$

Tổng trở từ của nhánh mạch từ cũng bao gồm 2 thành phần như mạch điện là phần tử từ kháng X_m và từ trở R_m .

$$Z_m = \sqrt{R_m^2 + X_m^2}$$

Sự đồng dạng của các đại lượng điện- từ :

Từ sự phân tích ở trên ta có thể xem mạch từ như 1 dạng mạch điện. Từ đó ta có thể thay thế các phần tử trong mạch từ thành các phần tử đồng dạng như mạch điện và áp dụng các phương pháp tính toán như tính toán phần mạch điện mà ta đã biết.

Có thể tóm tắt các đại lượng đồng dạng liên quan giữa Điện và Từ như sau :

STT	Đại lượng Điện	K.H	Đơn vị	Đại lượng Từ	K.H	Đơn vị
1	Dòng điện	I	A	Từ thông	Φ	Vs; Wb
2	Điện áp	U	V	Từ áp	U_m	A
3	Sức điện động	E	V	Sức từ động	F; E_m	A
4	Mật độ dòng	J	A/mm ²	Từ cảm	B	T
5	Điện trường	E	V/m	Cường độ từ trường	H	A/m
6	Điện trở	R	Ω	Từ trở	R_m	1/H
7	Điện trở suất	ρ	Ωm	Từ trở suất	$1/\mu$	m/H
8	Điện dẫn	G	1/ Ω	Từ dẫn	G	H
9	Điện dẫn suất	σ	1/ Ωm	Từ dẫn suất	μ	H/m
10	Tổng trở	Z	Ω	Tổng trở từ	Z_m	1/H
11	Điện kháng	X	Ω	Từ kháng	X_m	1/H

Các công thức tương quan giữa mạch điện và mạch từ :

Điện

$$U = ZI$$

$$J = \frac{I}{S}$$

$$J = \sigma \cdot E$$

Từ

$$U_m = \Phi_i \cdot R_{mi} = H_i \cdot l_i$$

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

$$B = \mu \cdot H$$

III. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN MẠCH TỪ

Cũng giống bài toán mạch điện bài toán mạch từ cũng đi tìm các tham số của mạch từ xác định trước, cụ thể về hình dạng kích thước.

- **Bài toán thuận :** Là các dạng bài đi từ các yêu cầu cho trước về từ thông Φ và từ cảm B. Vấn đề đặt ra phải tính sức từ động F, đồng nghĩa với việc tìm ra số vòng dây phải quấn và dòng điện phải cấp qua cuộn dây.
- **Bài toán nghịch :** Là các dạng bài đi tìm các giá trị Φ và từ cảm B trên cơ sở số vòng dây và cường độ dòng điện đã biết trong 1 mạch từ xác định ban đầu.

Để giải quyết hai bài toán mạch từ nêu trên, một vấn đề quan trọng là phải xác định từ dẫn của khe hở không khí.

CÂU HỎI

1. Định nghĩa nam châm điện từ ?
2. Nêu cấu tạo và ứng dụng của nam châm điện từ ?
3. Nêu các định luật cơ bản áp dụng trong mạch từ ?

Bản quyền © Truong DH Su pham Ky thuat TP. HCM

§ 1.2 TỪ DẪN TRONG KHE HỖ KHÔNG KHÍ

Xác định từ dẫn của khe hở không khí trong mạch từ là công việc hết sức cần thiết trong quá trình tính toán các bài toán các bài toán mạch từ. Với các loại vật liệu dẫn từ là các vật liệu sắt từ, dựa vào đường cong từ hóa $B = f(H)$, việc tính toán từ trở và từ dẫn trở nên đơn giản:

$$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}$$

Trong đó: l : là đoạn dẫn của mạch từ

S : là tiết diện mạch từ thẳng góc với đường dẫn từ thông

Và từ dẫn là nghịch đảo của giá trị từ trở:

$$G_m = \frac{1}{R_m}$$

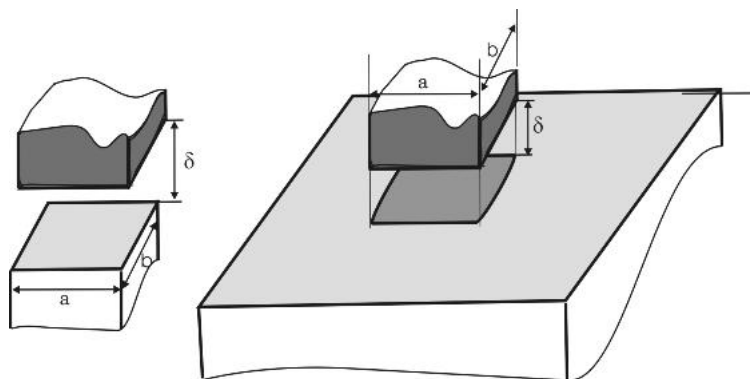
Như đã biết, không khí cũng là môi trường dẫn từ với độ từ thẩm có thể lấy bằng giá trị độ từ thẩm trong chân không μ_0 . Khác hoàn toàn với vật liệu dẫn từ tốt như sắt non, thép kỹ thuật điện, nam châm vĩnh cửu ... môi trường không khí không thể định hình về hình dạng vì vậy không thể trực tiếp sử dụng công thức: $R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}$. Vì vậy đây là một công việc khó khăn, có

liên quan giải bài toán phân bố từ trường trong khu vực xem xét. Trong những tính toán gần đúng có thể dùng phương pháp thực nghiệm sau đây.

Phương pháp thực nghiệm:

Ở đây việc xác định từ dẫn được xác định nhờ các công thức thực nghiệm. Phương pháp này cho kết quả đối với những trường hợp xác định đã được khảo sát bằng thực nghiệm. Các hệ số đưa ra chỉ đúng với những trường hợp ứng với điều kiện đưa ra.

Ví dụ: Khảo sát cực từ ở hình 1-3 :



Hình 1-3

Đối với 1 cực từ hình chữ nhật và 1 mặt phẳng ngăn cách bởi 1 khe hở. Từ dẫn khe hở được tính theo công thức sau:

$$G = \mu_0 \frac{a(1+x_1)b(1+x_2)}{\delta}$$

Đối với khe hở giữa 2 cực từ hình chữ nhật, từ dẫn được tính như sau:

$$G = \mu_0 \frac{a(1+y_1)b(1+y_2)}{\delta}$$

Trong các công thức trên các tham số x, y được tính:

$$x_1 = \frac{\lambda_1 \cdot \delta}{a}; x_2 = \frac{\lambda_1 \cdot \delta}{b}$$

$$y_1 = \frac{\lambda_2 \cdot \delta}{a}; y_2 = \frac{\lambda_2 \cdot \delta}{b}$$

Các hệ số λ_1 và λ_2 được xác định từ thực nghiệm và cho trong bảng sau:

δ (mm)	1	6	8	10
λ_1	3	1,42	1,04	0,74
λ_2	1,3	0,78	0,575	0,525

Bản quyền © Truong DH Su pham Ky thuat TP. HCM

§ 1.3 NAM CHÂM ĐIỆN TỪ MỘT CHIỀU

I. Lực hút của nam châm điện một chiều

Lực hút điện từ là lực hút nội bộ tác dụng trực tiếp lên vật thể dẫn từ nhằm mục đích thu hẹp đường dẫn của từ trường.

Vì mạch từ bao gồm những vật liệu dẫn từ là vật thể rắn và môi trường có thể là chất lỏng hay khí nên lực điện từ tác dụng thu hẹp đường dẫn của từ trường chỉ làm thay đổi độ lớn khe hở giữa các mạch từ thể rắn và do lực từ không đủ lớn để có thể làm biến dạng vật thể dẫn từ rắn của các thiết bị điện cơ.

Theo công thức Maxwell lực hút điện từ được tính:

$$F_{dt} = \frac{1}{\mu_0} \int_S \left[(\vec{B}_\delta \cdot \vec{n}) \vec{B}_\delta - \frac{1}{2} (\vec{B}_\delta^2 \cdot \vec{n}) \right] dS$$

Trong đó: $\vec{B}_\delta$: Vector từ cảm trên bề mặt cực từ

$\vec{n}$: Vector đơn vị pháp tuyến trên bề mặt cực từ

S : Diện tích bề mặt cực từ

Bề mặt cực từ là nơi tác động của lực điện từ là bề mặt phân chia giữa 2 môi trường có độ từ thẩm rất khác nhau.

Khi $\vec{n}$ và $\vec{B}_\delta$ trùng phương lúc đó ta có thể tính: $F_{dt} = \frac{1}{2\mu_0} \int_S B_\delta^2 \cdot dS$

Nếu có thêm điều kiện từ thông phân bố đều trong khu vực khe hở không khí thì công thức trên đơn giản hóa như sau:

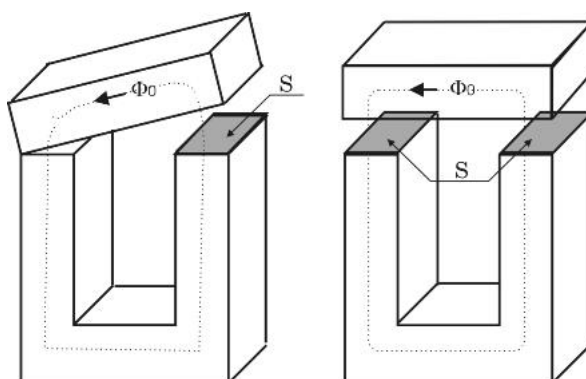
$$F_{dt} = \frac{1}{2\mu_0} B_\delta^2 \cdot S$$

$$F_{dt} = 39,8 \cdot 10^4 \cdot B_\delta^2 \cdot S \text{ (N)}$$

$$F_{dt} = 4,06 \cdot 10^4 \cdot B_\delta^2 \cdot S \text{ (KGf)}$$

Trong đó: B_δ : từ cảm (T); S : tất cả diện tích bề mặt cực từ chịu tác động (m²);

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{H/m}$: độ từ thẩm chân không; F_{dt} : lực hút điện từ (N)



Hình 1-4

II. Tính toán cuộn dây nam châm điện 1 chiều:

Tính toán cuộn dây trong mạch từ 1 chiều chủ yếu là xác định số vòng dây và đường kính dây.

1. Tính toán cuộn dây dòng điện:

Là cuộn dây gây tác động lực hút NCD khi có dòng điện $I \geq I_{gh}$ mà người ta xác định trước. Đặc điểm của cuộn dòng là thông thường có số vòng dây rất ít và tiết diện dây thì lớn.

Tiết diện dây được tính từ giá trị dòng giới hạn cho trước trong các điều kiện làm việc của cuộn dây: $s_{dd} = \frac{I}{J_{cp}}$.

Trong đó: I : là dòng giới hạn cần bảo vệ;

J_{cp} : là giới hạn mật độ cho phép tùy thuộc vào điều kiện làm việc của cuộn dây

J_{cp} : (2 ÷ 4) A/mm² Khi cuộn dây làm việc ở chế độ dài hạn.

J_{cp} : (5 ÷ 12) A/mm² Khi cuộn dây làm việc ở chế độ ngắn hạn lặp lại.

J_{cp} : (13 ÷ 30) A/mm² Khi cuộn dây làm việc ở chế độ ngắn hạn.

Số vòng dây phải quán được tính từ kết quả tính STĐ F cần thiết của mạch từ để có lực hút điện từ theo yêu cầu của cơ cấu cơ của khí cụ điện. Số vòng dây được tính: $N = \frac{F}{I}$

2. Tính toán cuộn dây điện áp

Là cuộn dây gây tác động lực hút NCD khi điện áp đặt trên cuộn dây lớn hơn điện áp yêu cầu $U \geq U_{gh}$. Đặc điểm cuộn áp có số vòng dây quán nhiều nhưng tiết diện dây dẫn nhỏ. Khi làm việc ổn định ở điện áp DC cuộn dây phải đảm bảo sức từ động F theo yêu cầu. Do vậy điện trở cuộn dây sẽ quyết định đến dòng điện làm việc ổn định của cuộn dây.

- Tiết diện dây dẫn :

Từ phương trình: $F = I.N$ ta viết lại như sau:

$$F = \frac{U}{R} N = \frac{U.N}{\rho \frac{l}{s_{dd}}} = \frac{U.N.s_{dd}}{\rho.l_{tb}.N} = \frac{U.s_{dd}}{\rho.l_{tb}}$$

Từ đó suy ra tiết diện dây dẫn cần thiết : $s_{dd} = \frac{F.\rho.l_{tb}}{U}$

- Số vòng dây :

Số vòng dây N không ảnh hưởng gì đến sức từ động F mà chỉ tác động làm thay đổi mật độ dòng điện chảy trong dây dẫn (ảnh hưởng về nhiệt tổn hao phát nóng).

$$F = I.N \quad \text{và mật độ dòng điện:} \quad j = \frac{I}{s_{dd}} = \frac{F}{N.s_{dd}}$$

Đối với cuộn áp thường làm việc ở chế độ dài hạn nên mật độ dòng cho phép J_{cp} chỉ nên chọn trong khoảng (2 ÷ 4) A / mm². Từ đó tính ra số vòng cần thiết phải quán.

$$N = \frac{F}{J_{cp}.s_{dd}}$$

Để bảo đảm sự phù hợp của cuộn dây với kích thước mạch từ đã cho ta phải kiểm tra xem với số vòng dây, tiết diện dây vừa tính được ở trên thì sau khi quấn xong có vào lọt trong cửa sổ mạch từ không.

$$s_{dd} \cdot N \leq S_{cuaso} \cdot k_{ld}$$

k_{ld} : Hệ số lấp đầy là tỉ lệ giữa phần đồng của dây quấn và tiết diện thực của cửa sổ, nó tùy thuộc vào kỹ thuật quấn và việc gia cố cách điện thêm vào các lớp dây cuộn dây.

$k_{ld} = (0,55 \div 0,75)$ khi không sử dụng cách điện lớp.

$k_{ld} = (0,36 \div 0,46)$ khi sử dụng thêm cách điện giữa các lớp.

Bảo đảm cuộn dây thật sự làm việc phù hợp ta còn cần phải kiểm tra lại vấn đề phát nóng và tăng nhiệt của cuộn dây phải nằm trong giới hạn cho phép.

$$\tau = \frac{P}{K_T \cdot \Sigma F_i} = \frac{P}{K_T \cdot (F_{ngoai} + \beta \cdot F_{trong})} < \tau_{cp}$$

Trong đó:

$$P: \text{ Tổn hao công suất trong cuộn dây được tính } P = I^2 R = I^2 \rho \cdot \frac{l_{tb} \cdot N}{s_{dd}} = \frac{(I \cdot N)^2 \rho l_{tb}}{k_{ld} \cdot S_{cuaso}}$$

K_T : Hệ số tỏa nhiệt từ bề mặt

F_i : Các bề mặt tỏa nhiệt thành phần của cuộn dây.

β : Là hệ số tính toán tính đến sự khác nhau giữa điều kiện tỏa nhiệt của bề mặt bên trong so với bề mặt bên ngoài. Từ kết quả khảo sát thực nghiệm ta thu được các giá trị của hệ số β như sau:

1/- $\beta = 0$ Đối với cuộn dây không có lõi cách điện.

2/- $\beta = 1,7$ Đối với cuộn dây được quấn trên lõi kim loại.

3/- $\beta = 2,7$ Đối với cuộn dây được quấn trực tiếp trên lõi từ.

4/- $\beta = 0$ Đối với cuộn dây quấn trên lõi cách điện nhưng điều kiện tỏa nhiệt kém và đối với cuộn dây dùng nguồn xoay chiều.

CÂU HỎI

1. Trình bày về lực hút của nam châm điện một chiều ?
2. Tính toán cuộn dây dòng điện và cuộn dây điện áp của nam châm điện một chiều ?

