

VŨ GIA HANH, TRẦN KHÁNH HÀ
PHAN TỬ THỤ, **NGUYỄN VĂN SÁU**

MÁY ĐIỆN

TẬP II



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI 1998

PHẦN THỨ TƯ

MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Chương 22

ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Máy điện đồng bộ được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp. Phạm vi sử dụng chính là biến đổi cơ năng thành điện năng, nghĩa là làm máy phát điện. Điện năng ba pha chủ yếu dùng trong nền kinh tế quốc dân và trong đời sống được sản xuất từ các máy phát điện quay bằng tuabin hơi hoặc khí hoặc nước.

Máy điện đồng bộ còn được dùng làm động cơ, đặc biệt trong các thiết bị lớn, vì khác 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 được 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.

22.1. PHÂN LOẠI VÀ KẾT CẤU CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

22.1.1. 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 lồi 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 lồi và nối chung trục máy được đặt thẳng đứng. Trong trường hợp máy phát điện có công suất nhỏ và cần di động thì thường dùng diesel làm động cơ sơ cấp và được gọi là máy phát điện diesel. Máy phát điện diesel thường có cấu tạo cực lồi.

b. Động cơ điện đồng bộ. Động cơ điện đồng bộ thường được chế tạo theo kiểu cực lồi và được sử dụng để kéo các tải không đòi hỏi phải thay đổi tốc độ, với công suất chủ yếu từ 200 kW trở lên.

c. Máy bù đồng bộ. Máy bù đồng bộ chủ yếu dùng để cải thiện hệ số công suất $\cos\varphi$ của lưới điện.

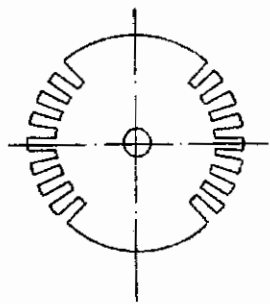
Ngoài các loại trên còn có các máy điện đồng bộ đặc biệt như máy biến đổi một phần ứng, máy đồng bộ tần số cao,... và các máy đồng bộ công suất nhỏ dùng trong tự động, như động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu, động cơ đồng bộ phản kháng, động cơ đồng bộ từ trễ, động cơ bước,...

22.1.2. 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 lồi.

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 gia công và phay rãnh để đặt dây quấn kích từ. Phần không phay rãnh của rôto hình thành mặt cực từ. Mặt cắt ngang trục lồi thép rôto như trên hình 22-1.

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



Hình 22-1. Mặt cắt ngang trục lõi thép rôto

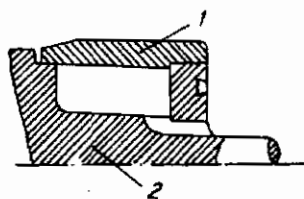
hạn chế lực ly tâm, trong phạm vi an toàn đối với thép hợp kim chế tạo thành lõi thép rôto, đường kính D của rôto không được vượt quá $1,1 + 1,15 m$. Để tăng công suất máy, chỉ có thể tăng chiều dài l của rôto. Chiều dài tối đa của rôto vào khoảng $6,5 m$.

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 bố dây đồng tâm. Các vòng dây của bố dây này 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 22-2).

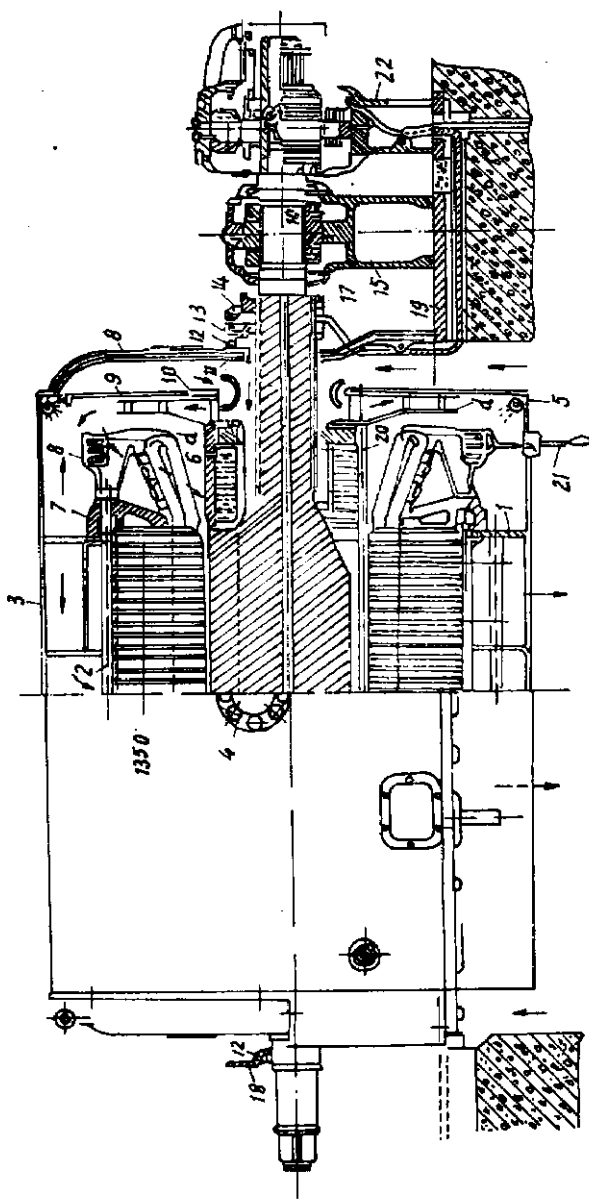
Hai đầu của dây quấn kích từ đi luồn trong trục và nối với hai vành trượt đặt ở đầu trục thông qua hai chổi điện để nối với dòng kích từ một chiều.

Máy kích từ này thường được nối trực với trục máy đồng bộ hoặc có trục chung 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 chiều dài lõi thép stato cứ cách khoảng $3 + 6 cm$ 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



Hình 22-2. Cố định phần đầu nối của dây quấn kích từ
1 vành đai; 2 lõi thép rôto



Hình 22-3. Mặt cắt dọc máy phát điện tuabin hơi.

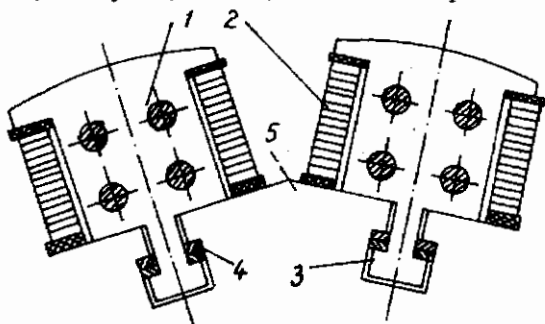
1. bộ máy; 2. lõi thép stato; 3. vỏ máy; 4. bộ gá đế nâng stato; 5. ống dẫn chống cháy; 6. dây quấn stato; 7. vành ép stato; 8. lá chắn ngoài; 9. lá chắn trong; 10. lá chắn thông gió; 11. che lá chắn; 12. cán chổi; 13. tay giữ chổi; 14. chổi; 15. ổ trục; 16. miếng lót; 17. ống phun dầu; 18. giá ống phun dầu phía tuabin; 19. tấm mỏng; 20. rôto; 21. cực; 22. máy kích thích

trung bình và lớn, thân máy được chế tạo theo kết cấu khung thép, mặt ngoài bọc bằng các tấm thép dẹt dày. Thân máy phải 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 các máy đồng bộ công suất trung bình và lớn, ổ trục không đặt ở nắp máy mà ở giá đỡ ổ trục đặt cố định trên bệ máy.

Kết cấu của máy phát đồng bộ cực ẩn trình bày trên hình 22-3.

b. Kết cấu của máy đồng bộ cực lồi. Máy đồng bộ cực lồi thường có tốc độ quay thấp, vì vậy khác với máy đồng bộ cực ẩn, đường kính rôto D của nó có thể lớn tới 15 m trong khi chiều dài lại nhỏ với tỷ lệ $l/D = 0,15 \div 0,2$.

Rôto của máy điện đồng bộ cực lồi công suất nhỏ và trung bình có lõi thép được chế tạo bằng thép đúc và gia công thành khối lăng trụ hoặc khối hình trụ (bánh xe) trên mặt có đặt các cực từ. Ở các máy lớn, lõi thép được hình thành bởi các tấm thép dày $1 \div 6\text{ mm}$, được dập hoặc đúc định hình sẵn để ghép thành các 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

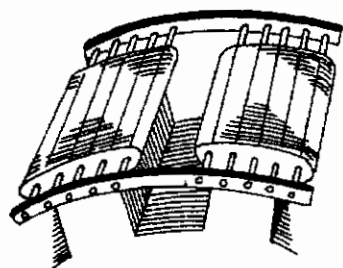


Hình 22-4. Cực từ của máy đồng bộ cực lồi.

- 1 lá thép cực từ; 2 dây quấn kích thích;
3. đuôi hình T; 4. nêm; 5. lõi thép rôto

những lá thép dày $1 \pm 1,5 \text{ mm}$ (hình 22-4).

Việc cố định cực từ trên lõi thép được thực hiện nhờ đuôi hình T hoặc bằng các bulông xuyên qua mặt cực và vít chặt vào lõi thép rôto.



Hình 22-5. Dây quấn cán
(dây quấn mở máy) của
máy điện đồng bộ

Dây quấn kích từ được chế tạo từ dây đồng trần tiết diện chữ nhật quấn uốn theo chiều mỏng thành từng cuộn dây. Cách điện giữa các vòng dây là các lớp mica hoặc amiăng. Các cuộn dây sau khi đã gia công được lồng vào các thân cực.

Dây quấn cán (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

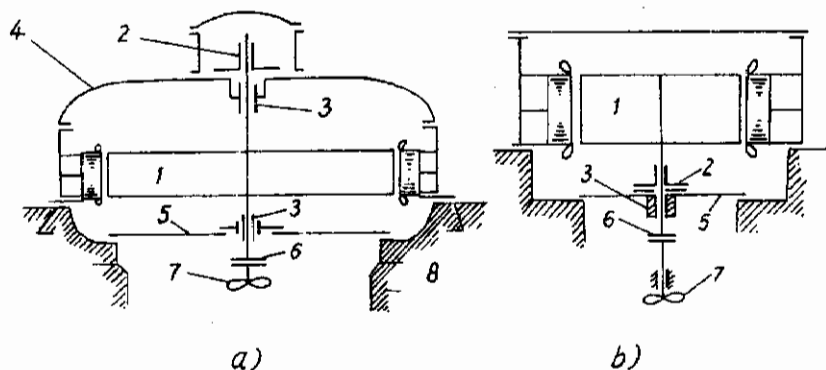
bộ, nghĩa là làm bằng các thanh đồng đặt vào rãnh các đầu cực và được nối hai đầu bởi hai vòng ngắn mạch (hình 22-5).

Dây quấn mở máy chỉ khác dây quấn cán ở chỗ điện trở các thanh dẫn của nó lớn hơn.

Stato của máy đồng bộ cực lõi có cấu tạo tương tự như của máy đồng bộ cực ẩn.

Trục của máy 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 tuabin nước công suất nhỏ và tốc độ quay tương đối lớn (khoảng trên 200 vg/ph). Ở trường hợp máy phát tuabin nước, tuabin 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 (hình 22-6).

Ở máy phát tuabin nước kiểu treo, xà đỡ trên tựa vào thân máy, do đó tương đối dài và phải rất khỏe vì nó chịu toàn bộ trọng lượng của rôto máy phát, rôto tuabin nước và xung lực của nước đi vào tuabin. Như vậy kích thước xà đỡ trên rất lớn tốn nhiều sắt thép, đồng thời bản thân máy cũng cao lớn do đó tăng

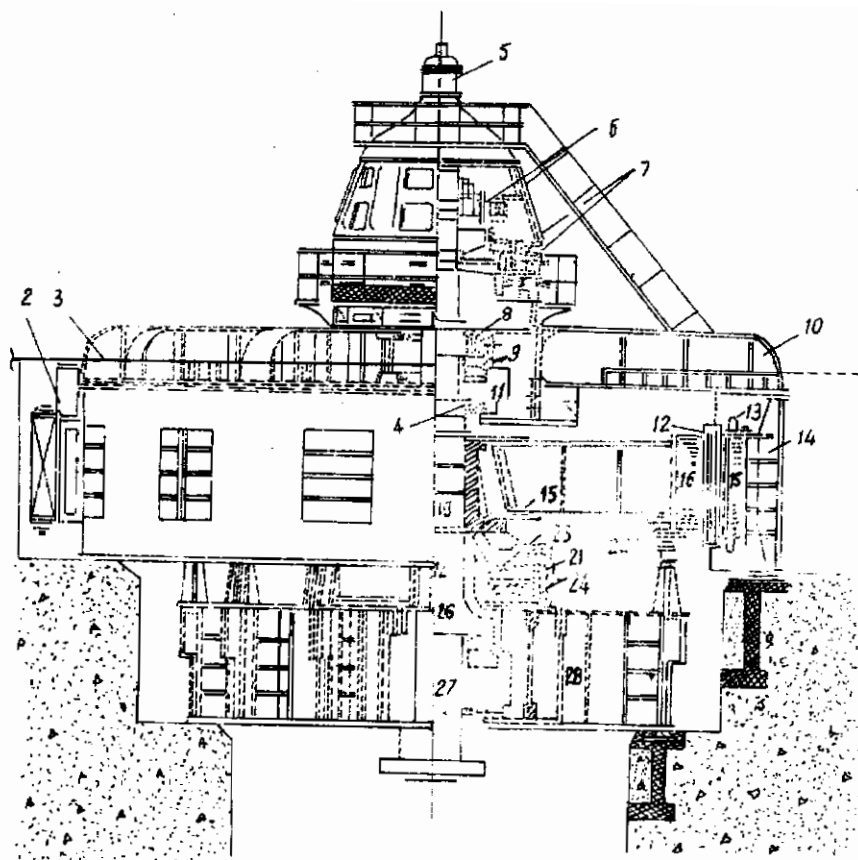


Hình 22-6. Sơ đồ kết cấu của máy điện đồng bộ trục đứng.
a. kiểu treo; b. kiểu dũ.

1. rôto; 2. ổ trục đỡ; 3. ổ trục định hướng; 4. xà đỡ trên;
5. xà đỡ dưới; 6. nối trục; 7. tuabin; 8. nền máy

thêm chi phí xây dựng buồng đặt máy. Ở máy phát tuabin nước kiểu dũ, 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 tuabin 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.

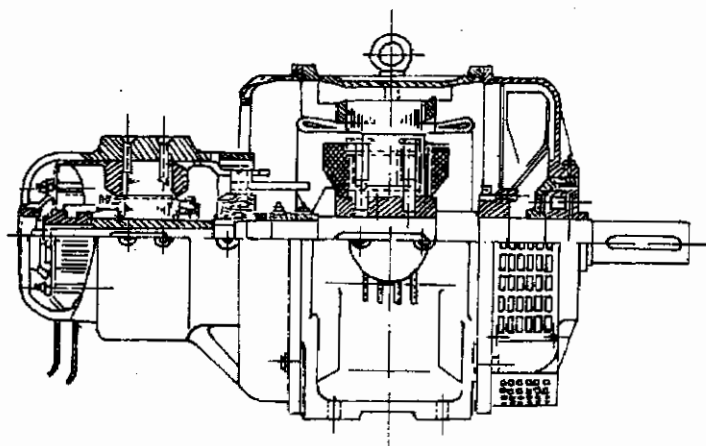
Trên cùng trục với máy phát tuabin thường có đặt thêm các máy phụ - máy kích thích, để cung cấp dòng điện một chiều cho cực từ của máy phát đồng bộ và máy phát điều chỉnh để làm nguồn cung cấp điện cho bộ điều chỉnh tự động của tuabin.



Hình 22-7. Máy phát đồng bộ tuabin mới kiểu dù.

1. bộ làm lạnh không khí; 2. lối ra của không khí nóng; 3. che; 4. vành trượt; 5. máy phát điều chỉnh; 6. máy kích thích phụ; 7. máy kích thích; 8. ổ định hướng trên; 9. máng dầu của ổ định hướng; 10. xà trên; 11. bộ làm lạnh dầu; 12. quạt gió; 13. dây quấn stato; 14. vỏ stato; 15. đĩa rôto; 16. vành rôto; 17. cực từ; 18. lõi thép stato; 19. ống lót rôto; 20. đĩa ổ chặn; 21. máng dầu của ổ chặn; 22. phanh; 23. vành chân; 24. rê quạt cố định của ổ chặn; 25. tấm móng; 26. ổ định hướng dưới; 27. trục; 28. xà dưới.

Kết cấu của máy phát đồng bộ tuabin nước trình bày trên bình hình 22-7. Hình 22-8 trình bày kết cấu của các máy đồng bộ cực lõi công suất trung bình và nhỏ.



Hình 22-8. Máy phát đồng bộ cực lõi công suất trung bình và nhỏ

22.2. CÁC TRỊ SỐ ĐỊNH MỨC CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Công suất có ích 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 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 stato?

2. Thử vẽ cách nối các cuộn dây của các cực từ trong máy đồng bộ cực ẩn và cực lõi.

Chương 23

TỪ TRƯỜNG TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

23.1. ĐẠI CƯƠNG

Từ trường trong máy điện đồng bộ là do dòng điện trong các dây quấn stato và rôto sinh ra. Khi máy điện làm việc không tải, trong dây quấn xoay chiều ở stato không có dòng điện ($I = 0$) từ trường trong máy điện chỉ do dòng điện một chiều i_f chạy trong dây quấn kích thích đặt trên các cực từ sinh ra. Nếu rôto quay, từ trường của các cực từ này quét các dây quấn của stato và cảm ứng trong các dây quấn này s.d.d. không tải E của máy điện. Khi máy làm việc có tải ($I \neq 0$), thì ngoài từ trường của cực từ còn có từ trường do dòng điện tải I sinh ra. Nếu là máy ba pha thì từ trường do dòng điện tải ba pha chạy trong dây quấn ba pha sinh ra là từ trường quay. Từ trường quay này có thể phân tích thành từ trường cơ bản và các từ trường bậc cao có chiều quay và tốc độ quay khác nhau. Trong số các từ trường này, từ trường cơ bản là quan trọng nhất vì có tốc độ và chiều quay giống như các từ trường cực từ. Tác dụng của nó với từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng. Phản ứng phần ứng trong máy điện đồng bộ có ảnh hưởng rất nhiều đến từ trường của cực từ và mức độ ảnh hưởng đó phụ thuộc vào tính chất của tải cũng như cấu tạo cực ấn hoặc cực lồi của máy. Kết quả là khi máy làm việc có tải, dọc khe hở tồn tại một từ trường thống nhất. Chính từ trường đó sẽ sinh ra s.d.d. lúc có tải ở các dây quấn của stato.

Tuy nhiên trong trường hợp mạch từ của máy không bão hòa, lúc phân tích ta có thể xét riêng rẽ từ trường của cực từ, từ trường của phần ứng và các s.d.d. do các từ trường đó sinh ra,

sau đó dùng nguyên lý xếp chồng để có từ trường tổng ở khe hở, s.d.d. của dây quấn phản ứng khi máy làm việc có tải.

Trong chương này ta sẽ nghiên cứu riêng rẽ các từ trường nói trên và các tham số tương ứng với các từ trường đó. Vì ở máy điện đồng bộ, từ trường của cực từ là do dòng điện một chiều sinh ra, còn từ trường phản ứng là do dòng điện xoay chiều sinh ra, nên để đánh giá phản ứng của phần ứng ta cũng nêu lên cách qui đổi từ trường của dây quấn xoay chiều về từ trường của cực từ hoặc ngược lại.

23.2. TỪ TRƯỜNG CỦA DÂY QUẤN KÍCH THÍCH (CỦA CỰC TỪ)

Dây quấn kích thích của máy điện đồng bộ cực ẩn và của máy điện đồng bộ cực lộ có cấu tạo khác nhau nên từ trường do chúng sinh ra có dạng khác nhau, vì vậy dưới đây ta chia thành hai trường hợp để xét riêng biệt.

23.2.1. Đối với máy điện cực lộ

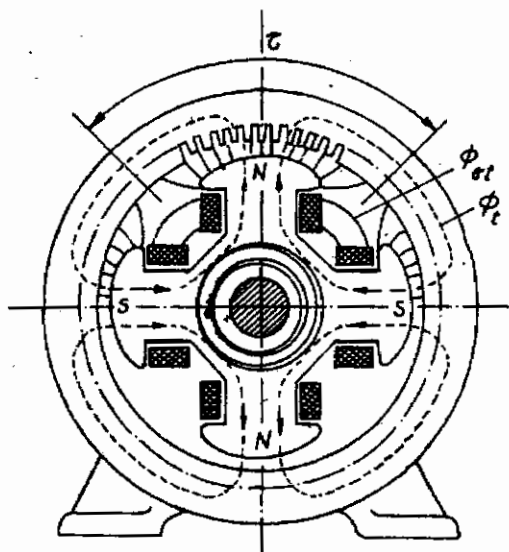
Ta hãy xét một máy điện đồng bộ có p đôi cực. Nếu gọi w_t là số các vòng dây quấn trên các cực từ và i_t - dòng điện kích thích, thì s.d.d. của một cực từ là:

$$F_t = \frac{w_t i_t}{2p} \quad (23-1)$$

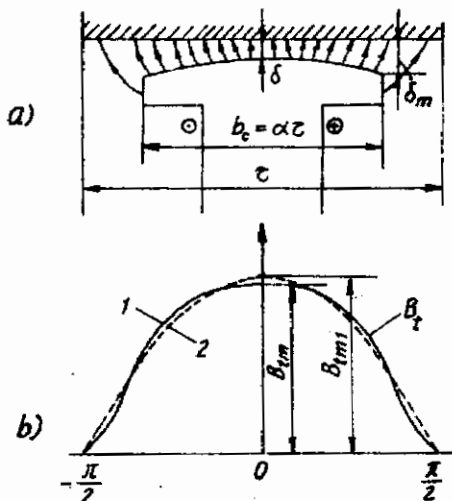
Từ thông do s.d.d. đó sinh ra trong trường hợp $p = 2$ được trình bày trên hình 23-1, trong đó Φ_t - từ thông chính đi qua khe hở ở và móc vòng với dây quấn stato; $\Phi_{\sigma t}$ - từ thông tản của cực từ.

Sự phân bố của các đường từ lực ở mặt cực được trình bày trên hình 23-2a. Do khe hở giữa mặt cực và phần ứng không đều: nhỏ ở giữa cực và lớn ở móm cực, nên mật độ từ thông ở giữa mặt cực lớn hơn ở móm cực. Dùng phương pháp chia từ thông ở khe hở thành các đơn vị ống từ, có thể chứng minh rằng,

từ cảm B_t ở từng điểm dọc mặt cực tỷ lệ nghịch với chiều dài khe hở ở ở điểm đó và vẽ được tương đối chính xác đường biểu diễn của B_t dọc theo bước cực τ như trên hình 23-2b. Do những khó khăn về gia công độ cong của mặt cực, nên không thể tạo được sự phân bố của từ cảm B_t theo hình sin, nhưng đường phân bố từ cảm không sin đó có thể phân tích thành sóng cơ bản và sóng bậc cao.



Hình 23-1. Từ trường của dây quấn kích thích của máy điện đồng bộ



Hình 23-2. Từ trường do dây quấn kích thích ở khe hở của máy điện đồng bộ cực lồi

Trong máy đồng bộ, sóng cơ bản là chủ yếu và sẽ tạo nên các s.d.đ. có tần số cơ bản ở dây quấn stato, còn các từ trường bậc cao của cực từ thường rất nhỏ, hơn nữa s.d.đ. do chúng sinh ra còn bị giảm đi nếu chọn thích đáng bước ngắn y và số rãnh của một pha ở một cực q của dây quấn stato.

Sự khác nhau giữa sóng cơ bản với từ cảm

B_t được biểu thị bằng hệ số dạng sóng của từ trường:

$$k_t = \frac{B_{tm1}}{B_{tm}} \quad (23-2)$$

trong đó: B_{tm1} - biên độ của sóng cơ bản;

B_{tm} - trị số cực đại của từ cảm.

Trị số của k_t phụ thuộc vào tỷ số δ_m/δ và vào hệ số mật cực $\alpha = b_c/\tau$. Thông thường $\delta_m/\delta = 1 \div 2,5$; $\alpha = 0,67 \div 0,75$ và $k_t = 0,95 \div 1,15$.

Từ biểu thức (23-2) ta có:

$$\begin{aligned} B_{tm1} &= k_t B_{tm} = \frac{\mu_o F_t}{k_\delta k_{\mu d} \delta} k_t \\ &= \frac{\mu_o}{k_\delta k_{\mu d} \delta} \frac{w_t i_t}{2p} k_t \end{aligned} \quad (23-3)$$

trong đó:

k_δ - hệ số khe hở;

$k_{\mu d}$ - hệ số bão hòa dọc trục cực từ.

Sau đây ta hãy tính các hệ số hồ cảm và tự cảm của dây quấn kích thích trong máy đồng bộ cực lồi.

Hệ số hồ cảm M_{ud} được suy ra từ s.d.d. hồ cảm trong dây quấn stato do từ thông móc vòng của cực từ. Như đã biết, từ thông ứng với sóng cơ bản từ cảm của cực từ bằng:

$$\Phi_{t1} = \frac{2}{\pi} B_{tm1} \tau l_\delta = \frac{\mu_o}{\pi} \frac{\tau l_\delta}{k_\delta k_{\mu d} \delta} \frac{w_t k_t}{p} i_t \quad (23-4)$$

Khi rôto quay với tốc độ góc $\omega = 2\pi f$ thì từ thông móc vòng do sóng cơ bản của từ trường kích từ do với dây quấn stato có w vòng dây và hệ số dây quấn k_{dq} sẽ biến đổi theo quy luật hình sin:

$$\psi_{ud} = w k_{dq} \Phi_{il} \cos \omega t$$

Vậy s.d.d. hồ cảm trong dây quấn stato sẽ là:

$$e_o = - \frac{d\psi_{ud}}{dt} = \omega w k_{dq} \Phi_{il} \sin \omega t = E_{om} \sin \omega t$$

trong đó:

$$E_{om} = \omega w k_{dq} \frac{\mu_o r l_\delta}{\pi k_\delta k_{\mu d} \delta} \frac{w_t k_t}{p} i_t = \omega M_{ud} i_t = x_{ud} i_t \quad (23-5)$$

Vậy hệ số hồ cảm của dây quấn kích thích và dây quấn phần ứng:

$$M_{ud} = \frac{\mu_o r l_\delta}{\pi k_\delta k_{\mu d} \delta} \frac{w k_{dq} w_t k_t}{p} \quad (23-6)$$

và điện kháng hồ cảm tương ứng:

$$x_{ud} = \omega M_{ud} \quad (23-7)$$

Hệ số tự cảm của dây quấn kích thích được suy ra từ toàn bộ từ thông móc vòng với bản thân dây quấn kích thích và bằng:

$$L_i = L_{i\delta} + L_{oi} \quad (23-8)$$

trong đó:

L_{oi} - hệ số tự cảm của dây quấn kích thích ứng với từ thông tản của cực từ. Biểu thức của nó cho trong các tài liệu thiết kế.

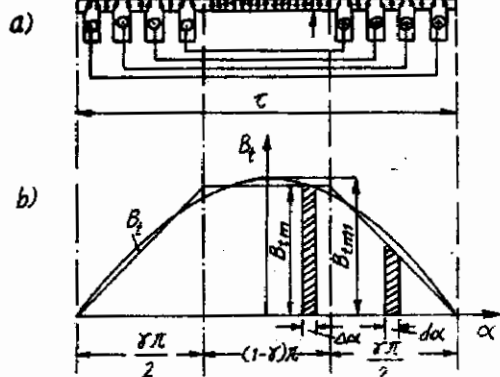
$L_{i\delta}$ - hệ số tự cảm của dây quấn kích thích ứng với từ thông khe hở $\Phi_{i\delta}$ của cực từ.

Nếu gọi k_ϕ là hệ số cơ trị số bằng tỷ số giữa các diện tích giới hạn bởi các đường cong 1 và 2 trên hình 23-2 với trục ngang thì:

$$\Phi_{i\delta} = k_\phi \Phi_{il} \quad (23-9)$$

Thế hợp (23-9) với (23-4) có thể suy ra:

$$L_{i\delta} = \frac{w_t \Phi_{i\delta}}{i_t} = \frac{\mu_o r l_\delta}{\pi k_\delta k_{\mu d} \delta} \frac{w_t^2}{p} k_i k_\phi \quad (23-10)$$



23.2.2. Đối với máy điện cực ẩn

Ở trường hợp máy đồng bộ cực ẩn, đường biểu diễn từ cảm B_t của cực từ có dạng hình thang như trên hình 23-3.

Biên độ sóng cơ bản của từ trường đó bằng:

Hình 23-3. Từ trường ở khe hở của máy điện đồng bộ cực ẩn và cách xác định biên độ sóng cơ bản của từ trường đó

$$\begin{aligned}
 B_{tm1} &= \frac{2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} B_t \cos \alpha d\alpha = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{(1-\gamma)\pi}{2}} B_{tm} \cos \alpha d\alpha + \\
 &+ \frac{4}{\pi} \int_{\frac{(1-\gamma)\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{2}{\gamma\pi} B_{tm} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \cos \alpha d\alpha = \frac{4}{\pi} \frac{\sin \frac{\gamma\pi}{2}}{\frac{\gamma\pi}{2}} B_{tm}.
 \end{aligned}
 \tag{23-11}$$

$$\text{Do đó} \quad k_t = \frac{B_{tm1}}{B_{tm}} = \frac{4}{\pi} \frac{\sin \frac{\gamma\pi}{2}}{\frac{\gamma\pi}{2}}
 \tag{23-12}$$

trong đó γ là tỷ số giữa phần có quấn dây của bước cực và bước cực. Thường $\gamma = 0,6 \div 0,85$, vậy $k_t = 1,065 \div 0,965$.

Hệ số hở cảm M_{ud} của dây quấn kích thích của máy đồng bộ cực ẩn cũng tính được theo biểu thức (23-6).

Hệ số tự cảm của dây quấn kích thích ứng với từ thông khe hở L_{δ} trong biểu thức (23-8) cũng có thể tính được theo biểu thức (23-10), trong đó k_1 tính theo (23-12) và k_{ϕ} có trị số:

$$k_{\phi} = \frac{\pi}{2} \frac{1 - \frac{2}{3} \gamma}{k_1} \quad (23-13)$$

23.3. TỪ TRƯỜNG CỦA PHẦN ỨNG

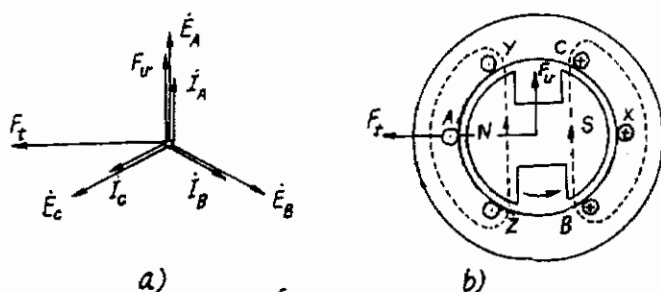
Khi máy điện làm việc có tải, dòng điện trong dây quấn stato sẽ sinh ra từ trường của dây quấn stato và còn gọi là từ trường phần ứng. Tùy theo tính chất của tải mà trục từ trường phần ứng sẽ làm thành một góc nhất định với trục từ trường cực từ. Như vậy tác dụng của từ trường phần ứng với từ trường cực từ hay phần ứng phần ứng sẽ mang tính chất khác nhau tùy theo tính chất trở, dung hay cảm của tải. Ngoài ra vì trong máy điện cực ẩn khe hở là đều, còn trong máy điện cực lồi khe hở dọc trục và ngang trục khác nhau, nên s.d.d. cảm ứng trong dây quấn phần ứng do từ trường phần ứng và các điện kháng của từ trường phần ứng ở hai loại máy đó hoàn toàn không giống nhau và cần được nghiên cứu riêng biệt.

23.3.1. Phần ứng phần ứng ngang trục và dọc trục

Khi tải là đối xứng và thuần trở thì dòng điện ba pha trong dây quấn stato sẽ trùng pha với các s.d.d. tương ứng ($\psi = 0$). Giả sử các s.d.d. và dòng điện trong ba pha là hình sin và nếu xét ở thời điểm $i_A = I_m$ thì đồ thị vectơ dòng điện và s.d.d. như ở hình 23-4a. Ta hãy xét tương quan về không gian giữa từ trường phần ứng và từ trường cực từ trong trường hợp máy điện hai cực có $m = 3$ và mỗi pha được tượng trưng bởi một vòng dây. Trị số của các dòng điện bằng:

$$i_A = I_m; i_B = i_C = -\frac{I_m}{2}$$

và chiều của chúng trong các dây quấn A - X, B - Y, C - Z như trên hình 23-4b. Như vậy vị trí không gian của từ trường quay của phần ứng F_u trong trường hợp đó có chiều trùng với trục của dây quấn pha A là pha có dòng điện cực đại. Vì từ thông xuyên qua pha A cực đại trước s.d.đ. trong pha đó một phần tư chu kỳ nên khi s.d.đ. của pha A cực đại ($e_A = E_m$) thì cực từ đã quay được góc $\pi/2$ so với vị trí trục cực từ trùng với trục pha A là lúc

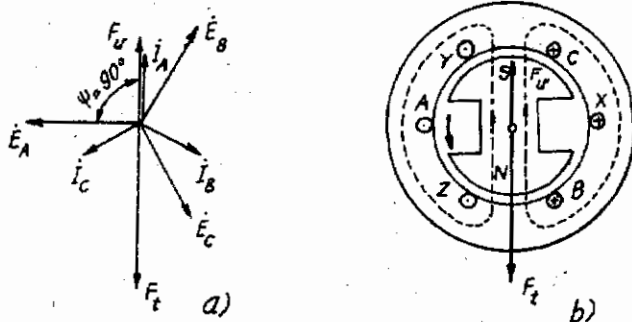


Hình 23-4. Đồ thị vectơ s.d.đ. (a) và quan hệ về không gian giữa các từ trường cực từ và từ trường phần ứng (b) ở tải thuần trở ($\psi = 0$)

từ thông xuyên qua pha A có trị số cực đại. Như vậy vị trí không gian của trục cực từ là thẳng góc với trục của pha A, tức là thẳng góc với chiều của từ trường F_u (hình 23-4b). Ta có kết luận ở tải thuần trở, phương của F_u thẳng góc với phương của F_t và phản ứng phần ứng là ngang trục. Hình 23-4a cũng trình bày các vectơ không gian F_u, F_t cùng vẽ trên đồ thị vectơ thời gian của dòng điện và s.d.đ.

Ở tải thuần cảm, s.d.đ. E vượt trước dòng điện I góc $\psi = +90^\circ$, nên ở thời điểm $i_A = I_m$ thì cực từ đã quay thêm góc $\pi/2$ so với vị trí của nó ở trường hợp tải thuần trở và được trình bày trên hình 23-5b. Ta thấy ở đây F_u và F_t cùng phương (nghĩa là dọc theo trục cực từ) nhưng ngược chiều nhau và phản ứng phần ứng là dọc trục khử từ. Đồ thị vectơ thời gian I, E và không gian $F_u,$

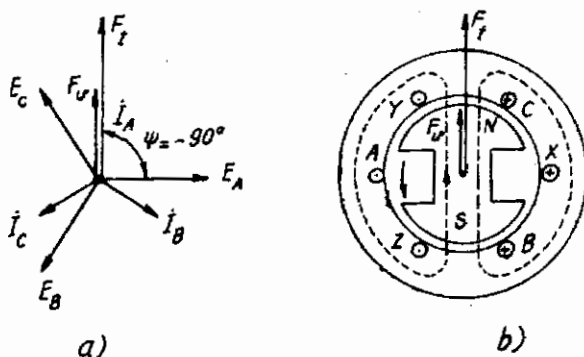
F_t ở trường hợp này trình bày trên hình 23-5a.