§ 1.4 NAM CHÂM ĐIỆN TỪ XOAY CHIỀU

I. Lực hút nam châm điện xoay chiều:

Khi dòng điện biến thiên tuần hoàn theo qui luật hình sin :

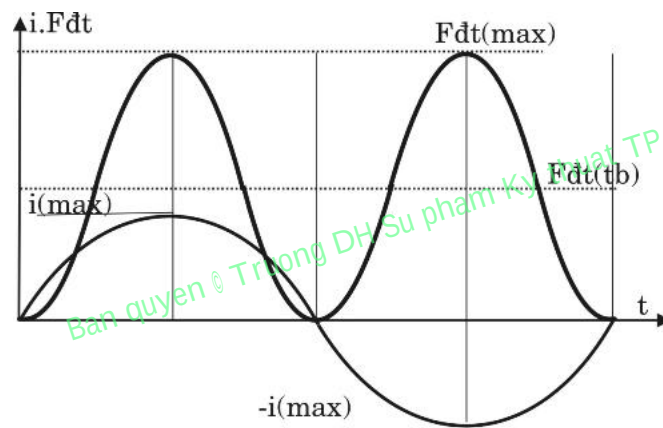
$$i = I_m \sin \omega.t.$$

Giả sử sự tổn hao là không đáng kể thì từ thông Φ cũng biến thiên theo qui luật hình sin :

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

Khi đó lực hút điện từ được xác định:

$$F_{dt} = \frac{1}{2\mu_0} \frac{\Phi_m^2}{S} \sin^2 \omega t = \frac{1}{4\mu_0} \frac{\Phi_m^2}{S} - \frac{1}{4\mu_0} \frac{\Phi_m^2}{S} \cos 2\omega t$$



Hình 1-5

- Thành phần thứ 1: $\frac{1}{4\mu_0} \frac{\Phi_m^2}{S}$ là thành phần lực điện từ không đổi theo thời gian; Giá trị trung

bình của lực điện từ xoay chiều trong 1 chu kỳ đúng bằng giá trị của thành phần không đổi này.

Khi xét từ thông trong mạch từ chưa bão hòa $\Phi_m = \Phi \cdot \sqrt{2}$ và $B_m = B \cdot \sqrt{2}$ thì:

$$F_{tb} = \frac{1}{2\mu_0} B^2 \cdot S = \frac{1}{2\mu_0} \frac{\Phi^2}{S}$$

Với cách tính này cho ta thấy tác dụng F_{tb} của lực điện từ xoay chiều có cùng giá trị như lực điện từ của dòng 1 chiều đối với mạch từ chưa bão hòa khi ta sử dụng giá trị hiệu dụng của dòng xoay chiều.

- Thành phần thứ 2: $\frac{1}{4\mu_0} \frac{\Phi_m^2}{S} \cos 2\omega t$ là thành phần biến thiên theo thời gian và có tần số gấp 2

lần tần số của từ thông xoay chiều và giá trị cực đại là:

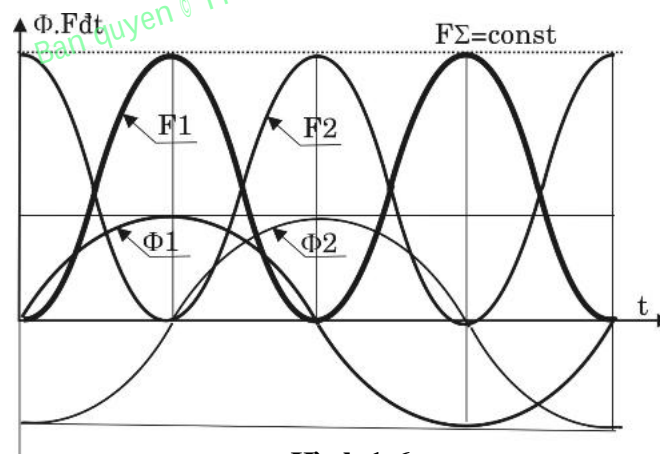
$$F_{MAX} = \frac{1}{2\mu_0} B_m^2 S = \frac{1}{2\mu_0} \frac{\Phi_m^2}{S} = \frac{1}{\mu_0} B^2 S = \frac{1}{\mu_0} \frac{\Phi^2}{S}$$

Đồ thị biến thiên của lực điện từ biểu diễn các thành phần của lực điện từ xoay chiều được trình bày trong hình dưới đây.

Nhận xét từ đồ thị ta thấy rằng lực điện từ xoay chiều có dạng đập mạch và có tần số gấp 2 lần tần số của dòng điện của nguồn xoay chiều. Điều đáng chú ý nữa là lực điện từ trong 1 chu kỳ có 2 lần giá trị của nó giảm về 0, tại đó lực điện từ không còn tác động nữa. Do các cơ cấu tác động cơ khí hút đẩy của thiết bị khi sử dụng nam châm điện tác động đóng ngắt mạch điện đều có lò xo phản lực nên chỉ cần $F_{dt} < F_{lực}$ là cơ cấu tự động nhả các tiếp xúc điện do nắp nam châm điện đã mở dưới tác động lực lò xo. Từ đó gây ra hiện tượng rung ở nam châm điện và không an toàn khi sử dụng nó đóng ngắt tiếp điểm, tần số rung này bằng 2 lần tần số lưới nguồn.

II. Biện pháp chống rung đối với nam châm điện xoay chiều:

Căn cứ vào đồ thị của lực điện từ xoay chiều và các thành phần của nó ở đồ thị hình 1-5. Ta thấy rằng nếu dùng 1 biện pháp nào đó để chia từ thông Φ thành 2 thành phần Φ_1 và Φ_2 có biên độ $\Phi_1 = \Phi_2 = \frac{1}{2} \Phi$ và lệch pha nhau 90° thì đồ thị lực điện từ có thể biểu diễn ở hình 1-6.



Hình 1-6

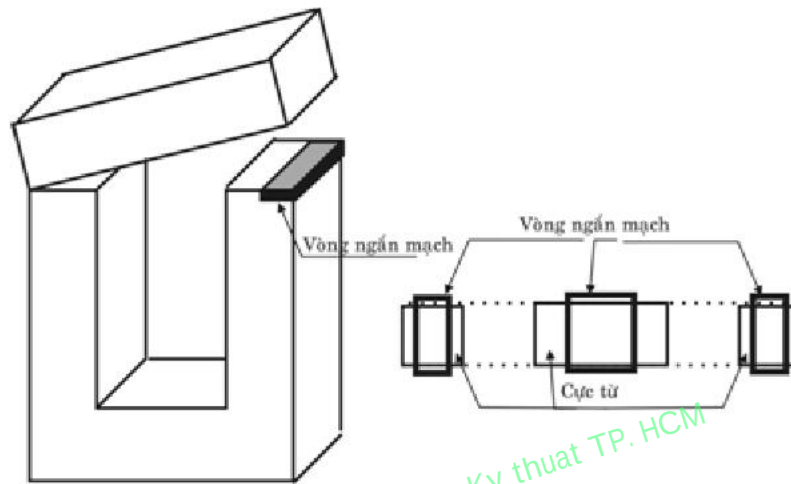
Khi đó lực điện từ tổng hợp do 2 lực điện từ thành phần gây ra sẽ là hằng số tại mọi thời điểm :

$$F_{dt\Sigma} = F_{dt1} + F_{dt2} = \text{Const}$$

Lực điện từ tổng này có giá trị không đổi vừa đúng bằng thành phần LĐT trung bình trong 1 chu kỳ hay chính là bằng thành phần lực điện từ không đổi theo thời gian do từ thông Φ gây nên.

Để có thể phân chia từ thông Φ như ý định trên, ta có thể thực hiện bởi các biện pháp sau:

- Dùng 2 cuộn dây trong mạch từ có số vòng không đổi và cung cấp dòng cho mỗi cuộn có giá trị bằng $\frac{1}{2}$ giá trị ban đầu và các dòng điện này lệch pha nhau 90° (Hay chia cuộn dây thành 2 nửa cuộn và cung cấp 2 dòng điện có giá trị không đổi nhưng lệch pha nhau 90°).
- Chia mạch từ thành 2 nửa mỗi phần mạch từ đặt 1 cuộn dây riêng có số vòng không đổi và cung cấp 2 dòng điện có giá trị không đổi nhưng lệch pha nhau 90° .
- Đặt vòng ngắn mạch ôm lấy $\frac{1}{2}$ bề mặt cực từ tại khe hở không khí.



Hình 1-7. Mạch từ có đặt vòng ngắn mạch

Hai biện pháp đầu phức tạp vì yêu cầu 2 nguồn cung cấp lệch pha. Biện pháp thứ 3 đơn giản hơn, dễ thực hiện lại rẻ tiền nên được áp dụng rộng rãi trong các nam châm điện xoay chiều dùng trong các khí cụ điện.

III. Tính toán cuộn dây nam châm điện xoay chiều

Số liệu ban đầu để tính toán cho cuộn dây NCD xoay chiều là biên độ sức từ động F , biên độ từ thông Φ_m . Nguồn điện là nguồn áp hay nguồn dòng tác động.

Tính toán cuộn dây dòng điện

- Số vòng dây N : Khi cuộn dây là cuộn dòng, dòng điện chảy qua cuộn dây phụ thuộc vào phụ tải, số vòng dây N được xác định bởi $N = F / I$

- Tiết diện dây dẫn: $S_{dd} = \frac{I}{J_{cp}}$

Tính toán cuộn dây điện áp

Có thể tính số vòng theo công thức sau: $N = (0,7 \div 0,8) \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot \Phi_m}$

Khi đó: $I = \frac{I_m \cdot N}{\sqrt{2} \cdot N} = \frac{F_m}{\sqrt{2} \cdot N}$

Tiết diện dây dẫn có thể xác định sơ bộ bằng cách chọn mật độ dòng trong giới hạn cho phép $J = (2 \div 4) \text{ A/mm}^2$

CÂU HỎI

1. Trình bày lực hút của nam châm điện xoay chiều ?
2. Tại sao có hiện tượng rung ở nam châm điện xoay chiều? Nêu biện pháp chống rung đối với nam châm điện xoay chiều ?
3. Tính toán cuộn dây dòng điện và cuộn dây điện áp của nam châm điện xoay chiều ?

Bản quyền © Truong DH Su pham Ky thuat TP. HCM

§ 1.5 NAM CHÂM VĨNH CỬU

Để tính toán nam châm vĩnh cửu, dựa vào hai hệ số sau :

- k_1 : hệ số mất mát xét tới những biến dạng của đường sức từ bên trong nam châm, ở cực từ và các thành phần còn lại của mạch từ :

$$k_1 = \frac{F_M}{F_\delta}$$

- k_s : hệ số xét tới tản và rò từ :

$$k_s = \frac{\Phi_t}{\Phi_{hi}}$$

Trong đó :

F_M : sức từ động của nam châm

F_δ : sức từ động tương ứng với khe hở không khí

Φ_t : từ thông tổng

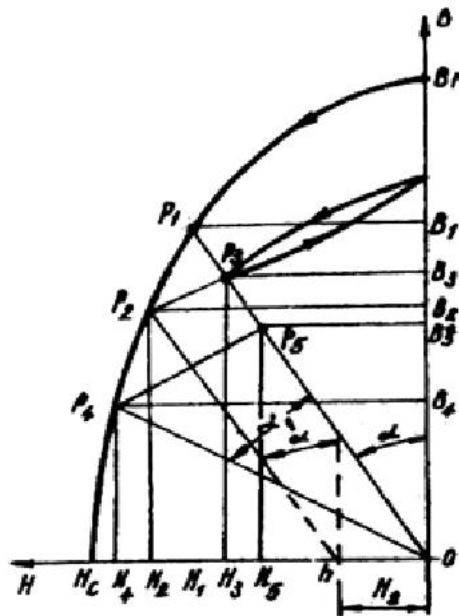
Φ_{hi} : từ thông có ích

Hệ số k_1 thay đổi trong giới hạn $1,05 \div 1,25$

Hệ số k_s thay đổi trong giới hạn $2 \div 5$.

I. Độ từ dư

Nếu sau khi từ hoá nam châm, ta ngắt dòng điện kích thích thì nam châm sẽ có cường độ từ cảm B_r gọi là độ từ dư. Khi có một khe hở δ ở vật liệu sắt từ thì độ từ dư sẽ giảm đến trị số B_1 ứng với điểm P_1 ở hình 1-8.



Hình 1-8. Đường cong khử từ và đường cong phục hồi

Nếu có một từ trường ngoài H_e tác dụng lên nam châm, điểm làm việc sẽ hạ từ P_1 xuống P_2 . Đường thẳng hP_2 song song với đường OP_1 . Khi không cho từ thông ngoài tác dụng nữa thì điểm làm việc không trở về điểm P_1 mà sẽ đi đến điểm P_8 , dời chuyển theo một đường cong gọi là đường

cong từ hoá nội bộ (còn gọi là đường cong phục hồi). Độ dốc của đường cong từ hóa nội bộ gọi là độ từ thẩm phục hồi.

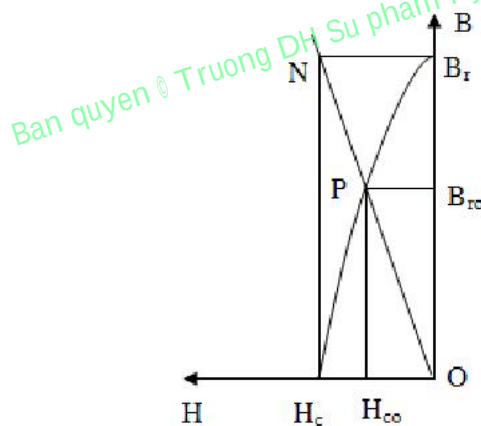
Đối với một nam châm vĩnh cửu, vấn đề từ hoá trước hay từ hoá sau khi lắp ráp thêm má cực từ sẽ ảnh hưởng đến trị số của cường độ từ cảm. Từ hoá trước khi lắp ráp thêm má cực từ thì cường độ từ cảm sẽ bé hơn một ít.

Giả dụ từ hoá sau khi lắp ráp thêm má cực từ có điểm làm việc là P_1 (ứng với trị số B_1) thì từ hoá trước khi lắp ráp thêm má cực từ điểm làm việc sẽ là P_5 (ứng với trị số B_5). Trên hình 1-8, ta thấy $B_5 < B_1$.

II. Hệ số phẩm chất

Tích số BH biểu thị năng lượng trên mỗi đơn vị thể tích và có giá trị lớn nhất ở một điểm nhất định trên đường cong từ trễ. Giá trị lớn nhất của tích số này $(BH)_{\max}$ gọi là hệ số phẩm chất của vật liệu vì nó đánh giá tính chất của vật liệu nam châm tốt hay xấu. Nếu $(BH)_{\max}$ của vật liệu càng lớn thì vật liệu càng tốt.

Nhà sản xuất ra vật liệu nam châm thường cho trị số hệ số phẩm chất, độ từ dư và lực giữ từ. Những giá trị cường độ từ cảm và lực giữ từ ứng với hệ số phẩm chất $(BH)_{\max}$ được ghi với kí hiệu B_{ro} , H_{co} . Nếu nhà sản xuất không cung cấp số liệu trên, ta có thể tìm thấy một cách gần đúng từ độ thị trên đường cong từ trễ ở hình 1-9.



Hình 1-9. Cách xác định hệ số phẩm chất bằng đồ thị

Từ điểm H_c vẽ một đường song song với trục tung OB và từ điểm B_r vẽ một đường song song với trục hoành OH. Nối điểm giao nhau N của các đường vừa vẽ với gốc toạ độ O, đường thẳng ON sẽ cắt đường cong từ trễ tại P. Điểm P chính là điểm phải tìm.

III. Hệ số lấp đầy γ

Hệ số lấp đầy γ biểu thị bằng biểu thức sau :

$$\gamma = \frac{(BH)_{\max}}{B_r H_c}$$

$$\gamma = 0,25 \div 0,65$$

đối với H_{co}/H_c và $B_{ro}/B_r = 0,5 \div 0,8$

Ta có :

$$\frac{H_{cs}}{H_c} = \frac{B_{rs}}{B_r}$$

Do đó : $H_{co} = H_c \sqrt{\gamma}$ và $B_{ro} = B_r \sqrt{\gamma}$

IV. Tính toán nam châm

Khi tính toán nam châm cần phải :

- Lựa chọn thép thích hợp nhất với mục đích sử dụng
- Bố trí nam châm sao cho có lợi nhất trong không gian sẵn có
- Chọn và sử dụng hợp lý vật liệu từ trở bé

Đối với bất kỳ vật liệu sắt từ nào cũng nên chọn điểm làm việc tốt nhất .

Từ thông đi qua tiết diện nam châm được tính như sau :

$$\Phi = BS \quad (\text{mắcxuen})$$

với B : cường độ từ cảm trong sắt từ (gauxơ)

S : tiết diện của sắt từ (cm^2)

Từ thông tổng của nam châm bằng từ thông kể hở (từ thông hữu ích) nếu bỏ qua từ thông tản và rò.

Nếu kể đến từ thông tản và rò ta có :

$$\Phi = H_{\delta} S_{\delta} k_s \quad (\text{mắcxuen}) \quad (1)$$

với H_{δ} : cường độ từ trường trong kẽ hở (óc-tét)

S_{δ} : tiết diện kẽ hở (cm^2)

k_s : hệ số xét tới sự tản và rò từ

Áp dụng định luật mạch từ : $HL + H_{\delta} l_{\delta} = 0$

Nếu kể đến từ thông tản và rò :

$$HL = H_{\delta} l_{\delta} k_1 \quad (2)$$

với :

H, L : cường độ từ trường trong sắt từ (óc-tét) và chiều dài sắt từ (cm)

l_{δ} : chiều dài kẽ hở (cm)

k_1 : hệ số xét tới những biến dạng của đường sức

Ở đây không kể đến dấu “-” vì dấu này chỉ cho biết chiều của cường độ từ trường trong sắt từ ngược với chiều của cường độ từ trường trong kẽ hở .

Nhân biểu thức (1) với (2) về với về ta được :

$$SLBH = S_{\delta} l_{\delta} H_{\delta}^2 k_s k_1$$

với SL là thể tích nam châm V và sau $S_{\delta} l_{\delta}$ là thể tích khe hở V_{δ}

Khi đó :

$$V = \frac{V_{\delta} H_{\delta}^2 k_s k_1}{BH} \quad (\text{cm}^3)$$

Từ công thức trên ta thấy : thể tích nam châm V bé nhất nếu BH lớn nhất. Vậy trong thiết kế ta chọn $(BH)_{\max}$.

Tiết diện nam châm :

$$S = \frac{H_{\delta} S_{\delta} k_s}{B} \quad (\text{cm}^2) \quad (3)$$

Chiều dài của nam châm : $L = \frac{H_{\delta} l_{\delta} k_1}{H} \quad (\text{cm}) \quad (4)$

Từ (3) và (4) ta có :

$$\frac{B}{H} = \frac{LS_{\delta} k_s}{Sl_{\delta} k_1}$$

CÂU HỎI

1. Trình bày về độ từ dư, hệ số phẩm chất, hệ số lấp đầy của nam châm vĩnh cửu ?
2. Khi tính toán nam châm cần chú ý điều gì ?
3. So sánh nam châm điện và nam châm vĩnh cửu ?

Bản quyền © Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM

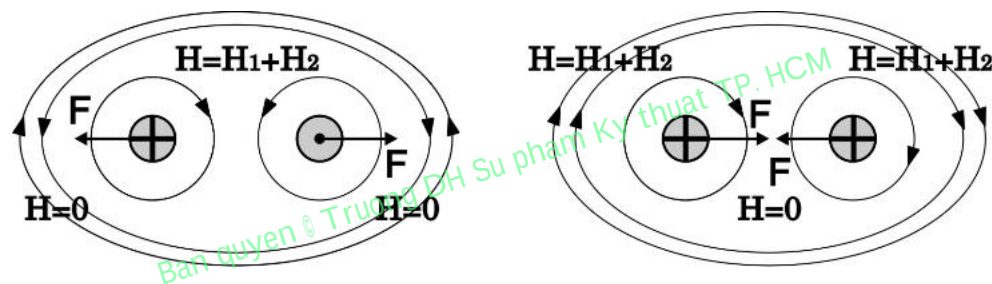
§ 1.6 LỰC ĐIỆN ĐỘNG

I. Khái niệm

Lực điện động là lực sinh ra khi vật dẫn mang dòng điện đặt trong từ trường. Lực đó tác dụng lên vật dẫn và có xu hướng làm thay đổi hình dáng vật dẫn để từ thông xuyên qua mạch vòng có giá trị cực đại.

Như chúng ta đã biết khi dòng điện chuyển động trong vật dẫn thì luôn luôn sinh ra xung quanh nó từ trường chuyển động. Từ trường này có thể tác dụng với tất cả vật dẫn dòng điện nằm trong vùng ảnh hưởng của nó và từ trường này cũng tác dụng ngay với chính dòng điện sinh ra nó. Lực tác dụng do dòng điện và từ trường sinh ra này đều được gọi là lực điện động.

Chiều của lực điện động được xác định bằng quy tắc bàn tay trái hay bằng nguyên lý chung: “chiều của lực tác dụng lên vật dẫn mang dòng điện là chiều biến đổi hình học hình dạng của mạch vòng dẫn điện sao cho từ thông mắc vòng qua nó tăng lên nghĩa là tăng vùng diện tích nơi có từ cảm B đi qua”.



Hình 1-11. Lực điện động do hai vật dẫn có dòng điện cùng chiều và ngược chiều

Trong điều kiện làm việc bình thường dòng điện chạy trong vật dẫn không lớn lắm lực điện động không gây nên biến dạng các chi tiết mang dòng điện. Nhưng khi có sự cố ngắn mạch các LDD này sẽ rất lớn gây biến dạng vật thể mang điện làm ảnh hưởng đến điều kiện làm việc cho phép của khí cụ điện. Do vậy nghiên cứu và tính toán lực điện động là rất cần thiết cho việc thiết kế và sử dụng hiệu quả khí cụ điện.

1. Tính toán lực điện động dòng điện một chiều:

Có thể tính lực điện động bằng hai phương pháp. Phương pháp thứ nhất dùng định luật Biot-Savart-Laplace hoặc dùng định luật bảo toàn năng lượng.

a. Phương pháp dùng định luật Biot-Savart-Laplace

Trong trường hợp chung nhất có thể xem LDD được sinh ra khi có sự tác động tương hỗ giữa dòng điện và từ trường. Theo định luật Biot-Savart-Laplace vi phân LDD tác dụng lên dòng điện i trên chiều dài của đoạn dl nằm trong từ trường có từ cảm B được xác định bởi tích vectơ dl và vectơ B

$$d\vec{f} = i d\vec{l} \times \vec{B}$$

Khi vectơ dl có chiều theo dòng i thì LDD dF thẳng góc với cả 2 vectơ dl và B, có độ lớn :

$$dF = i dl \cdot B \cdot \sin \varphi \quad (\varphi: \text{là góc giữa vectơ } dl \text{ và vectơ } B)$$

Nếu từ trường B không đổi tại mọi điểm dòng i chảy trên toàn bộ chiều dài l của 1 dây dẫn thẳng thì LĐĐ có giá trị như sau:

$$F = i \cdot l \cdot B \cdot \sin \varphi \text{ và khi } \varphi = 90^\circ \text{ thì: } F = i \cdot l \cdot B$$

Công thức Biot-Savart-Laplace dùng để xác định LĐĐ khi ta có thể biểu diễn từ cảm B bằng 1 biểu thức phân tích phụ thuộc vào kích thước hình dạng mạch vòng dẫn điện. Ngoài phương pháp tính lực điện động theo định luật Biot-Savart-Laplace, chúng ta có thể dùng phương pháp tính lực điện động theo định luật cân bằng năng lượng.

b. Phương pháp tính lực điện động theo định luật cân bằng năng lượng

Hiện tượng phát sinh LĐĐ là hiện tượng biến đổi năng lượng điện từ tích trong mạch điện thành cơ năng.

Lực điện động là lực cơ học. Định nghĩa lực cơ học là sự biến đổi cơ năng trên 1 đoạn chuyển dịch. Từ đó định nghĩa lực điện động là sự biến đổi của năng lượng điện từ trên 1 đoạn dịch chuyển của mạch điện.

$$F = \left. \frac{dW_M}{dx} \right|_{I=\text{const}}$$

Ở đó: W_M : năng lượng điện từ của mạch điện. (Ws)

Dx : đoạn dịch chuyển của mạch điện.

Biết rằng năng lượng điện từ trong 1 mạch điện:

$$W_M = \frac{1}{2} I \cdot L^2 = \frac{1}{2} I \cdot \Phi \text{ (Ws)}$$

Trong đó:

I: cường độ dòng điện. (A)

L: điện cảm của mạch. (H)

Φ : từ thông trong mạch. (Vs)

từ đó:

$$F = \frac{1}{2} I^2 \cdot \frac{dL}{dx} = \frac{1}{2} I \cdot \frac{d\Phi}{dx} \text{ (N)}$$

Trường hợp có 2 mạch điện:

$$W_M = \frac{1}{2} I_1^2 \cdot L_1 + \frac{1}{2} I_2^2 \cdot L_2 + I_1 \cdot I_2 \cdot M \text{ (Ws)}$$

Trong đó:

I_1, I_2 : cường độ dòng chảy trong mạch 1 và 2.

L_1, L_2 : điện cảm trong mạch 1 và 2

M: hồ cảm giữa mạch 1 và 2

Lực điện động sẽ là:

$$F = \frac{1}{2} I_1^2 \cdot \frac{dL_1}{dx} + \frac{1}{2} I_2^2 \cdot \frac{dL_2}{dx} + I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM}{dx}$$

Nếu mỗi mạch không bị biến dạng, mà chỉ dịch chuyển so với nhau thì $L_1 = \text{const} = L_2$ và:

$$F = I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM}{dx}$$

c. Tính lực điện động bằng phương pháp thực nghiệm

Có thể tính lực điện động bằng biểu thức:

$$\mathbf{F} = 10^{-7} \cdot \mathbf{i}_1 \cdot \mathbf{i}_2 \cdot \mathbf{K}_v \cdot \mathbf{K}_{hd}$$

Trong đó:

$\mathbf{K}_{hd}$ là hệ số phụ thuộc vào hình dáng vật dẫn

$\mathbf{K}_v$ được gọi là hệ số mạch vòng nó phụ thuộc vào hình dạng mạch vòng dẫn điện.

- Nếu gọi l là chiều dài vật dẫn, a là khoảng cách giữa hai vật dẫn, hệ số mạch vòng được xác định như sau:

+ Khi xét $(a/l) < 0,1$ đối với 2 dây dẫn song song tiết diện nhỏ:

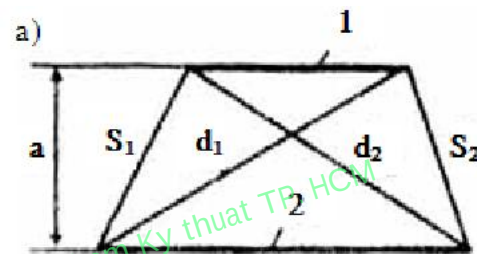
$$\mathbf{K}_v = (2 \cdot l / a)$$

+ Khi xét $(a/l) < 0,1$ đối với 2 dây dẫn song song tiết diện bán kính r :

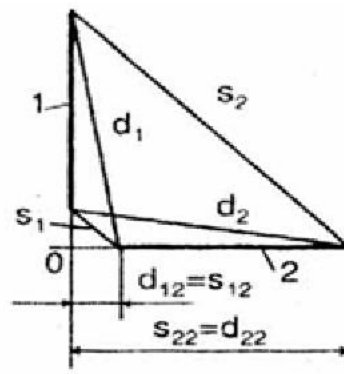
$$\mathbf{K}_v = [2 \cdot l / (a - r)]$$

+ Khi xét với dạng mạch vòng như hình sau ta có các giá trị $\mathbf{K}_v$:

$$\mathbf{K}_v = \frac{(d_1 + d_2) - (S_1 + S_2)}{a}$$



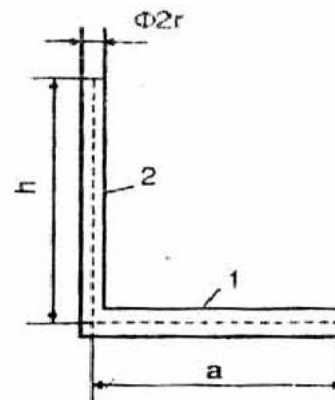
$$\mathbf{K}_v = \ln \frac{(d_1 + d_{12})(d_2 + d_{22})}{(S_1 + S_{12})(S_2 + S_{22})}$$



c)

$$\mathbf{K}_v = \ln \frac{2b}{1 + \sqrt{1 + c^2}} + 0,25$$

trong đó: $b = a/r$; $c = a/h$



$$K_v = 2 \ln \frac{L}{l}$$

$$K_v = 2 \left(\ln \frac{2b}{1 + \sqrt{1+c^2}} + 0,25 \right)$$

$$K_v = 2 \ln (a/r) + 0,5$$

Đây là trường hợp trong máy cắt $c \ll 1$
Cũng có thể tính từ cách khác để có cùng 1
kết quả như trên

$$F = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{dh}$$

$$\text{Trong đó: } L = 10^{-7} \cdot 2 \cdot h \cdot \left(2 \ln \frac{a}{r} + 0,5 \right) (H)$$

$$K_v = \ln (D/d)$$

Đây là trường hợp đối với tiếp điểm trong đó:
(d: đường kính tiếp xúc thực, D: đường kính
tiếp điểm)

LĐĐ tác động đối với tiếp điểm thường được
tính thêm hệ số dự trữ:

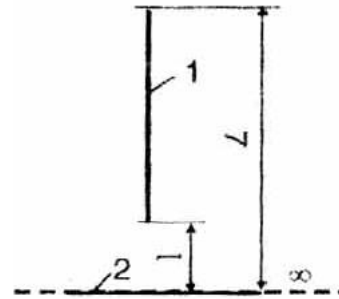
$$F = K \cdot 10^{-7} \cdot i^2 \cdot \ln (D/d)$$

Trong đó hệ số dự trữ: $K = 1,35 \div 1,5$

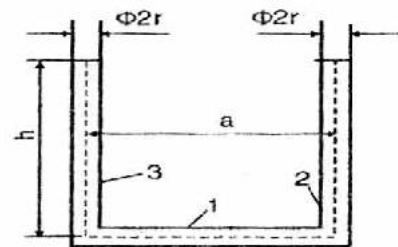
LĐĐ tác động đối với tia lửa hồ quang

$$F = 2 \cdot 10^{-7} \cdot i^2 \cdot \ln \frac{a-r}{r}$$

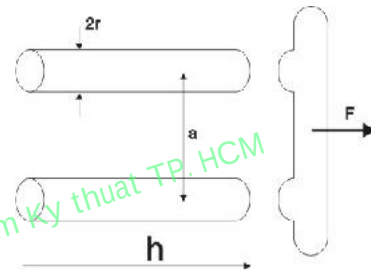
d)



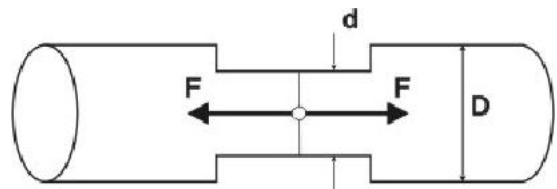
e)



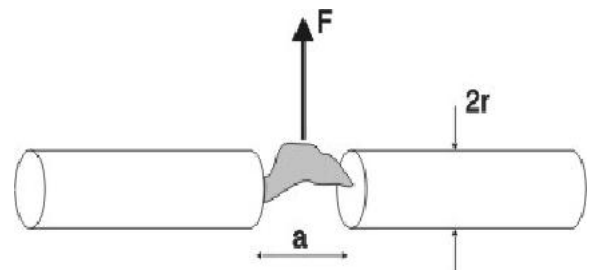
f)