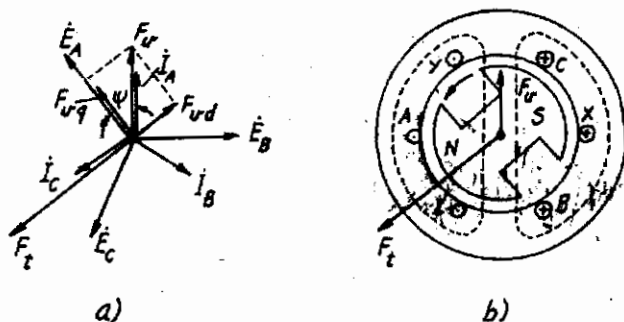
Hình 23-5. Đồ thị véctơ (a) và quan hệ về không gian giữa từ trường cực từ và từ trường phản ứng (b) ở tải thuần cảm ($\psi = +90^\circ$)

Nếu tải là thuần dung, s.d.đ. E chậm sau I góc 90° nghĩa là $\psi = -90^\circ$, nên khi $i_A = I_m$ thì cực từ còn phải quay thêm góc $\pi/2$ nữa mới đến vị trí của nó ở hình 23-4b, nghĩa là có vị trí như trên hình 23-6b.

Ồ dấy chiều của F_u trùng với chiều F_t và phản ứng là dọc trục trợ từ. Đồ thị véctơ tương ứng như trên hình 23-6a.



Hình 23-6. Đồ thị véctơ (a) và quan hệ không gian giữa từ trường cực từ và từ trường phản ứng (b) ở tải thuần dung ($\psi = -90^\circ$)



Hình 23-7. Đồ thị véctơ s.t.d. (a) và quan hệ không gian giữa từ trường cực từ và từ trường phản ứng (b) ở tải hỗn hợp ($0 < \psi < 90^\circ$)

Trong trường hợp tải hỗn hợp có thể phân tích F_u thành hai thành phần dọc trục và ngang trục gồm:

$$F_{ud} = F_u \sin \psi$$

$$F_{uq} = F_u \cos \psi$$

như trên hình 23-7.

Ta thấy khi tải có tính cảm ($0 < \psi < \frac{\pi}{2}$) phản ứng vừa ngang trục vừa khử từ. Cũng phân tích tương tự ta thấy, khi tải có tính dung ($0 > \psi > -\frac{\pi}{2}$) thì phản ứng phản ứng là ngang trục và trợ từ.

23.3.2. Từ cảm do từ trường phản ứng và điện kháng tương ứng

Ở trường hợp máy đồng bộ cực ẩn, khe hở giữa stato và rôto là đều và nếu mạch từ không bão hòa thì từ trở là hằng số. Như vậy nếu s.t.d. của dây quấn phản ứng phân bố hình sin thì từ cảm dọc khe hở cũng theo hình sin. Ta có:

$$B_{um} = \frac{\mu_0}{k_\delta k_\mu \delta} F_u = \frac{\mu}{k_\delta k_\mu \delta} \frac{m\sqrt{2}}{\pi} \frac{w k_{dq}}{p} I \quad (23-14)$$

và từ thông tương ứng:

$$\Phi_u = \frac{2}{\pi} B_{um} \tau l_\delta = \frac{2 \mu \tau l_\delta}{k_\delta k_\mu \delta} \frac{m v Z}{\pi^2} \frac{w_{dq}}{p} I \quad (23-15)$$

Từ thông Φ_u này quay đồng bộ với rôto và cảm ứng trong bản thân dây quấn phần ứng s.d.d:

$$E_u = \pi \sqrt{2} f w k_{dq} \Phi_u$$

và điện kháng tương ứng:

$$x_u = \frac{E_u}{I} = 4 m f \frac{\mu_o \tau l_\delta}{\pi k_\delta k_\mu \delta} \frac{w^2 k_{dq}^2}{p} \quad (23-16)$$

Thường $x_u = 1,1 + 2,3$.

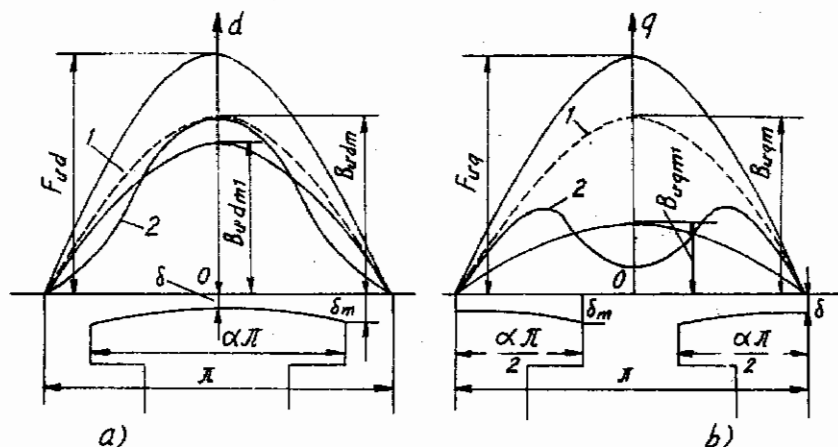
Ở máy đồng bộ cực lồi, khe hở giữa stato và rôto không đều nên tuy s.t.d. của phần ứng là hình sin nhưng từ cảm phân bố dọc khe hở là không sin. Sự phân bố không sin đó còn phụ thuộc vào góc ψ giữa E và I nghĩa là phụ thuộc vào tính chất của tải, vì với mỗi góc ψ khe hở dọc theo sóng s.t.d. F_u có khác nhau. Để việc nghiên cứu được dễ dàng, ta phân tích s.t.d. F_u ở tải bất kỳ có góc ψ nào đó thành hai thành phần dọc trục và ngang trục và xét từ cảm theo hai hướng có từ trở xác định đó. Ta có:

$$\begin{aligned} F_{ud} = F_u \sin \psi &= \frac{m v \sqrt{2}}{\pi} \frac{w k_{dq}}{p} I \sin \psi \\ &= \frac{m v \sqrt{2}}{\pi} \frac{w k_{dq}}{p} I_d \end{aligned} \quad (23-17)$$

$$\begin{aligned} F_{uq} = F_u \cos \psi &= \frac{m v \sqrt{2}}{\pi} \frac{w k_{dq}}{p} I \cos \psi \\ &= \frac{m v \sqrt{2}}{\pi} \frac{w k_{dq}}{p} I_q \end{aligned} \quad (23-18)$$

trong đó $I_d = I \sin \psi$ và $I_q = I \cos \psi$.

Biên độ của F_{ud} và F_{uq} trùng với trục dọc và trục ngang của cực từ như trên hình 23-8. Nếu khe hở là đều thì từ cảm do



Hình 23-8. Từ trường phản ứng dọc trục (a) và ngang trục (b) trong máy máy điện cực lồi

chúng sinh ra sẽ phân bố hình sin (đường 1 trên hình 23-8) và có biên độ:

$$B_{udm} = \frac{\mu_0}{k_\delta k_{\mu d} \delta} F_{ud} \quad (23-19)$$

$$B_{uqm} = \frac{\mu_0}{k_\delta k_{\mu q} \delta} F_{uq} \quad (23-20)$$

Trên thực tế do khe hở không đều, từ cảm dọc và ngang trục B_{ud} và B_{uq} phân bố không sin (đường 2) và có thể phân tích thành các sóng cơ bản và các sóng bậc cao. Trong máy đồng bộ, các sóng bậc cao này rất nhỏ và có thể bỏ qua. Các sóng cơ bản có biên độ B_{udml} , B_{uqml} nhỏ hơn B_{udm} , B_{uqm} và được biểu thị bằng các hệ số sóng từ trường dọc và ngang trục phản ứng:

$$k_{ud} = \frac{B_{udml}}{B_{udm}} \quad (23-21)$$

$$k_{uq} = \frac{B_{uqml}}{B_{uqm}} \quad (23-22)$$

Trị số của k_{ud} , k_{uq} phụ thuộc hệ số mật cực α , $\frac{\partial_m}{\partial}$, $\frac{\partial}{\tau}$ đã được tính sẵn và cho trong các tài liệu thiết kế.

Cũng tính toán như đối với điện kháng của máy cực ẩn ta có:

$$x_{ud} = \frac{E_{ud}}{I_d} = 4mf \frac{\mu_o r l_\delta}{\pi k_\delta k_{\mu d} \delta} \frac{w^2 k_{dq}^2}{p} k_{ud}, \quad (23-23)$$

$$x_{uq} = \frac{E_{uq}}{I_q} = 4mf \frac{\mu_o r l_\delta}{\pi k_\delta k_{\mu q} \delta} \frac{w^2 k_{dq}^2}{p} k_{uq} \quad (23-24)$$

Thường $x_{ud} = 0,5 \div 1,5$; $x_{uq} = 0,3 \div 0,9$.

23.4. QUI ĐỐI CÁC S.T.D. TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Ở chế độ xác lập của tải đối xứng, s.t.d. của phần ứng do dòng điện tải I sinh ra có tác dụng khử từ hoặc trợ từ đối với từ trường lúc không tải của cực do dòng điện i_l sinh ra. Tác dụng khử từ hoặc trợ từ tương đương với một s.t.d. nhất định của cực từ. Để xét vấn đề nói trên, ta qui đổi s.t.d. phản ứng về s.t.d. cực từ và như vậy khi xét đến đặc tính của máy, ta có thể dùng chung đường cong không tải $E = f(i_l)$. Ngược lại trong quá trình quá độ, s.t.d. phản ứng thay đổi theo thời gian, dây quấn stato và rôto có quan hệ hỗ cảm như trong m.b.a. Lúc đó dây quấn stato có thể coi như dây quấn sơ cấp và dây quấn kích thích như dây quấn thứ cấp và như vậy cần phải qui đổi dây quấn kích thích về dây quấn phần ứng. Dưới đây ta xét trường hợp qui đổi s.t.d. của phần ứng về s.t.d. cực từ. Việc qui đổi dựa trên cơ sở từ cảm hình sin do s.t.d. phản ứng và s.t.d. cực từ sinh ra phải bằng nhau:

$$B_{tml} = B_{uml} \quad (23-25)$$

Đối với máy cực ẩn ta có:

$$B_{tml} = k_t B_{tm} = k_t \frac{\mu_o}{k_\delta k_{\mu t} \delta} F_t \quad (23-26)$$

$$\text{và} \quad B_{uml} = B_{um} = \frac{\mu_o}{k_\delta k_{\mu d} \delta} F_u \quad (23-27)$$

Kết hợp (23-25) + (23-27) có thể suy ra s.t.d. phản ứng đã qui đổi về s.t.d. cực từ (có thêm dấy phẩy):

$$F_u = \frac{F_u}{k_t} = k_u F_u = F_t \quad (23-28)$$

$$\text{trong đó:} \quad k_u = \frac{1}{k_t}$$

Đối với máy cực lõi theo hướng dọc trục ta có:

$$B_{iml} = k_t B_{im} = k_t \frac{\mu_o}{k_\delta k_{\mu d} \delta} F_t \quad (23-29)$$

$$\text{và} \quad B_{udl} = k_{ud} B_{udm} = k_{ud} \frac{\mu_o}{k_\delta k_{\mu d} \delta} F_{ud} \quad (23-30)$$

Ở trường hợp này, s.t.d. phản ứng dọc trục đã qui đổi về s.t.d. cực từ:

$$F_{ud} = F_u \frac{k_{ud}}{k_t} = F_{ud} k_d = F_t \quad (23-31)$$

$$\text{trong đó:} \quad k_d = \frac{k_{ud}}{k_t} \quad (23-32)$$

Cũng như vậy, s.t.d. phản ứng ngang trục đã qui đổi về s.t.d. của cực từ:

$$F_{ud} = F_{uq} \frac{k_{uq}}{k_t} = F_{uq} k_q = F_t \quad (23-33)$$

$$\text{trong đó:} \quad k_q = \frac{k_{uq}}{k_t} \quad (23-34)$$

Các lượng k_d , k_q được gọi là các hệ số qui đổi phản ứng phần ứng. Các hệ số này có thể biểu thị được bằng các biểu thức giải tích có liên quan với δ/r , α , δ_m/δ đã được tính toán sẵn và lập thành các đường cong trong các tài liệu thiết kế.

Câu hỏi

1. Phản ứng phần ứng trong máy điện đồng bộ phụ thuộc những yếu tố nào? Tác dụng của nó? So sánh nó với phản ứng phần ứng trong máy điện một chiều.

2. Vì sao phải qui đổi s.t.d. phần ứng về s.t.d. của cực từ? Ý nghĩa của việc quy đổi đó?

3. Cách tính hệ số hồ cảm và hệ số tự cảm của dây quấn kích thích trong máy điện đồng bộ cực lồi và cực ẩn.

4. Cách tính điện kháng của dây quấn phần ứng trong máy cực ẩn và máy cực lồi.

Bài tập

Cho máy phát điện ba pha $p = 1$; $q = 1$. Vẽ vị trí tương đối giữa các cực từ và dây quấn ba pha khi $i_B = I_m$ với giả thiết tải đối xứng có tính cảm $\psi = 60^\circ$ và rôto quay theo chiều kim đồng hồ.

Chương 24

QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

24.1. 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.

24.2. 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_f , $\cos\varphi$, 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:

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta - \dot{I}(r_u + jx_{ou}) \quad (24-1)$$

và đối với động cơ điện đồng bộ (hoặc máy bù đồng bộ):

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta + \dot{I}(r_u + jx_{ou}) \quad (24-2)$$

Trong các phương trình (24-1) và (24-2):

U là điện áp ở đầu cực máy;

r_u và x_{ou} - điện trở và điện kháng tản từ của dây quấn phần ứng;

E_δ - s.d.d. cảm ứng trong dây quấn do từ trường khe hở.

Như ta đã biết ở chương 23, từ trường khe hở lúc có tải là do từ trường cực từ F_i và từ trường phản ứng F_u sinh ra. Khi mạch từ của máy không bão hòa có thể xem như các từ trường F_i , F_u độc lập sinh ra trong dây quấn các s.d.d. E và E_u và ứng dụng nguyên lý xếp chồng ta có:

$$\dot{E}_\delta = \dot{E} + \dot{E}_u \quad (24-3)$$

Khi mạch từ của máy bão hòa thì nguyên lý xếp chồng nói trên không áp dụng được. Trong trường hợp đó phải xác định từ trường tổng $F_o + F_u$ và từ thông tổng ở khe hở F_δ sau đó suy ra s.d.d. E_δ .

24.2.1. Trường hợp máy phát điện

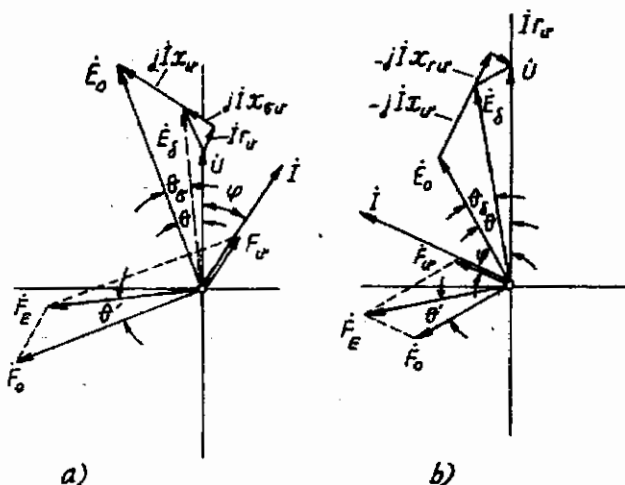
Vì hiện tượng bão hòa mạch từ có ảnh hưởng rất nhiều đối với việc thành lập s.d.d. và điện áp ở đầu máy nên dưới đây sẽ xét phương trình cân bằng điện áp và đồ thị vectơ trong hai trường hợp máy điện không bão hòa và máy điện bão hòa.

a. Trường hợp mạch từ không bão hòa. Giả sử máy phát điện đồng bộ làm việc với tải đối xứng có tính cảm $0 < \psi < 90^\circ$.

Trong trường hợp máy cực ẩn, đem kết hợp (24-1) và (24-3) ta có phương trình cân bằng điện áp sau:

$$\dot{U} = \dot{E} + \dot{E}_u - \dot{I}(r_u + jx_{ou}) \quad (24-4)$$

Vì theo (2-16) ta có $\dot{E}_u = -j\dot{I}_x$ nên (24-4) có thể viết thành:



Hình 24-1. 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)

$$\dot{U} = \dot{E} - j\dot{I}(x_u + x_{ou}) - \dot{I}r_u \quad (24-5)$$

$$= \dot{E} - j\dot{I}x_{db} - \dot{I}r_u \quad (24-6)$$

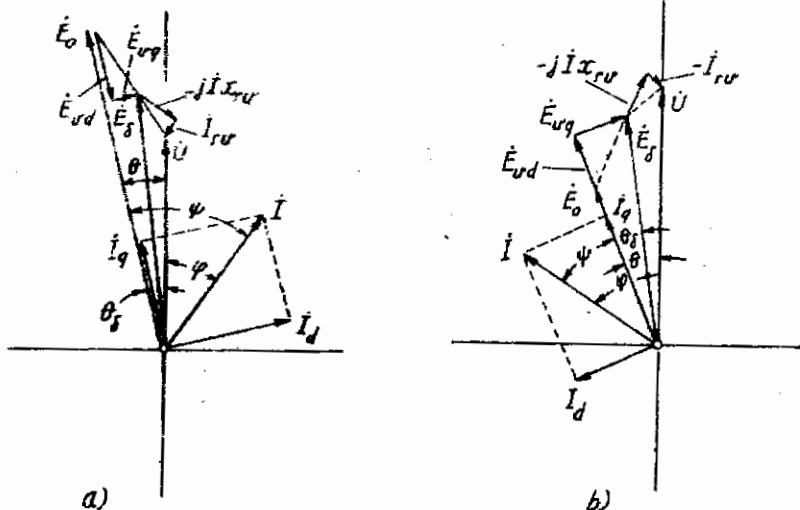
trong đó $x_{db} = x_u + x_{ou}$ gọi là điện kháng đồng bộ. Đối với máy phát điện đồng bộ cực ẩn, $x_{db} = 0,7 \div 1,6$.

Đồ thị vectơ s.d.d. tương ứng với (24-5) trình bày trên hình 24.1. Trên hình cũng vẽ vectơ $\dot{\Phi}_0 (F_0)$, vượt trước $\dot{E}$ góc $\pi/2$ và vectơ $\dot{\Phi}_u (F_u)$ vượt trước $\dot{E}_u = -j\dot{I}x_u$ góc $\pi/2$.

Tổng hình học của $\dot{\Phi}_0 + \dot{\Phi}_u = \dot{\Phi}_\delta$ sinh ra $\dot{E}_\delta$ và cũng vượt trước vectơ $\dot{E}_\delta$ góc $\pi/2$. Từ hình 24-1 ta cũng nghiệm đúng được kết luận nêu ở chương 23; ở tải có tính cảm, phản ứng phần ứng là khử từ và dẫn đến kết quả là $E_\delta < E$.

Trong trường hợp máy điện cực lồi ta phân s.d.d. phản ứng F_u thành hai thành phần dọc trục $\dot{F}_{ud}$ và ngang trục $\dot{F}_{uq}$.

Từ thông Φ_{ud} tương ứng với các s.d.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 $\dot{E}_{uq} = -j\dot{I}_q x_{uq}$ như đã phân tích ở mục 23.3.2. Kết quả là ở đây



Hình 24-2. Đồ thị s.d.d. của máy phát điện cực lõi ở tải có tính cảm (a) và ở tải có tính dung (b)

phương trình cân bằng s.d.d. có dạng:

$$\dot{U} = \dot{E} + \dot{E}_{ud} + \dot{E}_{uq} - \dot{I}r_u + jx_{ou} \quad (24-7)$$

$$= \dot{E} - j\dot{I}_d x_{ud} - j\dot{I}_q x_{uq} - j\dot{I}x_{ou} - \dot{I}r_u \quad (24-8)$$

Đồ thị vectơ s.d.d. tương ứng với (24-8) được trình bày trên hình 24-2 và mang tên là đồ thị Blondel.

Vectơ $-j\dot{I}x_{ou}$ trong (24-8) 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:

$$\begin{aligned} -j\dot{I}x_{ou} &= -j(\dot{I}_d x_{ou} \cos\psi + \dot{I}_q x_{ou} \sin\psi) \\ &= -j\dot{I}_d x_{ou} - j\dot{I}_q x_{ou} \end{aligned}$$

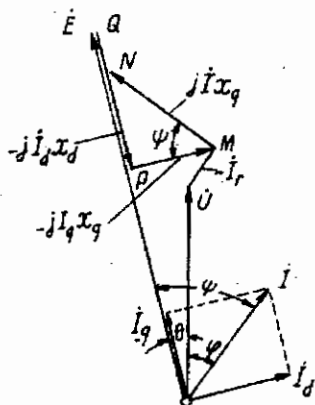
và (24-8) trở thành:

$$\begin{aligned} \dot{U} &= \dot{E} - j\dot{I}_d(x_{ud} + x_{ou}) - j\dot{I}_q(x_{uq} + x_{ou}) - \dot{I}r_u \\ &= \dot{E} - j\dot{I}_d x_d - j\dot{I}_q x_q - \dot{I}r_u \end{aligned} \quad (24-9)$$

trong đó $x_d = x_{ud} + x_{od}$ là điện kháng đồng bộ dọc trục;

$x_q = x_{uq} + x_{od}$ là điện kháng đồng bộ ngang trục.

Thường thì $x_d = 0.7 \div 1.2$; $x_q = 0.46 \div 0.76$.



Hình 24-3. Đồ thị s.d.d. đã biến đổi của máy phát điện cực lồi

Đồ thị vectơ s.d.d. tương ứng với (24-9) trình bày trên hình 24-3.

Ta chú ý rằng ở hình 24-3, trên đường thẳng góc với I và qua điểm M thì đoạn $MN = I_q x_q / \cos \psi = I x_q$. Vì vậy trong trường hợp biết $U, I, \varphi, r_u, x_d, x_q$ và cần xác định E , ta lần lượt vẽ các vectơ U, I_r sau đó vẽ $MN = I x_q$ thì N sẽ nằm trên phương của E . Hạ đoạn thẳng thẳng góc MP với phương của E thì $MP = I_q x_q$

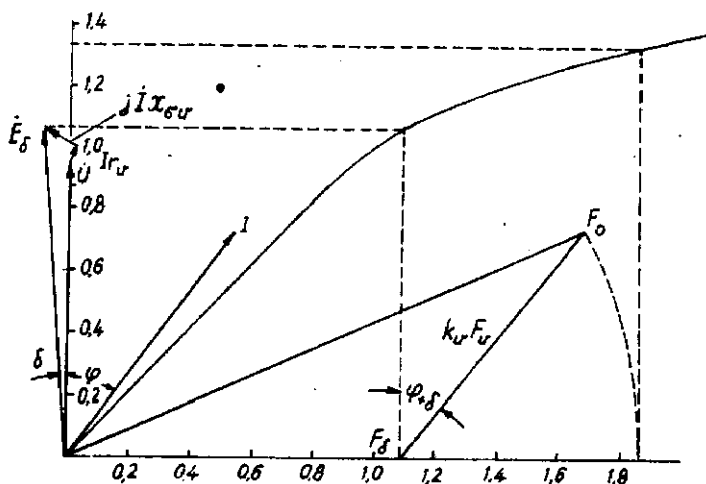
và vẽ $PQ = I_d x_d$ thì OQ chính là s.d.d. E .

Ở trên, các đồ thị vectơ đều được thành lập ứng với tải có tính cảm. Nếu tải có tính dung $0 > \varphi > -\pi/2$ thì các đồ thị vectơ có dạng như trên hình 24-1b và 24-2b, khi đó do tính chất trợ từ của phản ứng nên $E_d > E$.

b. Đồ thị vectơ điện áp của máy điện đồng bộ khi xét đến bão hòa. Các đồ thị trên những hình 24-1 và 24-2 được suy ra ứng với trường hợp mạch từ không bão hòa, tuy nhiên vẫn có thể ứng dụng đối với trường hợp mạch từ bão hòa ở chế độ tải lúc đó.

Vì các hệ số bão hòa k_{ud} và k_{uq} trong các biểu thức (24-23) và (24-24) rất khó tính được chính xác, nên trên thực tế các đồ thị vectơ điện áp của máy đồng bộ trong trường hợp mạch từ bão hòa được thành lập dựa vào các đồ thị s.t.d. và s.d.d. kết hợp với đường cong không tải (tức đường cong từ hóa) của máy.

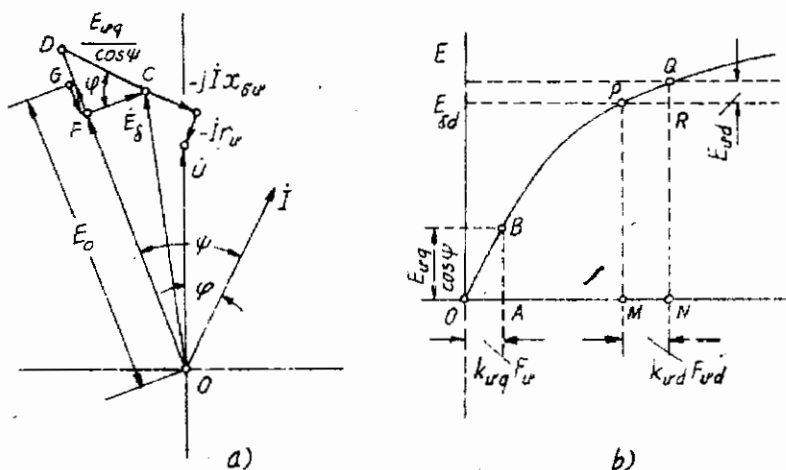
Đối với máy phát đồng bộ cực ẩn, đồ thị véctơ điện áp thành lập dựa theo cơ sở nói trên được gọi là đồ thị sức từ điện động (viết tắt là s.t.d.d.) và có tên là đồ thị Pôchiê. Giả sử U , I , $\cos\varphi$, r_u , x_{ou} và đặc tính không tải đã cho trước. Để thành lập đồ thị s.t.d.d., trên trục tung của đường cong không tải vẽ véctơ U và véctơ I chậm sau U góc φ . Cộng véctơ U với các véctơ $I r_u$ và $j I x_{ou}$ được E_δ . Từ đường cong không tải ứng với E_δ có thể xác định được s.t.d F_δ hoặc dòng điện từ hóa tương ứng. Cộng hình



Hình 24-4. Đồ thị Pôchiê của máy phát điện đồng bộ

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 24-1 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 lúc không tải. Đồ thị Pôchiê cho phép xác định $\Delta U = E - U_{dm}$ và dòng điện từ hóa i_l (hoặc F_0) ứng với tải định mức hoặc tải bất kỳ, do đó rất cần thiết cho lúc thiết kế và vận hành. Tuy ở đây s.t.d 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 lồi. Sai số lúc đó về E vào khoảng $5 \pm 10\%$.

Đối với máy phát đồng bộ cực lồi, việc thành lập đồ thị vectơ có xét đến trạng thái bão hòa 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 hòa theo hai phương đó là khác nhau. Như vậy x_{uq} 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_q và Φ_d . Để đơn giản ta cho rằng từ thông dọc trục hoặc ngang trục chỉ ảnh hưởng đến trạng thái bão hòa của hướng trục, hơn nữa giả thử rằng mức độ bão hòa hướng ngang trục $k_{\mu q}$ đã biết.



Hình 24-5. Xác định đồ thị vectơ s.t.d.d. và độ thay đổi điện áp của máy đồng bộ cực lồi khi bão hòa

Như vậy sau khi vẽ các vectơ U , $I r_u$, jX_{su} và có được E_b (hình 24-5a) theo hướng $I x_{uq}$ ta vẽ đoạn:

$$CD = I x_{uq} = \frac{E_{uq}}{\cos \psi} \quad (24-10)$$

và xác định được phương của E . Trị số của x_{uq} trong (24-10) có

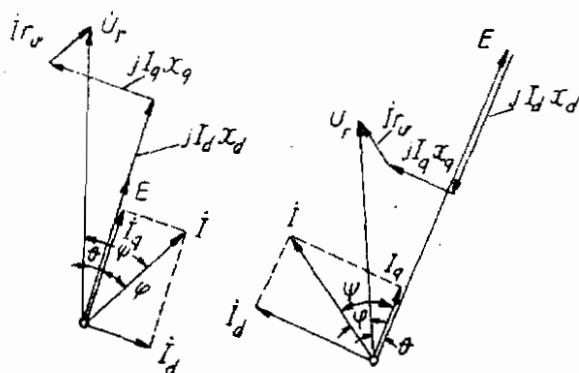
thể tính được theo (23-24), trong đó nếu k_{uq} chưa cho trước thì có thể lấy gần đúng bằng $1,1 + 1,15$. Nếu không tính x_{uq} thì CD cũng có thể xác định được bằng trị số AB của đường cong không tải ứng với s.t.d. ngang trục của phản ứng đã qui đổi về s.t.d. của cực từ: $F_{uq} = k_{uq} F_u = OA$ vì có thể xem như E_{uq} tỷ lệ F_{uq} (hình 24-5b).

Vì điểm D nằm trên phương của E nên đoạn CF thẳng góc với phương của E chính là $I_q x_{uq}$.

S.t.d. của cực từ theo hướng dọc trục gồm hai phần, một phần để sinh ra s.t.d. $E_{\delta d} = OF = MP$ có trị số bằng OM (hình 24-5b) và một phần để khắc phục phản ứng dọc trục $MN = OM + MN$ là s.t.d. $E = NQ$ lúc không tải của máy. Từ hình 24-5b ta cũng thấy $E_{ud} = NQ - RN$. Lấy đoạn $OG = E$ trên phương của E trên hình 24-5a thì $GF = E_{ud}$ và đồ thị vectơ của máy được thành lập xong.

24.2.2. 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



Hình 24-6. Đồ thị vectơ của động cơ điện đồng bộ
khi thiếu kích thích (a) và khi quá kích thích (b)

công suất điện lấy từ mạng để biến thành cơ năng. Như đã biết, động cơ đồng bộ thường có cấu tạo cực lõi nên nếu gọi điện áp lưới điện là U , từ phương trình (24-2) đối với máy cực lõi ta có:

$$\begin{aligned}\dot{U} &= \dot{E}_\delta + \dot{I}(r_u + jx_{ou}) \\ &= \dot{E} + \dot{E}_{ud} + \dot{E}_{uq} + \dot{I}(r_u + jx_{ou}) \\ &= \dot{E} + j\dot{I}_d x_d + j\dot{I}_q x_q + \dot{I}r_u.\end{aligned}\quad (24-11)$$

Đồ thị véctor tương ứng với phương trình (24-11) được trình bày trên hình 24-6. Từ đồ thị đó ta thấy công suất do động cơ tiêu thụ từ mạng điện $P = mUI\cos\varphi < 0$

24.3. CÂN BẰNG NĂNG LƯỢNG TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

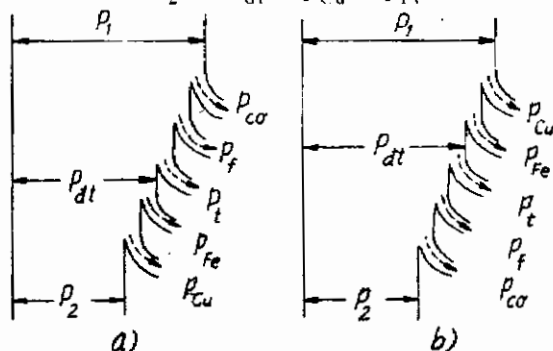
Giả thử rằng máy đồng bộ có cấu tạo thông thường, nghĩa là cực từ đặt lên rôto và máy kích thích đặt trên cùng trục.

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_f đưa vào trừ các tổn hao cơ p_{co} , tổn hao kích từ p_i và tổn hao phụ p_f do các từ trường bậc cao trong sắt stato và rôto:

$$P_{dt} = P_f - (p_{co} + p_i + p_f)$$

Công suất điện P_2 ở đầu ra sẽ bằng công suất điện từ trừ đi tổn hao đồng p_{Cu} trên dây quấn phần ứng và tổn hao sắt từ p_{Fe} :

$$P_2 = P_{dt} - p_{Cu} - p_{Fe}$$



Hình 24-7. Giản đồ năng lượng của máy phát điện đồng bộ (a) và động cơ điện đồng bộ (b)

Đôi 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 24-7. Ta thấy ở trường hợp động cơ điện, công suất điện từ P_{dt} truyền qua từ trường từ stato sang rôto, ngoài ra tổn hao kích từ p_i lấy từ công suất điện của mạng khác với ở trường hợp máy phát điện, lấy từ công suất cơ trên trục.

24.4. CÁC ĐẶC TÍNH GÓC CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Giả thử tốc độ quay n của máy và điện áp U của mạng 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.

24.4.1. Đặc tính góc công suất tác dụng

Đặc tính góc công suất tác dụng của máy điện đồng bộ là quan hệ $P = f(\theta)$ khi $E = \text{const}$, $U = \text{const}$, trong đó θ là góc tải giữa các vectơ s d d' E và điện áp U . Việc nghiên cứu đặc tính này cho phép giải thích 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_d, 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 cực lồi theo đồ thị vectơ trên hình 24-3 với $r_u = 0$, ta có:

$$I_d = \frac{E - U \cos\theta}{x_d}$$

$$I_q = \frac{U \sin\theta}{x_q} \quad (24-12)$$

và $\varphi = \psi - \theta$

Do đó:

$$\begin{aligned}
P &= mUI \cos \varphi = mUI \cos(\psi - \theta) \\
&= mU(I \cos \psi \cos \theta + I \sin \psi \sin \theta) \\
&= mU(I_q \cos \theta + I_d \sin \theta) \\
&= \frac{mU^2}{x_q} \sin \theta \cos \theta + \frac{mEU}{x_d} \sin \theta - \frac{mU^2}{x_d} \sin \theta \cos \theta,
\end{aligned}$$

hay là:

$$\begin{aligned}
P &= \frac{mUE}{x_d} \sin \theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (24-13) \\
&= P_c + P_u
\end{aligned}$$

Trong hệ đơn vị tương đối ta có:

$$P_* = \frac{E_* U_*}{x_{d*}} \sin \theta + \frac{U_*^2}{2} \left(\frac{1}{x_{q*}} - \frac{1}{x_{d*}} \right) \sin 2\theta \quad (24-14)$$

Trị số của P_{u*} nhỏ hơn nhiều so với P_{c*} . Để thấy rõ điều đó ta lấy thí dụ của 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.d. có thể suy ra $E_* = 1,87$; $\theta_{dm} = 22^\circ 27'$. Thay các trị số đó vào (24-14) được:

$$\begin{aligned}
P_{dm*} &= \frac{1,87 \times 1}{1,1} \sin 22^\circ 27' + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{0,75} - \frac{1}{1,1} \right) \sin 2 \cdot 22^\circ 27' \\
&= 0,65 + 0,15 = 0,8.
\end{aligned}$$

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 (hoặc I_l) không đổi và điện áp U của máy điện ở đầu cực máy không đổi. Cần chú ý rằng do bỏ qua tổn hao đồng trên dây quấn phần tĩnh và tổn hao sắt từ nên đó cũng chính 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_c tỷ lệ với $\sin \theta$ và phụ thuộc vào E_* (hoặc I_l) và thành phần P_u tỷ lệ với $\sin 2\theta$ và không phụ

thuộc vào E (hoặc i_1).