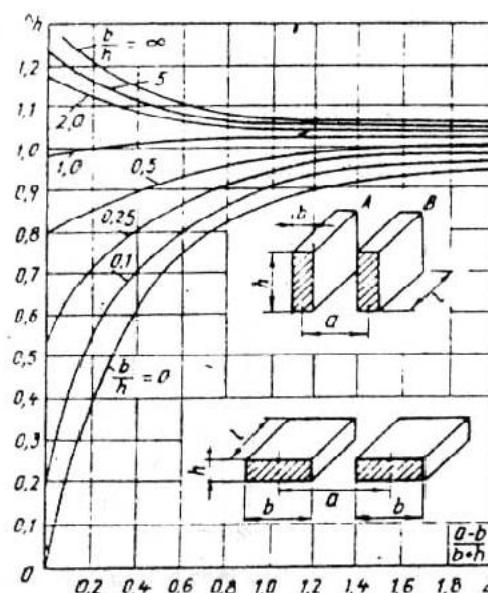
g)



i)



Hệ số K_{hd} được xác định bằng đồ thị hình 1-12



Hình1-12

2. Tính toán lực điện động dòng điện xoay chiều:

a. Khi chỉ xét sin điều hoà: $i(t) = I_m \cdot \sin \omega t$

Công thức tổng quát: $F = C i^2$ (với $C = 10^{-7} \cdot K_v \cdot K_{hd}$)

Vì i chính là giá trị tức thời nên:

$$\begin{aligned} F &= C \cdot I_m^2 \cdot \sin^2 \omega t \\ &= C \cdot I_m^2 \cdot \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) \end{aligned}$$

Lực tác động lớn nhất:

$$F_m = C \cdot I_m^2 = 2 \cdot C \cdot I^2$$

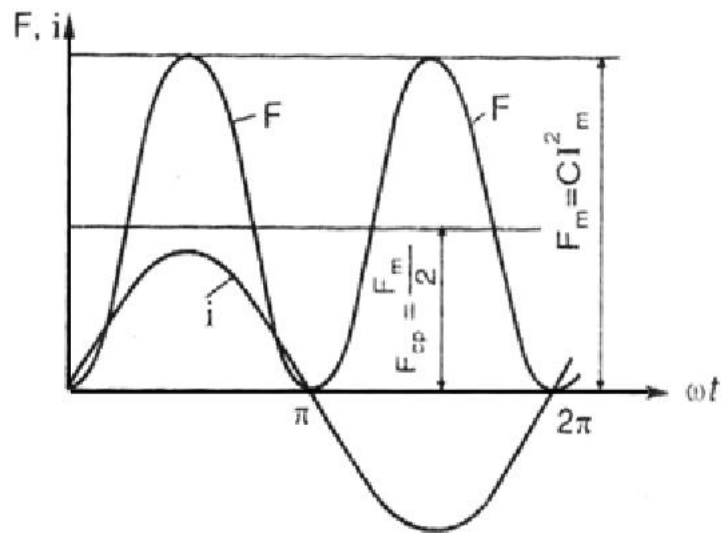
Lực tác động tức thời:

$$F = (F_m/2) - (F_m/2) \cdot \cos 2\omega t$$

Lực tác động trung bình:

$$F_{tb} = \frac{1}{T} \int_0^T F dt = \frac{C \cdot I_m^2}{2} = C I^2$$

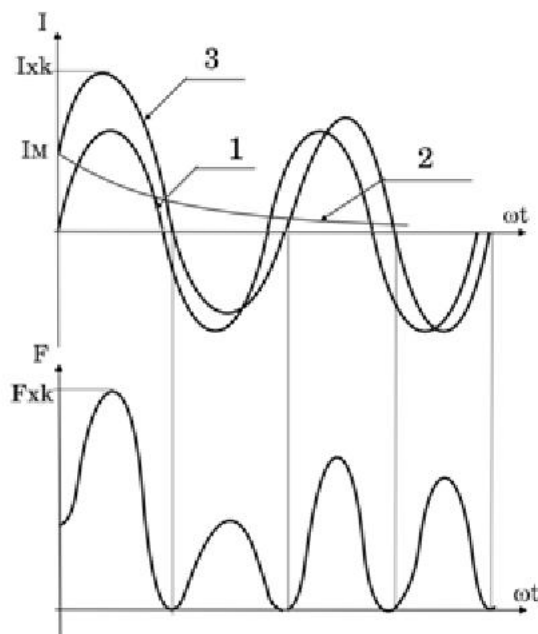
Đồ thị (hình 1-13), LĐT theo giá trị tức thời cho ta thấy lực F biến đổi tuần hoàn có giá trị từ $(0 \div F_m)$ và có tần số gấp 2 lần tần số dòng điện. Với tần số này tác động cơ khí sẽ gây ra tiếng ồn.



Hình 1-13

b. Khi xét dòng AC có chứa thành phần không chu kỳ:

Khi đóng ngắt mạch điện, sét đánh hay xảy ra sự cố trên lưới điện như ngắn mạch bất ngờ thì lúc này ngoài thành phần chu kỳ sin điều hoà còn có thành phần không chu kỳ làm cho giá trị dòng điện đặc biệt là giá trị I_m tăng vọt. Giá trị dòng điện lúc này tùy thuộc vào thời điểm xảy ra sự cố so với thời điểm mà thành phần chu kỳ đi qua điểm 0. Nó đặc biệt lớn khi thời điểm xảy ra sự cố đúng thời điểm π/ω của chu kỳ sin điều hoà. Đó chính là trường hợp LDD nặng nề nhất cần phải xét đến. Hình 1-14 trình bày dạng dòng điện ngắn mạch.



Hình 1-14

Đường 1: $i_1 = I_m \sin \omega t$

$$\text{Đường 2: } i_2 = I_M \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$\text{Đường 3: } i_3 = I_M \left(e^{-\frac{R}{L}t} - \cos \omega t \right)$$

Có thể mô tả dòng điện khi có thành phần không chu kỳ bởi biểu thức sau:

$$i = I_m \left(e^{-\frac{R}{L}t} - \cos \omega t \right)$$

Trong đó R và L là giá trị điện trở và điện cảm của lưới điện, T_0 được gọi là thời hằng $T_0 = L/R$.
 Tại thời điểm $t = \pi/\omega$ dòng điện đạt tới đỉnh cao nhất và được gọi là dòng xung kích I_{xk} .

$$I_{xk} = I_m \left(1 + e^{-\frac{\pi}{\omega T_0}} \right) = K_{xk} \cdot I_m$$

Hệ số K_{xk} phụ thuộc vào công suất nguồn điện, vị trí đặt của thiết bị và hình dạng của lưới điện, giá trị R và L của mạch. Thiết bị càng gần nguồn thì hệ số K_{xk} càng lớn. Trong tính toán ta thường chấp nhận giá trị $K_{xk} = 1,8$.

$$\text{Do vậy: } F_{xk} = C(I_{xk\max})^2 = C(1,8)^2 I_m^2 = 3,24 C I_m^2 = 6,48 \cdot C \cdot I^2$$

Như vậy khi có thành phần không chu kỳ thì LDD sẽ lớn gấp 3,24 lần so với dòng biến thiên điều hòa và lớn gấp 6,48 lần so với dòng DC cùng điều kiện. Khi xảy ra sự cố ngắn mạch dòng ngắn mạch đã rất lớn gấp hàng chục lần định mức, nếu tính tới thành phần xung kích thì dòng còn lớn hơn nữa gấp cả trăm lần I_{dm} . do vậy khi xét LDD để tính toán cho an toàn thiết bị chúng ta phải tính đến điều kiện có dòng xung kích này.

CÂU HỎI

1. Định nghĩa lực điện động ?
2. Trình bày cách xác định chiều tác động của lực điện động ?
3. Mục đích của việc xác định lực điện động là gì ?
4. Trình bày những vấn đề cơ bản liên quan đến lực điện động do dòng điện xoay chiều ?

CHƯƠNG II : CÁC LOẠI KHÍ CỤ ĐIỆN THÔNG DỤNG

§ 2.1 CONTACTOR

I. KHÁI NIỆM VÀ CÔNG DỤNG

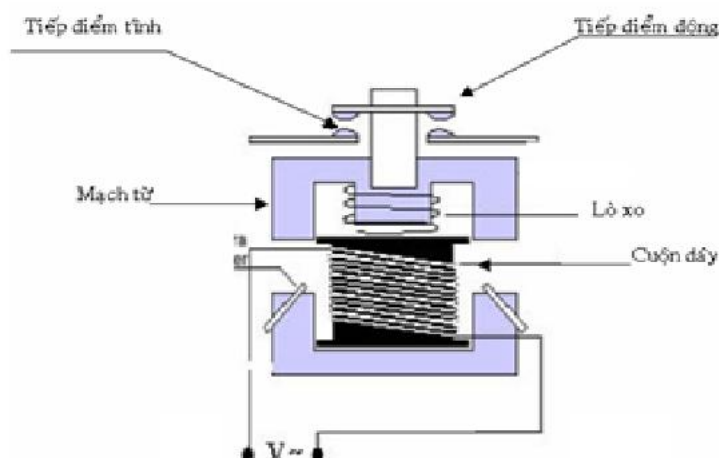
Contactor là khí cụ điện đóng cắt nhờ lực hút của cuộn dây. Contactor có thể đóng được dòng điện không tải, dòng định mức hay dòng khởi động của động cơ. Nó có thể cắt dòng điện có tải hay quá tải nhẹ.



Hình 2-1. Hình dạng bên ngoài Contactor

II. CẤU TẠO VÀ NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC

Contactor có hình dạng bên ngoài như hình 2-1. Về nguyên lý, contactor có cấu tạo cơ bản (hình 2-2) gồm: cuộn dây và mạch từ, hệ thống tiếp điểm chính và buồng dập hồ quang, hệ thống tiếp điểm phụ. Cấu tạo chi tiết của contactor được trình bày đầy đủ ở hình (2-3).



Hình 2-2. Nguyên lý cấu tạo của cotactor

1. Cuộn dây và mạch từ:

Cuộn dây và mạch từ có thể sử dụng điện áp một chiều hoặc xoay chiều nhưng có kết cấu tương đối giống nhau. Nhưng ở các mạch từ xoay chiều trên các mặt cực từ có thêm vòng ngăn mạch có tác dụng chống rung.

Mạch từ của contactor gồm hai phần: phần tĩnh được gắn cố định lên đế, phần mạch từ động có mang hệ thống tiếp điểm động và nhờ lò xo phản hồi đẩy lên nên vị trí ban đầu ứng với mạch từ hở và các tiếp điểm chính ở vị trí thường hở (NO). Khi có dòng điện chạy vào cuộn dây contactor, do lực hút điện từ nên mạch từ tĩnh bị hút về làm cho mạch từ khép kín và mang theo hệ thống các tiếp điểm động làm các tiếp điểm chính đóng lại.

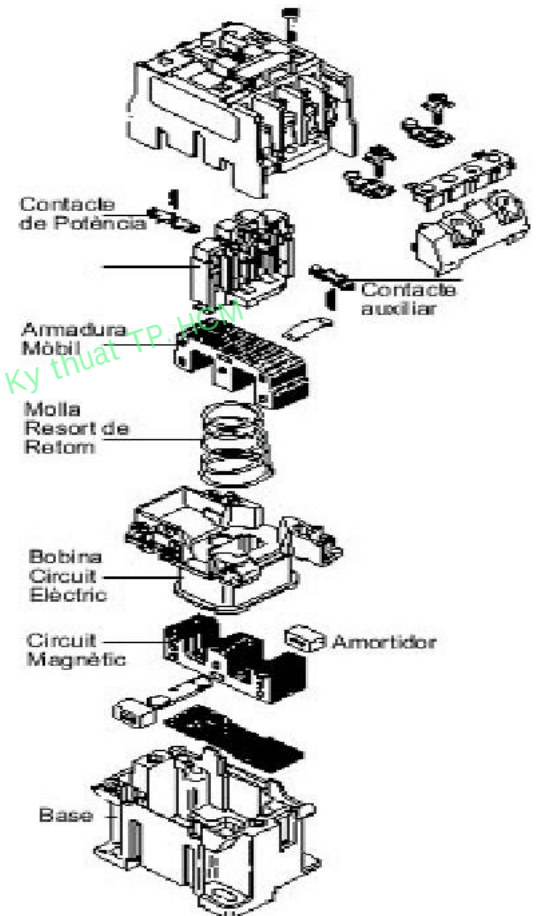
2. Các tiếp điểm chính và buồng dập hồ quang:

Các tiếp điểm chính của contactor khi làm việc phải chịu được dòng điện định mức, dòng điện quá tải, ngắn mạch trong thời gian ngắn cũng như phải cắt được dòng điện có tải cũng như quá tải nên thường được trang bị buồng dập hồ quang. Thường dòng điện định mức của contactor tùy nhà chế tạo có thể lên đến vài nghìn A.

Buồng dập hồ quang của các contactor hạ áp thường dùng phương pháp chia cắt hồ quang có thể kết hợp với việc thổi hồ quang bằng từ trường do kết cấu của các vách ngăn bằng vật liệu sắt từ. Ở điện áp cao buồng dập hồ quang có thể sử dụng phương pháp dập hồ quang trong chân không, trong dầu, khí áp suất cao,...

3. Hệ thống tiếp điểm phụ:

Để thuận tiện cho việc phối hợp điều khiển, các contactor còn được trang bị các tiếp điểm phụ chỉ có thể đóng cắt mạch điều khiển hoặc làm tín hiệu cho các thiết bị điều khiển tự động, cảnh báo,... có hai loại tiếp điểm phụ : tiếp điểm thường đóng (NC) và tiếp điểm thường hở (NO).



Hình 2-3. Cấu tạo chi tiết của contactor xoay chiều

III. LỰA CHỌN CONTACTOR

Lựa chọn contactor cần chú ý đến các tham số sau:

- Điện áp định mức: U_{dm}
- Dòng định mức I_{dm}
- Khả năng cắt và khả năng đóng.
- Tần số thao tác.

Thường các contactor được sản xuất theo tiêu chuẩn IEC 947-4-1 vì vậy khi chọn lựa contactor cần chú ý chọn theo điều kiện vận hành. Tiêu chuẩn IEC 947-4-1 qui định hình thức sử dụng contactor một chiều và xoay chiều theo điều kiện vận hành như sau:

1. Loại sử dụng đối với dòng điện xoay chiều.

- Loại AC1: chúng được dùng cho những thiết bị và khí cụ điện, các hệ tiêu thụ sử dụng dòng điện xoay chiều, mà hệ số công suất ít nhất phải bằng 0,95 ($\cos \varphi \geq 0,95$). Ví dụ dùng cho những điện trở ở dạng sưởi ấm hay lưới phân phối có hệ số công suất lớn hơn 0,95.

- Loại AC 3: Chúng được dùng cho những động cơ lồng sóc. Khi đóng, côngtactơ thiết lập dòng điện khởi động có trị số từ 5 đến 7 lần dòng điện định mức của động cơ. Khi mở, contactơ sẽ cắt dòng điện định mức cung cấp cho động cơ. Ở thời điểm đó, điện áp của những cực của contactơ biến động còn khoảng 20% điện áp của lưới điện, việc cắt được tiến hành dễ dàng.

Ví dụ sử dụng : tất cả những động cơ lồng sóc thông dụng trong cầu trục, thang máy, ở băng chuyền, ở cần cẩu, ở máy nén, ở bơm và ở máy điều hòa nhiệt độ vv...

- Loại AC4 và AC 2: chúng được dùng cho những hệ tiêu thụ mà động cơ dùng dòng ngược để hãm có phụ tải làm việc gián đoạn, sử dụng động cơ lồng sóc hay quấn dây. Contactơ này được đóng lại ở thời điểm mà cường độ có thể đạt từ 5-7 lần dòng điện định mức của động cơ. Khi cắt, nó có thể cắt dòng điện định mức với điện áp bằng điện áp lưới điện, việc cắt tương đối khó khăn hơn.

Ví dụ sử dụng: động cơ ở máy in, ở máy nâng hàng, ở trong công nghiệp luyện kim.

2. Loại sử dụng đối với dòng điện một chiều.

- Loại DC1: chúng được dùng cho tất cả thiết bị và khí cụ điện, hoặc các hệ tiêu thụ sử dụng dòng điện một chiều mà hằng số thời gian (L/R) bé hơn hay bằng 1ms (hay nói cách khác ở những hệ tiêu thụ, phụ tải không có tính cảm ứng hay cảm ứng bé, ví dụ các lò điện trở).

- Loại DC2: được sử dụng đối với động cơ một chiều kích thích song song. Hằng số thời gian là khoảng 7,5ms. Khi đóng, côngtactơ này thiết lập dòng điện khởi động nằm trong khoảng 2,5 lần dòng điện định mức sử dụng. Khi mở, côngtactơ sẽ cắt dòng điện định mức của động cơ. Việc cắt tương đối dễ dàng hơn.

- Loại DC3: loại này chỉ phối sự khởi động, phanh dòng điện ngược hay có phụ tải làm việc gián đoạn. Hằng số thời gian $\leq 2ms$. Khi đóng côngtactơ thiết lập dòng điện khởi động gần bằng 2,5 lần dòng điện định mức của động cơ. Khi mở, nó phải cắt dòng điện gấp 2,5 lần dòng điện khởi động ở một điện áp tối đa bằng điện áp của lưới điện. Việc cắt tương đối khó khăn hơn.

Loại này dùng cho khởi động động cơ kích từ song song với phụ tải làm việc gián đoạn và dùng cho việc đổi chiều quay của động cơ.

- Loại DC4: dùng khi khởi động động cơ kích từ nối tiếp, hằng số thời gian 10ms. Khi đóng, côngtắctơ thiết lập dòng điện khởi động gấp 2,5 lần dòng điện định mức của động cơ. Khi mở, nó cắt một phần ba dòng định mức được tiêu thụ bởi động cơ ở thời điểm này. Điện áp ở những cực của chúng là khoảng 20% điện áp của lưới điện. Ở loại DC4 số lần thao tác trong một giờ có thể cao hơn. Việc cắt tương đối dễ dàng hơn.

- Loại DC5: dùng khởi động động cơ kích từ nối tiếp, phụ tải làm việc gián đoạn hoặc phanh dòng điện ngược. Hằng số thời gian $\leq 7,5\text{ms}$. Contắctơ đóng ở thời điểm mà cường độ dòng điện có thể đạt đến 2,5 lần dòng điện định mức của động cơ. Khi cắt, contắctơ sẽ cắt ở dòng điện có cùng cường độ và điện áp có thể bằng điện áp của lưới điện. Việc cắt tương đối khó khăn hơn. Người ta có thể dùng nó trong trường hợp cần đảo chiều quay của động cơ.

CÂU HỎI

1. Nêu khái niệm và công dụng của Contactor ?
2. Trình bày nguyên lý làm việc của Contactor ?
3. Khi lựa chọn Contactor cần chú ý đến các tham số nào ?

Ban quyền © Trường ĐH Su pham Ky thuat TP. HCM

§ 2.2 CẦU CHÌ BẢO VỆ

I. KHÁI NIỆM VÀ PHÂN LOẠI CẦU CHÌ

1. Chức năng:

Cầu chì là một thiết bị bảo vệ trong đó việc chảy của một hay nhiều dây chảy làm hở mạch và ngắt dòng điện nếu dòng điện vượt quá giá trị đặt trong khoảng thời gian đã cho. Các cầu chì được phân loại theo hình thức sử dụng và cấu tạo.

2. Phân loại cầu chì

a. Phân loại theo hình thức sử dụng:

- Cầu chì bảo vệ quá tải (theo tiêu chuẩn IEC, cầu chì bảo vệ quá tải được ký hiệu bằng chữ **g** đầu): chỉ cầu chì thông dụng có thể dẫn dòng điện từ tối thiểu đến giá trị định mức và có thể cắt dòng điện từ giá trị cắt tối thiểu và tới khả năng cắt định mức của chúng.

- Cầu chì dự phòng (theo tiêu chuẩn IEC cầu chì dự phòng được ký hiệu bằng chữ **a** đầu): chúng có thể dẫn dòng tới dòng điện định mức và chỉ có thể cắt khi dòng điện quá tải nặng nề hoặc ngắn mạch

- Ngoài ra các cầu chì còn được phân loại theo thiết bị được nó bảo vệ:

- + bảo vệ cho cáp và đường dây- L

- + bảo vệ động cơ, máy cắt- M

- + bảo vệ linh kiện bán dẫn- R

- + bảo vệ máy biến áp- T_r

Ví dụ:

- Cầu chì gL là cầu chì bảo vệ quá tải cho đường dây

- Cầu chì aM là cầu chì dự phòng bảo vệ ngắn mạch cho động cơ hoặc máy biến áp.

b. Phân loại theo cấu tạo:

Theo cấu tạo của cầu chì có thể chia thành các dạng như:

- Cầu chì loại hở

- Cầu chì loại vặn

- Loại hộp

- Loại kín trong ống

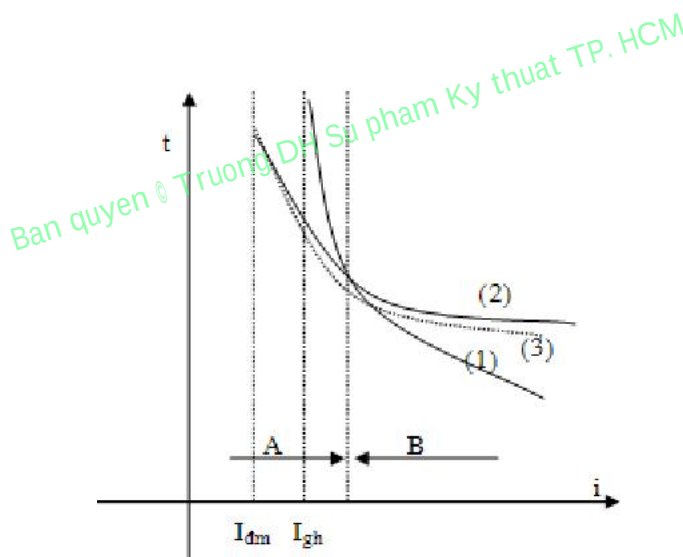
Bản quyền © Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM

II. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA CẦU CHÌ

Khi làm việc dây chảy của cầu chì được mắc nối tiếp với thiết bị cần được bảo vệ. Tổn thất công suất trên điện trở của cầu chì theo hiệu ứng jun là $w = i^2 R t$, khi có quá tải hay ngắn mạch, nhiệt lượng sinh ra tại dây chảy đủ làm tăng dây chảy lên đến nhiệt độ nóng chảy của kim loại làm dây chảy, dây chảy đứt loại sự cố khỏi lưới điện.

Như vậy đặc tính quan trọng của cầu chì là thời gian tác động phụ thuộc vào giá trị dòng điện qua dây chảy. Quan hệ giữa dòng điện tác động và thời gian tác động được biểu diễn bằng đặc tính amper-giây như hình 2-4. Đường cong 1 là đặc tính amper-giây của cầu chì, đường cong 2 là đặc tính amper-giây của đối tượng (phụ tải). Trong vùng dòng điện quá tải thấp (vùng A), sự phát nóng của cầu chì diễn ra chậm và phần lớn nhiệt lượng đều tỏa ra môi trường bên ngoài đối tượng không được bảo vệ. Trong vùng quá tải lớn, cầu chì bảo vệ được đối tượng. Giá trị dòng điện giới hạn mà cầu chì có thể chảy gọi là dòng điện giới hạn I_{gh} .

Để bảo vệ được đối tượng thì đặc tính amper-giây của cầu chì phải thấp hơn của đối tượng đường (3).



Hình 2-4. Đặc tính amper-giây của cầu chì

III. KẾT CẤU CỦA CẦU CHÌ

Cầu chì thường được cấu tạo bởi hai phần cơ bản là hộp hay đế cầu chì và ống dây chảy. Hình 2-5 mô tả một số dạng kết cấu của cầu chì hạ áp và cao áp. Hình (a), (b) là kết cấu của cầu chì dùng sử dụng bảo vệ thiết bị điện lắp đặt trong các tủ điều khiển; (c), (d) là dạng cầu chì trung áp được lắp kết hợp với dao cách ly; (e), (f) cấu tạo bên trong của ống chì và chi tiết gá lắp cầu chì lên đế.

Ống dây chảy thường có cấu tạo vỏ ngoài làm bằng nhựa bakelik hoặc sứ cách điện. Trong vỏ là dây chảy là thành phần chính của cầu chì. Dây chảy thường được làm bằng các kim loại có

nhệt độ nóng chảy thấp nhưng có nhiệt độ hóa hơi tương đối cao. Trên dây chảy người ta dập lỗ hoặc rãnh để tạo tiết diện không đồng nhất.



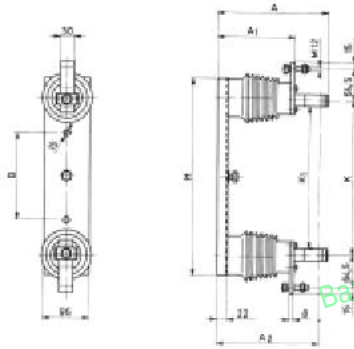
(a)



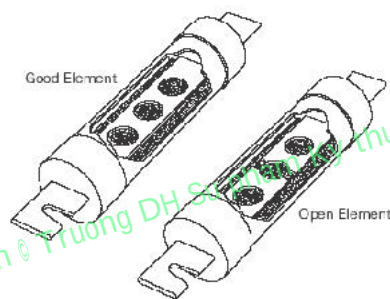
(b)



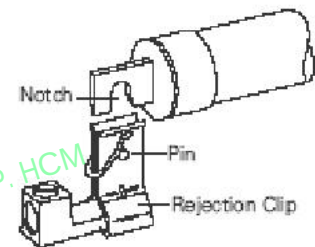
(c)



(d)



(e)



(f)

Hình 2-5. Kết cấu cầu chì

IV. LỰA CHỌN CẦU CHÌ.

Khi lựa chọn cầu chì cần chú ý đến các thông số định mức sau:

- Điện áp định mức U_n .
- Dòng điện định mức I_n .
- Khả năng cắt (dòng ngắn mạch) định mức.
- Đặc tính ampe - giây và khả năng hạn chế dòng điện của cầu chì.

Ngoài ra khi lựa chọn cầu chì phải xét đến các khả năng sau:

- Khi lựa chọn cầu chì bảo vệ tụ điện và máy biến áp cần tính đến dòng điện quá độ. Trong thiết bị tụ điện, dòng định mức tối thiểu của dây chảy bằng 1,6 lần dòng định mức của tụ, để tính đến sự điều hoà lưới điện và sự tăng điện áp.

- Khi chọn cầu chì bảo vệ động cơ, cần chú ý đến dòng khởi động của động cơ và thời gian khởi động. Cần chú ý đến tần số khởi động, nếu tần số quá cao các cầu chì không thể đủ nguội giữa các lần đóng cắt.
- Khi lựa chọn cầu chì, chúng có điện áp định mức và trị số dòng điện khác nhau khi kích thước cầu để cầu chì khác nhau.

CÂU HỎI

1. Nêu chức năng và phân loại cầu chì ?
2. Trình bày cấu tạo và nguyên lý làm việc của cầu chì ?
3. Khi lựa chọn cầu chì cần chú ý điều gì ?

Ban quyền © Truong DH Su pham Ky thuat TP. HCM

§ 2.3 ÁP-TÔ-MÁT (CB)

I. KHÁI QUÁT VÀ YÊU CẦU KỸ THUẬT

1. Khái quát:

Áp tô mát hay còn gọi là CB viết tắt của từ tiếng Anh là Circuit Breaker là được hiểu như là thiết bị cắt mạch. CB được qui định ở tiêu chuẩn IEC 947-2 như sau: *là thiết bị đóng cắt, ở điều kiện làm việc bình thường, máy cắt có khả năng cho dòng điện chạy qua và trong các điều kiện bất thường do ngắn mạch phải có khả năng chịu dòng điện trong khoảng thời gian xác định và cắt chúng.*

Máy cắt cho phép tác động đóng bằng tay phụ thuộc hoặc độc lập cũng như tác động bằng cơ cấu tích lũy năng lượng (dưới dạng lò xo, động cơ, nam châm điện). Máy cắt cho phép tác động cắt bằng tay, động cơ hoặc bằng các bộ nhả như hở mạch, quá dòng, điện áp thấp, công suất hoặc dòng điện ngược. Hình dạng bên ngoài của một máy cắt phổ biến MCCB (*Molded Case circuit breaker*) được trình bày ở hình 2-6.



Hình 2-6. Hình dạng bên ngoài của CB

2. Yêu cầu kỹ thuật:

a. Chế độ làm việc ở định mức của CB phải là chế độ làm việc dài hạn, nghĩa là trị số dòng điện định mức chạy qua CB lâu bao nhiêu cũng được. Mặt khác, mạch dòng điện của CB phải chịu được dòng điện lớn (khi ngắn mạch) lúc các tiếp điểm của nó đã đóng hay đang đóng.

b. CB phải ngắt được trị số dòng điện ngắn mạch lớn, có thể đến vài chục kA. Sau khi ngắt dòng điện ngắn mạch, CB phải đảm bảo vẫn làm việc tốt ở trị số dòng điện định mức.

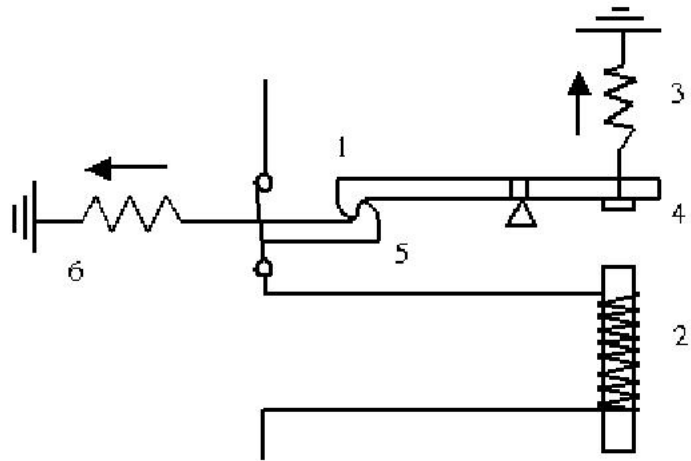
c. Để nâng cao tính ổn định nhiệt và điện động của các thiết bị điện, hạn chế sự phá hoại do dòng điện ngắn mạch gây ra, CB phải có thời gian cắt bé. Muốn vậy thường phải kết hợp lực thao tác cơ học với thiết bị dập hồ quang bên trong CB.

d. Để thực hiện yêu cầu thao tác bảo vệ có chọn lọc, CB cần phải có khả năng điều chỉnh trị số dòng điện tác động và thời gian tác động.

II. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC

Sơ đồ nguyên lý làm việc của CB dòng điện cực đại và CB điện áp thấp được trình bày trên hình 2-7 và 2-8.

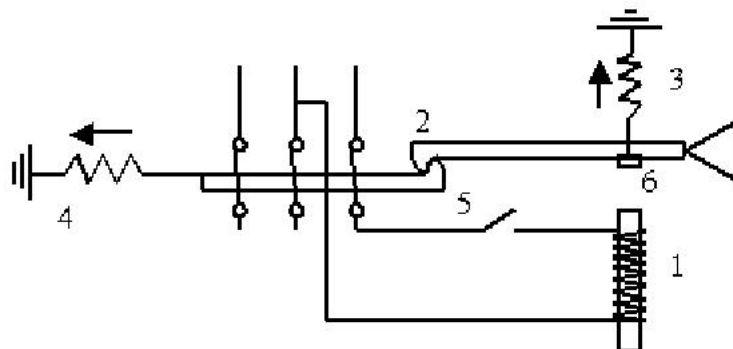
- CB bảo vệ quá dòng (hình 2-7): Ở trạng thái bình thường sau khi đóng điện, CB được giữ ở vị trí đóng tiếp điểm nhờ móc răng 1 khớp với cần răng 5 cùng một cụm với tiếp điểm động như hình dưới.



Hình 2-7. Nguyên lý làm việc của máy cắt quá dòng điện cực

Khi mạch điện quá tải hay ngắn mạch, nam châm điện 2 sẽ hút phần ứng 4 xuống làm nhả móc 1, cần 5 được tự do, kết quả các tiếp điểm của CB được mở ra dưới tác dụng của lực lò xo 6, mạch điện bị ngắt.