Như vậy trong máy đồng bộ cực lồi, khi mất hoặc không có kích thích $i_1 = 0$; ($E = 0$) công suất $P = P_u \neq 0$.

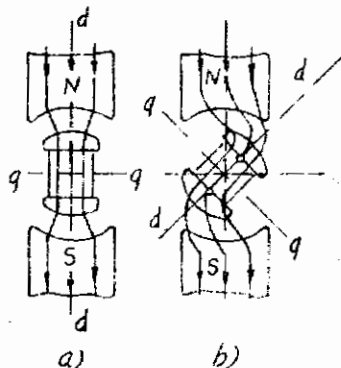
Điều đó có thể giải thích được như sau: khi $i_1 = 0$ trong máy chỉ có từ trường của phần ứng. Do cấu tạo cực lồi của rôto, từ trở dọc trục nhỏ hơn từ trở ngang trục nên các đường sức của từ trường quay của phần ứng luôn có xu hướng đi theo hướng dọc trục (hình 24-8a). Khi có sự xê dịch giữa trục từ trường phần ứng và trục cực (hình 24-8b), các đường sức đó bị uốn, tạo mômen và công suất điện. Do công suất P_u rất nhỏ nên kiểu máy có rôto cực lồi 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 máy đồng bộ cực ẩn do $x_d = x_q$, nên từ biểu thức (24-13) có:

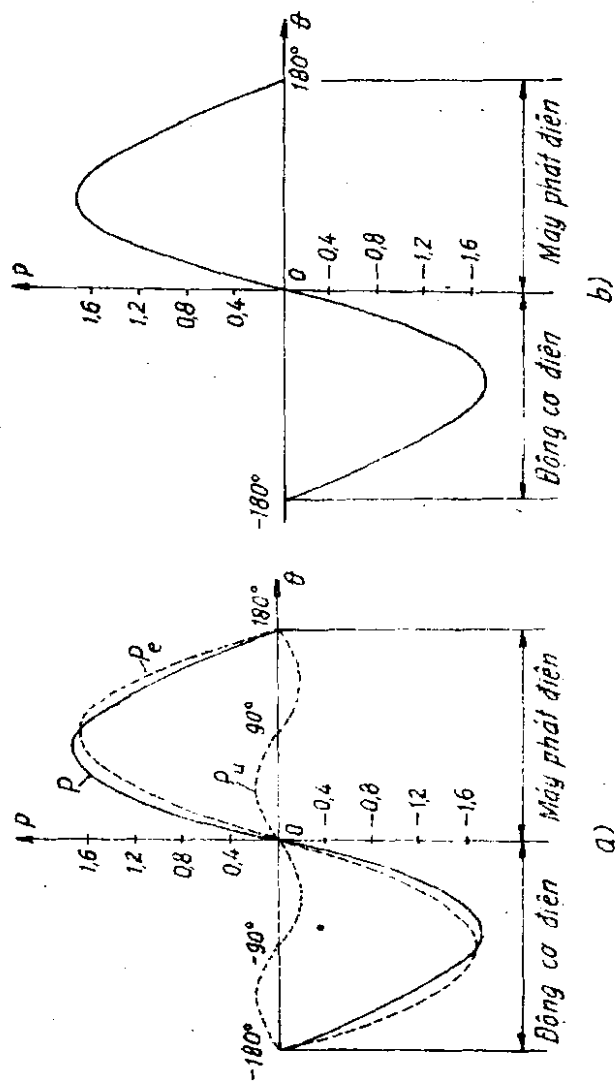
$$P = m \frac{UE}{x_d} \sin \theta. \quad (24-15)$$

Đường biểu diễn đặc tính góc công suất tác dụng $P = f(\theta)$ của các máy điện đồng bộ cực lồi trình bày trên hình 24-9, trong đó $\pi > \theta > 0$ ứng với trường hợp làm việc như máy phát điện, còn $0 > \theta > -\pi/2$ ứng với trường hợp làm việc như động cơ điện.

Ở trên ta đã nói θ là góc giữa các vectơ E và U . Khi θ thay đổi thì công suất P thay đổi. Để thấy rõ ý nghĩa vật lý của sự thay đổi của P theo θ ta chú ý rằng, nếu bỏ qua các điện áp rơi $I_r u$ và $I x_{\sigma u}$ thì $\theta \approx \theta_0$ và đó chính là góc không gian giữa s.t.d F_o của rôto sinh ra E và $F_\delta = F_o + F_u$ ở khe hở trên mặt stato sinh ra

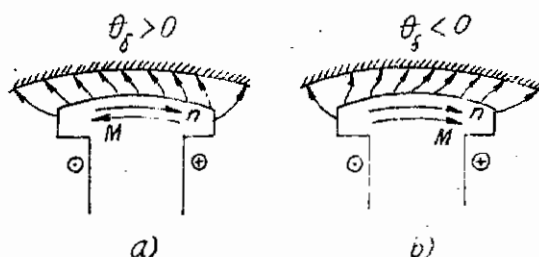


Hình 24-8. Đường sức từ trường trong máy điện đồng bộ phản kháng



Hình 24-9. Đặc tính góc công suất tác dụng của máy phát đồng bộ cực lồi (a) và của máy phát đồng bộ cực ẩn (b)

E_h Góc không gian θ_δ trong trường hợp máy cực ẩn và cực lồi được trình bày trên các hình 24-1 và 24-2. Khi làm việc như máy phát điện $\theta_\delta > 0$, rôto (hoặc F_n) vượt trước và kéo theo từ trường F_δ trên mặt stato (h.24-10); còn khi làm việc như động cơ điện $\theta_\delta < 0$, từ trường tổng F_δ trên mặt stato kéo rôto (hoặc F_n) quay theo. Lực kéo đó biểu thị cho công suất P. Rõ ràng là công suất P thay đổi theo θ_δ , vì khi θ_δ thay đổi, lực kéo giữa F_n và F_δ sẽ thay đổi.



Hình 24-10. Từ trường ở khe hở khi máy điện đồng bộ làm việc ở chế độ máy phát (a) và ở chế độ động cơ (b)

24.4.2. Đặc tính góc công suất phản kháng

Công suất phản kháng của máy điện đồng bộ bằng:

$$\begin{aligned} Q &= mU \sin \varphi = mU \sin(\gamma - \theta) \\ &= mU(I_d \sin \gamma \cos \theta - I_q \cos \gamma \sin \theta) \\ &= mU(I_d \cos \theta - I_q \sin \theta). \end{aligned}$$

Sau khi thay trị số của I_d , I_q theo (24-12), ta có:

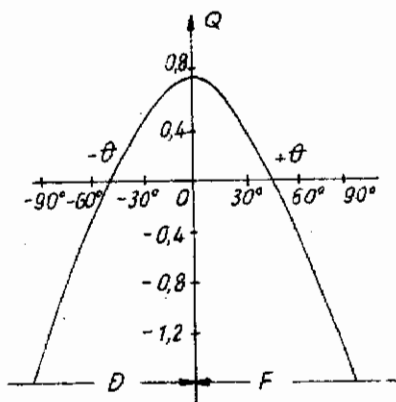
$$Q = \frac{mUE}{x_d} \cos \theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta - \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_d} + \frac{1}{x_q} \right) \quad (24-16)$$

Vì khi θ có trị số dương hoặc âm, trị số của Q theo (24-16) vẫn không đổi nên đặc tính góc công suất phản kháng của máy phát điện và động cơ điện đồng bộ giống nhau và có dạng như trình bày trên hình 24-11.

Ta thấy 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.

Thí 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.d.d. E , góc tải θ_{dm} và độ thay đổi điện áp ΔU .



Hình 24-11. Đặc tính góc công suất phản kháng của máy điện đồng bộ cực lồi

Giải

Để tính toán ta dựa vào đồ thị s.d.d. trên hình 24-3. Lấy véc tơ U làm gốc và biểu thị trong hệ đơn vị tương đối, ta có:

$$U_{dm} = 1 / \underline{\quad 0}$$

$$I_{dm} = 1 / \underline{-36^{\circ}9} \quad (\text{vì } \cos \varphi_{dm} = 0,8; \varphi_{dm} = 36^{\circ}9)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{dm} + j I_{dm} x_{q+} &= 1 / \underline{0^{\circ}} + j (1 / \underline{-36^{\circ}9}) 0,554 \\ &= 1 + j 0,8 - j 0,6 0,554 \\ &= 1,332 + j 0,443 \end{aligned}$$

$$\theta_{dm} = \arctg \frac{0,443}{1,332} = 18^{\circ}5$$

Góc giữa các véc tơ E và U có trị số:

$$\psi = \varphi_{dm} + \theta_{dm} = 36^{\circ}9 + 18^{\circ}5 = 55^{\circ}4$$

Từ đồ thị s.d.d. trên hình 24-3, trị số của E , được xác định như sau:

$$\dot{E}_* = \dot{U}_* \cos \theta + \dot{I}_{d+} x_{d+}$$

trong đó: $\dot{I}_{d+} = \dot{I}_* \sin \psi = 1 \sin 55^{\circ}4 = 0,823$.

Kết quả là:

$$E_* = 1 \times \cos 18^\circ 5' + 0,823 \cdot 0,844 = 1,643$$

và độ thay đổi điện áp:

$$\Delta U_{dm} \% = \frac{E - U_{dm}}{U_{dm}} \cdot 100 = 64,3\%$$

Câu hỏi

1. Vì sao trong máy điện đồng bộ cực lõi phải chia s.d. F_{uj} thành hai thành phần F_{ud} và F_{uq} ?

2. Vẽ sơ đồ không gian biểu thị vị trí cực từ so với dây quấn ba pha tương ứng với các hình 24-1a và 24-2a (Giả thử rằng máy có $2p = 2$; $q = 1$).

3. Nêu rõ sự khác nhau giữa đồ thị s.d.d. và đồ thị s.t.d.d. 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 $x_d = 17 \Omega$; $x_q = 9 \Omega$; $r_u = 0$, làm việc ở tải định mức với $\cos \varphi_{dm} = 0,8$. Hãy tính:

- Trị số của x_d , x_q trong hệ đơn vị tương đối;
- S.d.d. E và góc θ ứng với tải định mức;
- Công suất điện từ của máy lúc đó.

$$\begin{aligned} \text{Đáp số: } \quad & \text{a) } x_d^* = 1,23 \\ & x_q^* = 0,646 \\ & \text{b) } E^* = 1,97 \\ & \theta = 20^\circ 5' \\ & \text{c) } P_{dt}^* = 0,802 \end{aligned}$$

2. Cho một máy phát điện ba pha cực lõi $U_{ldm} = 220 \text{ V}$; $I_{dm} = 10 \text{ A}$; điện trở phần ứng $r_u = 0,4 \Omega$; $\cos \varphi_{dm} = 0,8$; $\psi = 60^\circ$; $E = 400 \text{ V}$. Tính các tham số x_d , x_q .

$$\text{Đáp số: } x_d = 22,56 \Omega ; \quad x_q = 17,95 \Omega$$

Chương 25

MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC Ở TẢI ĐỐI XỨNG

25.1. ĐẠI CƯƠNG

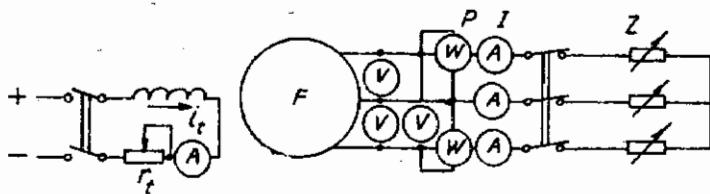
Chế độ làm việc của máy phát điện đồng bộ ở tải đối xứng được thể hiện rõ ràng qua các đại lượng như điện áp U ở đầu dây quấn phần ứng, dòng điện tải I trong dây quấn phần ứng, dòng điện kích thích i_f , hệ số công suất $\cos\varphi$, tần số f hoặc tốc độ quay n . Trừ tần số f luôn được giữ bằng định mức f_{dm} và $\cos\varphi = \text{const}$ do tải bên ngoài quyết định, từ ba đại lượng U , I , i_f còn lại có thể thành lập được các đặc tính sau đây của máy phát điện đồng bộ:

1. Đặc tính không tải $U_0 = E = f(i_f)$ khi $I = 0$; $f = f_{dm}$.
2. Đặc tính ngắn mạch $I_n = f(i_f)$ khi $U = 0$; $f = f_{dm}$.
3. Đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi $i_f = \text{const}$; $\cos\varphi = \text{const}$; $f = f_{dm}$.
4. Đặc tính điều chỉnh $i_f = f(I)$ khi $U = \text{const}$; $\cos\varphi = \text{const}$; $f = f_{dm}$.
5. Đặc tính tải $U = f(i_f)$ khi $I = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$; $f = f_{dm}$.

Các đặc tính trên có thể thành lập được theo tính toán dựa vào đồ thị vectơ s.d.d. hoặc bằng cách làm thí nghiệm trực tiếp. Từ các đặc tính trên có thể suy ra các tính chất quan trọng của các máy như tỷ số ngắn mạch K ; độ thay đổi điện áp ΔU . Cũng từ các đặc tính trên chúng ta suy ra được các tham số x_d , x_q , $x_{\sigma u}$ của máy. Trong chương này sẽ lần lượt nghiên cứu các vấn đề nói trên, ngoài ra ta còn phân tích vấn đề hiệu suất của máy phát điện đồng bộ.

25.2. 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 25-1. Tải của máy phát điện là tổng trở Z có thể biến đổi (ví dụ tải điện trở ba pha ghép song song với tải điện cảm ba pha). Dòng điện kích thích i_t của máy phát điện i , lấy từ nguồn điện bên ngoài và điều chỉnh được nhờ biến trở r_t .

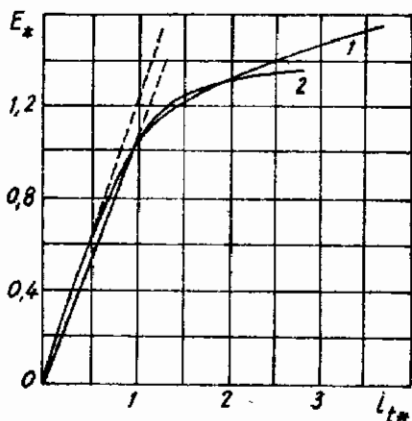


Hình 25-1. Sơ đồ nối dây xác định đặc tính của máy phát điện đồng bộ

25.2.1. Đặc tính không tải

Đặc tính không tải là quan hệ $E = U_0 = f(i_t)$ 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 $E_* = E/E_{dm}$ và $i_{t*} = i_t/i_{tdmo}$ như trên hình 25-2, trong đó i_{tdmo} là dòng điện không tải khi $U = U_{dm}$. Ta chú ý rằng, mạch từ của máy phát điện



Hình 25-2. Đặc tính không tải của máy phát tuabin hơi (a) và máy phát tuabin nước (b)

tuabin hơi bão hòa hơn mạch từ của máy phát điện tuabin nước. Khi $E = E_{dm} = 1$, đối với máy phát điện tuabin hơi $k_{\mu d} = k_{\mu} = 1,2$; còn đối với máy phát điện tuabin nước $k_{\mu d} = 1,06$.

25.2.2. Đặc tính ngắn mạch và tỷ số ngắn mạch K

Đặc tính ngắn mạch là quan hệ $I_n = f(i_t)$ khi $U = 0$; $f = f_{dn}$ (khi đó dây quấn phần ứng được nối tắt ngay ở đầu máy).

Nếu bỏ qua điện trở của dây quấn phần ứng ($r_u = 0$) thì mạch điện dây quấn phần ứng lúc ngắn mạch là thuần cảm ($\psi = 90^\circ$) như vậy $I_q = \cos\psi = 0$ và $I_d = I \sin\psi = I$ và đồ thị vectơ của máy phát điện lúc đó như trên hình 25-3a. Theo biểu thức (24-9), ta có:

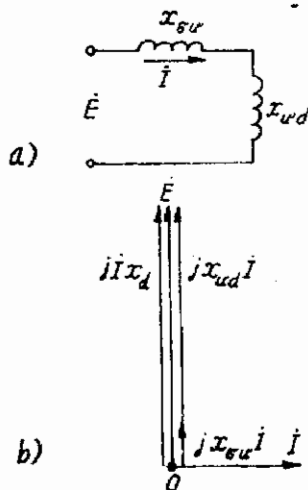
$$E = +jI x_d \quad (25-1)$$

và mạch điện thay thế của máy có dạng như trên hình 25-3b

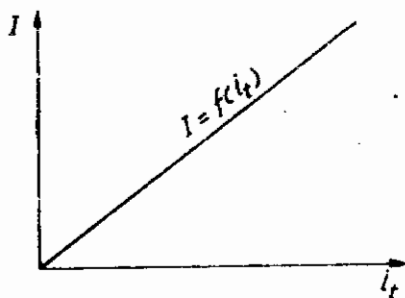
Lúc ngắn mạch phản ứng phân ứng là khử từ, mạch từ của máy không bão hòa, vì từ thông khe hở Φ_δ cần thiết để sinh ra $E_\delta = E - I x_{ad} = I x_{ou}$ rất nhỏ. Do đó quan hệ $I = f(i_t)$ là đường thẳng như trình bày trên hình 25-4.

Tỷ số ngắn mạch

Tỷ số ngắn mạch K theo định nghĩa là tỷ số giữa dòng điện ngắn mạch I_{na}



Hình 25-3. Đồ thị vectơ và mạch điện thay thế của máy phát đồng bộ lúc ngắn mạch



Hình 25-4. Đặc tính ngắn mạch của máy phát đồng bộ

ứng với dòng điện kích thích sinh ra s.d.d. $E = U_{dm}$ khi không tải với dòng điện định mức I_{dm} , nghĩa là:

$$K = \frac{I_{no}}{I_{dm}} \quad (25-2)$$

Theo định nghĩa đó từ hình 25-5 ta có:

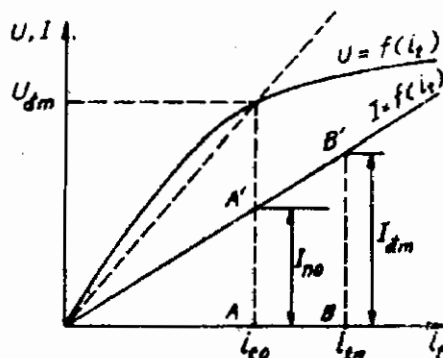
$$I_{no} = \frac{U_{dm}}{x_d} \quad (25-3)$$

trong đó x_d - trị số bão hòa của điện kháng đồng bộ dọc trục ứng với $E = U_{dm}$.

Thay trị số I_{no} theo (25-3) vào (25-2), ta có:

$$K = \frac{U_{dm}}{x_d I_{dm}} = \frac{1}{x_d}$$

Thường $x_d > 1$ 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 25-5, dựa vào các tam giác đồng dạng OAA' và OBB' có thể biểu thị tỷ số ngắn mạch K theo các dòng điện kích thích như sau:

$$K = \frac{I_{no}}{I_{dm}} = \frac{i_{to}}{i_{in}} \quad (25-4)$$

trong đó:

i_{to} - dòng điện kích thích khi không tải lúc $U_o = U_{dm}$,

i_{tn} - dòng điện kích thích lúc ngắn mạch khi $I = I_{dm}$.

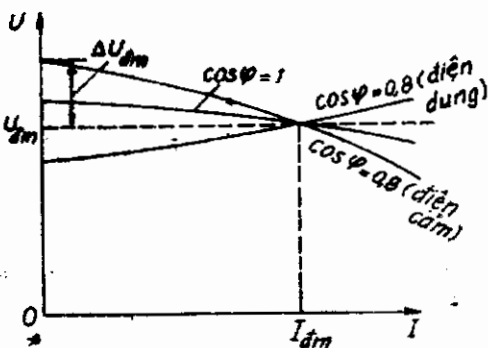
Tỷ số ngắn mạch K là một tham số quan trọng của máy điện đồng bộ. Máy với K lớn có ưu điểm cho độ thay đổi điện áp ΔU nhỏ và theo biểu thức (24-12) sinh ra công suất điện từ lớn khiến cho máy làm việc ổn định khi tải dao động. Nhưng muốn K lớn nghĩa là x_d nhỏ, phải tăng khe hở ở và như vậy đòi hỏi phải 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 tuabin nước $K = 0,8 \div 1,8$ còn đối với máy phát tuabin hơi, $K = 0,5 \div 1,0$.

25.2.3. Đặc tính ngoài và độ thay đổi điện áp

ΔU_{dm} của máy phát đồng bộ

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 4-1 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 25-6. 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



Hình 25-6. Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ

khi thay đổi tải. Dòng điện i_1 ứng với $U = U_{dm}$; $I = I_{dm}$; $\cos\varphi = \cos\varphi_{dm}$; $f = f_{dm}$ được gọi là dòng điện từ hóa định mức.

Từ hình 25-6 ta thấy dạng của đặc tính ngoài phụ thuộc vào tính chất của tải. Nếu tải có tính cảm khi I tăng, phản ứng khử từ của phản ứng tăng, điện áp giảm và đường biểu diễn đi xuống. Ngược lại nếu tải có tính dung khi I tăng, phản ứng phản ứng là trợ từ, điện áp tăng và đường biểu diễn đi lên.

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:

$$\Delta U_{dm}\% = \frac{E - U_{dm}}{U_{dm}} 100 \quad (25-5)$$

Máy phát điện tuabin hơi do có x_d lớn nên có $\Delta U^{(1)}$ lớn hơn so với máy phát điện tuabin nước. Thông thường $\Delta U\% = 25 + 35\%$.

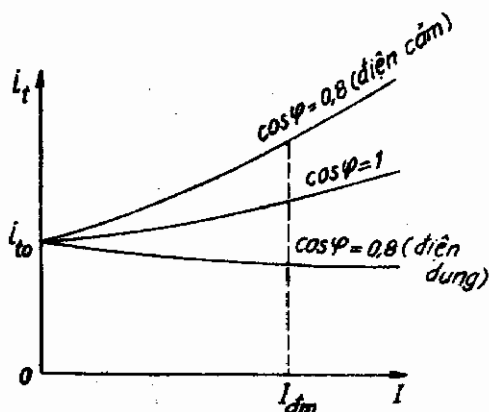
Trị số ΔU của máy phát điện có thể xác định được bằng thí nghiệm trực tiếp trên máy đã chế tạo. Lúc thiết kế để tính được ΔU có thể dựa vào cách vẽ đồ thị vectơ trình bày trên các hình 24-1 và 24-4.

25.2.4. Đặc tính điều chỉnh

Đặc tính điều chỉnh là quan hệ $i_1 = f(I)$ khi $U = \text{const}$; $\cos\varphi = \text{const}$; $f = f_{dm}$. Nó cho biết chiều hướng điều chỉnh dòng điện i_1 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 25-1, phải thay đổi z và đồng thời thay đổi i_1 để có $\cos\varphi = \text{const}$ và $U = \text{const}$. Dạng của đặc tính ở các trị số $\cos\varphi$ khác nhau như trên hình 25-7. Ta thấy với tải cảm khi I tăng, tác dụng khử từ

(1) Thường để đơn giản, đôi khi không dùng kí hiệu "dm"

của phản ứng phần ứng cũng tăng làm cho U bị giảm. Để giữ cho U không đổi phải tăng dòng điện từ hóa 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 hóa i_t khoảng 1,7 + 2,2 lần.



Hình 25-7. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện đồng bộ

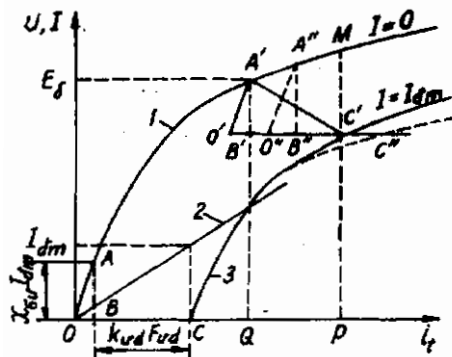
25.2.5. Đặc tính tải

Đặc tính tải là quan hệ $U = f(i_t)$ khi $I = \text{const}$; $\cos\varphi = \text{const}$ và $f = f_{dm}$. 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 $\cos\varphi = 0$ ($\varphi = \frac{\pi}{2}$) và $I = I_{dm}$.

Để có đặc tính đó phải điều chỉnh r_f và x (khi đó phải có cuộn cảm có thể điều chỉnh được) sao cho $I = I_{dm}$ (hình 25-1). Dạng của đặc tính tải thuần cảm như đường 3 trên hình 25-8. Đồ thị vectơ tương ứng với chế độ làm việc đó khi bỏ qua trị số rất nhỏ của r_u như hình 25-9.

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 25-8) để có trị số $I_n = I_{dm}$, dòng điện kích thích i_{tn} hoặc s.t.d. F_{tn} cần thiết bằng $F_{tn} = i_{tn} = OC$. Như đã biết (xem mục 25.2.2), khi máy làm việc



Hình 25-8. Xác định đặc tính tải thuần cảm từ đặc tính không tải và tam giác điện kháng

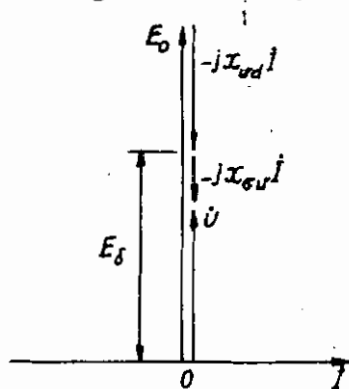
thành như trên được gọi là tam giác điện kháng. Các cạnh BC và AB của tam giác đều tỷ lệ với dòng điện tải định mức I_{dm} .

Dưới đây trình bày cách thành lập đặc tính tái thuần cảm từ đặc tính không tái và tam giác diện kháng.

Dem tính tiến tam giác điện kháng ABC (hoặc tam giác OAC cũng được) sao cho đỉnh 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 tỷ lệ với dòng điện tải $I = I_{dm}$, thì đặc tính tải thuần cảm $U = f(I)$ trên là ứng với $I = I_{dm}$. Để chứng minh ta chú ý rằng, ở hai trường hợp hợp ngắn mạch với $I = I_{dm}$ và tải thuần cảm với $I = I_{dm}$, s.d.d. E_{ou} và phản ứng khử từ F_{ud} không thay đổi, do đó các cạnh $AB = E_{ou}$ và $BC = k_{ud}F_{ud}$ của tam giác điện kháng đều không đổi. Như vậy với một s.t.d. tùy ý của cực từ $F_0 = OP$ lúc không tải, diện

ở chế độ ngắn mạch, s.d.d. của cực từ $F_{in} = OC$ gồm hai phần: một phần để khắc phục phản ứng khử từ của phản ứng $BC = k_{ud}F_{ud}$ sinh ra E_{ud} ; phần còn lại $OB = OC - BC$ sẽ sinh ra s.d.d. tàn từ $F_{ou} = I_{dm}x_{ou} = AB$. (điểm A nằm trên đoạn thẳng của đặc tính không tải (đường 1) vì lúc đó mạch từ không bão hòa).

Tam giác ABC được hình



Hình 25-9. Đồ thị vectơ s.d.d. của máy điện đồng bộ ở tải thuần cảm

áp đầu cực máy $U_0 = E = PM$, còn khi có tải thuần cảm với $I = I_{dm}$, điện áp đầu cực máy $U = PC'$. Sở dĩ như vậy vì lúc có tải thuần cảm như trên, s.t.d. có hiệu lực chỉ bằng $OP \cdot PQ = OQ$ (trong đó $PQ = B'C' = BC$ là phản ứng khử từ của phần ứng) và s.d.d. $E_\delta = QA'$. Kết quả là $U = E_\delta - E_{\sigma u} = QA' - AB' = QA' - AB = QB' = PC'$.

Trên thực tế do ảnh hưởng của bão hòa, 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 hòa do từ thông tản của dây quấn kích từ lớn hơn thì s.t.d. 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.

25.3. CÁCH XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Trong các chương 23 và chương 24 đã nêu lên phương pháp tính toán các tham số x_d , x_q , $x_{\sigma u}$ của máy điện đồng bộ. Ở đây ta sẽ trình bày cách xác định các tham số đó từ các đặc tính của máy. Tuy nhiên cũng cần nói thêm rằng, ngoài hai phương pháp trên còn có thể xác định các tham số đó bằng thí nghiệm trực tiếp và phương pháp trực tiếp này được đề cập đến trong các tài liệu thí nghiệm.

25.3.1. Điện kháng đồng bộ dọc trục và ngang trục

Các trị số của điện kháng đồng bộ dọc trục bão hòa x_d và không bão hòa $x_{d\infty}$ được suy ra từ các đặc tính không tải $E = f(i_f)$ và đặc tính ngắn mạch $I_n = f(i_f)$ như trên hình 25-10. Vì khi ngắn mạch theo đồ thị vectơ trên hình 25-3, $x_d = E/I_n$, nên ứng với mỗi trị số của i_f từ các đặc tính không tải (đường 1) và ngắn mạch (đường 2) sẽ có trị số của x_d bão hòa tương ứng:

$$x_d = \frac{E}{I_n} = \frac{AC}{AB} \quad (25-6)$$

Quan hệ $x_d = f(i_1)$ có dạng như đường 3 trên hình 25-10.

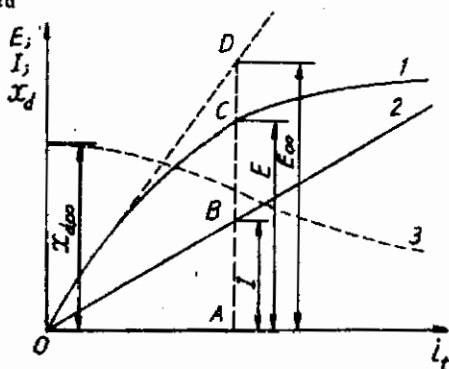
Khi mạch từ không bão hòa, quan hệ $E = f(i_1)$ là đường thẳng, trị số của x_d không bão hòa $x_{d\infty}$ là không đổi và được xác định bởi tỷ số:

$$x_{d\infty} = \frac{E_{\infty}}{I_n} = \frac{AD}{AB} \quad (25-7)$$

Vì $\frac{E_{\infty}}{E} = k_{\mu d}$ nên:

$$x_d = \frac{x_{d\infty}}{k_{\mu d}} \quad (25-8)$$

Điện kháng đồng bộ ngang trục x_q tương ứng với từ thông của phản ứng phần ứng ngang trục và từ thông tản của dây quấn phần ứng. Trong máy cực lồi vì theo hướng ngang trục khe hở lớn, từ trở hướng ngang trục lớn, do đó mạch từ không bão hòa nên điện kháng đồng bộ ngang trục có trị số không đổi và bằng $x_q \approx 0,6x_d$. Đối với máy đồng bộ cực ẩn thì $x_d = x_q = x_{dh}$.



Hình 25-10. Xác định điện kháng đồng bộ dọc trục

25.3.2. Điện kháng tản $x_{\sigma d}$

Với cách suy ra đặc tính tải thuần cảm (đường 3 trên hình 25-8) bằng tam giác điện kháng và đặc tính không tải, thì nếu từ một điểm C' bất kỳ trên đặc tính tải thuần cảm đó vẽ $O'C' = OC$ song song với trục ngang, sau đó qua O' vẽ đường thẳng song song với OA cắt đặc tính không tải (đường 1) ở A' rồi hạ đoạn

thẳng đứng $A'B'$ xuống $O'C'$ ta được:

$$x_{ou} = \frac{A'B'}{I} \quad (25-9)$$

Trên thực tế như trên đã trình bày, đặc tính tải thuần cảm thành lập được bằng thí nghiệm trực tiếp (đường nét đứt trên hình 25-8) có khác với đặc tính tải thuần cảm suy từ đặc tính không tải và tam giác điện kháng (đường 2). Vì vậy nếu làm thí nghiệm trực tiếp để có đặc tính tải thuần cảm (đường nét đứt) sau đó từ điểm C'' trên đường đó lấy đoạn $O''C'' = O'C' = OC$ và tiếp tục như trên ta được:

$$x_p = \frac{A''B''}{I} \quad (25-10)$$

Ở đây x_p được gọi là điện kháng Pôchiê. Rõ ràng $x_p > x_{ou}$.

Đối với máy đồng bộ cực ẩn $x_p \approx (1,05 + 1,10)x_{ou}$; còn đối với máy đồng bộ cực lồi $x_p \approx (1,1 + 1,3)x_{ou}$.

25.4. TỐN HAO VÀ HIỆU SUẤT CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Như đã biết về sự cân bằng năng lượng của máy điện đồng bộ, (mục 24.3), khi làm việc, trong máy có các tổn hao đồng, tổn hao sắt, tổn hao kích từ, tổn hao phụ và tổn hao cơ.

Tổn hao đồng là công suất mất mát trên dây quấn phần tĩnh với giả thiết là mật độ dòng điện phân bố đều trên tiết diện của dây dẫn. Tổn hao này phụ thuộc vào trị số mật độ dòng điện, trọng lượng đồng và thường được tính ở nhiệt độ 75°C .

Tổn hao sắt từ là công suất mất mát trên mạch từ (gông và răng) do từ trường biến đổi hình sin (ứng với tần số f_1). Tổn hao này phụ thuộc vào trị số của từ cảm, tần số, trọng lượng lõi thép, chất lượng của tôn silic, trình độ công nghệ chế tạo lõi thép.

Tổn hao kích từ là công suất tổn hao trên điện trở của dây quấn kích thích và của các chổi than. Nếu máy kích thích đặt

trên trục của máy đồng bộ thì công suất tổn hao trên phải chia cho hiệu suất của máy kích thích.

Tổn hao phụ bao gồm các phần sau:

a) Tổn hao phụ do dòng điện xoáy ở các thanh dẫn của dây quấn stato và các bộ phận khác của máy dưới tác dụng của từ trường tản do dòng điện phản ứng sinh ra.

b) Tổn hao ở bề mặt cực từ hoặc ở bề mặt của lõi thép rôto máy cực ẩn do stato (có rãnh và như vậy từ cảm khe hở có sóng điều hòa răng. Do tác dụng màn chắn của dòng xoáy, ở sâu trong lõi thép không có tổn hao này.

c) Tổn hao ở răng của stato do sự đập mạch ngang và dọc của từ thông chính và do các sóng điều hòa bậc cao với tần số khác f_1 .

Tổn hao cơ bao gồm:

1. Tổn hao công suất cần thiết để đưa không khí hoặc các chất làm lạnh khác vào các bộ phận của máy.

2. Tổn hao công suất do ma sát ở ổ trục và ở bề mặt rôto và stato khi rôto quay trong môi chất làm lạnh (không khí,...).

Ở các máy điện đồng bộ công suất và tốc độ quay khác nhau, tỷ lệ phân phối các tổn hao nói trên không giống nhau. Trong các máy đồng bộ bốn cực công suất trung bình, tổn hao đồng trong dây quấn phần tĩnh và dây quấn kích từ chiếm tới khoảng 65% tổng tổn hao. Trong khi đó tổn hao trong lõi thép stato (kể cả tổn hao chính và phụ) chỉ chiếm khoảng 14%. Trong máy phát tuabin nước công suất lớn, tốc độ chậm thì tổn hao trong dây quấn phần tĩnh và trong dây quấn kích từ chiếm khoảng 35%, còn tổn hao trong lõi thép stato thì chiếm tới 37%. Trong trường hợp này, để giảm bớt tổn hao trong lõi thép stato nên dùng tôn silic có suất tổn hao nhỏ. Tổn hao phụ có thể chiếm tới khoảng 11% đối với máy phát tuabin nước, trong đó chủ yếu là tổn hao bề mặt và tổn hao đập mạch vào khoảng 18% đối với máy phát

tuabin hơi và ở đây khác với trường hợp máy phát tuabin hơi và ở đây khác với trường hợp máy phát tuabin nước, tổn hao phụ trong dây đồng của stato là chủ yếu. Để giảm bớt tổn hao phụ trong các máy công suất lớn thường dùng các biện pháp sau:

a) Chia dây dẫn theo chiều cao của rãnh thành nhiều dây đồng bọc dày khoảng $4 \div 5 \text{ mm}$ và hoán vị vị trí của chúng ở trong rãnh (đôi khi cả ở phần đầu nối) sao cho dọc chiều dài của rãnh mỗi dây đồng bọc đều nằm ở tất cả các vị trí từ phía đáy rãnh lên phía miệng rãnh;

b) Chế tạo các vành ép lõi thép stato, vành đai đầu nối của rôto bằng thép không từ tính;

c) Tiện xoắn ốc bề mặt rôto của máy phát tuabin hơi.