- CB bảo vệ thấp áp (hình 2-8): khi sụt áp quá mức, nam châm điện 1 sẽ nhả phần ứng 6 làm nhả móc 2, do đó các tiếp điểm của CB cũng được mở ra dưới dạng của lực lò xo 4, mạch điện bị cắt.



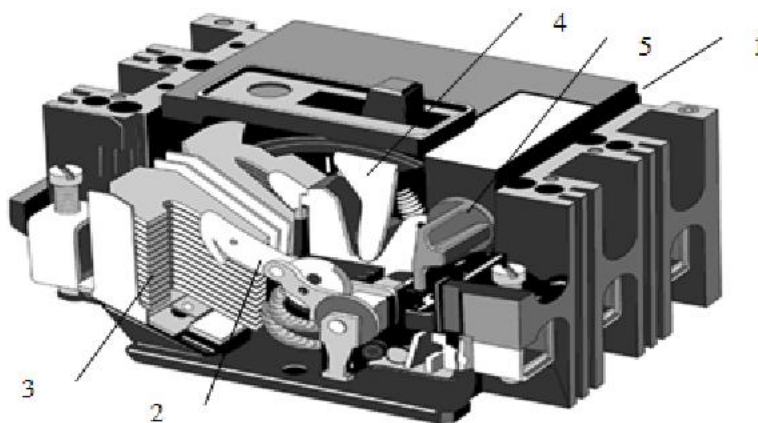
Hình 2-8. Nguyên lý làm việc của một CB điện áp thấp

III. CẤU TẠO CỦA MÁY CẮT THÔNG DỤNG (MCCB, MCB)

Như hình 2-9 là cấu trúc điển hình của một aptomat. Về mặt cấu tạo aptomat gồm 5 bộ phận chính, đó là:

- Vỏ hộp (*Molded Case*), (1)
- Tiếp điểm (*Contacts*), (2)
- Bộ dập hồ quang (*Arcing chamber kit*), (3)
- Cơ cấu tác động cơ khí (*Operating Mechanism*), (4)

- Cơ cấu bảo vệ (*Trip Uni*) thường gọi là móc bảo vệ, (5)



Hình 2-9. Cấu tạo bên trong của CB

1. Vỏ hộp (1):

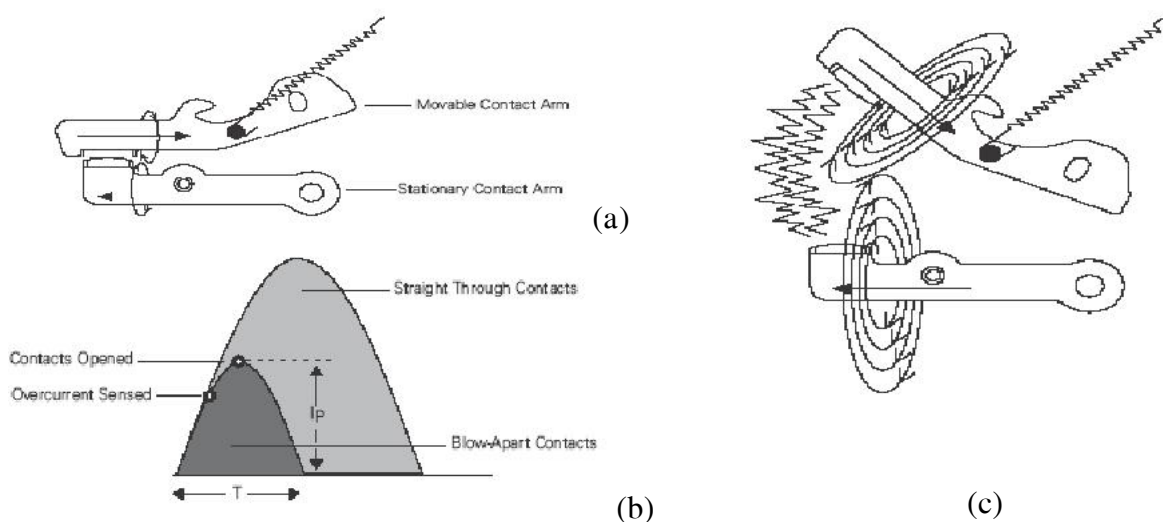
Là một kết cấu cách điện để lắp các thiết bị của một CB. Vật liệu thường được sử dụng là nhựa chịu nhiệt như thủy tinh- polymer (glass-polymer). Cấu trúc của vật liệu phụ thuộc vào các thông số định mức của CB như điện áp định mức, dòng điện định mức, công suất cắt và kích cỡ vật lý của CB.

2. Tiếp điểm (2):

Tiếp điểm của CB thường có cấu tạo dạng ngón như (hình 2-10a). Kết cấu này có hai ưu điểm đó là:

- Khi đóng mở, có một khoảng thời gian tiếp điểm động tỳ và trượt lên tiếp điểm tĩnh tạo điều kiện cho các chất bẩn trên bề mặt tiếp điểm bị cạo sạch.

- Ưu điểm lớn nhất của tiếp điểm dạng này là khi ngắn mạch, ngoài lực kéo về của lò xo phản hồi còn có thêm lực điện động tạo bởi hai dòng điện song song ngược chiều trong hai phần tiếp điểm tĩnh và động. Lực này có xu hướng kéo 2 tiếp điểm rời xa nhau, kết quả là thời gian cắt của CB bé (có thể chỉ khoảng 4ms) làm hạn chế được dòng điện ngắn mạch (hình 2-10c).

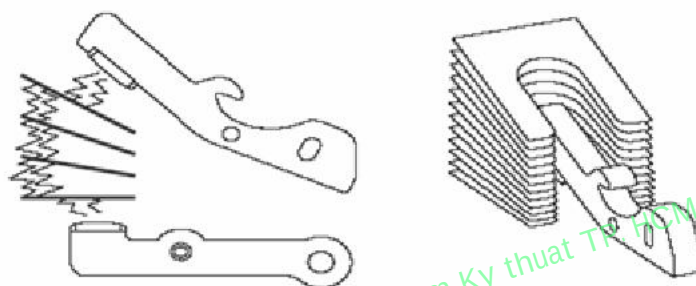


Hình 2-10. Kết cấu tiếp điểm của CB

3. Buồng dập hồ quang:

Khi cắt mạch hồ quang phát sinh ở tiếp điểm sinh ra nhiệt có thể làm hư hỏng các tiếp điểm mặt khác quá trình ion hóa do hồ quang có thể có áp suất cao làm hư hỏng các bộ phận khác và vỏ của CB.

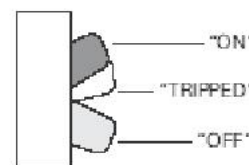
Cấu trúc của buồng dập hồ quang thường hình chữ U được làm bằng nhiều tấm thép ghép lại để chia nhỏ hồ quang, khuếch tán năng lượng hồ quang và dập tắt hồ quang nhanh chóng (hình 2-11).



Hình 2-11. Cấu trúc của một buồng dập hồ quang

4. Cơ cấu tác động cơ khí:

Gồm các bộ phận cơ khí giúp cho việc đóng mở bằng tay của tiếp điểm. Có ba trạng thái của cơ cấu tác động bằng tay: đóng (ON), mở (OPEN), và trạng thái sau tác động bảo vệ (tripped) .

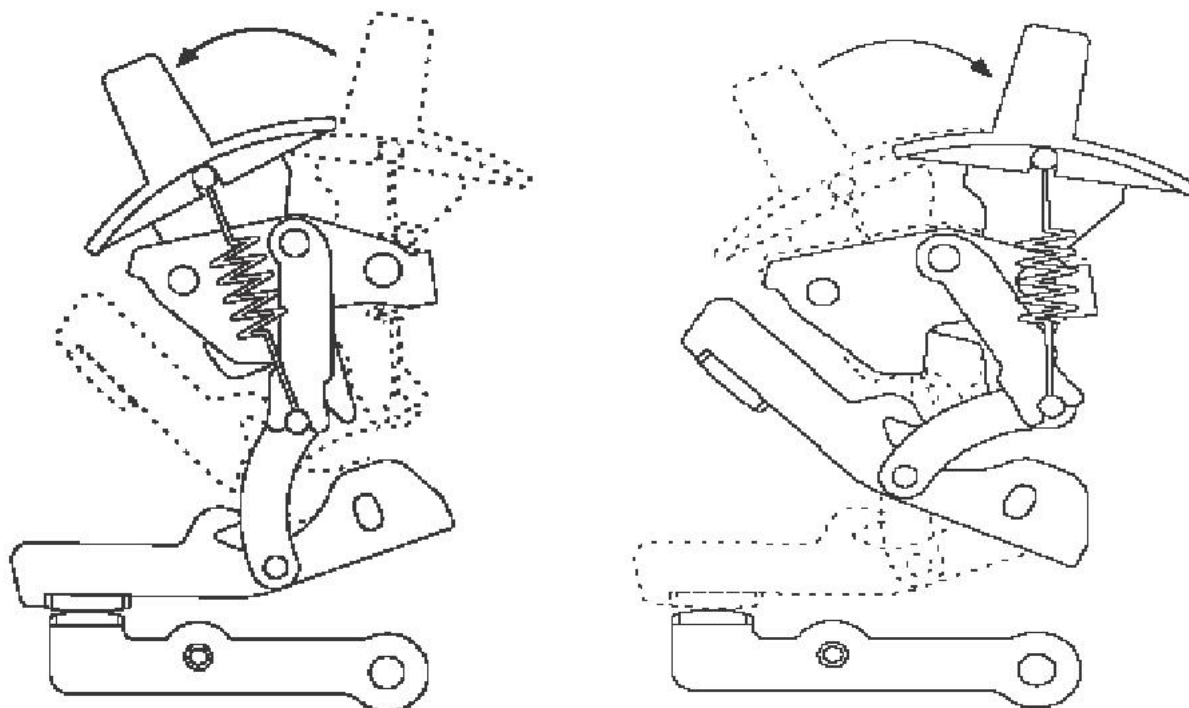


Thao tác đóng mở bằng tay được trình bày trong hình 2-13.

Hình 2-12

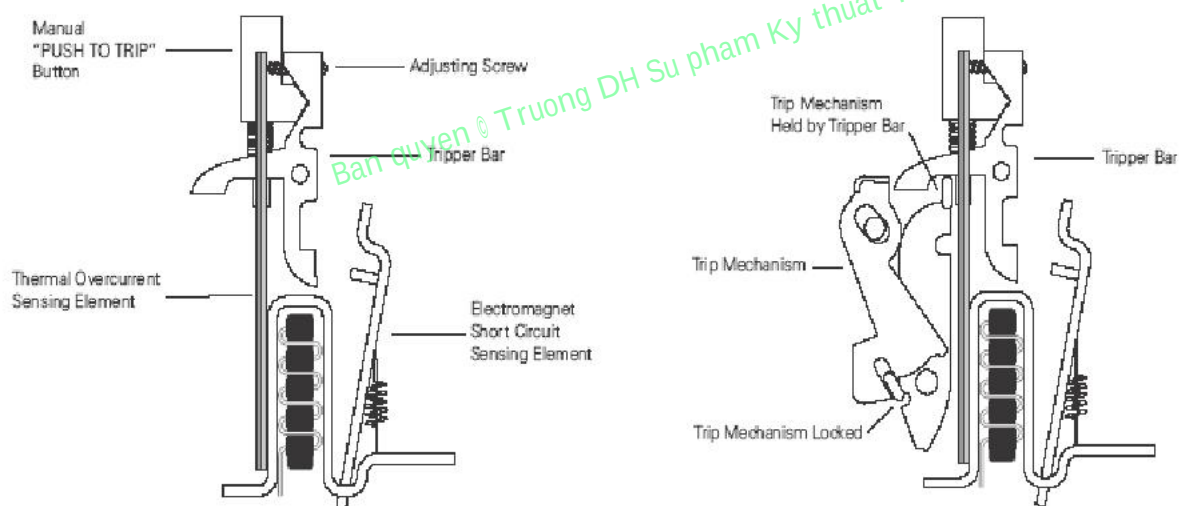
5. Cơ cấu bảo vệ:

Đây là trung tâm của một CB, là các phần tử mà nhờ nó việc tác động tự động của CB được thực hiện. CB sẽ tác động trong các trường hợp sau: khi nhấn nút “PUSH TO TRIP”, khi thành phần cảm biến quá dòng bằng lưỡng kim hay cuộn dây điện từ tác động (đối với CB thông thường) hoặc tác động khi có sự cố chạm vỏ (ELCB,RCCB)...hình 2-14 trình bày cấu tạo của một móc bảo vệ tác động bằng lưỡng kim nhiệt và nam cuộn dây điện từ . Quá trình tác động khi có sự cố quá dòng do quá tải hay ngắn mạch, tác động bằng lưỡng kim nhiệt và nam châm điện từ được trình bày trên hình 2-15.

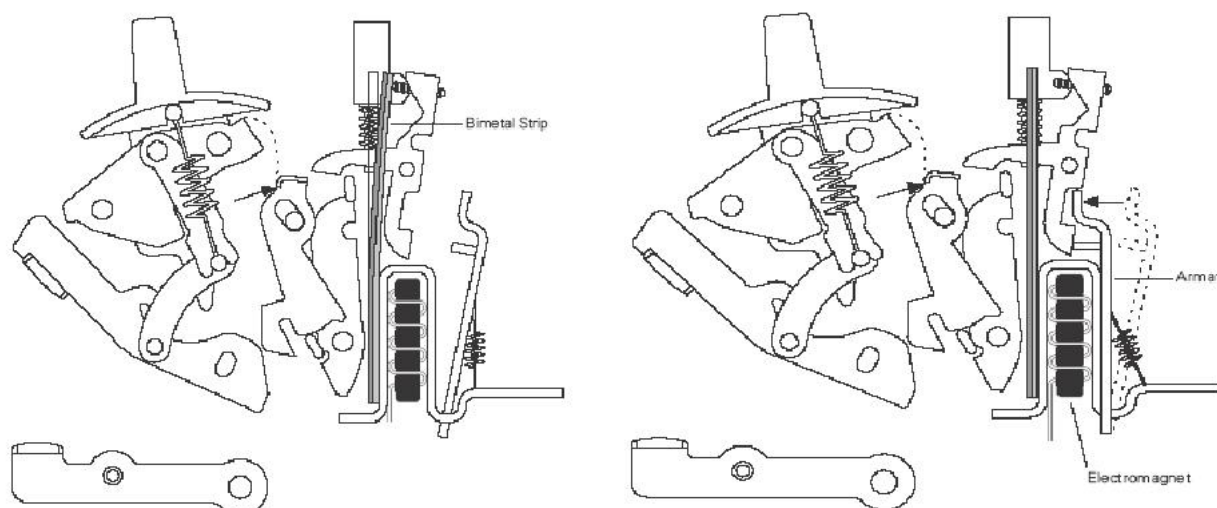


Hình 2-13, 2-14. Hoạt động bằng tay của cơ cấu cơ khí.

(2-13):trạng thái đóng, (2-14): trạng thái mở tiếp điểm



Hình 2-15. Cấu tạo của móc bảo vệ



Hình 2-16. Quá trình tác động bằng lưỡng kim nhiệt và cuộn dây điện từ

IV. THÔNG SỐ KỸ THUẬT VÀ LỰA CHỌN CB

1. Dòng điện định mức:

Là giá trị dòng điện liên tục lớn nhất mà CB có thể chịu được lâu dài. Khi chọn CB, đây là thông số quan trọng. Thường khi chọn lựa CB, dòng điện danh định của CB được chọn bằng 125% dòng điện định mức của tải.