Hiệu suất của máy điện đồng bộ được xác định bởi biểu thức:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma p}$$

trong đó:

P_2 - công suất đầu ra của máy;

Σp - tổng tổn hao trong máy.

Hiệu suất của các máy phát đồng bộ làm lạnh bằng không khí công suất $0,5 \div 3$ ngàn kW vào khoảng $92 \div 95\%$; công suất $3,5 \div 100$ ngàn kW vào khoảng $95 \div 97,8\%$. Nếu làm lạnh bằng hydrogên thì hiệu suất cũng có thể tăng khoảng $3,8\%$.

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. Hãy biểu thị từ trường của cực từ và của phần ứng khi ngắn mạch.

5. Vì sao khi máy làm việc bình-thường dùng trị số x_d bão hòa, còn khi ngắn mạch lại dùng trị số không bão hòa? Tại sao x_q chỉ có trị số không bão hòa?

6. Trị số của điện kháng Pôchiê có thay đổi không? Vì sao?

Bài tập

Một máy phát đồng bộ cực lớn nối Y các số liệu sau: $S_{dm} = 25 \text{ kVA}$; $U_{dm} = 400 \text{ V}$; $\cos \varphi_{dm} = 0,8$; $x_{ou*} = 0,09$; $r_u = 0,21 \Omega$; điện trở của dây quấn kích từ $r_l = 1,238 \Omega$; dòng điện kích thích $i_{lo} = 24 \text{ A}$; tỷ số ngắn mạch $K = 0,8$. Hãy thành lập đồ thị s.t.d.d. Pôchiê ứng với tải định mức và qua đó xác định:

- S.d.d. E của máy;
- Độ thay đổi điện áp $\Delta U\%$;
- Dòng điện kích thích định mức i_{ldm} ;
- Điện áp lúc đó của dây quấn kích thích.

Hướng dẫn: Khi thành lập đồ thị s.t.d.d. Pôchiê có thể dựa vào đường cong không tải cho trên hình 25-2, còn đặc tính ngắn mạch làm cơ sở để suy ra tam giác điện kháng và trị số $k_u F_u$ có thể vẽ được dựa vào tỷ số ngắn mạch K.

Chương 26

MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC Ở TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG

26.1. ĐẠI CƯƠNG

Trong khi cung cấp điện có thể xảy ra trường hợp tải của các pha không bằng nhau, hộ dùng điện của một pha nào đó có thể rất lớn, ví dụ như khi cung cấp điện cho các tuyến đường sắt, công nghiệp điện phân,... và như vậy máy phát điện đồng bộ sẽ làm việc với tải không đối xứng, trong máy điện đồng bộ sẽ sinh ra một số hiện tượng bất lợi như điện áp không đối xứng, các sóng điều hòa s.d.d. và dòng điện bậc cao xuất hiện làm tổn hao tăng lên, rôto nóng và máy rung,...

Giới hạn tải không xứng của máy phát điện đồng bộ xảy ra khi có ngắn mạch không đối xứng trong hệ thống điện lực, hoặc ở đầu cực máy (ngắn mạch một pha với dây trung tính; ngắn mạch hai pha với dây trung tính). Tuy dòng điện ngắn mạch không đối xứng chỉ tồn tại trong một thời gian ngắn vì các rơle bảo vệ máy phát điện sẽ tác động, nhưng cũng gây ra những lực điện từ hoặc hiệu ứng nhiệt rất lớn, có thể làm hư hỏng máy phát điện.

Để nghiên cứu chế độ làm việc ở tải không đối xứng của máy phát điện đồng bộ, ta dùng phương pháp phân lượng đối xứng, chia các dòng điện, điện áp không đối xứng thành ba thành phần đối xứng: thứ tự thuận, thứ tự ngược và thứ tự không:

$$\begin{vmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{vmatrix} \quad (26-1)$$

$$\begin{vmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_0 \end{vmatrix} \quad (26-2)$$

trong đó $a = e^{j2\pi/3}$; $a^2 = e^{j4\pi/3}$; $1 + a + a^2 = 0$.

Tham số của máy phát điện ứng với các thành phần đối xứng là z_1 , z_2 và z_0 .

Để thành lập các phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ làm việc ở tải không đối xứng cần chú ý rằng dòng điện kích thích i_f và từ trường của cực từ tương ứng chỉ sinh ra s.d.d. thứ tự thuận $E_1 = E$, còn các s.d.d. thứ tự ngược và thứ tự không đều không tồn tại ($E_2 = E_0 = 0$), vì vậy ta có:

$$\begin{aligned} \dot{E}_1 &= \dot{U}_1 + \dot{I}_1 z_1; \\ 0 &= \dot{U}_2 + \dot{I}_2 z_2; \\ 0 &= \dot{U}_0 + \dot{I}_0 z_0. \end{aligned} \quad (26-3)$$

Từ các phương trình (26-1)(26-2) và (26-3) có thể suy ra:

$$\begin{aligned} \dot{U}_a &= \dot{E} - \dot{I}_1 z_1 - \dot{I}_2 z_2 - \dot{I}_0 z_0 \\ \dot{U}_b &= a^2(\dot{E} - \dot{I}_1 z_1) - a\dot{I}_2 z_2 - \dot{I}_0 z_0 \\ \dot{U}_c &= a(\dot{E} - \dot{I}_1 z_1) - a^2\dot{I}_2 z_2 - \dot{I}_0 z_0 \end{aligned} \quad (26-4)$$

Các phương trình (26-4) cho thấy điện áp của máy phát điện ở tải không đối xứng bằng s.d.d. ở các pha E, $a^2 E$, aE trừ đi các điện áp giáng trên các tổng trở thứ tự thuận, thứ tự ngược và thứ tự không do các dòng điện thứ tự tương ứng gây ra.

Các phương trình (26-1), (26-2), (26-4) là cơ sở để phân tích chế độ làm việc không đối xứng nói chung và ngắn mạch không đối xứng nói riêng của máy phát điện.

Trong chín phương trình không đối xứng nói trên, E, z_1 , z_2 , z_0 đã cho biết và có chứa mười hai ẩn số. Tùy theo các trường hợp tải không đối xứng cụ thể để tìm lời giải, cần thêm ba phương trình bổ sung nữa.

Dưới đây trước khi phân tích một số trường hợp ngắn mạch

không đối xứng, ta hãy xét các tham số của máy phát điện khi làm việc không đối xứng.

26.2. CÁC THAM SỐ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ KHI LÀM VIỆC Ở TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG

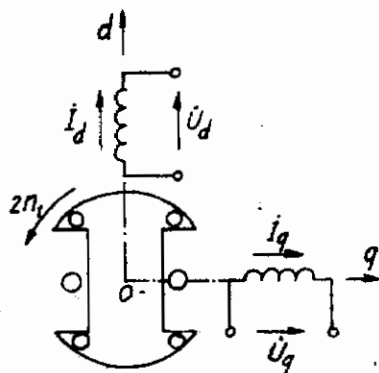
26.2.1. Tổng trở thứ tự thuận $z_1 = r_1 + jx_1$

Hệ thống dòng điện thứ tự thuận sinh ra trong máy điện đồng bộ ba pha s.t.d. quay có sóng cơ bản quay đồng bộ với rôto giống như ở trường hợp máy phát điện làm việc ở tải đối xứng, nên không sinh ra dòng điện cảm ứng ở rôto. Do đó tổng trở thứ tự thuận z_1 chính là tổng trở của máy khi làm việc ở tải đối xứng, trong đó điện kháng thứ tự thuận x_1 của máy phát điện đồng bộ cực ẩn chính là điện kháng đồng bộ x_{db} và của máy điện cực lồi có trị số bằng x_d theo hướng dọc trục, x_q theo hướng ngang trục. Còn điện trở thứ tự thuận chính là điện trở của dây quấn phần ứng.

26.2.2. Tổng trở thứ tự ngược $z_2 = r_2 + jx_2$

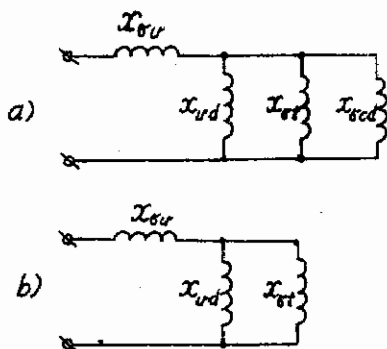
Hệ thống dòng điện thứ tự ngược sinh ra s.t.d. quay ngược chiều quay rôto với tốc độ đồng bộ, vì vậy tốc độ quay tương đối của nó so với rôto bằng $2n_1$ và trong các dây quấn đặt trên rôto sẽ sinh ra dòng điện có tần số $2f$.

Đối với máy cực lồi, để thấy rõ ý nghĩa và trị số của z_2 ta xem như rôto đứng yên và từ trường quay ngược với tốc độ $2n_1$ trên, là do dòng điện hai pha tần số $2f$ lệch nhau về thời gian 90° chạy trong hai dây quấn dọc trục và ngang trục lệch nhau 90° về không gian ở stato sinh ra (hình

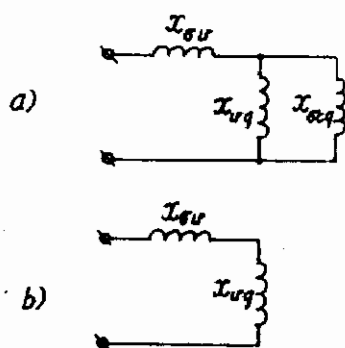


Hình 26-1. Mô hình của máy phát đồng bộ ứng với dòng điện thứ tự ngược

26-1). Trong trường hợp đó sẽ không có hiện tượng hồ cảm giữa hai pha; các hiện tượng theo các hướng dọc trục d và ngang trục q không có liên quan với nhau và có thể xét riêng rẽ. Như vậy giống như đối với m.b.a. (hoặc động cơ điện không đồng bộ khi rôto đứng yên), nếu bỏ qua điện trở thì mạch điện thay thế theo hướng dọc trục trên đó có dây quấn phản ứng, dây quấn kích



Hình 26-2. Mạch điện thay thế hướng dọc trục khi có dây quấn cân (a) và khi không có dây quấn cân (b) của máy điện đồng bộ



Hình 26-3. Mạch điện thay thế hướng ngang trục khi có dây quấn cân (a) và không có dây quấn cân (b) của máy điện đồng bộ

thích và dây quấn cân dọc trục như ở hình 26-2a; hoặc như ở hình 26-2b nếu không có dây quấn cân dọc trục. Cũng như vậy mạch điện thay thế hướng ngang trục sẽ như ở hình 26-3a nếu có dây quấn cân ngang trục; hoặc ở hình 26-3b nếu không có dây quấn cân đó.

Căn cứ vào các mạch điện thay thế đó, điện kháng dọc và ngang trục ứng với từ trường của dòng điện thứ tự ngược khi có dây quấn cân bằng:

$$x_d'' = x_{su} + \frac{1}{\frac{1}{x_d} + \frac{1}{x_{st}} + \frac{1}{x_{scd}}} \quad (26-5)$$

$$x_q'' = x_{ou} + \frac{1}{\frac{1}{x_{uq}} + \frac{1}{x_{ocq}}} \quad (26-6)$$

và khi không có dây quấn cân bằng:

$$x_d' = x_{ou} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{oi}}} \quad (26-7)$$

$$x_q' = x_{ou} + x_{uq} = x_q \quad (26-8)$$

Vì từ trường ngược quét rôto với hai lần tốc độ đồng bộ nên trị số của điện kháng thứ tự ngược x_2 luôn thay đổi lặp lại các trị số dọc và ngang trục, do vậy khi có dây quấn cân có thể xem như:

$$x_2 = \frac{x_d'' + x_q''}{2} \quad (26-9)$$

Thường khi có dây quấn cân thì $x_d'' \approx x_q''$ do đó:

$$x_2 = x_d'' = x_q''$$

Ở trường hợp máy không có dây quấn cân có thể xem rằng:

$$x_2 = \frac{x_d' + x_q}{2} \quad (26-10)$$

Thông thường điện kháng thứ tự ngược có giới hạn như sau:

$$x_{ou} < x_2 < x_1$$

Đối với máy cực ẩn $x_2 = 0,12 + 0,25$. Đối với máy cực lồi có dây quấn cân $x_2 = 0,15 + 0,35$ và không có dây quấn cân $x_2 = 0,3 + 0,6$.

Điện trở thứ tự ngược bao gồm điện trở của dây quấn phản ứng r_u và điện trở của dây quấn rôto qui đổi về phần ứng r_r nghĩa là:

$$r_2 = r_u + \frac{r_r}{2} \quad (26-11)$$

Các trị số của x_2 , r_2 có thể xác định được theo thí nghiệm bằng cách đặt vào dây quấn phần ứng điện áp thấp U_2 và quay rôto ngược với chiều từ trường quay với tốc độ đồng bộ. Đo dòng điện I_2 và công suất P_2 ở phía dây quấn stato ta tính được:

$$z_2 = \frac{U_2}{I_2} \quad ; \quad r_2 = \frac{P_2}{I_2^2} \quad ; \quad x_2 = \sqrt{z_2^2 - r_2^2}$$

trong đó các trị số I_2 , U_2 , P_2 đều ứng với một pha.

26.2.3. Tổng trở thứ tự không $z_0 = r_0 + jx_0$

Dòng điện thứ tự không I_0 cùng pha về thời gian chạy trong dây quấn ba pha lệch nhau 120° trong không gian sẽ sinh ra ở khe hở các s.t.d. đập mạch cùng pha về thời gian và lệch nhau 120° trong không gian. Khi phân tích chúng thành các sóng điều hòa thì tổng của các s.t.d. cơ bản và s.t.d. có bậc khác bội ba đều bằng không. Vì vậy ở khe hở chỉ tồn tại từ trường đập mạch do các sóng điều hòa bội ba như 3, 9, 15, ... sinh ra. Các dòng điện cảm ứng trong dây quấn kích thích và dây quấn cần gây ra bởi các từ trường bậc cao đó thường có trị số nhỏ không đáng kể.

Vì từ trường cơ bản không tồn tại ở khe hở nên điện kháng thứ tự không x_0 được xác định bởi các từ trường tản ở rãnh, ở đầu nối và các từ trường bậc cao nói trên. Cũng vì vậy mà trị số của nó thường nhỏ. Đối với máy cực ẩn $x_0 = 0,02 + 0,10$, còn đối với máy cực lồi $x_0 = 0,02 + 0,20$.

Điện trở thứ tự không r_0 thường lớn hơn r_u do trong dây quấn phần ứng có thêm tổn hao phụ gây nên bởi các từ trường bậc cao, nhưng vì các từ trường đó rất nhỏ như đã nói ở trên nên các tổn hao phụ đó không lớn và có thể cho rằng $r_0 \approx r_u$.

Các tham số z_0 , r_0 , x_0 có thể xác định bằng thí nghiệm nếu cho rôto quay với tốc độ đồng bộ và đặt điện áp U hạ thấp vào ba pha dây quấn nối nối tiếp của stato. Từ các trị số U_0 , P_0 , I_0 đo được ở dây quấn stato ta suy ra:

$$z_0 = \frac{U_0}{3I_0}; \quad r_0 = \frac{P_0}{3I_0^2}; \quad x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}$$

26.3. ẢNH HƯỞNG CỦA TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG ĐỐI VỚI MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Khi làm việc với tải không đối xứng, trong máy điện chỉ có các dòng điện thứ tự thuận và ngược còn dòng điện thứ tự không hoặc có trị số rất nhỏ hoặc không tồn tại, vì dây quấn phần ứng thường nối hình sao có điểm trung tính nối đất qua điện trở lớn (với mục đích bảo vệ) hoặc không nối đất. Từ trường quay do dòng điện thứ tự ngược sinh ra trong máy điện đồng bộ những hiện tượng bất lợi khiến cho máy phát điện làm việc trong những điều kiện khó khăn hơn như điện áp không đối xứng, tổn hao tăng và rôto nóng hơn, máy rung nhiều. Dưới đây ta lần lượt xét các hiện tượng đó.

26.3.1. Điện áp của máy phát điện khi làm việc ở tải không đối xứng

Khi làm việc ở tải không đối xứng dòng điện thứ tự ngược sẽ gây nên những điện áp rơi $z_2 I_2$ biểu thị bằng những vectơ có các góc khác nhau với điện áp thứ tự thuận ở các pha. Nếu vẽ đồ thị vectơ riêng biệt cho từng pha theo các phương trình (26-4) sẽ suy ra được điện áp U_a, U_b, U_c ở đầu máy phát điện đồng bộ. Các điện áp đó không đối xứng, nghĩa là trị số của chúng khác nhau và góc lệch pha với nhau khác 120° . Tình trạng đó ảnh hưởng xấu đến các hộ dùng điện, đặc biệt đối với các động cơ điện không đồng bộ và động cơ điện đồng bộ.

Ta chú ý rằng nếu trong máy có đặt dây quấn cản hoặc rôto và cực từ bằng thép nguyên khối thì z_2 có trị số nhỏ nên điện áp không đối xứng ít hơn. Điều đó có thể giải thích được như sau: dòng điện cảm ứng trong dây quấn cản và thép rôto nguyên khối tương đối lớn sẽ sinh ra từ thông làm giảm bớt từ trường quay ngược khiến cho z_2 nhỏ hơn, kết quả là điện áp được cải thiện.

26.3.2. Tổn hao và rôto nóng

Khi làm việc ở tải không đối xứng, từ trường quay ngược sinh ra dòng điện có tần số $2f$ ở rôto gây thêm tổn hao ở rôto, đồng thời cũng khiến cho rôto bị nóng thêm và hiệu suất của máy bị giảm. Trong dây quấn cần hoặc rôto thép nguyên khối của máy phát tuabin hơi, dòng điện nói trên rất lớn, mặt khác do hiệu ứng bề mặt, điện trở của dây quấn cần cũng tăng, kết quả là nếu tải không đối xứng nhiều thì dây quấn cần và rôto nguyên khối sẽ nóng dữ dội. Như vậy thân rôto sẽ bị biến dạng và có khả năng làm hư hỏng cách điện của dây quấn kích thích.

Cần chú ý rằng trong dây quấn kích thích, dòng điện nói trên không lớn vì điện kháng tản của dây quấn đó tương đối lớn, nên phân tán thêm nhiệt độ của rôto máy cực lỗi do dây quấn kích thích coi như không đáng kể.

26.3.3. Hiện tượng máy rung

Khi tải không đối xứng, do tác dụng tương hỗ giữa từ trường của cực từ với từ trường quay ngược của stato, cũng như từ trường quay thuận của stato với từ trường của các dòng điện tần số $2f$, cảm ứng ở rôto sẽ sinh ra mômen quay có dấu thay đổi và có lực đập mạch với tần số $2f$ tác dụng theo hướng tiếp tuyến ở mặt rôto và tác dụng theo hướng tâm giữa stato và rôto. Kết quả là stato và rôto có khuynh hướng bị biến dạng, khối lá thép ép của stato không chặt, các mối hàn khung máy bị hư hỏng, máy bị rung mạnh và ồn,...

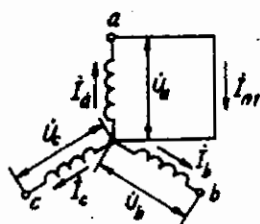
Các hiện tượng điện áp mất đối xứng, rôto phát nóng dữ dội và máy rung nói trên càng nghiêm trọng nếu mức độ không đối xứng của tải càng nhiều. Để hạn chế các hiện tượng bất lợi nói trên, trong đó chủ yếu là hạn chế nhiệt độ tăng của rôto và mức độ rung máy, thường thì cho phép máy phát điện làm việc lâu dài với tải không đối xứng nếu dòng điện các pha không vượt quá định mức và sự chênh lệch giữa dòng điện giữa các pha không

quá 10% dòng điện định mức đối với máy phát điện tuabin hơi và 20% đối với máy phát điện tuabin nước.

26.4. NGẮN MẠCH KHÔNG ĐỐI XỨNG

Ở mục này sẽ phân tích các trường hợp ngắn mạch không đối xứng của máy phát điện, thí dụ như ngắn mạch một pha, ngắn mạch hai pha.

26.4.1. Ngắn mạch một pha



Hình 26-4. Sơ đồ ngắn mạch một pha của máy phát đồng bộ

Giả thử pha a bị ngắn mạch như trình bày trên hình 26-4, ta có:

$$U_a = 0 \quad (26-12)$$

$$I_b = I_c = 0 \quad (26-13)$$

Ba phương trình bổ sung đó hợp với các phương trình (26-1), (26-2), (26-4) thành hệ thống mười hai phương trình với mười hai ẩn số. Ở đây ta hãy xác định dòng điện ngắn mạch một pha I_{n1} .

Trước hết ta có:

$$I_a = I_{n1} \quad (26-14)$$

Từ (26-13) và (26-1) suy ra được:

$$I_1 = I_2 \quad (26-15)$$

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{1}{3} I_a = \frac{1}{3} I_{n1} \quad (26-16)$$

Thay (26-16) vào (26-4) có:

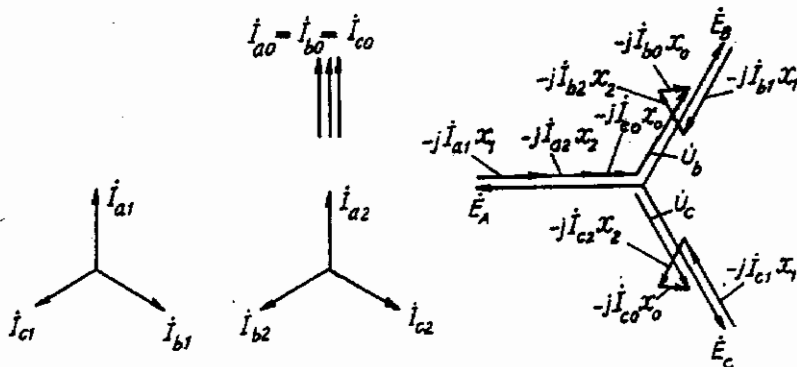
$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{E}{z_1 + z_2 + z_0} \quad (26-17)$$

và dòng điện ngắn mạch một pha có trị số:

$$I_{n1} = I_a = 3I_0 = \frac{3E}{z_1 + z_2 + z_0} \quad (26-18)$$

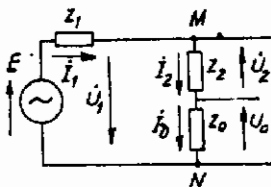
Điện áp của các pha b và c sẽ xác định được theo hai biểu thức cuối cùng của (26-4).

Nếu bỏ qua điện trở thì đồ thị vectơ dòng điện và điện áp khi ngắn mạch một pha sẽ như ở hình 26-5.



Hình 26-5. Đồ thị vectơ điện áp và dòng điện khi ngắn mạch một pha

Từ những kết quả phân tích ở trên ta có thể thành lập mạch điện thay thế ứng với trường hợp ngắn mạch một pha như hình 26-6, trong đó máy phát đồng bộ được biểu thị bằng nguồn s.d.d. E với tổng trở thứ tự thuận z_1 và chỗ ngắn mạch được biểu thị bằng các tổng trở z_2 và z_0 giữa các điểm M và N . Mạch điện



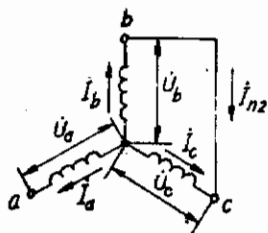
Hình 26-6. Mạch điện thay thế khi ngắn mạch một pha của máy phát điện đồng bộ

thay thế như vậy hoàn toàn phù hợp với biểu thức (26-17). Điện áp U_1 tác dụng giữa các điểm M, N đặc trưng cho chỗ ngắn mạch, còn các điện áp U_2 và U_0 là điện áp rơi trên các tổng trở z_2 và z_0 . Chú ý rằng mạch điện thay thế trên cũng có thể ứng dụng được khi xảy ra ngắn mạch một pha trong lưới điện phức tạp. Trong trường hợp đó z_1, z_2 và z_0 là các tổng trở thứ tự thuận, thứ tự ngược và thứ

tự không của cả lưới điện.

26.4.2. Ngắn mạch hai pha

Giả thử ngắn mạch xảy ra giữa các pha b và c như trên hình 26-7, ta có:



Hình 26-7. Sơ đồ ngắn mạch hai pha của máy phát đồng bộ

$$U_b = U_c \quad (26-19)$$

$$I_a = 0 \quad (26-20)$$

$$I_b + I_c = 0 \quad (26-21)$$

Để tìm trị số của dòng điện ngắn mạch hai pha trước hết đem cộng các phương trình (26-1) kết hợp với (26-20), (26-21) và (26-3) ta được:

$$I_o = 0;$$

$$U_o = 0;$$

$$I_1 + I_2 = 0.$$

Từ điều kiện (26-19) $U_b = U_c = 0$ đem vào các phương trình (26-2) có $U_1 = U_2$.

Đưa những kết quả đó vào (26-3) sẽ suy ra được:

$$E = (z_1 + z_2)I_1$$

hay là:
$$I_1 = -I_2 = \frac{E}{z_1 + z_2}$$

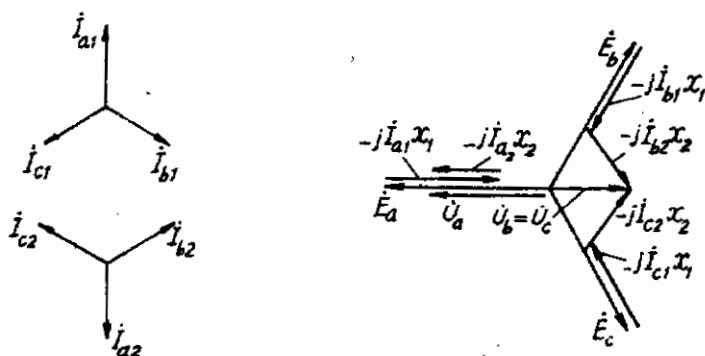
và sau cùng
$$I_{n2} = I_b = -I_c = a^2 I_1 + a I_2 = (a^2 - a)I_1$$

$$= -j\sqrt{3}I_1 = \frac{-j\sqrt{3}E}{z_1 + z_2} \quad (26-22)$$

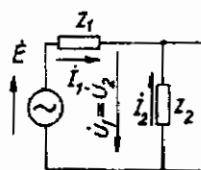
Đồ thị vectơ dòng điện và điện áp khi bỏ qua điện trở ứng với trường hợp ngắn mạch hai pha trình bày trên hình 26-8. Mạch điện thay thế ứng với trường hợp ngắn mạch hai pha như hình 26-9.

Từ những kết quả có được khi phân tích các trường hợp ngắn mạch một pha, ngắn mạch hai pha ở chương này và trường hợp

ngắn mạch ba pha đối xứng ở chương 25 ta nhận xét rằng, vì $z_1 > z_2 > z_0$ nên theo các biểu thức (26-18), (26-22) và (25-1) thì



Hình 26-8. Đồ thị vectơ dòng điện và điện áp khi ngắn mạch hai pha



Hình 26-9. Mạch điện thay thế khi ngắn mạch hai pha của máy phát điện đồng bộ

với trị số E như nhau sẽ có $I_{n1} > I_{n2} > I_{n3}$. Như vậy là dòng điện ngắn mạch một pha có trị số lớn nhất. Sở dĩ như vậy là vì rằng trong trường hợp ngắn mạch một pha tác dụng khử từ của phản ứng phần ứng chỉ do một pha tạo nên, do đó dòng điện ngắn mạch một pha sẽ lớn. Khi số pha bị ngắn mạch tăng lên thì tác dụng khử từ của phản ứng phần ứng cũng tăng và dòng điện ngắn mạch sẽ giảm xuống.

Câu hỏi

1. Ý nghĩa vật lý của các tham số x_1 , x_2 , x_0 .
2. Cho hệ thống vectơ các dòng điện thứ tự thuận, thứ tự ngược và thứ tự không của tải không đối xứng. Vẽ đồ thị vectơ điện áp của ba pha có tải không đối xứng đó của máy phát điện đồng bộ.

Chương 27

MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC SONG SONG

27.1. ĐẠI CƯƠNG

Trong mỗi nhà máy điện thường có đặt nhiều máy phát điện đồng bộ và 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 có ưu điểm 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 than trong thời gian đó, nói tóm lại là nâng cao được các chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật khi thiết kế và vận hành.

Trong chương này sẽ nghiên cứu vấn đề ghép các máy phát điện làm việc song song với nhau và ngoài ra sẽ nghiên cứu vấn đề điều chỉnh công suất tác dụng, công suất phản kháng của máy phát điện khi nó làm việc trong hệ thống điện lực có công suất lớn và khi nó làm việc song song với một máy phát điện khác có công suất tương tự.

27.2. GHEP 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 trong 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, khi ghép song song máy phát điện có thể xảy ra các sự cố nghiêm trọng, thí 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 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 hòa đồng bộ với lưới điện lần đầu.

Việc ghép song song máy phát điện vào hệ thống điện theo các điều kiện nói trên gọi là hòa đồng bộ chính xác máy phát điện. Trong một số trường hợp có thể dùng phương pháp hòa 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 được gọi là phương pháp tự đồng bộ. Dưới đây sẽ lần lượt xét các phương pháp hòa đồng bộ chính xác và tự đồng bộ.

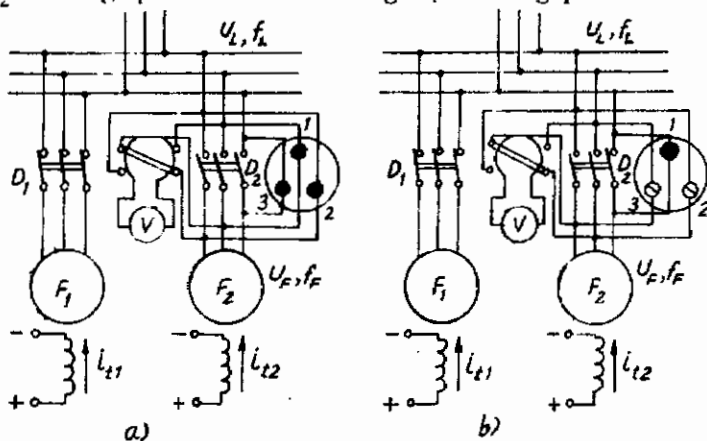
27.2.1. Các phương pháp hòa đồng bộ chính xác

Để ghép máy phát điện vào làm việc song song với lưới điện bằng phương pháp hòa đồng bộ chính xác, có thể dùng bộ hòa đồng bộ kiểu ánh sáng đèn hoặc bộ hòa đồng bộ kiểu điện tử.

a. Hòa đồng bộ bằng bộ đồng bộ kiểu ánh sáng

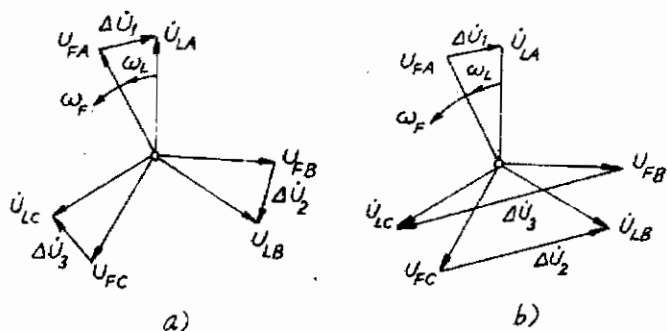
Phương pháp này dùng cho các máy phát điện đồng bộ công suất nhỏ và được thực hiện hoặc với kiểu nối "tối" theo sơ đồ trên hình 27-1a hoặc với kiểu ánh sáng đèn "quay" theo sơ đồ trên hình 27-1b. Trong các sơ đồ trên hình 27-1a và b, F_1 là máy phát điện đang làm việc và F_2 là máy phát điện cần đem ghép song song với F_1 . Bộ đồng bộ kiểu ánh sáng được hình thành bằng các ngọn đèn 1, 2 và 3.

Khi hòa đồng bộ theo kiểu nối tối (hình 27-1a), mỗi ngọn đèn 1, 2, 3 của bộ đồng bộ được nối giữa hai đầu tương ứng của cầu dao D_2 . Trong quá trình hòa đồng bộ thường phải điều chỉnh



Hình 27-1. Sơ đồ hòa đồng bộ máy phát điện kiểu nối "tối" (a) và kiểu ánh sáng đèn "quay" (b)

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 $U_F = U_L$ (trong đó 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 ba đèn 1, 2 và 3. Khi tần số $f_F \neq f_L$ thì điện áp $U_F - U_L$ 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 ba ngọn đèn sẽ lần lượt cùng tối và cùng sáng như nhau với tần số $f_F - f_L$ đó.



Hình 27-2. Đồ thị véctơ điện áp khi nối tối (a)
và khi nối theo ánh sáng "quay" (b)

Sở dĩ như vậy là vì các điện áp ΔU đặt lên ba 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 trên hình 27-2a. Rõ ràng là khi $f_F \neq f_L$ thì các điện áp đặt vào ba ngọn đèn sẽ thay đổi giống nhau trong phạm vi $0 \leq \Delta U \leq 2U_F$ và ba 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 (nghĩa là 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 hòa đồng bộ theo kiểu ánh sáng quay (hình 27-1b) thì hai trong ba ngọn đèn thí 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 trên hình 27-2b. 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 hoặc chậm phụ thuộc vào sự khác nhau giữa f_L và f_F . Điều chỉnh cho $f_F = f_L$ và tốc độ ánh sáng quay thật chậm ($f_F \approx f_L$) và đợi cho khi đèn không nối chéo (đèn 1) tắt hẳn và các đèn nối chéo (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 .

Cần chú ý rằng khi hòa đồng bộ bằng bộ đồng bộ kiểu đèn, nếu theo sơ đồ nối tối mà kết quả được ánh sáng quay hoặc nếu theo sơ đồ nối kiểu ánh sáng quay mà kết quả được đèn cùng sáng và tối thì như vậy là thứ tự pha của máy phát điện khác với thứ tự pha của lưới điện. Trong những trường hợp đó phải trao đổi hai trong ba đầu dây tức là hai trong ba pha của máy phát điện với cầu dao D_2 .

b. Hòa 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 thường dùng cột đồng bộ tức là bộ đồng bộ kiểu điện từ. Cột đồng bộ gồm ba 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 phien 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

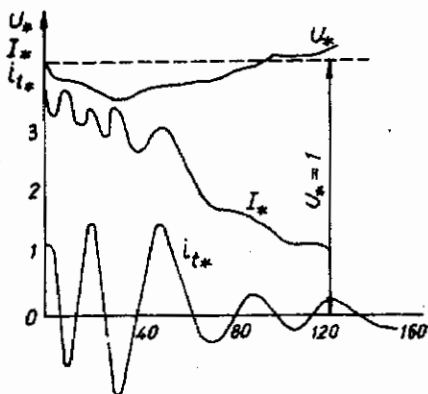
với tần số $f_F - f_L$. Tốc độ quay của kim phụ thuộc vào trị số $f_F - f_L$ và chiều quay của kim thuận hoặc ngược chiều kim đồng hồ tùy theo $f_L > f_F$ hoặc ngược lại. Khi $f_F = f_L$ và kim quay thật chậm ($f_F \approx f_L$) thì thời điểm đóng cầu dao là lúc kim trùng với đường thẳng đứng và hướng lên trên.

Việc hòa đồng bộ chính xác máy phát điện đòi hỏi nhân viên thao tác phải thật thành thạo và tập trung chú ý cao độ để tránh nhầm lẫn nhất là khi trong hệ thống điện lực đang có sự cố. Để giảm nhẹ công việc của nhân viên thao tác và tránh những nhầm lẫn có thể xảy ra sự cố, có thể dùng bộ hòa đồng bộ tự động giúp điều chỉnh tự động U_F và f_F của máy phát và tự động đóng cầu dao khi các điều kiện ghép song song đã được đảm bảo. Tuy nhiên vì khi trong lưới điện có sự cố, điện áp và tần số của lưới luôn thay đổi nên quá trình hòa đồng bộ tự động thường kéo dài từ năm đến mười phút hoặc lâu hơn nữa. Vì thế gần đây trong một số trường hợp người ta thường dùng phương pháp tự đồng bộ.

27.2.2. 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: Dem 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.

Cần chú ý rằng việc đóng cầu dao 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



Hình 27-3. Sự biến đổi của U , I , i_t của máy phát 100000 kW khi hòa đồng bộ vào lưới điện

khác của lưới điện (m.b.a. tăng áp, đường dây,...) 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. Hình 27-3 cho thấy sự biến đổi của U , I và i_t khi đóng cầu dao ghép máy phát điện vào lưới điện bằng phương pháp tự đồng bộ. Phương pháp tự đồng

bộ được phép sử dụng trong trường hợp $I_{xg} < 3,5I_{dm}$.

27.3. 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 cũng có thể có trường hợp 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.

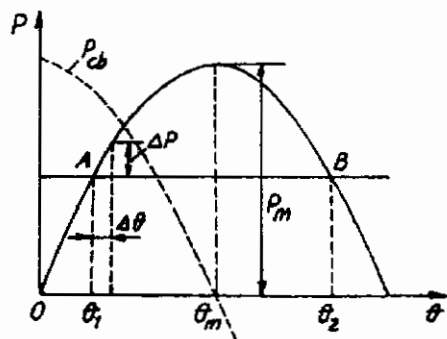
Ta hãy xét vấn đề ở hai trường hợp điển hình. Trường hợp thứ nhất là trường hợp máy phát điện làm việc trong hệ thống điện lực có công suất vô cùng lớn với $U, f = \text{const}$, hay nói khác đi tổng công suất của các máy phát điện đang làm việc song song trong hệ thống rất lớn so với công suất của máy 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.

27.3.1. Điều chỉnh công suất tác dụng P của máy phát điện đồng bộ

a. Trường hợp máy phát điện làm việc trong hệ thống điện công suất vô cùng lớn

Ở trường hợp này U và f là không đổi nên nếu giữ dòng điện kích thích i_f không đổi thì E là hằng số và theo biểu thức (24-14) thì P là hàm số của góc θ và đường biểu diễn của nó có dạng như đã biết trên hình 24-9. 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 27-4. 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.



Hình 27-4. Công suất tác dụng và công suất chính bộ của máy phát điện đồng bộ cực lớn

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 (24-14) của máy phát đồng bộ ấn suy ra được $\theta_m = 90^\circ$ và:

$$P_m = \frac{mUE}{x_d} \quad (27-1)$$

Cũng như vậy đối với máy cực lồi, từ (24-13) có thể suy ra

được góc θ_m xác định bởi: $\cos\theta_m = \frac{\sqrt{A^2 + 8B^2} - A}{4B}$

trong đó: $A = \frac{mEU}{x_d}$, $B = mU^2(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d})$

và $P_m = \frac{mUE}{x_d} \sin\theta_m + \frac{mU^2}{2} (\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d}) \sin 2\theta_m$ (27-2)

Khi điều chỉnh công suất tác dụng cần chú ý rằng máy phát điện đồng bộ chỉ làm việc ổn định tĩnh khi $0 < \theta < \theta_m$. Để thấy 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 27-4 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 nói 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:

$$\frac{dP}{d\theta} > 0 \quad (27-3)$$

trong đó $\frac{dP}{d\theta}$ được gọi là công suất chỉnh bộ đặc trưng cho khả

năng giữ cho máy làm việc đồng bộ trong lưới điện và được ký hiệu bằng P_{cb} .

Từ các biểu thức (24-13), (24-15) suy ra được hệ số công suất chỉnh bộ đối với máy cực lõi:

$$P_{ch} = \frac{mUE}{x_d} \cos\theta + mU^2 \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta \quad (27-4)$$

và đối với máy cực ẩn:

$$P_{ch} = \frac{mUE}{x_d} \cos\theta$$

Đường biểu diễn của công suất chỉnh bộ như trên hình 27-4. 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 giảm 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 tỷ số:

$$k_m = \frac{P_m}{P_{dm}}$$

gọi là hệ số năng lực quá tải.

$$\text{Đối với máy cực ẩn } k_m = \frac{1}{\sin\theta_{dm}}$$

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).

Cần chú ý rằng khi điều chỉnh công suất tác dụng P, do θ

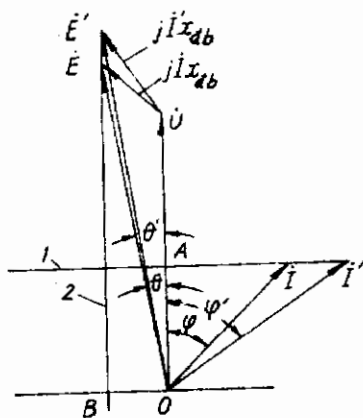
thay đổi nên công suất phản kháng cũng thay đổi theo.

b. Trường hợp máy phát điện công suất tương tự làm việc song song

Giả thử 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 hộ 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.

27.3.2. Điều chỉnh công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ

Ta hãy 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.



Hình 27-5. Điều chỉnh công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ

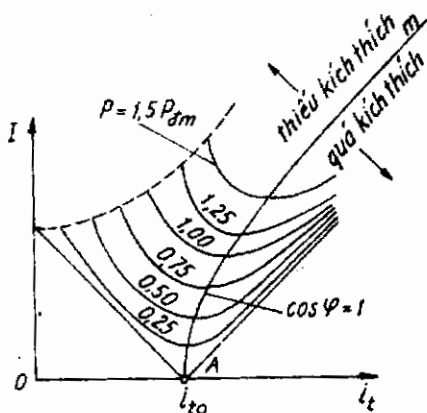
Giả thử máy có cực ẩn và để đơn giản, bỏ qua tổn hao trên dây quấn phản ứng ($r_u = 0$). Trong trường hợp đó, đồ thị vectơ s.d.d. có dạng như trên hình 27-5.

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 l , 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.d.

tương ứng sẽ xác định được độ lớn của vectơ E , từ đó suy ra được dòng điện kích thích i_1 cần thiết để sinh ra E . Cũng cần chú ý rằng, $P = mUE\sin\theta/x_d \approx P_1 = \text{const}$, trong đó U , x_d không đổi nên $P \equiv E\sin\theta = OB = \text{const}$ và mút của vectơ E 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_1 của máy phát điện.

Với mỗi trị số của $P = \text{const}$, thay đổi Q và vẽ đồ thị vectơ s.d.d. như trên ta xác định được quan hệ $I = f(i_1)$, 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 trên hình 6-6. 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



Hình 27-6. Họ các đặc tính hình V của máy điện đồng bộ

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 ở 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 lồi.

Trong trường hợp công suất của lưới điện nhỏ (thí dụ chỉ có hai máy phát điện công suất bằng nhau làm việc song song), nếu

tăng dòng điện kích thích i_1 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.

Thí dụ

Hai máy phát điện giống nhau làm việc song song có điện trở phần ứng $r_u = 2,18 \Omega$, 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 $13\,800 \text{ V}$. Điều chỉnh kích từ của hai máy sao cho một máy có dòng điện phản kháng là 40 A . Tính:

- Dòng điện của mỗi máy phát điện.
- S.d.d. E của mỗi máy và góc pha giữa các s.d.d. đó.

Giải

Dòng điện tải có trị số:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi} = \frac{1830 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 13800 \times 0,83} = 92,3 \text{ A}$$

chậm sau điện áp góc $\varphi = \arccos 0,83 = 33^\circ 9'$ và biểu thị dưới dạng phức số như sau:

$$I = 92,3 \angle -33^\circ 9' = 76,8 - j51,4 \text{ A.}$$

Vì công suất tác dụng phân phối đều cho hai máy nên dòng điện tác dụng của mỗi máy là $\frac{76,8}{2} = 38,4 \text{ A}$, hơn nữa dòng điện phản kháng của máy A là 40 A , do đó:

$$I_A = 38,4 - j40$$

và
$$I_B = I - I_A = 38,4 - j11,4 \text{ A}$$

Ứng dụng biểu thức (24-6) ta có:

$$\begin{aligned} E_A &= U + I_A(r_u + jx_{dh}) = E_A \angle \theta_A \\ &= \frac{13800}{\sqrt{3}} + (38,4 - j40)(2,18 + j62) = 10720 \angle 12,22^\circ \text{V} \end{aligned}$$

Cũng như vậy:

$$E_B = U + I_B(r_u + jx_{dh}) = E_B \angle \theta_B = 9030 \angle 15,1^\circ \text{V}$$

Góc lệch giữa hai s.d.d. đó:

$$\theta_A - \theta_B = 15,1^\circ - 12,22^\circ = 2,88^\circ$$

Câu hỏi

1. 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.

2. 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?

3. Ổn định tĩnh là gì? Về mặt này máy điện cực lõi và cực ẩn khác nhau ở chỗ nào?

4. Làm thế nào để điều chỉnh công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q của máy phát điện đồng bộ. Việc điều chỉnh P và Q khi làm việc trong lưới điện công suất lớn và khi làm việc trong lưới điện công suất nhỏ (thí dụ chỉ có hai máy phát điện công suất tương tự làm việc song song) khác nhau như thế nào?

Bài tập

Cho hai máy phát điện đồng bộ nối Y hoàn toàn giống nhau và có $x_{dh} = 4,5 \Omega$ làm việc song song. Tải chung, ở điện áp 13,2 kV là 26000 kW, hệ số công suất là 0,866, được phân đều cho hai máy. Nếu thay đổi kích từ để phân phối lại công suất phản kháng sao cho hệ số công suất của một máy $\cos \varphi_1 = 1$ thì lúc đó hệ số

công suất $\cos\varphi_2$ của máy kia là bao nhiêu? Tính E và θ của mỗi máy trong trường hợp đó.

Đáp số: $\cos\varphi_2 = 0$;

$$E_1 = 9,78 \text{ V}; \quad \theta_1 = 33,9^\circ;$$

$$E_2 = 10574 \text{ V}; \quad \theta_2 = 0^\circ.$$

Chương 28

ĐỘNG CƠ VÀ MÁY BÙ ĐỒNG BỘ

28.1. ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Các động cơ điện xoay chiều dùng nhiều trong sản xuất thường là những động cơ điện không đồng bộ, vì loại động cơ điện này có những đặc điểm như cấu tạo đơn giản, làm việc chắc chắn, bảo quản dễ dàng và giá thành hạ. Tuy nhiên các động cơ điện đồng bộ do có những ưu điểm nhất định nên trong thời gian gần đây đã được sử dụng rộng rãi hơn và có thể so sánh được với động cơ không đồng bộ trong lĩnh vực truyền động điện. Về ưu điểm, trước hết phải nói là động cơ điện đồng bộ do được kích thích bằng dòng điện một chiều nên có thể làm việc với $\cos \varphi = 1$ và không cần lấy công suất phản kháng từ lưới điện, kết quả là hệ số công suất của lưới điện được nâng cao, làm giảm được điện áp rơi và tổn hao công suất trên đường dây. Ngoài ưu điểm chính đó, động cơ điện đồng bộ còn ít chịu ảnh hưởng đối với sự thay đổi điện áp của lưới điện do mômen của động cơ điện đồng bộ chỉ tỷ lệ với U trong khi mômen của động cơ không đồng bộ tỷ lệ với U^2 . Vì vậy khi điện áp của lưới sụt thấp do sự cố, khả năng giữ tải của động cơ điện đồng bộ lớn hơn; trong trường hợp đó nếu tăng kích thích, động cơ điện đồng bộ có thể làm việc an toàn và cải thiện được điều kiện làm việc của cả lưới điện. Cũng phải nói thêm rằng, hiệu suất động cơ điện đồng bộ thường cao hơn hiệu suất của động cơ không đồng bộ vì động cơ đồng bộ có khe hở tương đối lớn, khiến cho tổn hao sắt phụ nhỏ hơn.

Nhược điểm của động cơ đồng bộ so với động cơ không đồng bộ ở chỗ cấu tạo phức tạp, đòi hỏi phải có máy kích từ hoặc

nguồn cung cấp dòng điện một chiều khiến cho giá thành cao. Hơn nữa việc mở máy động cơ đồng bộ cũng phức tạp hơn và việc điều chỉnh tốc độ của nó chỉ có thể thực hiện được bằng cách thay đổi tần số của nguồn điện.

Việc so sánh động cơ đồng bộ với động cơ không đồng bộ có phối hợp với tụ điện cải thiện $\cos\varphi$ về giá thành và tổn hao năng lượng dẫn đến kết luận là khi $P_{dm} > 200 \div 300 \text{ kW}$, nên dùng động cơ đồng bộ ở những nơi nào không cần thường xuyên mở máy và điều chỉnh tốc độ. Khi $P_{dm} > 300 \text{ kW}$ dùng động cơ đồng bộ với $\cos\varphi_{dm} = 0,9$ và khi $P_{dm} > 1000 \text{ kW}$ dùng động cơ đồng bộ với $\cos\varphi_{dm} = 0,8$ là có lợi hơn dùng động cơ không đồng bộ.

Các quan hệ điện từ chính như phương trình điện áp, đồ thị vectơ, công suất và mômen điện từ của động cơ điện đồng bộ đã được xét ở chương 24. Ở đây chỉ đề cập đến các vấn đề như mở máy động cơ điện đồng bộ, các đặc tính và chế độ làm việc của nó.

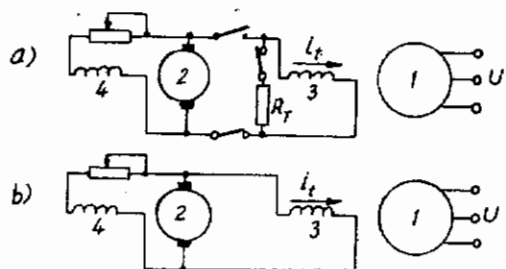
28.1.1. Các phương pháp mở máy động cơ điện đồng bộ

Mở máy theo phương pháp không đồng bộ

Các động cơ điện đồng bộ phần lớn đều mở máy theo phương pháp không đồng bộ. Thông thường các động cơ điện đồng bộ cực lõi đều có đặt dây quấn mở máy. Dây quấn mở máy có cấu tạo kiểu lồng sóc đặt trong các rãnh ở mặt cực, hai đầu nối với hai vành ngắn mạch (hình 22-6) và được tính toán để mở máy trực tiếp với điện áp của lưới điện.

Trong một số động cơ, các mặt cực bằng thép nguyên khối và được nối với nhau ở hai đầu bằng hai vòng ngắn mạch ở hai đầu rôto cũng có thể thay thế cho dây quấn ngắn mạch dùng trong việc mở máy. Ở các lưới điện lớn có thể cho phép mở máy trực tiếp với điện áp của lưới các động cơ đồng bộ công suất vài trăm và có khi tới hàng nghìn kilôoat. Đối với các động cơ đồng bộ cực ẩn, việc mở máy theo phương pháp không đồng bộ có khó khăn

hơn, vì dòng điện cảm ứng ở lớp mỏng ở mặt ngoài của rôto nguyên khối sẽ gây nóng cục bộ đáng kể. Trong trường hợp đó, để mở máy được dễ dàng, cần hạ điện áp của máy bằng biến áp tự ngẫu hoặc cuộn kháng.



Hình 28-1. 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

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 trên hình 28-1a. 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.

Cũng cần 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 có thể 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 - tốc độ từ trường quay của stato và n - 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 đồng bộ và hỗ trợ với mômen không đồng bộ do dây quấn mở máy sinh ra và có dạng như đường 1 trên hình 28-2.

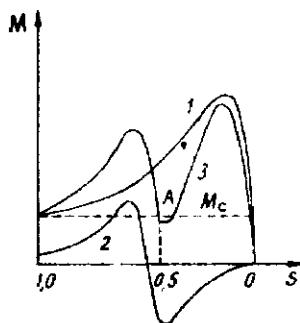
Từ trường quay ngược có tốc độ so với dây quấn phần tĩnh:

$n_{ng} = n - (n_1 - n) = 2n - n_1 = 2n_1(1 - s) - n_1 = n_1(1 - 2s)$ 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 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 28-2). Khi $s = 0,5$ (tức $n = n_1/2$), từ trường quay ngược đứng yên so với dây quấn phần tĩnh, mômen phụ bằng không. Và khi $0 < s < 0,5$ ($n > n_1/2$), thì từ trường quay ngược sẽ quay cùng chiều với chiều quay 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.



Hình 28-2. Đường cong mômen của động cơ đồng bộ mở máy không đồng bộ với dây quấn kích từ bị nối ngắn mạch

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 28-2. 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 $n \approx n_1/2$ và không thể đạt được đến tốc độ gần tốc độ đồng bộ.

Khi rôto đã quay đến tốc độ $n \approx n_1$, có thể tiến hành giai đoạn thứ hai 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 tỷ lệ với hệ số trượt s và mômen gia tốc tỷ 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 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.

Kinh nghiệm cho biết, để đảm bảo cho rôto được đưa vào tốc độ đồng bộ một cách thuận lợi, hệ số trượt ở cuối giai đoạn thứ nhất lúc chưa có dòng điện kích thích cần phù hợp với điều kiện sau:

$$s < 0,04 \sqrt{\frac{k_m}{GD^2} \frac{P_{dm}}{n_{dm}^2}} \frac{i_{ldb}}{i_{ldm}} \quad (28.1)$$

trong đó:

k_m - năng lực quá tải ở chế độ đồng bộ với dòng điện kích từ định mức i_{ldm} ;

P_{dm} - công suất định mức, kW;

i_{ldb} - dòng điện kích từ khi đồng bộ hóa;

GD^2 - mômen động lượng của động cơ và máy công tác nối trục với nó, kGm^2 .

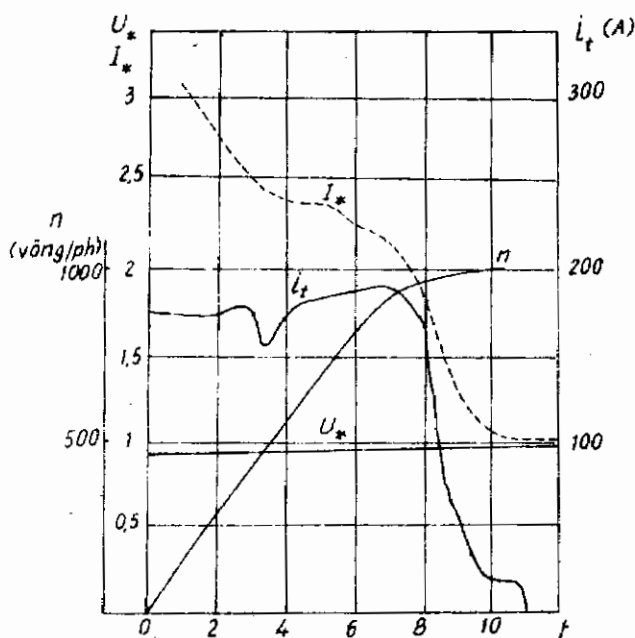
Để tránh việc mở máy qua hai giai đoạn như trình bày ở trên, trong đó phải thao tác tách dây quấn kích thích khỏi điện trở R_1 và sau đó nối máy kích từ, có thể nối thẳng dây quấn kích thích với máy kích từ trong suốt quá trình mở máy theo sơ đồ trên hình 28-1b như thường gặp gần đây. Như vậy, trong dây quấn

phản ứng của máy kích từ sẽ có dòng điện xoay chiều nhưng điều đó 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. Cần chú ý rằng quá trình mở máy theo sơ đồ trên hình 28-1b 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 điện ngắn mạch:

$$I_n = \frac{(1 - s)E}{\sqrt{r_u^2 + (1 - s)^2 x_d^2}} \quad (28-2)$$

trong đó:

E - s.d.d. cảm ứng do dòng điện kích từ i_f ;



Hình 28-3. Quan hệ $U, I, I_f, n = f(t)$ khi mở máy động cơ đồng bộ 1500 kW theo sơ đồ hình 28-1b

x_d - điện kháng đồng bộ dọc trục khi $s = 0$.

Do đó động cơ phải tải thêm công suất:

$$P_n = m I_n^2 r_u$$

và kết quả là trên trục động cơ điện sẽ có thêm mômen cản.

$$M_c = \frac{p P_n}{\omega} \quad (28-4)$$

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 trên hình 28-1b áp dụng được tốt khi mômen cản trên trục động cơ điện $M_c = (0,4 + 0,5) M_{dm}$. Chỉ khi đây quá nhỏ mới 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 ngày càng được ứng dụng rộng rãi.

Hình 28-3 trình bày sự biến đổi của dòng điện phần ứng I , dòng điện kích từ i_f và tốc độ quay n trong quá trình mở máy lúc không tải động cơ đồng bộ ($P_{dm} = 1500 \text{ kW}$; $U_{dm} = 6 \text{ kV}$; $n_{dm} = 1000 \text{ v/ph}$) trực tiếp với điện áp định mức theo sơ đồ trên hình 28-1b.

Các phương pháp mở máy khác

Mở máy theo phương pháp hòa đồng bộ

Các điều kiện hòa đồng bộ đối với động cơ đồng bộ hoàn toàn giống như của máy phát điện đồng bộ. Trường hợp này động cơ đồng bộ được quay bởi máy nối cùng trục với nó (thí 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).

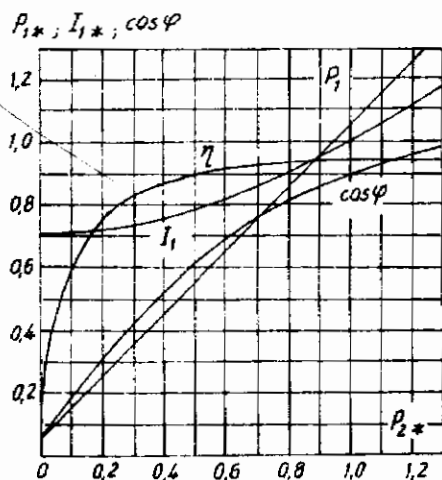
Trong một số trường hợp có thể mở máy động cơ điện đồng bộ bằng nguồn có tần số thay đổi. Muốn vậy động cơ đồng bộ phải lấy điện từ một máy phát điện riêng có tần số điều chỉnh được từ không đến tần số định mức trong quá trình mở máy. Như vậy

động cơ được quay đồng bộ với máy phát ngay từ lúc tốc độ còn rất thấp. Cần 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.

28.1.2. Các đặc tính làm việc của động cơ điện đồng bộ

Các đặc tính của động cơ điện đồng bộ làm việc với dòng điện kích từ $i_l = \text{const}$ trong lưới điện có $U, f = \text{const}$ bao gồm các quan hệ $P_1, I_1, \eta, \cos\varphi = f(P_2)$ có dạng như trình bày trên hình 28-4.

Cũng giống như máy phát điện đồng bộ, động cơ điện đồng bộ thường làm việc với góc $\theta = 20^\circ \div 30^\circ$.



Hình 28-4. Đặc tính làm việc của động cơ điện đồng bộ $P_{dm} = 500 \text{ kW}; 600 \text{ V}; 50 \text{ Hz}; 600 \text{ vg/ph}; \cos\varphi = 0.8$ (quá kích thích)

Đặc điểm của động cơ đồng bộ là có thể làm việc với $\cos\varphi$ cao và ít hoặc không tiêu thụ công suất phản kháng Q của lưới điện nhờ thay đổi dòng điện từ hóa i_l . Điều đó có thể thấy được dựa vào đặc tính hình V tức là quan hệ $I = f(i_l)$ của động cơ điện đồng bộ. Cách thành lập đặc tính này của động cơ đồng bộ hoàn toàn giống như của máy phát điện đồng bộ. Ta thấy rằng khi kích thích thiếu, động cơ tiêu thụ công suất điện cảm của lưới điện ($\varphi > 0$)

và ngược lại khi quá kích thích, động cơ phát công suất điện cảm vào lưới điện ($\varphi < 0$), nghĩa là tiêu thụ công suất điện dung. Vì vậy có thể lợi dụng chế độ làm việc quá kích thích của động cơ

điện đồng bộ để nâng cao hệ số công suất $\cos\varphi$ của lưới điện.

28.2. MÁY BÙ ĐỒNG BỘ

Máy bù đồng bộ thực chất là động cơ điện đồng bộ làm việc không tải với dòng điện kích từ được điều chỉnh để phát hoặc tiêu thụ công suất phản kháng, do đó duy trì được điện áp quy định của lưới điện ở khu vực tập trung hệ dung điện. Chế độ làm việc bình thường của máy bù đồng bộ là chế độ quá kích thích phát công suất điện cảm vào lưới điện hay nói khác đi, tiêu thụ công suất điện dung của lưới điện. Ở trường hợp này, máy bù đồng bộ có tác dụng như một bộ tụ điện và được gọi là máy phát công suất phản kháng. Khi tải của các hệ dung điện giảm, ví dụ về đêm hoặc vào những giờ không cao điểm, điện áp của lưới tăng thì máy bù đồng bộ làm việc ở chế độ thiếu kích thích, tiêu thụ công suất phản kháng (điện cảm) của lưới điện và gây thêm điện áp rơi trên đường dây để duy trì điện áp khỏi tăng quá mức quy định. Việc điều chỉnh dòng điện kích thích i_k để duy trì điện áp của lưới (ở đầu cực của máy bù đồng bộ) không đổi, thường được tiến hành tự động. Máy bù đồng bộ tiêu thụ rất ít công suất tác dụng vì công suất đó chỉ dùng để bù vào các tổn hao trong nó.

Máy bù đồng bộ thường có cấu tạo theo kiểu cực lõi. Để dễ mở máy, mát cực được chế tạo bằng thép nguyên khối trên có đặt dây quấn mở máy. Trong trường hợp mở máy trực tiếp gặp khó khăn thì phải hạ điện áp mở máy, hoặc dùng động cơ không đồng bộ rôto dây quấn để kéo máy bù đồng bộ đến tốc độ đồng bộ. Trục của máy bù đồng bộ có thể nhỏ vì không kéo tải cơ. Cũng do mômen cản trên trục nhỏ (chủ yếu chỉ do ma sát của ổ trục và quạt gió) nên yêu cầu làm việc ổn định với lưới điện không bức thiết, do đó có thể thiết kế cho x_d lớn nghĩa là khe hở có thể nhỏ, kết quả là có thể làm giảm s.t.d. và dây quấn kích từ khiến cho kích thước máy nhỏ hơn.

Công suất định mức của máy bù đồng bộ được quy định ứng với chế độ làm việc quá kích thích có trị số:

$$S_{dm} = m U_{dm} I_{dm} \quad (28-5)$$

Khi làm việc ở chế độ thiếu kích thích tối đa, nghĩa là ứng với khi $i_f = 0$ và $E = 0$, công suất của máy bằng:

$$S' = m U_{dm} I' \quad (28-6)$$

Nếu bỏ qua các tổn hao thì:

$$I' = \frac{E - U_{dm}}{j x_d} = j \frac{U_{dm}}{x_d}$$

Vậy:

$$S' = m \frac{U_{dm}^2}{x_d} \quad (28-7)$$

So sánh công suất đó với công suất định mức có:

$$\frac{S'}{S_{dm}} = \frac{U_{dm}}{I_{dm} x_d} = \frac{1}{x_d} \quad (28-8)$$

Thông thường đối với máy bù đồng bộ $x_d = 1,5 \div 2,2$; $S'/S_{dm} = 0,45 \div 0,67$ và các trị số này có thể đáp ứng yêu cầu về vận hành. Trong một số trường hợp cần tăng trị số của S' thì phải giảm x_d , bằng cách tăng khe hở và điều này khiến cho giá thành của máy cao hơn. Để được kinh tế hơn, có thể thực hiện chế độ kích thích âm, khi đó $E < 0$, kết quả là I' sẽ tăng khiến cho S' lớn hơn lên.

Thí dụ

Một máy phát điện đồng bộ cung cấp cho hệ tiêu thụ một công suất $2500 + j3000$ kVA với điện áp 6,3 kV. Xác định tổng tổn hao trên đường dây và trong máy phát, biết rằng điện trở một pha của đường dây $r_d = 0,15 \Omega$, của máy phát $r_u = 0,045 \Omega$.

Nếu đặt thêm một máy bù đồng bộ với công suất bù là $30 - j3000$ kVA thì tổng tổn hao trên là bao nhiêu?

Giải

Công suất của tải:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{2500^2 + 3000^2} = 3910 \text{ kVA.}$$

Dòng điện tải khi chưa bù:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{3910}{\sqrt{3} \times 6,3} = 360 \text{ A.}$$

Hệ số công suất khi chưa bù:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{2500}{3910} = 0,64.$$

Tổng tổn hao khi chưa bù:

$$\Sigma p' = 3I'^2(r_d + r_u) = 3 \times 360^2(0,15 + 0,045) = 75,2 \text{ kW.}$$

Công suất của máy khi có bù:

$$S' = S + S_{bù} = (2500 + j3000) + (30 - j3000) = 2530 \text{ kW.}$$

Dòng điện tương ứng:

$$I' = \frac{S'}{\sqrt{3} U} = \frac{2530}{\sqrt{3} \times 6,3} = 233 \text{ A.}$$

Tổng tổn hao khi có máy bù:

$$\Sigma p' = 3I'^2(r_d + r_u) = 3 \times 233^2(0,15 + 0,045) = 31,5 \text{ kW.}$$

Hệ số công suất khi có bù:

$$\cos\varphi' = 1 \text{ vì } Q' = 0.$$

Câu hỏi

1. Phân tích vì sao khi trong dây quấn kích thích có dòng điện xoay chiều tần số $f_2 = sf_1$, từ trường ngược của rôto khi $n < n_1/2$ sẽ sinh ra mômen phụ cùng dấu hỗ trợ với mômen do từ trường thuận tác dụng với dây quấn mở máy, còn khi $n > n_1/2$ thì mômen đó lại ngược dấu và có tác dụng của mômen hãm.

2. Thử 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 trên hình 7-1b, vì sao khi rôto đạt đến tốc độ $n = (0,6 \div 0,7)n_{dm}$ mới bắt đầu có dòng điện kích thích trong động cơ đồng bộ?

4. Vì sao máy bù đồng bộ có khả năng duy trì điện áp quy định của lưới điện ở khu vực tập trung hộ dùng điện?

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? Cho biết hiệu suất của động cơ đồng bộ $\eta = 0,87$.

Đáp số: $S_{db} = 626 \text{ kVA}$.

Chương 29

QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

29.1. ĐẠI CƯƠNG

Khi có những thay đổi đột ngột về chế độ làm việc của máy điện đồng bộ như nhận tải, mất tải, ngắn mạch trong hệ thống điện,... thì trong máy điện đồng bộ sẽ xuất hiện các quá trình quá độ khác nhau. Nếu các máy điện đồng bộ làm việc trong cùng một hệ thống điện lực, các quá trình quá độ xảy ra trong một máy có thể ảnh hưởng rất nhiều đến sự làm việc của các máy khác. Đặc biệt là khi xảy ra ngắn mạch trong hệ thống điện, thì quá trình quá độ trong thời gian rất ngắn khoảng vài giây hoặc ít hơn từ khi bắt đầu xảy ra ngắn mạch đến khi thành lập chế độ ngắn mạch xác lập - còn gọi là ngắn mạch đột nhiên - với dòng điện xung và lực điện từ rất lớn có thể gây ra những sự cố nghiêm trọng đến các máy phát điện cùng các thiết bị điện khác và dẫn đến hậu quả tai hại ngừng cung cấp điện cho các hộ tiêu thụ điện.

Hiện tượng xảy ra ở máy điện đồng bộ trong quá trình quá độ lúc ngắn mạch đột nhiên khác với khi ngắn mạch xác lập, vì lúc đó dòng điện ba pha và các dòng điện ở rôto đều thay đổi và có liên quan chặt chẽ với nhau và tốc độ quay của rôto thường không phải là hằng số. Các quá trình quá độ nói chung cũng như khi ngắn mạch đột nhiên nói riêng của máy điện đồng bộ đều được biểu thị bằng hệ thống phương trình vi phân phức tạp. Vì vậy việc phân tích chúng chặt chẽ bằng toán học gặp rất nhiều khó khăn. Ở đây vấn đề được nghiên cứu dựa chủ yếu vào hiện

tượng vật lý và chỉ kết hợp một phần với phương pháp phân tích toán học.

Trong khi phân tích quá trình quá độ lúc ngắn mạch đột nhiên cần chú ý rằng, điện trở của các dây quấn trong máy điện đồng bộ rất nhỏ so với các điện kháng, nên thường không có tác dụng quyết định đến trị số ban đầu của các dòng điện ở stato và rôto, mà chỉ khiến cho thành phần tự do của các dòng điện đó giảm dần theo thời gian của quá trình quá độ. Vì vậy khi xác định trị số ban đầu của các dòng điện ngắn mạch, có thể giả thiết rằng, điện trở của các dây quấn bằng không, nghĩa là các dây quấn đó là các mạch điện siêu dẫn.

Đối với mạch điện siêu dẫn nếu từ thông móc vòng ban đầu ψ_0 xuyên qua nó biến đổi thì trong nó sẽ sinh ra s.d.d. $e = - \frac{d\psi_0}{dt}$. Dòng điện i do e tạo nên sẽ sinh ra trong mạch điện s.d.d. tự cảm

$$e_\sigma = - L_\sigma \frac{di}{dt} = - \frac{d\psi'_\sigma}{dt},$$

trong đó:

L_σ - hệ số tự cảm của mạch điện;

ψ'_σ - từ thông móc vòng tự cảm do dòng điện i sinh ra.

Ứng dụng định luật Ôm cho mạch điện với điều kiện điện trở $r = 0$ vì là mạch điện siêu dẫn, ta có:

$$e + e_\sigma = 0$$

hay là:

$$\frac{d\psi_0}{dt} + \frac{d\psi_\sigma}{dt} = 0$$

Từ đó suy ra được:

$$\psi_0 + \psi_\sigma = \text{const} \quad (28-1)$$

nghĩa là từ thông móc vòng với mạch điện siêu dẫn là không đổi.

Ngoài ra để dễ dàng cho việc phân tích quá trình quá độ lúc ngắn mạch đột nhiên, ta giới hạn vấn đề trong các điều kiện sau:

1. Tốc độ quay của rôto không đổi;

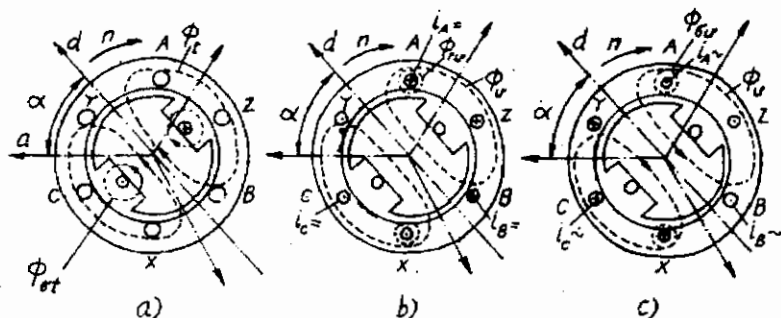
2. Ngắn mạch xảy ra ở đầu cực khi máy phát điện đang làm việc không tải ($I = 0$) trong lưới điện độc lập với điện áp kích thích $U_f = \text{const}$.