2. Điện áp định mức:

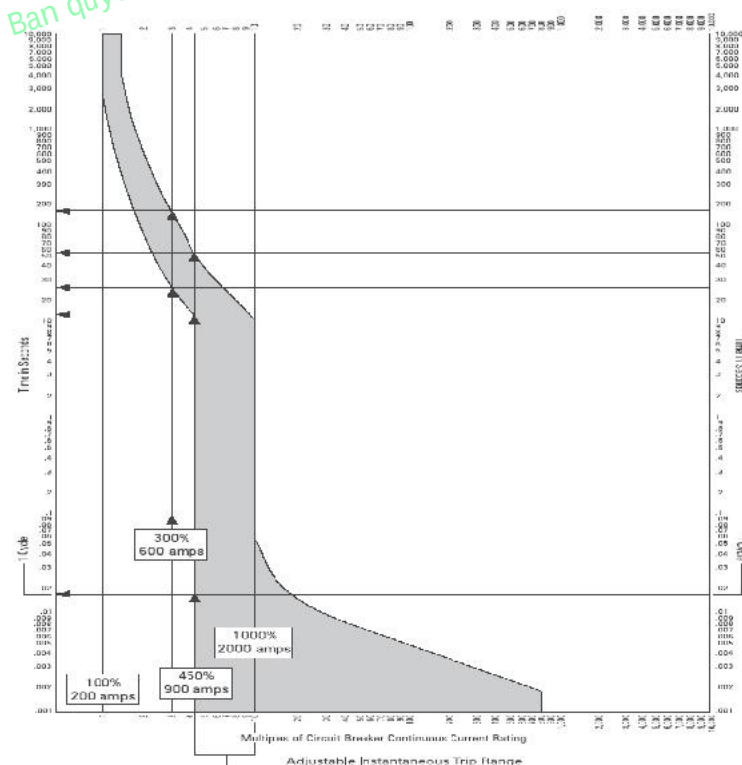
Là giá trị điện áp lớn nhất mà CB có thể chịu được. Khi chọn CB, điện áp của lưới phải nhỏ hơn giá trị điện áp định mức của CB. Ví dụ: một CB có điện áp định mức là 480 volt thì có thể được chọn lắp trong hệ thống điện áp nhỏ hơn hoặc bằng 480 volt.

3. Khả năng cắt của CB:

Khả năng cắt của CB được đặc trưng bằng giá trị dòng điện lớn nhất mà nó có thể cắt được mà không bị hư hỏng. Các nhà sản xuất thường sản xuất CB có dung lượng cắt từ 10-200KA.

4. Đặc tính amper-giây của CB:

Đặc tính amper- giây biểu thị quan hệ giữa thời gian tác động và giá trị dòng điện quá dòng của aptomat. Hình 2-17 trình bày đặc tính amper-giây của aptomat có dòng điện định mức là 200A. Trục hoành biểu thị giá trị dòng điện của đối tượng bảo vệ và trục tung là thời gian tác động khi có sự cố quá dòng.



Hình 2-17. Đặc tính amper- giây của aptomat

Như ta thấy đặc tính amper- giây của aptomat gồm hai đoạn:

- Đoạn thứ nhất khi dòng điện quá tải nhỏ, thời gian tác động phụ thuộc vào giá trị dòng điện, đây là đoạn bảo vệ bằng lưỡng kim nhiệt.

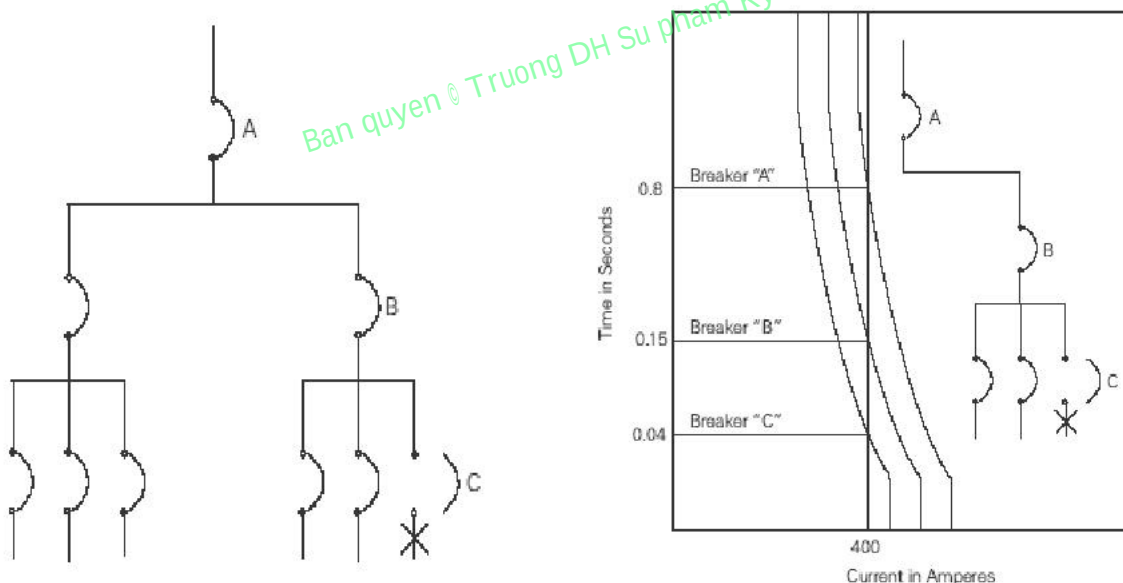
- Đoạn thứ hai, khi dòng điện lớn hơn một giá trị nhất định, trong hình vẽ giá trị này có thể được điều chỉnh từ (450 đến 1000)% giá trị dòng điện định mức, thì thời gian tác động rất nhỏ. Đây là đoạn bảo vệ bằng cuộn dây điện từ. Thời gian tác động lúc này chỉ bằng thời gian nhả của các cơ cấu cơ khí.

Đặc tính amper- giây là một yếu tố quan trọng để lựa chọn aptomat nhất là khi cần nâng cao tính tác động có chọn lọc cho lưới điện.

5. Đặc tính tác động có chọn lọc (Selective coordination):

Đây là đặc tính quan trọng đối với các thiết bị đóng cắt. Yêu cầu đặt ra là nếu có sự cố thì thiết bị đóng cắt gần nhất phía trên (upstream) sẽ tác động mà không ảnh hưởng đến các thiết bị đang làm việc gần đó cũng như lưới điện. Điều này đảm bảo sự làm việc liên tục của hệ thống điện.

Ví dụ: cho hệ thống có sơ đồ đơn tuyến như hình 2-18 ta thấy nếu có sự cố quá dòng dưới điểm C thì aptomat C phải mở. Nếu điều này xảy ra thì sự cố được cắt ra khỏi lưới trong khi các phụ tải khác vẫn làm việc bình thường. Để điều này xảy ra, phải lựa chọn hay điều chỉnh đặc tính cắt (đặc tính amper-giây) của các aptomat A,B,C như hình 2-18b. Nghĩa là các aptomat phía trên phải có đặc tính amper-giây nằm trên và các aptomat càng gần phụ tải.



Hình 2-18 a, b. Đặc tính cắt có chọn lọc của aptomat

CÂU HỎI

1. Nêu các yêu cầu kĩ thuật của CB ?
2. Trình bày nguyên lý làm việc của CB dòng điện cực đại và CB điện áp thấp ?
3. Nêu cấu tạo của MCCB và MCB ?
4. Nêu các thông số kĩ thuật và tiêu chuẩn lựa chọn CB ?

§ 2.4 THIẾT BỊ CHỐNG DÒNG ĐIỆN RÒ (CBRs)

I. Chức năng

CBRs được dùng để bảo vệ chống dòng điện rò cho các loại hệ thống điện của hộ sử dụng điện (HTĐ– SĐĐ) từ đơn giản đến phức tạp, và bảo vệ chống dòng điện rò các loại phụ tải điện khác nhau. Tuy nhiên, các loại CBRs đều có hai chức năng:

- *Chức năng thứ nhất:* Bảo vệ chống quá tải, chống ngắn mạch của phụ tải điện và HTĐ– SĐĐ. Đối với chức năng này, nguyên tắc hoạt động của CBRs giống như nguyên tắc hoạt động của CB.
- *Chức năng thứ hai:* Bảo vệ chống dòng điện rò cho các phụ tải điện và HTĐ – SĐĐ.

Như vậy, CBRs cũng là loại thiết bị bảo vệ, nhưng có tác dụng bảo vệ toàn diện hơn so với CB.

II. Đặc điểm cấu tạo của CBRs.

Thông thường các loại CBRs có các bộ phận chính như sau:

- **Bộ phận đóng – cắt mạch:** có chức năng bảo vệ chống quá tải và chống ngắn mạch. Chúng có cấu tạo nguyên lý hoạt động hoàn toàn giống như CB.
- **Bộ chức năng chống dòng điện rò:** bộ phận này có hai cơ cấu chủ yếu.
- Cơ cấu phát hiện dòng điện rò: Nguyên tắc hoạt động của cơ cấu này giống như máy biến dòng đo lường (TI). Chúng được gọi là máy biến dòng rò và viết tắt là ZCT.
- **Cơ cấu so sánh và khuếch đại dòng điện rò:** Cơ cấu này là mạch điện tử, có nhiệm vụ nhận tín hiệu dòng điện rò từ máy biến dòng CT, so sánh dòng điện rò với giá trị đặt trước của dòng tác động rò, khuếch đại tín hiệu dòng điện rò và đưa đến mạch điều khiển bộ phận đóng – cắt mạch của CB. Cơ cấu này được gọi là rơle dòng rò và viết tắt là ELR.

Đối với CBRs có bộ phận chức năng chống dòng điện rò đơn giản:

Trường hợp này, bộ phận chức năng chống dòng điện rò có kết cấu rất nhỏ gọn và được lắp đặt trong CB. Đối với CBRs có dòng điện làm việc định mức dưới 1000A và bộ chức năng chống dòng điện rò đơn giản, có hình dáng và kích cỡ giống hình dáng và kích cỡ của CB với dòng điện làm việc định mức tương đương. Loại này được gọi là CBRs tích hợp.

Đối với CBRs có bộ phận chức năng chống dòng điện rò phức tạp.

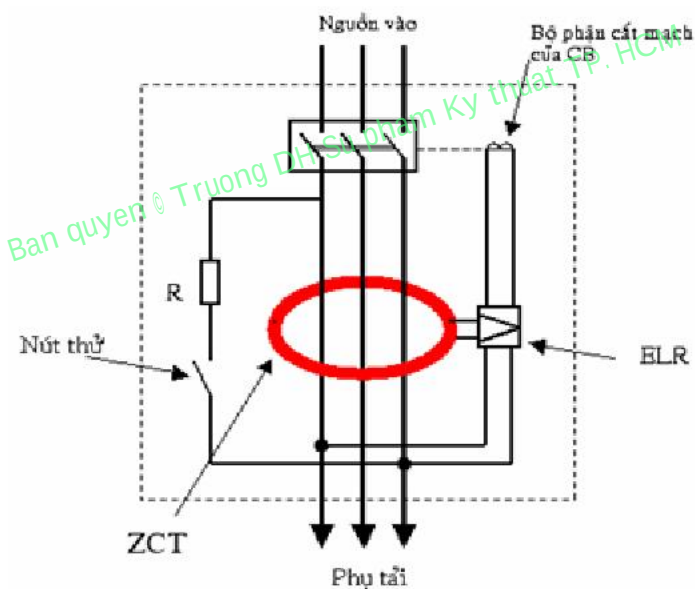
Thông thường, các CBRs có dòng điện làm việc định mức vài trăm ampe trở lên và bộ chức năng chống dòng điện rò phức tạp điều chỉnh được giá trị đặt trước dòng tác động rò và điều chỉnh được thời gian trễ khi CBRs tác động thì bộ chức năng chống dòng điện rò được chế tạo thành hai khối riêng biệt: máy biến dòng rò (ZCT) và rơle dòng rò (ELR); và được lắp đặt ngoài CB. Loại CBRs này được gọi là CBRs kết hợp.

Bổ sung chức năng chống dòng điện rò cho CB.

Hiện nay, phần lớn các HTĐ – SĐĐ đang hoạt động đều được lắp đặt các CB 3 hoặc 2 cực để điều khiển đóng cắt mạch điện, bảo vệ chống quá tải và bảo vệ chống ngắn mạch cho hệ thống dây điện, phụ tải điện. Để bổ sung chức năng chống dòng điện rò cho chúng, cần đấu nối tiếp bộ chức năng chống dòng điện rò sau CB (tính theo chiều cung cấp điện). Khi đó, bộ chức năng chống dòng điện rò được chế tạo thành một khối, trong đó bao gồm: ZCT, cơ cấu cắt mạch chống dòng điện rò thường được viết tắt là RCD. Như vậy, RCD có chức năng cắt mạch làm việc khi xuất hiện dòng điện rò đủ lớn, chịu được dòng quá tải nhưng không có khả năng cắt mạch chống quá tải và ngắn mạch. Trong trường hợp này, CBRs bao gồm có hai khối riêng rẽ: CB và RCD; và được gọi là CBRs bán tích hợp.

III. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của CBRs

Trên hình 2-19 trình bày sơ đồ nguyên lý hoạt động của CBRs tích hợp 3 cực.



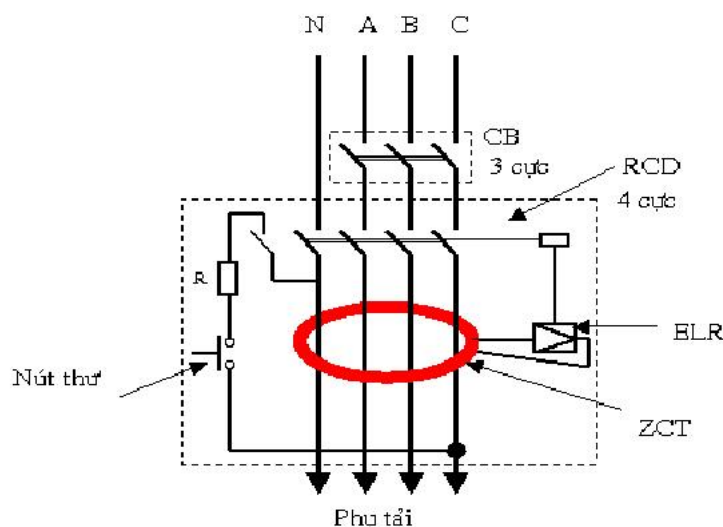
Hình 2-19: Sơ đồ nguyên lý hoạt động của CBRs tích hợp 3 cực

Khi không có dòng điện rò I_{Δ} , tổng dòng điện 3 pha A, B, C đi xuống qua ZCT bằng không.

Khi xuất hiện dòng điện rò I_{Δ} ở một pha bất kỳ, vì dòng điện rò chỉ đi qua ZCT một lần rồi xuống đất (hoặc trở về dây trung tính “ bảo vệ ” PE), nên khi đó tổng dòng điện đi qua ZCT bằng dòng điện rò I_{Δ} .

Nếu dòng điện rò I_{Δ} đủ lớn (lớn hơn giá trị dòng tác động rò danh định $I_{\Delta n}$ của CBRs) thì dòng cảm ứng thứ cấp $I_{2\Delta}$ của ZCT sau khi đi qua rơle dòng rò (ELR) được khuếch đại và truyền đến mạch điều khiển của CB làm tác động cắt mạch dây cấp điện.

Trên hình 2-20 trình bày sơ đồ nguyên lý hoạt động của rcd 4 cực mà nó được đấu nối tiếp sau cb 3 cực (chúng thuộc loại cbrs bán tích hợp).



Hình 2-20: Sơ đồ nguyên lý hoạt động của RCD 4 cực.

Rcd 4 cực hoạt động như sau:

Khi không có dòng điện rò I_{Δ} , tổng dòng điện 3 pha A, B, C và dòng điện I_0 (chạy trong dây trung tính “ làm việc ” N) đi xuyên qua ZCT bằng không.

Khi xuất hiện dòng điện rò I_{Δ} , vì dòng điện rò chỉ xuyên qua ZCT một lần rồi đi xuống đất (hoặc trở về dây trung tính “ bảo vệ ” PE), nên khi đó tổng dòng điện đi xuyên qua ZCT bằng dòng điện rò I_{Δ} .

Nếu dòng điện rò I_{Δ} đủ lớn (lớn hơn giá trị dòng tác động rò danh định $I_{\Delta n}$ của RCD) thì dòng cảm ứng thứ cấp $I_2 \Delta$ của ZCT sau khi đi qua rơle dòng rò (ELR) được khuếch đại và truyền đến mạch điều khiển tác động cắt mạch dây cung cấp điện. Song, bộ phận cắt mạch của RCD chỉ có tác dụng cắt mạch khi xuất hiện dòng điện rò đủ lớn, không có chức năng cắt mạch khi quá tải hay ngắn mạch.

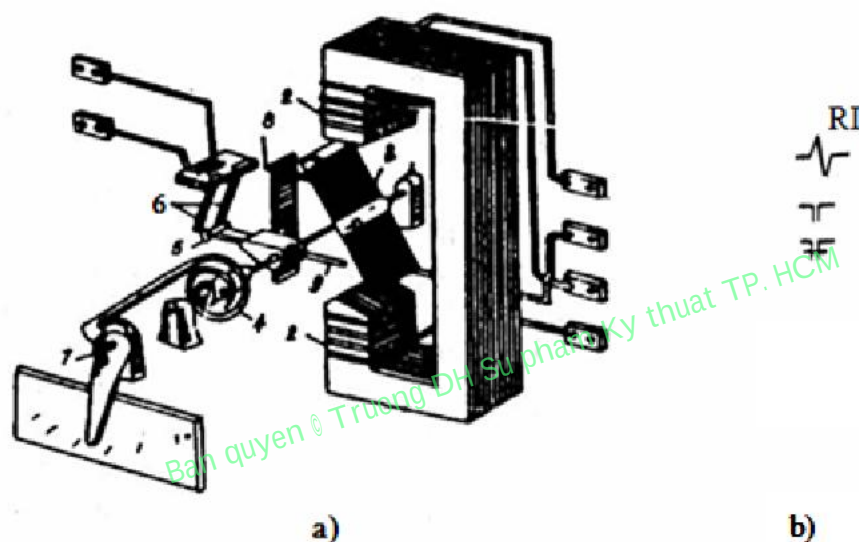
CÂU HỎI

1. Nêu chức năng và đặc điểm cấu tạo của thiết bị chống dòng điện rò(CBRs) ?
2. Trình bày nguyên lý hoạt động của CBRs ?
3. Rcd 4 cực hoạt động như thế nào ? Vị trí của nó trong mạng điện ?

§ 2.5 RELAY DÒNG ĐIỆN

Relay dòng điện loại 3T (Liên Xô) thường dùng để bảo vệ mạch điện bị quá tải hoặc ngắn mạch và để điều khiển sự làm việc của động cơ điện.

Cấu tạo của nó gồm mạch từ 1 hình chữ C, trên mạch từ quấn hai cuộn dây dòng điện 2, miếng sắt từ 3 hình Z gắn trên trục và quay cùng với trục. Khi có dòng điện chạy qua cuộn dây 2 sẽ tạo lực tác dụng lên miếng sắt 3. Nếu dòng điện chạy qua cuộn dây đạt trị số đủ lớn, lực điện từ thắng lực cản của lò xo 4, miếng sắt 3 và trục sẽ quay làm mở (hoặc đóng) hệ thống tiếp điểm 5 và 6.



Hình 2-21. a) Sơ lược kết cấu loại relay cường độ kiểu điện từ
b) Kí hiệu relay cường độ

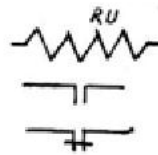
Trị số dòng điện tác động của relay được chỉnh định bằng hai phương pháp :

- Thay đổi sơ đồ đấu cuộn dây relay : khi cần dòng điện tác động nhỏ thì hai cuộn dây đấu nối tiếp; cần dòng điện tác động lớn thì hai cuộn dây đấu song song. Do vậy, với cùng sức căng của lò xo điều chỉnh 4, khi đấu song song trị số dòng điện để relay tác động lớn gấp 2 lần so với khi đấu nối tiếp.
- Di chuyển hệ thống đòn bẩy 7 để tăng hoặc giảm sức căng lò xo 4 hoặc điều chỉnh vít 8 và 9, ta có thể tăng hoặc giảm trị số dòng điện tác động .

§ 2.6 RELAY ĐIỆN ÁP

Relay điện áp loại 3H thường dùng để bảo vệ các thiết bị điện khi điện áp của nó tăng hoặc hạ quá mức quy định.

Relay điện áp có cấu tạo tương tự như relay dòng điện nhưng cuộn dây của nó có số vòng nhiều hơn và được mắc song song với mạch điện của thiết bị cần bảo vệ.



Hình 2-22. Ký hiệu relay điện áp

Tuỳ theo nhiệm vụ bảo vệ, relay điện áp được chia làm hai loại :

- Relay điện áp cực đại : phản ứng (phản quay) của loại relay này lúc điện áp bình thường đứng yên, khi điện áp tăng quá mức quy định, lực điện từ sẽ thắng lực cản, relay tác động.
- Relay điện áp cực tiểu : ở điện áp bình thường, phản ứng relay chịu lực điện từ tác dụng, khi điện áp hạ xuống dưới mức quy định, lực cản thắng, phản ứng sẽ đóng (hoặc mở) các tiếp điểm .

Điện áp khởi động của relay cũng được điều chỉnh bằng sức căng của lò xo điều chỉnh 4 hoặc bằng cách thay đổi sơ đồ đầu cuộn dây relay hoặc bằng vít.

CÂU HỎI

1. Nêu cấu tạo của relay dòng điện và relay điện áp ?
2. Trình bày nguyên lý hoạt động của relay dòng điện và relay điện áp ?

§ 2.7 RELAY TRUNG GIAN

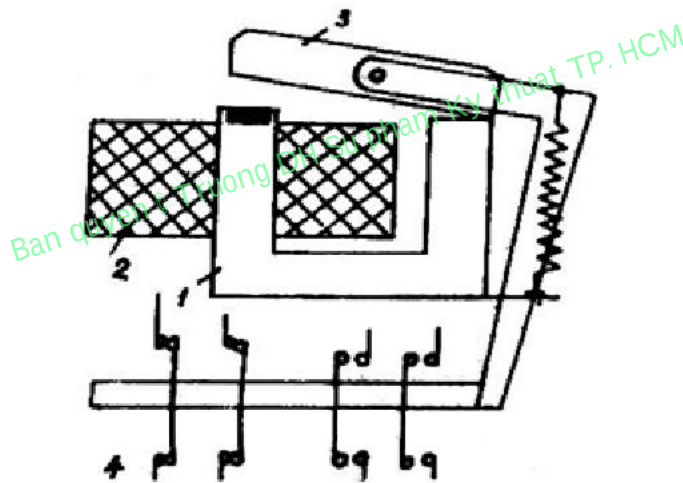
Nhiệm vụ chính của relay trung gian là khuếch đại các tín hiệu điều khiển. Trong sơ đồ điều khiển, relay trung gian thường nằm ở vị trí trung gian giữa hai relay khác nhau.



Hình 2-23. Kí hiệu relay trung gian

Cấu tạo của relay trung gian gồm có lõi thép 1, cuộn dây 2, phần ứng 3 và hệ thống tiếp điểm 4. Khi dòng điện chạy qua, cuộn dây sẽ hút phần ứng và đóng (hoặc mở tiếp điểm).

Đặc điểm của relay trung gian là không có cơ cấu điều chỉnh điện áp tác động, yêu cầu phải tác động tốt khi điện áp đặt vào cuộn dây dao động trong phạm vi $\pm 15\%$ điện áp định mức.



Hình 2-24. Sơ lược kết cấu relay trung gian

CÂU HỎI

1. Nêu nhiệm vụ của relay trung gian ?
2. Nêu cấu tạo của relay trung gian ?

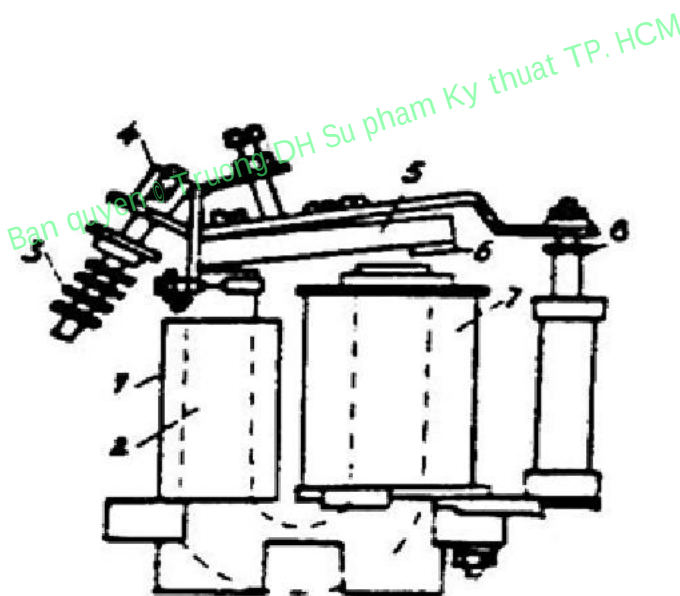
§ 2.8 RELAY THỜI GIAN

Relay thời gian là thiết bị tạo ra thời gian duy trì cần thiết khi truyền tín hiệu từ một relay (hoặc thiết bị) đến relay (hoặc thiết bị) khác.

Trong sơ đồ điều khiển và bảo vệ, relay thời gian dùng để giới hạn thời gian quá tải của thiết bị, tự động mở máy động cơ nhiều cấp biến trở, hạn chế động cơ làm việc không tải.

Cấu tạo của relay thời gian gồm: lõi thép 2 hình chữ U, mang cuộn dây 7 và ống lót bằng đồng 4. Một đầu phần ứng 5 gắn với lõi, đầu còn lại mang tiếp điểm động của bộ tiếp điểm 8. Khi cho dòng điện chạy qua cuộn dây 7, lõi thép 2 sẽ hút phần ứng 5. Nếu cắt dòng điện, phần ứng 5 không nhả ra ngay vì khi từ thông cuộn dây giảm, trong ống lót đồng cảm ứng sức điện động và dòng điện cản trở sự giảm của từ thông nên phần ứng vẫn được hút trong một thời gian nữa.

Muốn chỉnh định thời gian duy trì có thể thay đổi lực cản của lò xo 3, điều chỉnh ốc 4, thay đổi độ dày của miếng đồng thau 6 (miếng đệm không từ tính) ở kẽ không khí hoặc thay đổi trị số dòng điện chạy vào cuộn dây (thêm điện trở ...).



Hình 2-25. Sơ lược kết cấu relay thời gian

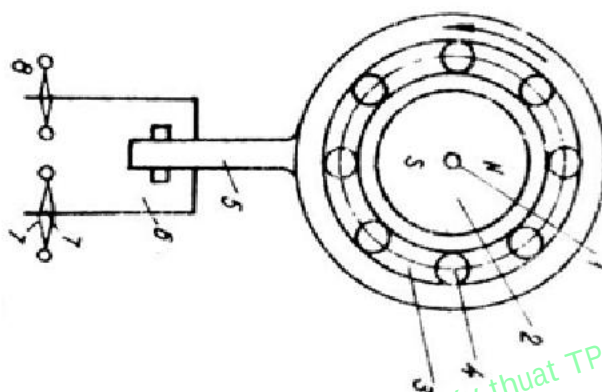
CÂU HỎI

1. Nêu nhiệm vụ của relay thời gian ?
2. Nêu cấu tạo và nguyên lý hoạt động của relay thời gian ?

§ 2.9 RELAY TỐC ĐỘ

Relay kiểm tra tốc độ được dùng để làm việc trong các sơ đồ hãm phanh tự động các động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc, làm việc ở lưới điện áp 380V. Relay có thể làm việc với động cơ điện có tốc độ quay từ 1000 đến 3000 vg/ph ở chế độ liên tục hay ngắn hạn lặp lại có tần số thao tác không quá 30 lần trong 1 phút.

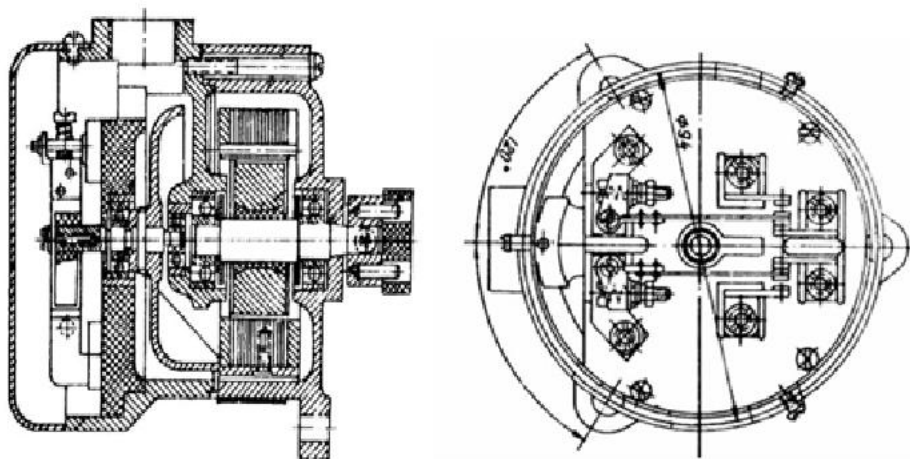
Cấu tạo của relay kiểm tra tốc độ gồm một trục liên hệ với trục động cơ (hoặc máy) có gắn cần khổng chế. Trên trục có gắn nam châm vĩnh cửu 2, bên ngoài nam châm có trụ quay tự do 3. Mặt trong trụ có xẻ rãnh và đặt các thanh dẫn 4, các thanh này khép mạch với nhau tạo thành lồng sóc (như ở rôto động cơ lồng sóc). Cần tiếp điểm đóng 5 gắn chặt với trụ 3.



Hình 2-26. Cấu tạo của relay kiểm tra tốc độ

Khi trụ 1 quay, từ trường nam châm cắt thanh dẫn 4, cảm ứng sức điện động và sinh ra dòng điện. Dòng điện trong các thanh dẫn lại tác dụng với từ trường tạo mômen làm trụ 3 quay. Cần 5 quay theo trụ 3 đập vào thanh 6 đóng và mở bộ tiếp điểm 7 và 8.

Relay kiểm tra tốc độ kiểu cảm ứng của Liên Xô chỉ tác động (thanh 5 đập vào thanh 6 đóng hoặc mở bộ tiếp điểm) khi tốc độ quay đạt $500 \div 700$ vg/ph. Khi tốc độ quay giảm dưới $500 \div 700$ vg/ph thì relay không tác động.



Hình 2-27. Kết cấu cụ thể của một loại relay kiểm tra tốc độ kiểu cảm ứng

CÂU HỎI

1. Nêu nhiệm vụ của relay tốc độ ?
2. Trình bày cấu tạo và nguyên lý hoạt động của relay tốc độ ?

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1- Nguyễn Trọng Thắng, Ngô Quang Hà, Máy điện I, II. ĐHSPKT TP.HCM, năm 2005.
- 2- Nguyễn Trọng Thắng, Nguyễn Thế Kiệt, Công nghệ chế tạo và tính toán sửa chữa Máy điện, NXB Giáo dục, 1995.
- 3- A.E. Fitzgerald, Charles kingsley. Electrical Machines. Mc. Graw - Hill, 1990.
- 4- Jimmie J. Cathey. Electric machines Analysis and Design Applying Matlab. Mc. Graw - Hill – 2001.
- 5- Mohamed E. El-Hawary, Principle of Electric Machines with Power Electronic Applications, Prentice-Hall, 1986.
- 6- TS.Nguyễn Chu Hùng, KS.Tôn thất Cảnh Hưng, Kỹ thuật điện 1, NXB Đại học quốc gia TP.HCM, 2003.
- 7- L.Rodstein, Electrical control equipment, Mir Publishers Moscow, 1974.
- 8- M.Kostenko, L.Piotrovsky, Electrical machines, vol.1,2, Mir Publishers Moscow, 1974.
- 9- Nguyễn Xuân Phú, Tính toán cung cấp và lựa chọn thiết bị khí cụ điện, NXB Khoa học kỹ thuật, năm 1998.
- 10- Tô Đăng, Nguyễn Xuân Phú, Sử dụng và sửa chữa khí cụ điện hạ thế, NXB Khoa học kỹ thuật, năm 1995.