Ta chú ý rằng, trường hợp ngắn mạch xảy ra ở trên đường dây có thể đưa về trường hợp ngắn mạch ở đầu cực máy phát nếu xem như lúc đó điện kháng của máy bao gồm cả điện kháng của đường dây.

29.2. NGẮN MẠCH ĐỘT NHIÊN BA PHA CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

29.2.1. Hiện tượng vật lý xảy ra trong máy điện đồng bộ khi ngắn mạch đột nhiên ba pha

Giả thử ở thời điểm xảy ra ngắn mạch đột nhiên ($t = 0$), vị trí cực từ đối với các dây quấn pha A - X, B - Y, C - Z như trên hình 29-1a. Lúc đó trục cực từ và trục a của pha A làm thành một góc α và như vậy từ thông móc vòng xuyên qua các pha sẽ là:



Hình 29-1. Từ trường của cực từ (a), của thành phần dòng điện không chu kỳ (b) và của thành phần dòng điện chu kỳ (c) của phần ứng lúc bắt đầu ngắn mạch tự nhiên

$$\begin{aligned}\psi_A &= \psi_1 \cos \alpha \\ \psi_B &= \psi_1 \cos(120^\circ - \alpha) \\ \psi_C &= \psi_1 \cos(240^\circ - \alpha)\end{aligned}\quad (29-2)$$

trong đó:

ψ_1 - từ thông móc vòng của cực từ với dây quấn khi trục cực từ và trục dây quấn trùng nhau.

Ta sẽ lần lượt phân tích quy luật biến đổi của các dòng điện ở dây quấn stato và các dòng điện ở các dây quấn kích thích và dây quấn cần trên rôto.

a. Dòng điện ở dây quấn stato

Với giả thiết điện trở của các pha $r_u = 0$, nghĩa là các pha A, B, C là những mạch điện siêu dẫn thì sau khi xảy ra ngắn mạch đột nhiên từ thông móc vòng với các pha ψ_A, ψ_B, ψ_C phải là không đổi. Muốn vậy dòng điện trong các pha A, B, C phải gồm có hai thành phần. Thành phần thứ nhất là thành phần dòng điện một chiều i để duy trì từ thông móc vòng ψ_A, ψ_B, ψ_C như theo biểu thức (29-2) ở thời điểm $t = 0$.

$$\begin{aligned}i_A &= I_m \cos \alpha \\ i_B &= I_m \cos(120^\circ - \alpha) \\ i_C &= I_m \cos(240^\circ - \alpha)\end{aligned}\quad (29-3)$$

trong đó:

I_m - trị số lớn nhất có thể có của thành phần dòng điện một chiều ứng với trục cực từ trùng với trục của pha đó.

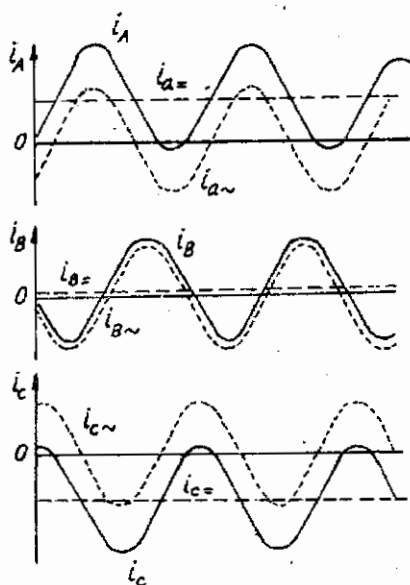
Như vậy thành phần dòng điện một chiều $i_{\text{—}}$ ở các pha và từ thông do chúng sinh ra như trên các hình 27-1b và 29-2.

Thành phần thứ hai là thành phần dòng điện xoay chiều $i_{\text{—}}$ để sinh ra từ thông phản ứng dọc trục khử từ Φ_{ud} quay đồng bộ với rôto để khiến cho sau khi xảy ra ngắn mạch, tổng từ thông cực từ Φ_1 và từ thông phản ứng dọc trục Φ_{ud} ở khe hở là bằng không. Thành phần dòng điện xoay chiều ở các pha và từ thông

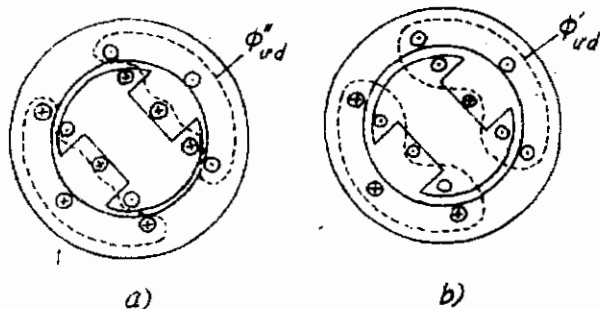
phản ứng dọc trục khử từ do chúng sinh ra được trình bày trên hình 29-1c và 29-2.

Kết quả dòng điện trong các pha i_A, i_B, i_C - tổng của thành phần dòng điện một chiều và thành phần dòng điện xoay chiều có dạng như trên hình 29-2. Vì khi xảy ra ngắn mạch, máy điện làm việc không tải, dòng điện các pha bằng không nên ở thời điểm $t = 0$ các thành phần dòng điện một chiều và xoay chiều phải bằng nhau về trị số và khác nhau về dấu.

Cần chú ý rằng vì các dây quấn kích thích và dây quấn cần cũng là siêu dẫn ($r_l = r_c = 0$),

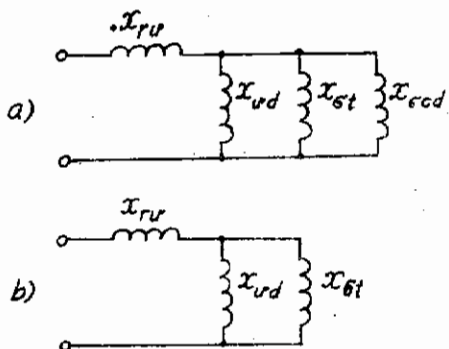


Hình 29-2. Đường biểu diễn các dòng điện ngắn mạch đột nhiên của các pha khi các dây quấn là siêu dẫn



Hình 29-3. Từ trường do thành phần dòng điện xoay chiều lúc bắt đầu ngắn mạch đột nhiên (a) và sau khi dòng điện trong dây quấn cần đã giảm đến trị số không (b)

nên trong chúng cũng sẽ sinh ra dòng điện để chống lại từ thông phản ứng Φ_{ud} xuyên qua chúng, kết quả là từ thông phản ứng phải đi theo mạch tản từ của các dây quấn đó như trình bày trên hình 29-3a. Lúc đó quan hệ hồ cảm giữa các dây quấn phần tĩnh, dây quấn kích thích và dây quấn cân



Hình 29-4. Sơ đồ tính điện kháng siêu quá độ dọc trục (a) và điện kháng quá độ dọc trục (b)

tương tự như quan hệ điện từ trong m.b.a. ba dây quấn, trong đó các dây quấn kích thích và dây quấn cân bị nối tắt. Mạch điện thay thế tương ứng được trình bày trên hình 29-4a và điện kháng đầu vào của mạch điện còn gọi là điện kháng siêu quá độ dọc trục bằng:

$$x_d'' = x_{ou} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{st}} + \frac{1}{x_{ecd}}} \quad (29-4)$$

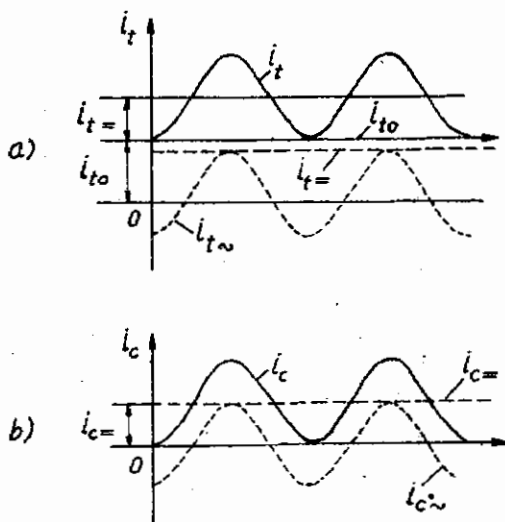
trong đó:

x_{ud} - điện kháng phản ứng phần ứng dọc trục;

x_{ou} , x_{st} , x_{ecd} - các điện kháng tản dây quấn phần ứng, dây quấn kích thích và dây quấn cân dọc trục.

b. Dòng điện ở các dây quấn của rôto

Trước lúc ngắn mạch, chỉ có từ thông cực từ Φ_i sinh ra bởi dòng điện i_{i0} xuyên qua các dây quấn kích thích và dây quấn cân đặt ở rôto. Sau khi xảy ra ngắn mạch, rôto tiếp tục quay với tốc



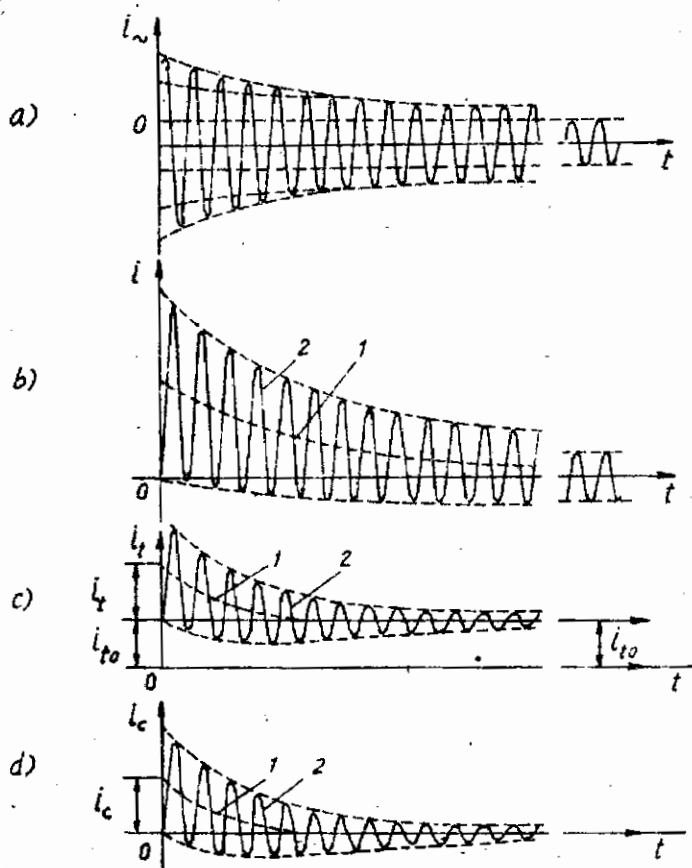
Hình 29-5. Đường biểu diễn các dòng điện trong dây quấn kích thích (a) và trong dây quấn cần (b) lúc ngắn mạch đột nhiên với các dây quấn là siêu dẫn

độ đồng bộ và như vậy từ thông đứng yên trong không gian sinh ra bởi thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn stato sẽ xuyên qua các dây quấn kích thích và dây quấn cần theo quy luật hình sin. Mặt khác, từ thông phản ứng dọc trục khử từ do các thành phần dòng điện xoay chiều trong dây quấn stato, quay đồng bộ và không đổi so với rôto cũng xuyên qua các dây quấn kích thích và dây quấn cần. Với giả thiết các dây quấn này là các mạch điện siêu dẫn ($r_t = r_c = 0$), từ thông xuyên qua chúng vẫn là Φ_1 như trước lúc xảy ra ngắn mạch, nên trong chúng sẽ phải sinh ra hai thành phần dòng điện: thành phần thứ nhất là thành phần dòng điện xoay chiều để sinh ra từ thông xoay chiều hình sin bằng về trị số và ngược về dấu đối với từ thông của dây quấn stato xuyên qua rôto theo quy luật hình sin, và thành phần thứ hai là thành phần dòng điện một chiều để sinh ra từ thông không đổi bằng về trị số và ngược về dấu đối với từ thông phản ứng khử từ dọc trục của dây quấn stato.

Kết quả là khi xảy ra ngắn mạch đột nhiên, dòng điện kích từ và dòng điện trong dây quấn cần - tổng của các thành phần dòng điện xoay chiều và một chiều được biểu diễn như trên hình 29-5.

Từ những phân tích nói trên ta thấy khi xảy ra ngắn mạch

đột nhiên, các dòng điện trong các dây quấn stato và rôto đều bao gồm các thành phần chu kỳ và không chu kỳ và có liên quan chặt chẽ với nhau: thành phần chu kỳ của các dòng điện ở rôto với thành phần không chu kỳ của dòng điện ở stato và thành phần không chu kỳ của các dòng điện ở rôto với các thành phần chu kỳ của các dòng điện ở stato.



Hình 29-6. Đường biểu diễn dòng điện trong các dây quấn của máy phát điện đồng bộ khi ngắn mạch đột nhiên

Trên thực tế điện trở của các dây quấn $r_u, r_l, r_c \neq 0$, vì vậy các dòng điện đều giảm dần theo thời gian. Điện trở của dây quấn phần ứng $r_u \neq 0$, vì vậy thành phần một chiều của dòng điện trong dây quấn stato giảm dần đến trị số không. (đường 1 trên hình 29-6b), từ thông một chiều do chúng sinh ra cũng giảm dần đến không và do đó thành phần xoay chiều của các dòng điện trong dây quấn kích thích và dây quấn cản cũng giảm tương ứng tới trị số không (đường 2 trên các hình 29-6c và d). Điện trở của dây quấn cản r_c tương đối lớn nên thành phần một chiều của dòng điện trong dây quấn cản giảm nhanh đến trị số không (đường 1 trên hình 29-6d). Từ thông do nó sinh ra cũng giảm đến trị số không, do đó từ thông phản ứng dọc trục khử từ bắt đầu xuyên qua dây quấn cản như trình bày trên h.29-3,b. Thành phần dòng điện xoay chiều trong dây quấn stato sinh ra từ thông phản ứng dọc trục cũng sẽ giảm tương ứng.

Giống như thành phần một chiều trong dây quấn cản, thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn kích từ cũng giảm dần nhưng chậm hơn đến trị số ban đầu i_{l0} (đường 1 trên hình 29-6c) do điện trở của dây quấn kích thích nhỏ hơn điện trở của dây quấn cản ($r_l < r_c$). Từ thông do nó sinh ra cũng giảm theo. Kết quả là từ thông phản ứng phần ứng sẽ xuyên qua dây quấn kích từ (hình 29-1c) và chế độ ngắn mạch xác lập bắt đầu. Thành phần dòng điện xoay chiều trong dây quấn stato sinh ra từ thông phản ứng dọc trục cũng giảm tương ứng đến trị số cuối cùng là dòng điện ngắn mạch xác lập. Sự giảm dần của thành phần dòng điện xoay chiều trong dây quấn stato tương ứng với sự giảm dần của các thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn cản và dây quấn kích từ được trình bày trên hình 29-6a.

Tổng của các thành phần một chiều và xoay chiều của các dòng điện trong các dây quấn phần ứng, dây quấn kích từ và dây quấn cản khi xét đến sự giảm dần của các dòng điện do tác dụng của điện trở của các dây quấn được trình bày bằng đường 2 trên

các hình 29-6b,c và d, cho thấy sự biểu diễn thực tế của các dòng điện trong các dây quấn của máy điện đồng bộ trong quá trình quá độ lúc ngắn mạch đột nhiên.

Cần chú ý rằng khi từ thông phản ứng dọc trục xuyên qua dây quấn cản như trình bày trên hình 29-3b, thì quan hệ hỗ cảm giữa dây quấn phần tĩnh và dây quấn kích từ như của m.b.a. hai dây quấn, trong đó dây quấn kích từ bị nối tắt. Mạch điện thay thế tương ứng được trình bày trên hình 29-4b và điện kháng đầu vào của nó được gọi là điện kháng quá độ dọc trục và bằng:

$$x'_d = x_{od} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{ot}}} \quad (29-5)$$

29.2.2. Biểu thức toán học dòng điện ngắn mạch đột nhiên ba pha

Như đã nói ở trên, khi xảy ra ngắn mạch đột nhiên trong quá trình quá độ, giữa các dây quấn stato và rôto có sự liên hệ điện từ chặt chẽ như trong m.b.a. Nếu bỏ qua điện trở của các dây quấn thì các phương trình điện áp của các dây quấn phần ứng, dây quấn kích từ và dây quấn cản sẽ lần lượt như sau:

$$\begin{vmatrix} \omega e \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_{od} + x_{or} & x_{ud} & x_{ud} \\ x_{ud} & x_{ud} + x_{ot} & x_{ud} \\ x_{ud} & x_{ud} & x_{ud} + x_{ocd} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \frac{di}{dt} \\ \frac{di_t}{dt} \\ \frac{di_{cd}}{dt} \end{vmatrix} \quad (29-6)$$

trong đó:

x_{or} , x , x_{ocd} - điện kháng tản của dây quấn phần ứng, dây quấn kích từ và dây quấn cản hướng dọc trục.

Giải hệ phương trình vi phân (29-6) với $t = 0, i = 0, i_c = 0, i_1 = i_{10}$ ta sẽ có các dòng điện i, i_1, i_c .

Kết quả đối với dòng điện ngắn mạch quá độ trong dây quấn phần tĩnh như sau:

$$i = - \frac{\sqrt{2} E}{x_d''} \cos(\omega t + \alpha) + \frac{\sqrt{2} E}{x_d'} \cos \alpha, \quad (29-7)$$

trong đó:

α - góc hợp bởi trục cực từ và trục dây quấn pha được xét lúc xảy ra ngắn mạch.

Từ biểu thức (29-7) ta thấy dòng điện i là tổng của thành phần dòng điện xoay chiều biến đổi hình sin theo thời gian với biên độ không đổi và thành phần dòng điện một chiều có trị số không đổi.

Trên thực tế các dây quấn phản ứng, dây quấn kích từ và dây quấn cân đều có điện trở, nên hai thành phần dòng điện xoay chiều và một chiều nói trên đều giảm theo thời gian và sau quá trình quá độ trong dây quấn phản ứng sẽ còn lại dòng điện ngắn mạch xác lập.

Như đã phân tích ở trên (mục 29.2), thành phần dòng điện xoay chiều của (29-7) giảm dần, phụ thuộc vào sự giảm của thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn cân (với hằng số thời gian siêu quá độ T_d') và của thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn kích từ (với hằng số thời gian quá độ T_d).

Để thấy rõ điều đó có thể viết thành phần dòng điện xoay chiều đó dưới dạng:

$$\frac{\sqrt{2} E}{x_d'} \cos(\omega t + \alpha) = \left[\sqrt{2} E \left(\frac{1}{x_d'} - \frac{1}{x_d} \right) + \sqrt{2} E \left(\frac{1}{x_d'} - \frac{1}{x_d} \right) + \sqrt{2} E \frac{1}{x_d} \right] \cos(\omega t + \alpha). \quad (29-8)$$

trong đó số hạng thứ nhất của vế phải giảm dần theo hằng số thời gian siêu quá độ T_d'' và số hạng thứ hai giảm theo hằng số quá độ T_d .

Thành phần dòng điện một chiều trong biểu thức (29-7) sẽ giảm dần theo hằng số thời gian của dây quấn phần tĩnh T_u .

Như vậy khi xét đến điện trở của các dây quấn, dòng điện ngắn mạch trong thời gian quá độ sẽ giảm dần và được biểu thị như sau:

$$i = - \left[\sqrt{2} E \left(\frac{1}{x_d''} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-t/T_d''} + \sqrt{2} E \left(\frac{1}{x_d'} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-t/T_d} + \sqrt{2} E \frac{1}{x_d} \cos(\omega t + \alpha) + \frac{\sqrt{2} E}{x_d''} \cos \alpha e^{-t/T_u} \right] \quad (29-9)$$

Trong biểu thức (29-9), hằng số thời gian siêu quá độ T_d'' phụ thuộc vào tốc độ giảm của thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn cần, do đó:

$$T_d'' = \frac{x_{cd}''}{\omega r_{cd}} \quad , \quad (29-10)$$

trong đó:

x_{cd}'' - điện kháng dọc trục của dây quấn cần đã qui đổi về phần tĩnh khi dây quấn kích từ và dây quấn phần tĩnh nối tắt (qua lưới điện). Tương tự như điện kháng siêu quá độ dọc trục của dây quấn phần ứng (29-4), ta có:

$$x_{cd}'' = x_{oc} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{ou}} + \frac{1}{x_{ot}}} \quad , \quad (29-11)$$

r_{cd} - điện trở dọc trục của dây quấn cần qui đổi về dây quấn phần tĩnh.

Hằng số thời gian quá độ T_d phụ thuộc vào tốc độ giảm của thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn kích từ và có trị số:

$$T_d = \frac{x_{id}}{\omega r_l} \quad (29-12)$$

trong đó:

x_{id} - điện kháng qui đổi về phần tĩnh của dây quấn kích từ, dây quấn phần tĩnh bị nối tắt (qua lưới điện). Tương tự như đối với điện kháng quá độ của dây quấn phản ứng (29-5), ta có:

$$x_{id} = x_{oi} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{ou}}} \quad (29-13)$$

r_l - điện trở qui đổi về phần tĩnh của dây quấn kích từ.

Hằng số thời gian tắt dần của thành phần một chiều của dòng điện ngắn mạch đột nhiên có trị số:

$$T_u = \frac{x_u''}{\omega r_u} \quad (29-14)$$

trong đó

r_u - điện trở của dây quấn phần tĩnh;

x_u'' - điện kháng do từ trường của thành phần dòng điện không chu kỳ của phần tĩnh. Một cách gần đúng có thể cho rằng:

$$x_u'' \approx \frac{x_d' + x_q'}{2} \approx x_2' \quad (29-15)$$

vì khi quay trong từ trường đứng yên của thành phần dòng điện không chu kỳ nói trên, rôto thay đổi vị trí dọc trục và ngang trục một cách tuần hoàn giống như đối với từ trường thứ tự ngược [tiết 26.2.2, biểu thức (26-9)].

Sự biến đổi của dòng điện i theo biểu thức (29-9) có dạng như đã trình bày ở trên hình 29-6b. Ta thấy rằng trị số xung của dòng điện ngắn mạch đột nhiên tức là trị số tức thời lớn nhất xảy ra vào khoảng 0,01 giây (một nửa chu kỳ) sau khi xảy ra ngắn mạch đối với pha mà $\alpha = 0$ (điện áp của pha đó qua trị số không). Lúc đó thành phần chu kỳ của dòng điện chưa kịp giảm rõ rệt vì vậy có thể viết gần đúng:

$$i_{xg} = \frac{\sqrt{2} E}{x_d''} (1 + e^{\frac{-0,01}{T''_d}}) \quad (29-16)$$

Thừa số $k_{xg} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T''_d}}$ được gọi là hệ số xung của dòng điện ngắn mạch. Thông thường $k_{xg} \approx 1,8$. Ngoài ra khi làm việc cho phép $U = 1,05 U_{dm}$, vì vậy:

$$i_{xg} = \frac{1,05 \cdot 1,8 \sqrt{2} U_{dm}}{x_d''} \quad (29-17)$$

hay là trong hệ tương đối:

$$i_{xg*} = \frac{i_{xg}}{\sqrt{2} I_{dm}} = \frac{1,8 \cdot 1,05}{x_{d*}''}$$

Giả thử như $x_{d*}'' = 0,10$ thì $i_{xg*} = 18,9$ và như vậy trị số xung của dòng điện ngắn mạch đột nhiên rất lớn.

29.2.2 Ảnh hưởng của ngắn mạch đột nhiên

Ngắn mạch đột nhiên ảnh hưởng rất nguy hại đến bản thân máy điện đồng bộ và đối với hệ thống điện lực.

Đối với bản thân máy điện, ngắn mạch đột nhiên sinh ra những lực điện từ và mômen điện từ rất lớn, ngoài ra còn kèm theo cả tác dụng về nhiệt. Dòng điện ngắn mạch đột nhiên như đã phân tích ở trên, có trị số rất lớn và lực điện từ tỷ lệ với bình phương của dòng điện đó tác dụng lên phần đầu nối của phần tử và các nhóm phần tử của các pha khác nhau một cách tuần

hoàn, có thể làm hỏng cách điện của chúng ở chỗ sát đầu rãnh, thậm chí phá tung cả phần đầu nối. Chính vì vậy mà đối với các máy công suất lớn, khi thiết kế và chế tạo phải đảm bảo cố định thật chặt các phần đầu nối để tránh những hư hỏng nói trên. Mômen điện từ sinh ra do tác dụng của từ thông không đổi ở khe hở, với thành phần dòng điện xoay chiều của dòng điện ngắn mạch đột nhiên cũng có trị số rất lớn, có thể gấp hơn mười lần trị số định mức và có thể làm hỏng trục máy và các bulông bắt chặt thân máy. Vì vậy khi thiết kế cần đặc biệt chú ý đến các bộ phận này. Khi ngắn mạch đột nhiên, tuy dòng điện ngắn mạch rất lớn nhưng hiệu ứng nhiệt không nguy hiểm đối với máy, vì thời gian quá độ rất ngắn, dòng điện ngắn mạch tắt rất nhanh, hơn nữa các role bảo vệ sẽ tác động ngay để tách máy điện ra khỏi chỗ ngắn mạch.

Đối với hệ thống điện lực, ngắn mạch đột nhiên có thể phá hoại sự làm việc ổn định của hệ thống, sinh ra hiện tượng quá điện áp và hiện tượng nhiễu cao tần. Các hiện tượng đó như sau.

Khi trên đường dây xảy ra ngắn mạch đột nhiên, điện áp sẽ hạ thấp và công suất của máy phát điện đồng bộ không truyền tải đi được. Vì động cơ sơ cấp kéo máy phát điện chưa kịp điều chỉnh giảm bớt công suất của nó; kết quả là trong máy phát đồng bộ không có sự cân bằng công suất giữa đầu ra và đầu vào, dẫn đến tốc độ của máy phát tăng vọt lên, máy sẽ mất đồng bộ và phá hoại sự làm việc ổn định của hệ thống điện.

Ngắn mạch đột nhiên không đối xứng sẽ sinh ra quá điện áp ở pha không bị ngắn mạch của máy. Trị số của quá điện áp do ngắn mạch đột nhiên có thể gấp 2+3 lần điện áp định mức gây nguy hiểm cho các m.b.a. và các thiết bị điện khác trong hệ thống điện.

Khi xảy ra ngắn mạch đột nhiên không đối xứng, trong dây quấn phần tĩnh sẽ xuất hiện các thành phần dòng điện điều hòa bậc cao. Từ trường do các dòng điện điều hòa bậc cao đó sinh ra quanh đường dây tải điện sẽ gây nhiễu đối với các đường dây

thông tin, phá hoại sự làm việc của các đường dây đó.

Câu hỏi

1. Phân tích sự liên quan chặt chẽ giữa các thành phần dòng điện ở stato và các thành phần dòng điện ở rôto khi ngắn mạch đột nhiên.

2. Ý nghĩa vật lý của các điện kháng x_d , x'_d , x''_{ud} , x'_{ud}

3. Ý nghĩa vật lý của các hằng số thời gian T_d , T'_d , T_u .

4. Trong điều kiện nào dòng điện ngắn mạch đột nhiên của một pha chính là dòng điện ngắn mạch xác lập?

30.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Khi có sự thay đổi đột ngột về chế độ làm việc ở đầu vào hoặc ở đầu ra của máy điện đồng bộ, thì góc tải θ sẽ thay đổi. Sự thay đổi của góc θ thường mang tính chất dao động và như vậy tốc độ quay Ω của rôto không phải là hằng số mà tăng giảm một cách chu kỳ quanh một trị số trung bình. Tùy theo tính chất của sự thay đổi ở đầu ra hoặc ở đầu vào và cấu tạo của máy mà dao động của rôto có thể là dao động cưỡng bức hoặc dao động do tắt dần hay không tắt dần và máy điện đồng bộ có thể tiếp tục làm việc hoặc mất đồng bộ.

Dao động tự do của máy điện đồng bộ có thể xảy ra nếu động cơ sơ cấp của nó có mômen quay đều (thí dụ như tuabin) và khi máy làm việc song song trong lưới điện trong các trường hợp thay đổi tải đột ngột, ngắn mạch, điện áp đầu cực sụt thấp, thay đổi dòng điện kích thích, ... Hình 30-1 trình bày quá trình dao động khi mômen của động cơ sơ cấp thay đổi đột ngột từ trị số M_1 đến M_2 . Công suất điện từ ứng với góc θ_1 sẽ thay đổi có trị số ứng với góc θ_2 và sự thay đổi đó biểu diễn theo một quá trình dao động tắt dần của góc tải θ và tốc độ góc Ω của rôto.

Dao động cưỡng bức của máy điện đồng bộ xảy ra khi mômen cơ trên trục thay đổi tuần hoàn theo thời gian. Đó là trường hợp máy điện đồng bộ được ghép cùng trục với các động cơ chạy bằng xylanh (thí dụ máy phát điện đồng bộ kéo bằng động cơ diezen hoặc động cơ điện đồng bộ quay máy nén kiểu xylanh). Dao động cưỡng bức sẽ rất mạnh và nguy hiểm nếu tần số của nó trùng

với tần số dao động riêng của máy, nghĩa là khi có cộng hưởng hoặc khi có nhiều máy phát điện có tần số dao động cường độ bằng nhau làm việc song song (trường hợp các máy phát điện kéo bằng diesel làm việc song song).

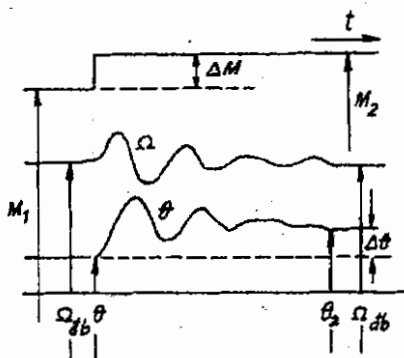
Biểu hiện bên ngoài của hiện tượng dao động của máy điện đồng bộ là sự dao động của công suất P và dòng điện phản ứng I . Biên độ dao động của W và q càng lớn thì dao động của P và I càng mạnh.

Nếu công suất của lưới điện nhỏ thì điện áp U cũng có thể dao động.

Hiện tượng dao động trong máy điện đồng bộ được biểu thị bằng các phương trình vi phân. Nghiệm của các phương trình đó sẽ cho thấy rõ quy luật biến đổi của tốc độ góc của rôto trong quá trình dao động.

30.2. MÔMEN VÀ PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA RÔTO DAO ĐỘNG

Giả thử máy điện đồng bộ làm việc như máy phát điện. Ở tải xác lập, mômen điện từ M của máy phát điện sẽ cân bằng với mômen cơ M_1 của động cơ sơ cấp và rôto của máy sẽ quay với tốc độ đồng bộ Ω_{db} . Khi dao động, tốc độ quay của rôto $\Omega \neq \Omega_{db}$, nên ngoài các mômen điện từ và mômen cơ trên trục máy còn có tác dụng của các mômen cản và mômen gia tốc. Tính chất của giao động được quyết định bởi quan hệ giữa các mômen đó thể hiện qua phương trình chuyển động của rôto lúc dao động. Dưới



Hình 30-1. Giao động của tốc độ góc của rôto Ω và góc tải θ trong quá trình giao động

đây là lần lượt xét các mômen đó trước khi viết phương trình chuyển động của rôto lúc dao động.

Mômen cơ tác dụng lên trục

Trong trường hợp tổng quát, mômen cơ tác dụng trên trục máy phát điện có tính chất tuần hoàn như thí dụ trình bày trên hình 30-2.

Mômen đó có thể phân tích theo chuỗi Furiê thành:

$$M_1 = M_{tb} + M_k = M_{tb} + \sum_{\nu=1} M_{\nu m} \cos(\nu \Omega_{tb} t + \psi_{\nu}) \quad (30-1)$$

trong đó Ω_{tb} - tốc độ góc trung bình của rôto;

$M_{\nu m}$, ψ_{ν} - biên độ và góc pha của sóng thứ ν

Mômen điện từ lúc dao động

Mômen điện từ có thể suy ra được từ biểu thức:

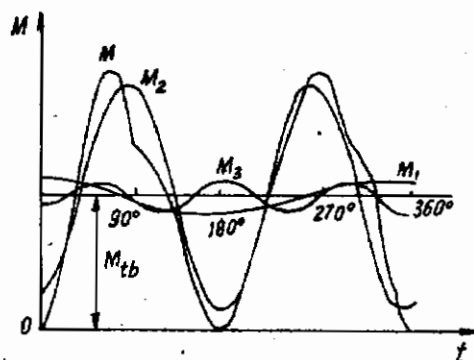
$$M = \frac{P}{\Omega_{tb}} = \frac{mEU}{\Omega_{tb} x_d} \sin \theta + \frac{mU^2}{2\Omega_{tb}} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (30-2)$$

Khi dao động, góc θ thay đổi một trị số $\Delta\theta = f(t)$ quanh trị số trung bình θ_0 , nghĩa là:

$$\theta = \theta_0 + \Delta\theta \quad (30-3)$$

Đem (30-3) thay vào (30-2) và vì $\Delta\theta$ nhỏ và $\sin(\theta_0 + \Delta\theta) = \sin\theta_0 \cos\Delta\theta + \cos\theta_0 \sin\Delta\theta \approx \sin\theta_0 + \Delta\theta \cos\theta_0$; $\sin^2(\theta_0 + \Delta\theta) = \sin 2\theta_0 \cos 2\Delta\theta + \cos 2\theta_0 \sin 2\Delta\theta \approx \sin 2\theta_0 + 2\Delta\theta \cos 2\theta_0$; nên (30-2) có thể viết dưới dạng:

$$M = M_0 + \Delta M = M_0 + M_{cb} \Delta \quad (30-4)$$



Hình 30-2. Đường biểu diễn mômen cơ của máy hơi nước dùng làm động cơ sơ cấp

trong đó.

$$M_o = \frac{mEU}{\Omega_{db}x_d} \sin\theta_o + \frac{mU^2}{2\Omega_{db}} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta_o \quad (30-5)$$

là mômen điện từ khi $\theta = \theta_o$ và:

$$M_{cb} = \frac{mEU}{\Omega_{db}x_d} \cos\theta_o + \frac{mU^2}{\Omega_{db}} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta_o \quad (30-6)$$

tương ứng với (27-4) là hệ số mômen chỉnh bộ.

Cần chú ý rằng biểu thức của M_{cb} theo (30-6) chỉ đúng khi góc θ thay đổi rất chậm, có thể bỏ qua các quá trình điện từ trong các dây quấn của máy. Nếu tần số dao động lớn, tốc độ thay đổi của góc θ nhanh thì trong các dây quấn đặt trên cực từ sẽ xuất hiện các dòng điện không chu kỳ tương tự như khi xảy ra ngắn mạch đột nhiên (xem mục 29.2). Tác dụng của chúng cộng với tác dụng của dòng điện kích thích i_{l0} khiến cho E lớn thêm và M_{cb} sẽ tăng tương ứng.

Mômen cản dụ

Khi máy điện đồng bộ dao động, rôto quay không đồng bộ với từ trường quay của stato, do đó trong dây quấn kích thích, dây quấn cản và thép của rôto sẽ cảm ứng được các s.d.d. và sinh ra các dòng điện tần số thấp (0,5 + 1,5 Hz). Tác dụng của từ trường tổng với các dòng điện đó sẽ sinh ra mômen cản có tác dụng kéo rôto trở về tốc độ đồng bộ. Khi biên độ dao động của rôto nhỏ, nghĩa là tốc độ quay của rôto khác tốc độ đồng bộ không nhiều thì, giống như đối với mômen không đồng bộ, mômen cản dụ tỷ lệ với tốc độ thay đổi của góc $\Delta\theta$, nghĩa là:

$$M_{cd} = k_{cd} \frac{d}{dt} \Delta\theta \quad (30-7)$$

Mômen gia tốc

Gọi J - mômen quán tính của bộ phận quay thì mômen gia tốc được xác định bởi hệ thức:

$$M_J = J \frac{d\Omega}{dt} = \frac{J}{p} \frac{d^2(\theta_0 + \Delta\theta)}{dt^2} = \frac{J}{p} \frac{d^2\Delta\theta}{dt^2} \quad (30-8)$$

Phương trình chuyển động của rôto lúc dao động

Khi dao động, mômen của động cơ sơ cấp phải cân bằng với mômen điện từ, mômen cản dũa và mômen gia tốc. Như vậy dựa vào các biểu thức (30-1), (30-4), (30-7) và (30-8) có thể viết phương trình chuyển động của rôto lúc dao động dưới dạng tổng quát sau đây:

$$\begin{aligned} M_o + M_{cb}\Delta\theta + k_{cd} \frac{d\Delta\theta}{dt} + \frac{J}{p} \frac{d^2\Delta\theta}{dt^2} \\ = M_{tb} + \sum_{\nu=1}^{\nu=\infty} M_{m\nu} \cos(\nu\Omega_{tb}t + \psi_{\nu}) \end{aligned} \quad (30-9)$$

Trên cơ sở của (30-9) dưới đây ta sẽ phân tích các trường hợp dao động tự do và cưỡng bức của các máy phát điện đồng bộ khi làm việc song song với lưới điện và khi làm việc đơn độc.

30.3. DAO ĐỘNG CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ KHI LÀM VIỆC SONG SONG VỚI LƯỚI ĐIỆN

Khi làm việc song song với lưới điện công suất lớn, máy phát điện đồng bộ có thể dao động tự do hoặc dao động cưỡng bức.

30.3.1. Dao động tự do của máy điện đồng bộ

Dao động tự do của máy phát điện đồng bộ làm việc song song với lưới điện có thể xảy ra khi mômen quay của động cơ sơ cấp là đều, nghĩa là khi số hạng thứ hai ở vế phải của phương trình (30-9) bằng không và khi tốc độ quay thay đổi trong phạm vi khiến cho bộ điều chỉnh tốc độ của động cơ sơ cấp không tác động và như vậy mômen trung bình M_{tb} của động cơ sơ cấp bằng mômen điện từ M_o . Trong các điều kiện trên, phương trình chuyển động của rôto (30-9) trở thành:

$$\frac{J}{p} \frac{d^2\Delta\theta}{dt^2} + k_{cd} \frac{d\Delta\theta}{dt} + M_{cb}\Delta\theta = 0 \quad (30-10)$$

Nghiệm của phương trình (30-10) có dạng:

$$\Delta\theta = C_1 e^{x_1 t} + C_2 e^{x_2 t} \quad (30-11)$$

trong đó:

C_1 và C_2 - các hằng số tích phân

x_1 và x_2 - các nghiệm của phương trình đặc tính:

$$\frac{J}{p} x + k_{cd} x + M_{cb} = 0 \quad (30-12)$$

và có trị số:

$$x_{1,2} = -\frac{pk_{cd}}{2J} \pm \sqrt{\frac{p^2 k_{cd}^2}{4J^2} - \frac{pM_{cb}}{J}} \quad (30-13)$$

Số hạng đầu trong căn số của (30-13) thường nhỏ hơn số hạng thứ hai, vì vậy lượng trong căn số là âm và $x_{1,2}$ có thể viết dưới dạng:

$$\begin{aligned} x_1 &= -\frac{1}{T} + j\omega, \\ x_2 &= -\frac{1}{T} - j\omega, \end{aligned} \quad (30-14)$$

trong đó

- hằng số thời gian tắt dần của dao động:

$$T = \frac{2J}{pk_{cd}} \quad (30-15)$$

- tần số góc của dao động tự do:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \sqrt{\frac{pM_{cb}}{J} - \frac{p^2 k_{cd}^2}{4J^2}} \approx \sqrt{\frac{pM_{cb}}{J}} \quad (30-16)$$

Thay trị số của $x_{1,2}$ theo (30-14) vào (30-11) và với điều kiện ban đầu khi $t = 0$, $\Delta\theta = -\Delta\theta_{mo}$, $\frac{d\Delta\theta}{dt} = 0$ như trên hình 30-1, có thể

suy ra:

$$\Delta\theta = -\Delta\theta_{mo}\cos\omega_0 t e^{-\gamma T} \quad (30-17)$$

Như vậy dao động của $\Delta\theta$ là tắt dần theo hằng số thời gian T . Từ (30-15) ta thấy khi k_{cd} lớn thì T nhỏ và biên độ dao động giảm rất nhanh, ngược lại nếu $k_{cd} = 0$ thì $T = \infty$ và dao động là không tắt.

Tần số của dao động theo tính toán ở trên bằng:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \approx \frac{1}{2} \sqrt{\frac{pM_{cb}}{J}} \quad (30-18)$$

Trong biểu thức (30-18), thường còn dùng hằng số quán tính T_j thay cho mômen quán tính J . Theo định nghĩa, T_j là tỷ số giữa hai lần động năng của máy ở tốc độ quay đồng bộ Ω_{db} với dung lượng định mức S_{dm} và đó là thời gian cần thiết để máy đạt đến tốc độ đồng bộ lúc không tải khi mômen quay trên trục bằng định mức. Theo định nghĩa đó thì:

$$T_j = \frac{\Omega_{db}^2}{S_{dm}} = \frac{J\omega_1^2}{p^2 S_{dm}} \quad (30-19)$$

Thường $T_j = 7 + 14s$ đối với máy đồng bộ cực ẩn;
 $= 3 + 9s$ đối với máy đồng bộ cực lồi.

Thay trị số của J theo (30-19) vào (30-18) ta có:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{pM_{cb}\omega_1^2}{T_j p^2 S_{dm}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{M_{cb}\omega_1}{T_j}}, \quad (30-20)$$

trong đó: $M_{cb*} = \frac{M_{cb}}{S_{dm}/\Omega_{db}} = \frac{M_{cb}\omega_1}{pS_{dm}}$ - hệ số mômen chỉnh

bộ trong hệ đơn vị tương đối.

Thí dụ với máy có $M_{cb*} = 2,15$ khi $\theta_0 = 20^\circ$ và $T_j = 7,3s$ thì:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{314 \times 2,15}{7,3}} \approx 1,5 \text{ Hz}$$

và chu kỳ của dao động là:

$$T_0 = \frac{1}{f_0} = \frac{1}{1,5} = 0,67s.$$

30.3.2. Dao động cưỡng bức của máy điện đồng bộ

Dao động cưỡng bức của máy điện đồng bộ khi làm việc trong lưới điện, công suất lớn xảy ra khi mômen của động cơ sơ cấp biến đổi tuần hoàn và cũng như trong trường hợp trước khi $M_0 = M_{tb}$, phương trình chuyển động của rôto (30-9) có dạng:

$$J \frac{d^2 \Delta \theta}{dt^2} + k_{cd} \frac{d \Delta \theta}{dt} + M_{cb} \Delta \theta = \sum_{v=1}^{\infty} M_v \cos(v \Omega_{tb} t + \psi_v) \quad (30-21)$$

Nghiệm của (30-21) là tổng số nghiệm của phương trình (30-21) khi vế phải bằng không được xác định theo (30-17) biểu thị cho dao động tự do tắt dần và nghiệm riêng của phương trình (30-21) biểu thị cho dao động cưỡng bức ở chế độ xác lập:

$$\Delta \theta = \sum_{v=1}^{\infty} \frac{M_{mv}}{v \Omega \sqrt{k_{cd}^2 + \left(\frac{v \Omega_{tb} J}{p} - \frac{M_{cb}}{v \Omega_{tb}} \right)^2}} \sin(v \Omega_{tb} t + \psi_v - \varphi_v) \quad (30-22)$$

Như vậy ở trường hợp này, dao động của máy là sự xếp chồng của dao động tự do tắt dần và dao động cưỡng bức.

Vì dao động tự do của rôto khi $k_{cd} = 0$ như đã biết ở trên có tần số góc xác định theo (30-16):

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{p M_{ch}}{J}}$$

nên ứng với sóng thứ v của (30-22) phù hợp với điều kiện:

$$\frac{v \Omega_{tb} J}{p} - \frac{M_{cb}}{v \Omega_{tb}} = 0 \quad (30-23)$$

$$\text{hay: } v \Omega_{tb} = \sqrt{\frac{p M_{ch}}{J}} = \omega_0 \quad (30-24)$$

sẽ xảy ra hiện tượng cộng hưởng. Biên độ $\Delta\theta_{m\nu}$ của dao động cưỡng bức bậc thứ ν sẽ rất lớn cộng với các dao động cưỡng bức khác và dao động tự do có thể làm cho máy phát điện mất đồng bộ với lưới điện. Rõ ràng là hiện tượng sẽ bớt nghiêm trọng nếu ở rôto có đặt dây quấn cân để làm tăng trị số của k_{cd} .

30.4. DAO ĐỘNG CƯỜNG BỨC CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ KHI LÀM VIỆC ĐƠN ĐỘC

Khi làm việc đơn độc trong lưới điện thì tần số và điện áp của máy phát điện đồng bộ có thể thay đổi, sự dao động của rôto không phụ thuộc vào góc θ vì E và U cùng dao động. Trong trường hợp đó M_{cb} và M_{cd} đều bằng không và phương trình (30-9) trở thành:

$$\frac{J}{p} \frac{d^2\Delta\theta}{dt^2} = \sum_{\nu=1}^{\nu=\infty} M_{m\nu} \cos(\nu\Omega_{tb}t + \psi_{\nu}) \quad (30-25)$$

Lấy tích phân liên tiếp hai lần phương trình (30-25) ta suy ra được tốc độ góc của dao động:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \sum_{\nu=1}^{\nu=\infty} \frac{pM_{m\nu}}{J(\nu\Omega_{tb})} \sin(\nu\Omega_{tb}t + \psi_{\nu}) \quad (30-26)$$

và nghiệm của (30-25) biểu thị cho dao động cưỡng bức của máy phát điện đồng bộ khi làm việc đơn độc:

$$\Delta\theta = \sum_{\nu=1}^{\nu=\infty} \frac{M_{m\nu}}{J(\nu\Omega_{tb})^2} \cos(\nu\Omega_{tb}t + \psi_{\nu}) \quad (30-27)$$

Từ biểu thức (30-26) ta thấy tốc độ góc của dao động sẽ ở giữa trị số cực đại $\omega_{\max}$ và cực tiểu $\omega_{\min}$. Để tránh hiện tượng nhấp nháy lúc thấp sáng phải đảm bảo điều kiện sau:

$$\frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{tb}} \leq \frac{1}{150} \quad (30-28)$$

Theo biểu thức (30-28) thì điều đó chỉ có thể thực hiện được bằng cách tăng mômen quán tính J của bản thân rôto hoặc bằng cách lắp thêm một bánh đà (vô lăng) trên trục của máy phát điện đồng bộ.

Câu hỏi

1. Phân tích cụ thể chiều của lực tác dụng lên các thanh dẫn của dây quấn cân khi rôto quay không đồng bộ với từ trường quay để thấy rõ được tính chất của mômen cân dẫu.
2. Trong điều kiện nào có thể xảy ra dao động tự do của máy điện đồng bộ? Hiện tượng đó biểu hiện ở máy như thế nào?
3. Trong điều kiện nào có thể xảy ra dao động cưỡng bức của máy điện đồng bộ? Biểu hiện của hiện tượng đó như thế nào?

Chương 31

MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ ĐẶC BIỆT

31.1. MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ MỘT PHA

Về cấu tạo, máy phát điện đồng bộ một pha khác với máy phát điện đồng bộ ba pha ở chỗ trên phần ứng của nó chỉ có đặt dây quấn một pha. Dòng điện xoay chiều chạy trong dây quấn đó sẽ sinh ra từ trường đập mạch với tần số của dòng điện. Từ trường đập mạch này có thể xem như tổng hợp của hai từ trường quay thuận và ngược. Từ trường quay thuận có tốc độ quay đồng bộ với từ trường của cực từ và quan hệ điện từ giữa hai từ trường đó hoàn toàn giống như ở máy điện đồng bộ ba pha. Từ trường quay ngược có tốc độ $2n_{đb}$ so với từ trường của cực từ (hoặc so với rôto) và sẽ cảm ứng trong các dây quấn đặt ở rôto các dòng điện có tần số $2f$. Các dòng điện này sẽ sinh ra từ trường làm yếu từ trường quay ngược sinh ra chúng. Nếu trên rôto có đặt dây quấn cản, thì từ trường quay ngược sẽ rất nhỏ vì bị giảm nhiều. Trong trường hợp chỉ có dây quấn kích thích thì từ trường quay ngược chỉ bị giảm ở hướng dọc trục và vẫn mạnh ở hướng ngang trục. Sự có mặt của từ trường ngược trong máy điện đồng bộ một pha làm cho tổn hao ở rôto tăng thêm, đồng thời cũng sinh ra dòng điện tần số $3f$ trong dây quấn phần ứng. Vì vậy trong máy điện đồng bộ một pha luôn luôn có đặt dây quấn cản để giảm nhỏ từ trường ngược.

Đồ thị vectơ của máy điện đồng bộ một pha tương tự như của máy điện đồng bộ ba pha. Tuy nhiên điện áp rơi trong máy điện đồng bộ một pha lớn hơn ở máy ba pha vì điện kháng tản từ x_{ou} của nó lớn hơn do ảnh hưởng của từ trường ngược.

31.2. MÁY BIẾN ĐỔI MỘT PHẦN ỨNG

Máy biến đổi một phần ứng là một loại máy điện quay dùng để biến đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều hoặc ngược lại dòng điện một chiều thành dòng điện xoay chiều. Sự biến đổi đó được thực hiện trên cơ sở cấu tạo của máy điện một chiều. Vì s.d.d. cảm ứng trong dây quấn phần ứng của máy điện một chiều là s.d.d., xoay chiều và có thể biểu thị bằng hình đa giác s.d.d., nên ở m điểm cách đều nhau trên dây quấn đó, s.d.d. sẽ lệch pha nhau $2\pi/m$. Nối m điểm đó với m vành trượt đặt trên trục phía không có vành gộp, thì từ các chổi điện tiếp xúc với các vành trượt đó ta sẽ được s.d.d.m pha.

Nếu máy được dùng để biến đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều thì đối với nguồn điện xoay chiều, máy làm việc như động cơ điện đồng bộ và đối với lưới điện một chiều máy làm việc như máy phát điện một chiều.

Trước kia máy biến đổi một phần ứng như vậy thường dùng để cung cấp dòng điện một chiều cho xe điện và các tuyến đường sắt dùng đầu máy điện.

Nếu dùng nó để biến đổi dòng điện một chiều thành dòng điện xoay chiều thì đối với lưới điện một chiều máy biến đổi một phần ứng làm việc như động cơ điện một chiều và đối với lưới điện xoay chiều làm việc như máy phát điện đồng bộ.

Cũng cần chú ý rằng nếu dùng một động cơ sơ cấp kéo máy biến đổi một phần ứng dùng dòng điện một chiều do máy phát ra để cung cấp cho dây quấn kích thích và từ vành trượt lấy ra điện áp xoay chiều thì ta được máy phát điện đồng bộ tự kích thích biến đổi cơ năng lấy từ động cơ sơ cấp thành điện năng xoay chiều.

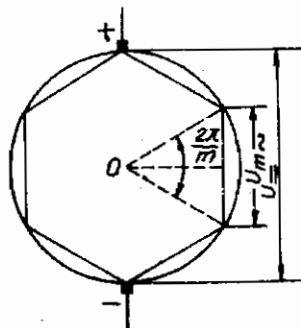
Vì điện áp xoay chiều U_- và một chiều U_+ đều được thực hiện trên cùng một dây quấn nên giữa chúng có một tỷ lệ nhất định. Để xác định tỷ lệ đó có thể dựa vào đồ thị trên hình 31-1 (với $m = 6$), và ta có:

$$U_{m-} = 2 \frac{U}{2} \sin \frac{\pi}{m}$$

hay là:
$$U_- = \frac{U}{\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{m}$$

Thí dụ với $m = 3$ thì $U_- = 0,612U_-$.

Từ phân tích trên ta thấy rằng, ở máy biến đổi một phần ứng, nếu điện áp xoay chiều U_- là tiêu chuẩn thì điện áp một chiều U_- là không tiêu chuẩn và ngược lại.



Hình 31-1. Các điện áp của dây quấn phần ứng của máy biến đổi một phần ứng

Vì máy biến đổi một phần ứng đồng thời làm việc ở hai chế độ máy phát điện và động cơ điện, nên dòng điện trong dây quấn phần ứng là hiệu số của dòng điện xoay chiều và dòng điện một chiều, do đó tổn hao trong dây quấn phần ứng nhỏ hơn tổn hao tương ứng của máy điện xoay chiều. Nếu số pha m lớn thì tổn hao đó càng nhỏ.

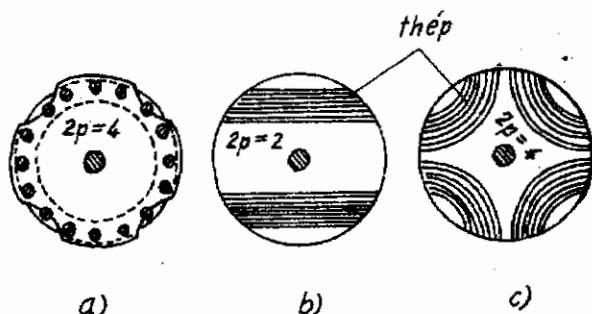
Máy biến đổi một phần ứng có thể mở máy theo phương pháp mở máy không đồng bộ của động cơ điện đồng bộ nếu có đặt dây quấn mở máy ở các cực. Ngoài phương pháp trên cũng có thể mở máy như mở máy động cơ điện một chiều, sau đó hòa đồng bộ với lưới điện xoay chiều.

31.3. ĐỘNG CƠ ĐIỆN PHẦN KHÁNG

Động cơ điện phần kháng thuộc loại máy điện đồng bộ không có dây quấn kích từ và nguyên lý làm việc của nó dựa vào sự khác nhau giữa từ trở dọc trục x_d và ngang trục x_q . Công suất và mômen điện từ của nó đã được phân tích ở tiết 24.4.1.

Để thực hiện được $x_d \neq x_q$, rôto của máy được chế tạo như

trình bày trên hình 31-2. Với cấu tạo như trên hình 31-2a, rôto được ghép bằng những lá thép tròn có những chỗ khuyết để tăng khe hở giữa các cực và do đó tăng từ trở của mạch từ hướng ngang trục. Để mở máy, trên rôto có đặt dây quấn mở máy kiểu lồng sóc. Ở trường hợp của các hình 31-2b và c, rôto được chế tạo bằng cách đổ nhôm vào các tập lá thép. Ở đây nhôm có tác dụng của dây quấn mở máy.



Hình 31-2. Cấu tạo rôto của động cơ điện phân kháng

Do không có dây quấn kích thích, động cơ phân kháng phải lấy dòng điện từ mạng điện và có hệ số công suất $\cos \varphi$ thấp. Trọng lượng của động cơ điện phân kháng thường gấp 2-3 lần trọng lượng của động cơ điện không đồng bộ cùng công suất.

Thông thường các động cơ điện phân kháng được chế tạo với công suất 50 ÷ 100 W.

36.4. ĐỘNG CƠ KIỂU NAM CHÂM VĨNH CỬU

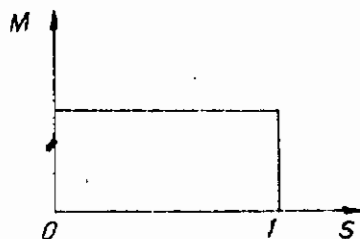
Ở các động cơ điện này, cực từ tạo bởi nam châm vĩnh cửu bằng hợp kim đặc biệt có độ từ dư rất lớn (0,5 ÷ 1,5 T). Các cực từ này có cấu tạo của cực lõi và được đặt ở rôto. Khoảng giữa các cực được đổ nhôm kín và toàn bộ rôto là một khối trụ. Nếu máy

dùng làm động cơ điện thì cần phải đặt thêm dây quấn mô máy kiểu lồng sóc. Vì trên hợp kim nam châm rất khó gia công rãnh, nên thường phải chế tạo lồng sóc như của động cơ không đồng bộ và đặt hai đĩa nam châm ở hai đầu. Với kết cấu như vậy sẽ tốn vật liệu hơn và thường chế tạo đến công suất $30 + 40 \text{ W}$. Trong trường hợp dùng như máy phát, do không cần có dây quấn mô máy, công suất có thể nâng lên tới $5 + 10 \text{ kW}$ và đôi khi đến 100 kW .

31.5. ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ KIỂU TỪ TRỄ

Động cơ điện từ trễ khác với động cơ điện nam châm vĩnh cửu ở chỗ rôto của nó không được từ hóa sẵn mà chỉ được từ hóa khi làm việc dưới tác dụng của từ trường quay của stato. Vật liệu chế tạo rôto là hợp kim từ cứng có chu trình từ trễ rộng. Kết quả của sự từ hóa đó làm từ trường của rôto sẽ lệch sau từ trường của stato một góc từ trễ θ_{11} có độ lớn phụ thuộc vào vật liệu chế tạo rôto và dấu phụ thuộc vào mômen tác dụng trên trục máy. Ở trường hợp động cơ điện, từ trường quay của stato vượt từ trường rôto và góc θ_{11} là âm. Ngược lại, ở trường hợp máy phát

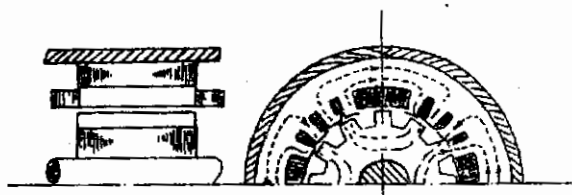
điện, từ trường của stato chậm sau và góc θ_{11} là dương. Mômen điện từ sinh ra do hiện tượng từ trễ có dạng như trên hình 31-3, nghĩa là không phụ thuộc vào tốc độ. Máy điện đồng bộ kiểu từ trễ được dùng chủ yếu làm động cơ điện. So với động cơ điện phản kháng thì động cơ điện từ trễ có ưu điểm hơn vì không cần đến dây quấn mô máy, kích thước nhỏ và hệ số công suất $\cos \varphi$ cao hơn. Công suất của động cơ điện từ trễ có thể đến $300 + 400 \text{ W}$.



Hình 31-3. Đặc tính mômen của động cơ điện đồng bộ từ trễ

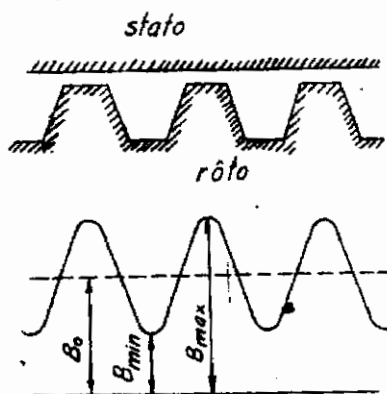
31.6. MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ CẢM ỨNG (MÁY PHÁT CẢM ỨNG TẦN SỐ CAO)

Trong sản xuất, một số thiết bị dùng trong luyện kim, vô tuyến điện, hàn,... cần dòng điện xoay chiều một hoặc ba pha tần số cao ($400 + 3000 \text{ Hz}$). Biện pháp tăng số đôi cực p hoặc tốc độ quay n trong các máy phát đồng bộ để thực hiện tần số cao nói trên bị hạn chế, do cấu tạo máy hoặc sức bền vật liệu không cho phép. Trong trường hợp này phải dùng máy phát cảm ứng có tần số cao gây ra bởi sóng điều hòa răng của từ trường đập mạch.



Hình 31-4. Cấu tạo của máy phát điện đồng bộ cảm ứng

Cấu tạo của máy phát điện đồng bộ cảm ứng như hình 31-4. Trong các rãnh lớn ở stato có đặt dây quấn kích từ và trong các



Hình 31-5. Từ trường ở khe hở của
phát đồng bộ kiểu cảm ứng.

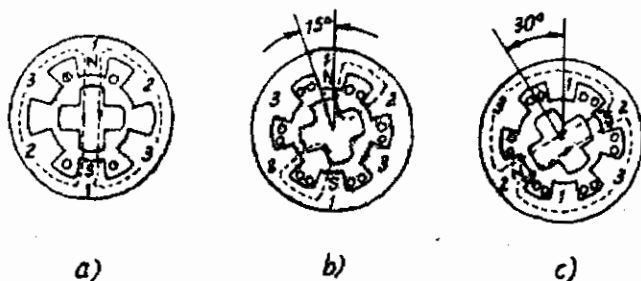
rãnh nhỏ đặt dây quấn xoay chiều. Rôto có dạng bánh xe răng và không có dây quấn. Sự phân bố từ trường dọc khe hở như trên hình 31-5. Khi rôto quay, từ trường đó đập mạch và được xem như tổng của hai thành phần. Thành phần thứ nhất B_0 có trị số không thay đổi và không chuyển động so với stato, do đó không sinh ra s.d.đ. cảm ứng trong dây quấn stato; thành phần thứ hai

phân bố hình sin có biên độ $\frac{B_{\max} - B_{\min}}{2}$ và chuyển động cùng với rôto sẽ cảm ứng trong dây quấn xoay chiều s.d.d. có tần số $f = Z_2 n$, trong đó Z_2 là số răng của rôto.

31.7. ĐỘNG CƠ BƯỚC

Động cơ bước là loại động cơ quay gián đoạn từng góc độ xác định dưới tác dụng của mạch điện xung đặt vào dây quấn stato của nó. Các động cơ bước được dùng trong các mạch tự động và điều chỉnh, ví dụ trong máy cắt gọt làm việc theo chương trình.

Hình 31-6 trình bày cấu tạo của động cơ bước đơn, đơn giản nhất có ba đôi cực ở stato và hai đôi cực ở rôto. Khi dây quấn ở đôi cực 1-1 có dòng điện thì rôto có vị trí như ở hình 31-6a. Tiếp theo, khi dây quấn ở đôi cực 1-1, 2-2 có dòng điện thì rôto quay đi một góc 15° như trên hình 31-6b. Ngắt dòng điện trong dây quấn của đôi cực 1-1 thì rôto quay tiếp thêm 15° , v.v...



Hình 31-6. Nguyên lý làm việc của động cơ bước

Góc quay có thể thay đổi được bằng cách tăng giảm số cực hoặc ghép vài đôi stato và rôto lệch nhau một góc nhất định trên cùng một trục.

Với các cấu tạo khác nhau, động cơ bước có thể cho các góc quay từ 180° đến 1° hoặc nhỏ hơn. Tần số xung giới hạn khiến

cho động cơ có thể mở máy và đứng mà không mất bước vào khoảng $100 \div 10000 \text{ Hz}$.

Câu hỏi

1. Có thể đem một máy phát điện ba pha không có dây trung tính dùng làm máy phát điện một pha được không? Khi dùng như vậy công suất của máy sẽ giảm đi bao nhiêu?

2. Hãy so sánh ưu khuyết điểm của ba loại động cơ đồng bộ phản kháng, nam châm vĩnh cửu và từ trễ.

3. Để động cơ bước có thể làm việc được, dòng điện xung đưa vào các dây quấn của stato phải là dòng điện một chiều hay dòng điện xoay chiều?

PHẦN THỨ NĂM

MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Chương 32

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 hay dùng trong những điều kiện làm việc khác.

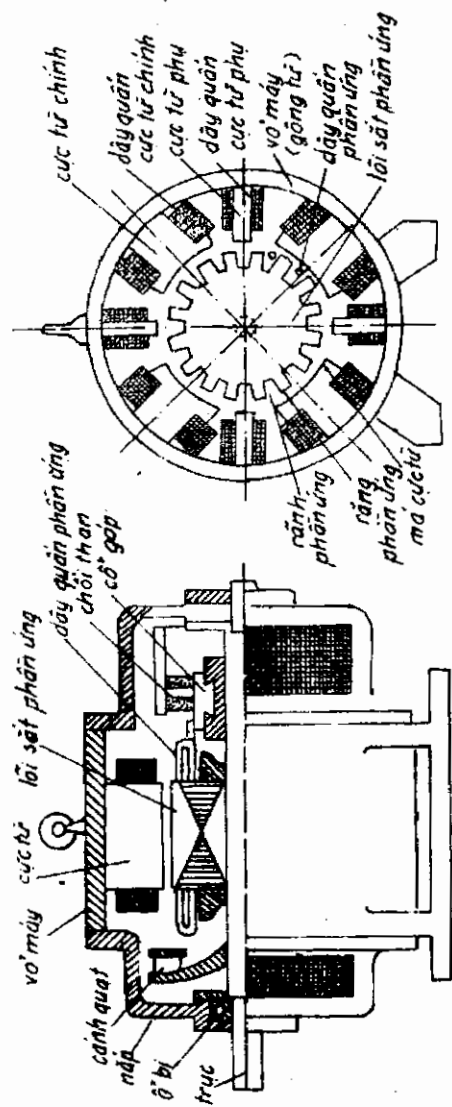
Động cơ điện một chiều có đặc tính điều chỉnh tốc độ rất tốt, vì vậy máy được dùng nhiều trong những ngành công nghiệp có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ như cán thép, hầm mỏ, giao thông vận tải...

Máy phát điện một chiều dùng làm nguồn điện cho các động cơ điện một chiều, làm nguồn điện một chiều kích thích từ trong máy điện đồng bộ. Ngoài ra trong công nghiệp điện hóa học như tinh luyện đồng, nhôm, mạ điện... cũng cần dùng nguồn điện một chiều điện áp thấp. Máy điện một chiều cũng có những nhược điểm của nó như so với máy điện xoay chiều thì giá thành đắt hơn, sử dụng nhiều kim loại màu hơn, chế tạo và bảo quản cổ góp phức tạp... nhưng do những ưu điểm của nó nên máy điện một chiều vẫn còn có một tầm quan trọng nhất định trong sản xuất.

Công suất lớn nhất của máy điện một chiều hiện nay vào khoảng 10.000 kW, điện áp vào khoảng vài trăm cho đến 1000 V. Hướng phát triển hiện nay là cải tiến tính năng của vật liệu, nâng cao chỉ tiêu kinh tế của máy và chế tạo những máy công suất lớn hơn.

32.1. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Kết cấu chủ yếu của máy điện một chiều như hình 32-1 và có



Hình 32-1. Mặt cắt ngang và dọc của máy điện một chiều

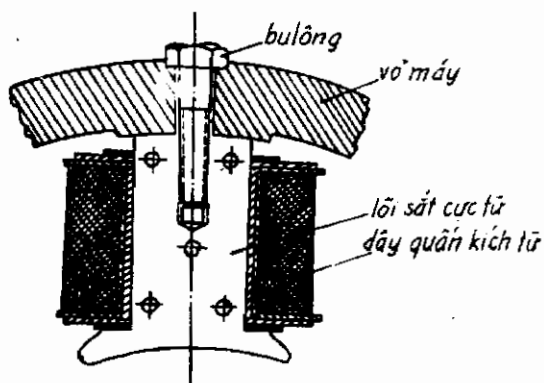
thể phân thành hai phần chính là phần tĩnh và phần quay.

32.1.1. Phần tĩnh hay stato

Đây là phần đứng yên của máy. Phần tĩnh gồm các bộ phận tĩnh sau:

a. Cực từ chính

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 1 mm 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 (hình 32-2). Dây quấn kích từ được quấn bằng dây đồng bọc cách điện và mỗi cuộn dây đều được bọc cách điện kỹ thành một khối và



Hình 32-2. Cực từ chính

tấm 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.

b. Cực từ phụ

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 những bulông.

c. Gông từ

Gông từ dùng để làm mạch từ nối liền các cực từ, đồng thời làm vỏ máy. Trong máy điện nhỏ và vừa thường dùng thép tấm

dây uốn và hàn lại. Trong máy điện lớn thường dùng thép đúc. Có khi trong máy điện nhỏ dùng gang làm vỏ máy.

d. Các bộ phận khác

Các bộ phận khác gồm có:

- *Nắp máy.* Để 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 nhỏ và vừa, nắp máy còn có tác dụng làm giá đỡ ổ bi. Trong trường hợp này nắp máy thường làm bằng gang.

- *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 một 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.

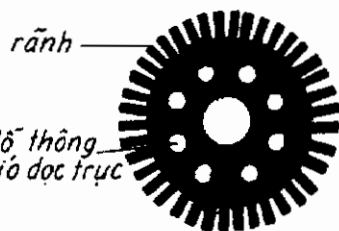
32.1.2. Phần quay hay rôto

Phần quay gồm có những bộ phận sau:

a. Lõi sắt phần ứng

Lõi sắt phần ứng dùng để dẫn từ. Thường dùng những tấm thép kỹ thuật điện (thép hợp kim silic) dày 0,5 mm phủ cách điện mỏng ở hai 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 lên, 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 32-3).



Trong những máy điện hơi lớn

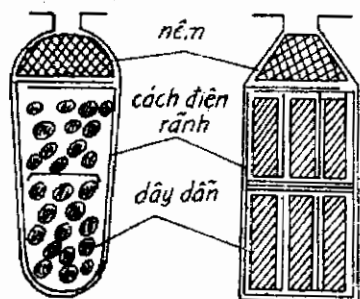
Hình 32-3. Lá thép phần ứng

thì lõi sắt thường chia thành từng đoạn nhỏ. Giữa các đoạn ấy có để một 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.

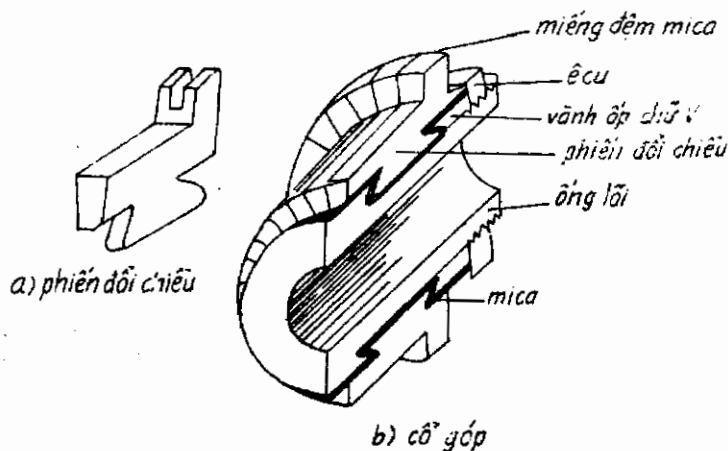
Trong máy điện nhỏ, lõi sắt phần ứng được ép trực tiếp vào trục. Trong máy điện lớn, giữa trục và lõi sắt có đặt giá rôto. Dùng giá rôto có thể tiết kiệm thép kỹ thuật điện và giảm nhẹ trọng lượng rôto.

b. Dây quấn phần ứng

Dây quấn phần ứng là phần sinh ra s.đ.d và có dòng điện chạy qua. Dây quấn phần ứng thường làm bằng dây đồng có bọc cách điện. Trong máy điện nhỏ (công suất dưới vài kilôoat thường dùng dây có tiết diện tròn. Trong máy điện vừa và lớn, thường dùng dây tiết diện chữ nhật. Dây quấn được cách điện



Hình 32-4. Mặt cắt rãnh phần ứng



Hình 32-5. Phiến đổi chiều và cổ góp

cán thận với rãnh của lõi thép.

Để tránh khi quay bị văng ra do sức ly tâm, ở miệng rãnh có dùng nệm để dè chặt hoặc phải đai chặt dây quấn. Nệm có thể làm bằng tre, gỗ hay bakelit (hình 32-4).

c. Cổ góp

Cổ góp (còn gọi là vành góp hay vành đổi chiều) dùng để đổi chiều dòng điện xoay chiều thành một chiều.

Kết cấu của cổ góp như hình 32-5. Cổ góp gồm có nhiều phiến đồng có đuôi nhọn (hình 32-5a) cách điện với nhau bằng lớp mica dày 0,4 đến 1,2 mm và hợp thành một hình trụ tròn. Hai đầu trụ tròn dùng hai vành ốp hình chữ V ép chặt lại. Giữa vành ốp và trụ tròn cũng cách điện bằng mica (hình 32-5b). 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.

d. Các bộ phận khác

Các bộ phận khác gồm có:

- *Cánh quạt*: dùng để quạt gió làm nguội máy. Máy điện một chiều thường chế tạo theo kiểu bảo vệ. Ở hai đầu nắp máy có lỗ thông gió. Cánh quạt lắp trên trục máy. Khi máy quay, cánh quạt hút gió từ ngoài vào máy. Gió đi qua vành góp, cực từ, lõi sắt và dây quấn rồi qua quạt gió ra ngoài 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.

32.2. 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 lượng định mức. Trên nhãn máy thường ghi những đại lượng sau:

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} (vòng/ph).

Ngoài ra còn ghi kiểu máy, phương pháp kích từ, dòng điện kích từ và các số liệu về điều kiện sử dụng v.v...

Cần chú ý là công suất định mức ở đây là chỉ công suất đưa ra của máy điện. Đối với máy phát điện, đó là công suất điện đưa ra ở đầu cực của máy. Đối với động cơ điện, thì đó là công suất cơ đưa ra ở đầu trục.

Câu hỏi

1. Tại sao lõi sắt phần ứng phải làm bằng thép kỹ thuật điện, cực từ thì có thể dùng thép kỹ thuật điện hay thép lá thường ghép lại, còn gông cực từ lại dùng thép đúc hoặc thép tấm uốn lại? 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.

Chương 33

QUÁ TRÌNH ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

33.1. MÔMEN ĐIỆN TỪ VÀ CÔNG SUẤT

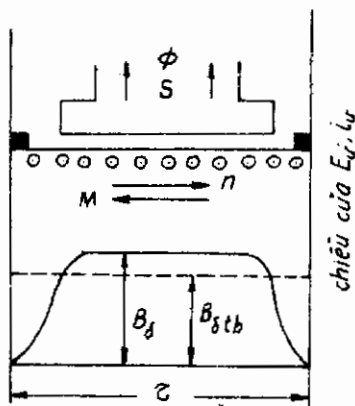
Khi máy điện làm việc, trong dây quấn phần ứng sẽ có dòng điện chạy qua. Tác dụng của từ trường lên dây dẫn có dòng điện sẽ sinh ra mômen điện từ trên trục máy.

Giả thiết ở một chế độ làm việc nào đó của máy điện một chiều, từ trường và dòng điện phần ứng ở dưới một cực như hình 33-1, thì 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:

$$f = B_{\text{th}} l i_u \quad (33-4)$$

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 phần ứng bằng:



Hình 33.1. Xác định s.d.d phần ứng và mômen điện từ trong máy phát điện một chiều.

$$M = B_{tb} \frac{I_u}{2a} \ln \frac{D}{2} \quad (33-2)$$

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.

Do $D = \frac{2pr}{\pi}$, $B_{tb} = \frac{\Phi_\delta}{\pi l}$ nên ta có:

$$M = \frac{pN}{2a\pi} \Phi_\delta I_u = C_M \Phi_\delta I_u \quad Mm \quad (33-3)$$

trong đó:

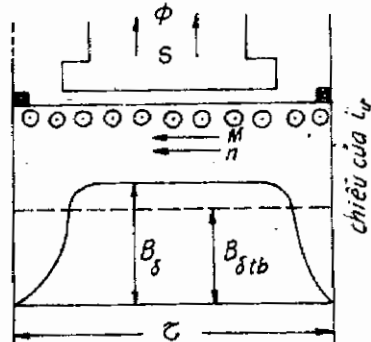
Φ_δ - từ thông dưới mỗi cực tính bằng Wb;

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

Nếu tính bằng $KG.m$ thì công thức (33-3) phải chia cho 9,81.

$$M = \frac{1}{9,81} \frac{pN}{2a\pi} \Phi_\delta I_u \quad KG.m \quad (33-6)$$

Trong máy phát điện, khi quay máy theo một chiều nhất định trong từ trường thì trong dây dẫn sẽ sinh ra s.d.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.d.đ nên mômen điện từ sinh ra sẽ ngược chiều với chiều quay của máy. Vì vậy ở máy phát điện, mômen



Hình 33-2. Xác định mômen điện từ trong động cơ điện một chiều

điện từ là một mômen hãm (hình 33-1).

Trong động cơ điện, khi cho dòng điện vào phần 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 33-2).

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

$$P_{dt} = M\omega \quad (33-5)$$

trong đó:

M - là mômen điện từ;

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} - \text{tốc độ góc phần ứng}$$

Thay vào công thức (33-5) ta có:

$$\begin{aligned} P_{dt} = M\omega &= \frac{pN}{2a\pi} \Phi_{\delta} I_u \cdot \frac{2\pi n}{60} = \frac{pN}{60a} n \Phi_{\delta} I_u \\ &= E_u I_u \end{aligned} \quad (33-6)$$

Từ công thức này ta thấy được quan hệ giữa công suất điện từ với mômen điện từ và sự trao đổi năng lượng trong máy điện. 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 $M\omega$.

33.2. QUÁ TRÌNH NĂNG LƯỢNG VÀ CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG

33.2.1. Tổn hao trong máy điện một chiều

Trong máy điện một chiều, đại bộ phận công suất cơ biến thành công suất điện (máy phát) hay công suất điện biến thành công suất cơ (động cơ). Chỉ có một bộ phận rất ít biến thành tổn hao trong máy dưới hình thức nhiệt tỏa ra ngoài không khí. Tổn hao trong máy tùy theo tính chất được phân làm bốn loại sau:

a. Tổn hao $p_{cơ}$: Bao gồm tổn hao ổ 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 p_{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 tỷ 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:

$$p_o = p_{cơ} + p_{Fe} \quad (33-7)$$

Tổn hao cơ và sắt sinh ra mômen hãm và mômen này tồn tại khi không tải nên gọi là mômen không tải M_o . Quan hệ giữa M_o và p_o như sau:

$$M_o = \frac{p_o}{\omega} \quad (33-8)$$

trong đó ω là tốc độ góc của rôto.

c. Tổn hao đồng p_{Cu} : tổn hao đồng bao gồm hai phần: tổn hao đồng trong mạch phản ứng $p_{Cu,u}$ và tổn hao đồng trong mạch kích thích $p_{Cu,t}$.

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

Hiện nay thường gộp tất cả các tổn hao đồng trên phần ứng lại và viết dưới dạng $p_u = I_u^2 R_u$ trong đó $R_u = r_u + r_f + r_{lx}$ bao gồm điện trở dây quấn phần ứng r_u , điện trở dây quấn phụ r_f và điện trở tiếp xúc chổi than p_{lx} , mặc dầu r_{lx} thực tế không phải là không đổi.

Tổn hao đồng trong mạch kích thích bao gồm tổn hao đồng

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

d. Tổn hao phụ p_f . Trong đồng và thép đều sinh ra hao tổn phụ.

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 một chiều p_f tương đối khó tính. Thường lấy bằng 1% công suất định mức.

33.3.2. 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.

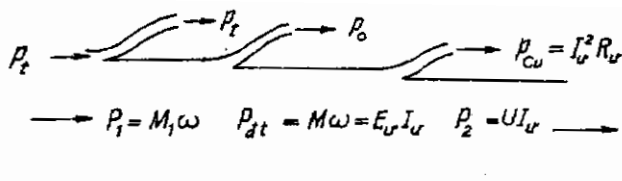
Giả thiết công suất kích từ do một máy khác cung cấp nên không tính vào công suất đưa từ động cơ sơ cấp vào máy phát điện.

Công suất cơ đưa vào P_1 , tiêu hao đi một phần để bù vào tổn hao cơ p_{co} và tổn hao sắt p_{Fe} , còn đại bộ phận biến đổi thành công suất điện từ P_{dt} . Ta có:

$$P_1 = P_{dt} + (p_{co} + p_{Fe}) = P_{dt} + p_o \quad (33-9)$$

$$P_{dt} = E_u I_u \quad (33-10)$$

Khi có dòng điện chạy trong dây dẫn thì có tổn hao đồng, nên



Hình 33-3. Giản đồ năng lượng của máy phát điện một chiều

công suất điện đưa ra P_2 bằng:

$$P_2 = P_{dt} - p_{cu} = E_u I_u - I_u^2 R_u = U I_u. \quad (33-11)$$

Giản đồ năng lượng như ở hình 33-3.

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

$$U = E_u - I_u R_u. \quad (33-12)$$

Đó là phương trình cân bằng s.d.d của máy phát điện một chiều.

Có thể viết công suất cơ đưa vào, công suất không tải và công suất điện từ theo dạng mômen nhân với tốc độ góc và như vậy công thức (33-9) có thể viết thành:

$$M_1 \omega = M_o \omega + M \omega$$

Chia hai vế cho ω ta được:

$$M_1 = M_o + M \quad (33-13)$$

trong đó:

M_1 - mômen đưa vào;

M - mômen điện từ;

M_o - mômen không tải.

Quan hệ (33-13) gọi là phương trình cân bằng mômen của máy phát điện một chiều.

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 điện nhận được từ lưới vào, bằng:

$$P_1 = UI = U(I_u + I_l) \quad (33-14)$$

trong đó:

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

U - điện áp ở đầu cực máy.

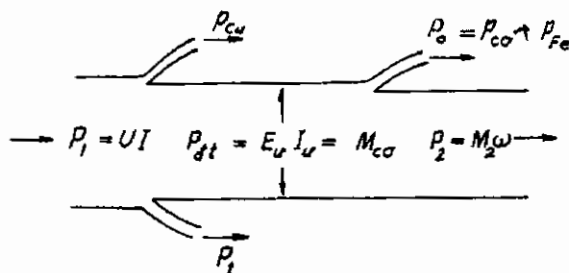
Công suất P_1 , một phần cung cấp cho mạch kích thích UI_l còn phần lớn đi vào phần ứng UI_u , tiêu hao một ít trên dây quấn đồng trong mạch phần ứng $p_{Cu.u}$, còn đại bộ phận là công suất điện từ P_{dt} . Ta có:

$$P_1 = p_{Cu.u} + p_{Cu.l} + P_{dt} \quad (33-15)$$

Công suất điện từ sau khi chuyển thành công suất cơ thì còn tiêu hao một ít để bù vào tổn hao cơ $p_{cơ}$ và tổn hao sắt p_{Fe} (gọi chung là tổn hao không tải hay công suất không tải p_0). Cuối cùng phần còn lại là công suất đưa ra ở đầu trục $P_2 = M_2\omega$. Ta có:

$$P_{dt} = p_{cơ} + p_{Fe} + P_2 = p_0 + P_2 \quad (33-16)$$

Giản đồ năng lượng như ở hình 33-4.



Hình 33-4. Giản đồ năng lượng động cơ điện một chiều

Từ công thức (33-14) và (33-15) ta có công suất điện trong mạch phần ứng bằng:

$$UI_u = P_{dt} + p_{Cu.u} = E_u I_u + I_u^2 R_u \quad (33-17)$$

Chia hai vế cho I_u ta được phương trình:

$$U = E_u + I_u R_u \quad (33-18)$$

Đó là phương trình cân bằng s.d.đ của động cơ điện một chiều.

Cũng từ công thức (33-19) ta có thể viết:

$$M\omega = M_0\omega + M_2\omega \quad (33-19)$$

Chia hai vế cho ω ta được:

$$M = M_0 + M_2 \quad (33-20)$$

trong đó:

M_2 - mômen đưa ra đầu trục máy;

M_0 - mômen không tải.

Quan hệ (33-23) gọi là phương trình cân bằng mômen của động cơ điện một chiều.

33.4. TÍNH CHẤT THUẬN NGHỊCH TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Máy điện một chiều có thể dùng làm máy phát điện, cũng có thể dùng làm động cơ điện. Qua sự nghiên cứu ở các mục trên ta thấy 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 khác nhau thì máy sẽ có tính chất làm việc khác nhau.

Giả sử máy đang làm việc ở trạng thái máy phát. Ta có dòng điện đưa ra $I_u = \frac{E_u - U}{R_u}$ nghĩa là $E_u > U$. Máy sinh ra mômen điện từ hãm. Nếu ta giảm từ thông Φ hoặc tốc độ n để giảm E_u xuống một cách thích đáng thì E_u sẽ nhỏ hơn U và dòng điện I_u sẽ đổi chiều, E_u và I_u ngược chiều nhau. Do chiều của từ thông Φ không đổi nên mômen điện từ ($M = C_M \Phi I_u$) sẽ đổi dấu nghĩa là M và n đã thành 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. Tách động cơ sơ cấp ra ta sẽ được một động cơ điện một chiều thông thường:

33.5. Thí dụ

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

Giải

Giữ dòng điện kích từ không đổi nghĩa là từ thông Φ_n không đổi.

Theo công thức (4-3) ta có:

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

Do đó khi $E_{o,đm} = 220 \text{ V}$ ta được:

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

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

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

S.d.d phần ứng:

$$E_u = U - I_u R_u - 2\Delta U_{tx} = 110 - (57,2 \times 0,15) - 2 = 99,4 \text{ V.}$$

Mômen điện từ:

$$M = \frac{E_u I_u}{\omega} = \frac{E_u I_u}{2\pi n} = \frac{99,4 \times 57,2}{2\pi \times 1470} = 36,9 \text{ N.m.}$$

Nếu tính ra $kG.m$ thì:

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

Câu hỏi

1. S.d.d. trong máy điện một chiều phụ thuộc vào những yếu tố nào?

2. Tự phân tích giản đồ năng lượng của máy phát và động cơ điện một chiều, từ đó dẫn ra các quan hệ về công suất, mômen, dòng điện và s.d.d.

Bài tập

1. Một động cơ điện một chiều kích thích song song có các số liệu sau:

$U_{dm} = 220 \text{ V}$, $R_u = 0,4 \Omega$, $I_{dm} = 52 \text{ A}$, $r_l = 110 \Omega$ và tốc độ không tải $n_0 = 1100 \text{ vg/ph}$. Hãy tìm:

- S.d.d. phần 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.

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

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

$$P_{dt} = 10 \text{ kW}, M_{dt} = 95,5 \text{ Nm}$$

2. Một động cơ điện một chiều kích thích song song có các số

liệu sau: $P_{dm} = 96 \text{ kW}$, $U_{dm} = 440 \text{ V}$, $I_{dm} = 225 \text{ A}$, $T_l = 5 \text{ A}$,
 $n_{dm} = 500 \text{ vg/ph}$, $R_u = 0,078 \Omega$. Hãy tìm:

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

$$\text{Đáp số: } M_2 = 1833,5 \text{ Nm}$$

$$M_{dt} = 2007,7 \text{ Nm}$$

$$n_0 = 523 \text{ vg/ph}$$

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.d.đ lúc không tải $E_0 = 176 \text{ V}$. Hỏi s.d.đ và dòng điện phản ứng lúc tải định mức của máy là bao nhiêu, biết rằng điện trở phần ứng $R_u = 0,4\Omega$.

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

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

Chương 34

TỪ TRƯỜNG LÚC CÓ TẢI

34.1. ĐẠI CƯƠNG

Khi máy điện làm việc không tải, trong máy chỉ có dòng điện trong dây quấn kích thích từ sinh ra từ trường. Từ trường đó gọi là từ trường lúc không tải. Khi máy có tải, trong dây quấn phần ứng có dòng điện tải chạy qua. Dòng điện này còn chạy qua dây quấn cực từ phụ và trong những máy lớn còn chạy qua cả dây quấn bù. Dòng điện chạy qua các dây quấn đó sẽ sinh ra từ trường cho nên khi có tải, trong máy, ngoài từ trường cực từ chính ra còn có từ trường phần ứng, từ trường cực từ phụ và từ trường dây quấn bù.

Tất cả các từ trường đó tác dụng với nhau để thành từ trường khe hở làm thay đổi từ trường lúc không tải của máy.

Để nghiên cứu được rõ ràng từ trường trong máy lúc có tải, trước hết xét riêng từ trường sinh ra trong các dây quấn rồi dùng nguyên lý xếp chồng tìm ra từ trường tổng của máy, từ đó thấy rõ tác dụng của từ trường các dây quấn đối với từ trường lúc không tải. Để đơn giản hóa vấn đề, lúc dùng nguyên lý xếp chồng ta giả thiết mạch từ không bão hòa, sau đó sẽ xét đến ảnh hưởng của bão hòa sau.

Trong chương 12 đã trình bày kỹ từ trường lúc không tải, vì vậy ở đây chỉ xét đến các từ trường khác sinh ra lúc có tải.

34.2. TỪ TRƯỜNG PHẦN ỨNG

34.2.1. Chiều của từ trường phần ứng

Muốn tạo nên một từ trường phần ứng riêng, ta cho qua chổi

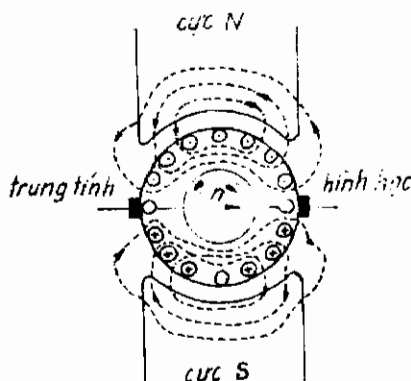
than vào phần ứng một dòng điện một chiều sao cho chiều dòng điện trong các thanh dẫn giống như lúc máy làm việc bình thường.

Hình 34-1 vẽ chổi than ở trên đường trung tính hình học và không xét đến từ trường cực từ chính.

Khi trong phần ứng có dòng điện thì bản thân phần ứng là một nam châm điện. Ta cần chú ý là dù máy quay hay không thì sự phân bố của dòng điện trong dây dẫn vẫn không đổi, nghĩa là dòng điện ở hai bên chổi than khác dấu nhau. Vì vậy từ trường phần ứng sinh ra đứng yên mà trục s.t.d của nó luôn luôn trùng với trục chổi than. Ở đây nói đến trục s.t.d là chỉ trục s.t.d tổng của cả dây quấn sinh ra mà không riêng gì phần từ dây quấn nào, cho nên dù là kiểu dây quấn gì thì kết luận trên vẫn đúng.

Nếu ta quay chổi than đi một góc khỏi đường trung tính hình học tương đương với một khoảng cách b trên phần ứng như ở hình 34-2, thì sự phân bố của dòng điện ứng với vị trí chổi than không đổi nên trục s.t.d cũng quay đi một góc và luôn luôn trùng với trục chổi than. Ta có thể phân s.t.d phần ứng F_u đó ra làm hai thành phần: thành phần thẳng góc với s.t.d cực từ gọi là s.t.d ngang trục F_{uq} và thành phần cùng trục với s.t.d cực từ gọi là s.t.d dọc trục F_{ud} .

Theo h. 34-2 ta có thể coi như s.t.d ngang trục do dòng điện trong cung AB và CD sinh ra, còn s.t.d dọc trục do dòng điện trong cung AD và CB sinh ra (cung này bằng $2b$).



Hình 34-1. Từ trường phần ứng khi chổi than ở đường trung tính hình học

34.2.2. Sự phân bố của từ trường trên bề mặt phần ứng

Theo hình 34-1 ta thấy dưới mỗi cực từ, đường sức từ đi ra ở dưới 1/2 cực từ và đi vào ở dưới 1/2 cực từ, do đó tác dụng của nó trong khe hở ở dưới hai nửa cực từ có chiều ngược nhau.

Theo định luật toàn dòng điện, ở điểm giữa mạch nhánh dây quấn giữa hai chổi than, nghĩa là ở tâm cực từ khi chổi than ở trên đường trung tính hình học tác dụng của s.t.d phần ứng bằng 0. Vì vậy thường lấy điểm giữa hai chổi than làm gốc để xét sự phân bố của s.t.d phần ứng trên bề mặt phần ứng.

Giả thiết bề mặt phần ứng nhẵn, khe hở đều dưới mặt cực từ và dây quấn phần ứng phân bố đều trên mặt phần ứng. Gọi N là

tổng số thanh dẫn của dây quấn, $i_u = \frac{I_u}{2a}$ là dòng điện trong thanh

dẫn (trong đó I_u là dòng điện phần ứng, a là số đôi mạch nhánh) thì số ampe thanh dẫn trên đơn vị chiều dài của chu vi phần ứng bằng:

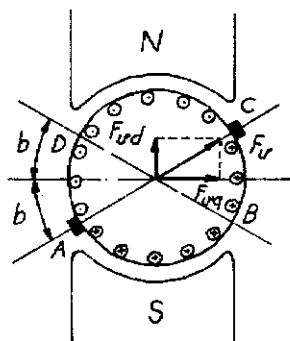
$$A = \frac{Ni_u}{\pi D} \text{ A/cm} \quad (34-1)$$

trong đó:

D - đường kính ngoài phần ứng tính bằng cm .

Trị số A gọi là phụ tải đường của phần ứng. Đó là một tham số quan trọng trong khi thiết kế máy điện.

Theo định luật toàn dòng điện, nếu lấy mạch vòng đối xứng với điểm giữa của hai chổi than thì ở một điểm cách gốc một



Hình 34-2. Từ trường phần ứng khi chổi than không ở trên đường trung tính hình học

khoảng cách x , s.t.d phân ứng sẽ bằng:

$$F_{ux} = A2x \text{ A/dôi cực}$$

Rõ ràng là s.t.d phân ứng sẽ lớn nhất ở chổi điện, nghĩa là

$x = \frac{r}{2}$. Lúc đó s.t.d phân ứng sẽ bằng:

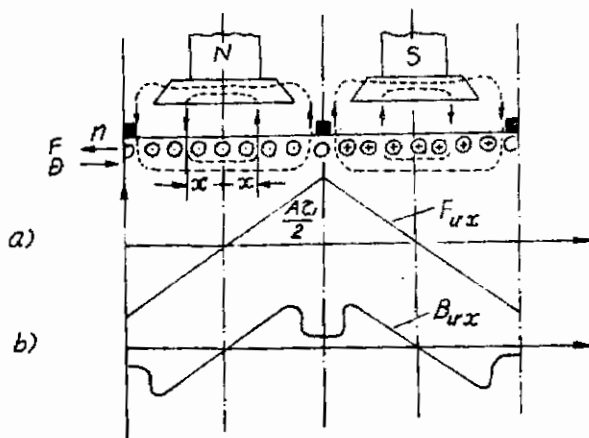
$$F_u = A \cdot 2 \frac{r}{2} = Ar; \text{ A/dôi cực} \quad (34-2)$$

trong đó r là bước cực tính bằng cm .

Vì A và i_u đều tỷ lệ với I_u nên F_u tỷ lệ với I_u nghĩa là khi dòng điện tải do đó dòng điện I_u càng lớn thì s.t.d phân ứng càng lớn.

Sự phân bố của s.t.d phân ứng trên bề mặt phân ứng như ở hình 34-3a.

Nếu bỏ qua từ trở của thép thì từ trở của mạch từ phân ứng chỉ còn là hai khe hở không khí nên từ cảm phân ứng ở dưới mặt cực từ bằng:



Hình 34-3. Đường phân bố s.t.d và từ cảm phân ứng khi chổi than ở trên đường trung tính hình học

$$B_{ux} = \mu_0 H_{ux} = \mu_0 \frac{F_{ux}}{2b} = \mu \times \frac{A}{b} \quad (34-3)$$

trong đó H_{ux} là cường độ từ trường phần ứng ở điểm cách gốc một đoạn x .

Từ công thức (34-3) ta thấy từ cảm dưới mặt cực giống như đường cong s.t.d nhưng ở giữa hai cực từ, từ cảm giảm đi rất nhiều do chiều dài đường từ trong không khí tăng lên, cho nên đường cong từ cảm có dạng yên ngựa (hình 34-3b).

Nếu chổi than không ở trên đường trung tính hình học mà lệch đi một góc tương đương với một khoảng cách b trên chu vi phần ứng (hình 34-2) thì dưới mỗi bước cực, trong phạm vi $2b$ dòng điện sinh ra s.t.d dọc trục F_{ud} và trong phạm vi $(\tau - 2b)$ sinh ra s.t.d ngang trục F_{uq} . Do đó ta có:

$$F_{ud} = A \cdot 2b \cdot A/d\text{ôi cực}, \quad (34-4)$$

$$F_{uq} = A(\tau - 2b) (A/d\text{ôi cực}). \quad (34-5)$$

Tóm lại, từ trường phần ứng phụ thuộc vào vị trí chổi điện và mức độ của tải và chính những yếu tố đó quyết định tính chất của tác dụng của từ trường phần ứng lên từ trường cực từ chính.

34.2.3. Phản ứng phần ứng trong máy điện một chiều

Khi máy điện làm việc có tải, dòng điện trong phần ứng sinh ra từ trường phần ứng. Tác dụng của từ trường phần ứng với từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng.

Trước khi xét đến tác dụng của phản ứng phần ứng ta cần chú ý một điểm là nếu máy có chiều dòng điện và cực tính của cực từ như trong hình 34-1 và 34-2 thì chiều quay của máy phát và của động cơ điện sẽ ngược nhau và chiều đó được ký hiệu bằng những mũi tên như trong hình vẽ.

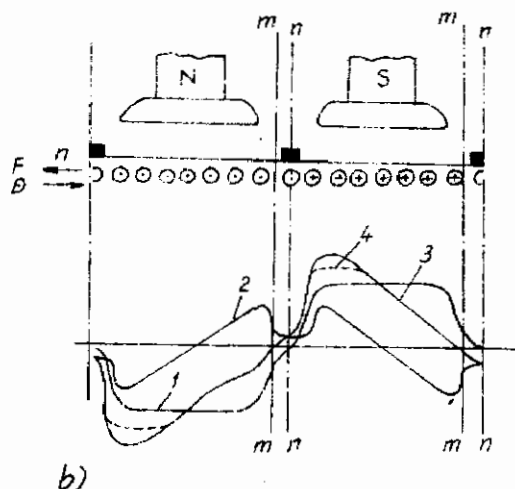
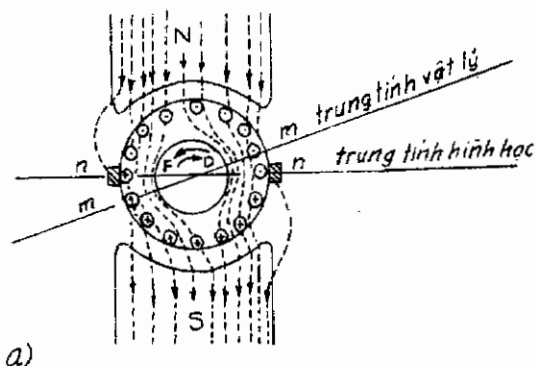
Sau đây sẽ nghiên cứu hai trường hợp: chổi than ở trên đường trung tính hình học và không ở trên đường trung tính hình học.

1. Chổi than đặt ở trên đường trung tính hình học

Sự phân bố của từ thông tổng do từ trường cực từ chính và từ trường phản ứng hợp lại như ở hình 34-4a. Cũng có thể dùng hình khai triển của nó (hình 34-4b) để phân tích sự thay đổi của từ thông khe hở khi có phản ứng phản ứng. Trong hình 34-4b đường 1 chỉ sự phân bố của từ trường chính, đường 2 là sự phân bố của từ trường phản ứng

Khi mạch từ không bão hòa thì theo nguyên lý xếp chồng, sự phân bố của từ trường tổng như đường 3, nghĩa là cộng hai từ trường cực từ chính và phản ứng lại. Nhưng khi mạch từ bão hòa thì dùng nguyên lý xếp chồng không hoàn toàn đúng vì lúc mạch từ bão hòa thì từ thông không tăng tỷ lệ theo s.t.d nữa, nên thực tế sự phân bố từ trường tổng như đường 4.

Từ những phân tích trên ta được những kết luận về tác dụng của phản ứng phản ứng như sau:



Hình 34-4. Phản ứng phản ứng (khi chổi than ở trên đường trung tính hình học)

a. Khi chổi than ở trên đường trung tính hình học chỉ có phản ứng ngang trục mà tác dụng của nó là làm méo từ trường khe hở. Đối với máy phát thì ở móm ra cực từ (móm cực từ mà phản ứng đi ra) máy được trợ từ, ở móm vào của cực từ thì khử từ. Đối với động cơ thì chiều quay ngược với máy phát nên kết luận ngược lại.

b. Nếu mạch từ không bão hòa thì từ trường tổng không đổi vì tác dụng trợ từ và khử từ như nhau. Nếu mạch từ bão hòa thì do tác dụng trợ từ ít hơn tác dụng khử từ nên từ thông tổng dưới mỗi cực giảm đi một ít, nghĩa là phản ứng phần ứng ngang trục cũng có một ít tác dụng khử từ.

c. Từ cảm ở đường trung tính hình học không bằng 0, do đó đường mà ở trên bề mặt phần ứng từ cảm bằng 0 - gọi là đường trung tính vật lý - đã lệch khỏi đường trung tính hình học một góc thuận theo chiều quay của máy phát hay ngược chiều quay của động cơ (đường mm ở hình 34-4).

Tóm lại: khi chổi than đặt trên đường trung tính hình học thì chỉ có phản ứng ngang trục F_{uq} làm méo từ trường khe hở và do đó xuất hiện đường trung tính vật lý. Nếu mạch từ không bão hòa thì từ thông tổng không đổi. Nếu mạch từ bão hòa thì từ thông tổng giảm đi một ít.

2. Xé dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học.

Trong máy điện một chiều, thường chổi than đặt ở trên đường trung tính hình học nhưng do lắp ghép không tốt, hoặc khi máy không có cực từ phụ, muốn cải thiện đổi chiều, có thể xé dịch chổi than đi một góc khỏi đường trung tính hình học. Khi xé dịch chổi than như vậy thì s.t.d phản ứng có thể chia làm hai thành phần: ngang trục F_{uq} và dọc trục F_{dq}

Tác dụng của phản ứng phần ứng ngang trục như ta đã nói ở trên là làm méo từ trường của cực từ chính và khử từ một ít nếu mạch từ bão hòa. Phản ứng phần ứng dọc trục trực tiếp ảnh hưởng đến từ trường cực từ chính và có tính chất trợ từ hay khử

từ tùy theo chiều xê dịch của chổi than. Nếu xê dịch chổi than theo chiều quay của máy phát (hay ngược chiều quay của động cơ) thì phản ứng phần ứng dọc trục có tính chất khử từ (hình 34-2) và ngược lại nếu quay chổi than ngược chiều quay của máy phát (hay thuận chiều quay của động cơ) thì có phản ứng phần ứng dọc trục trợ từ. Trong máy điện một chiều, do yêu cầu về đổi chiều, chỉ cho phép quay chổi than theo chiều quay của phần ứng nếu là máy phát, hay ngược chiều quay của phần ứng nếu là động cơ.

Phản ứng phần ứng dọc trục chỉ ảnh hưởng đến trị số của từ thông tổng mà không làm cho nó biến dạng.

34.3. TỪ TRƯỜNG CỰC TỪ PHỤ

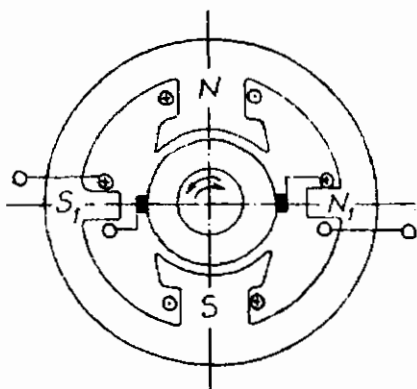
Hiện nay, trong hầu hết các máy điện một chiều (trừ những máy công suất nhỏ hơn 0,5 kW) đều có đặt cực từ phụ. Cực từ phụ đặt giữa hai cực từ chính trên đường trung tính hình học.

Như trên đã biết, khi có tải, do phản ứng phần ứng nên trên đường trung tính hình học từ trường khác không và từ trường đó lại cùng chiều với từ trường dưới cực từ đứng trước đường trung tính hình học theo chiều quay của máy phát (hình 34-4). Để cải thiện đổi chiều, thường yêu cầu ở khu vực đổi chiều (tức khu vực có chổi than mà chổi than thường đặt ở đường trung tính hình học) có từ trường ngược chiều với từ trường phần ứng ở khu vực đổi chiều, vì vậy phải đặt cực từ phụ. Tác dụng của cực từ phụ là sinh ra một s.t.đ triệt tiêu từ trường phần ứng ngang trục đồng thời tạo ra một từ trường ngược chiều với từ trường phần ứng ở khu vực đổi chiều, vì vậy cực tính của cực từ phụ phải cùng cực tính của cực từ chính mà phần ứng sẽ chạy vào nếu máy ở chế độ máy phát (còn đối với động cơ điện thì ngược lại).

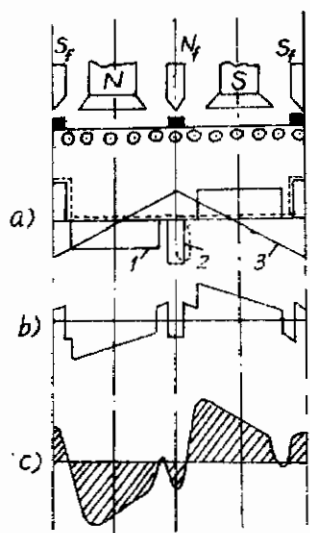
Để triệt tiêu từ trường phần ứng ngang trục, từ trường cực từ phụ phải tỷ lệ thuận với dòng điện tải nên dây quấn cực từ phụ được nối nối tiếp với dây quấn phần ứng và mạch từ không bão hòa (hình 34-5).

Sự phân bố của từ trường tổng khi có cả từ trường cực từ phụ như ở hình 34-6, trong đó đường 1, 2 và 3 ở hình 34-6a là đường phân bố của s.t.đ cực từ chính, phụ và s.t.đ phản ứng; hình 34-6b là đường phân bố s.t.đ tổng; hình 34-6c là đường phân bố từ cảm.

Khi chổi điện đặt trên đường trung tính hình học, các cực từ phụ không ảnh hưởng đến từ trường cực từ chính vì trong phạm vi một bước cực, tác dụng khử từ và trợ từ của các cực từ phụ bằng nhau nên bù cho nhau (hình 34-7a). Nếu xô dịch chổi điện khỏi đường trung tính hình học, ví dụ theo chiều quay của phần ứng ở chế độ máy phát (hay ngược chiều quay đối với động cơ) thì trong phạm vi một bước cực, tác dụng khử từ của cực từ phụ lớn hơn tác dụng trợ từ của nó, do đó trong trường hợp này, các cực từ phụ làm cho máy bị khử từ (hình 34-7b). Nếu quay ngược chiều quay phần ứng ở chế độ máy phát thì tác dụng ngược lại (hình 34-7c). Như vậy ảnh hưởng của các cực từ phụ đối với từ trường cực từ chính như phản ứng dọc trục của phần ứng.



Hình 34-5. Cách bố trí và đấu dây của cực từ phụ trong máy một chiều



Hình 34-6. S.t.đ và đường cong từ trường tổng của máy một chiều có cực từ phụ

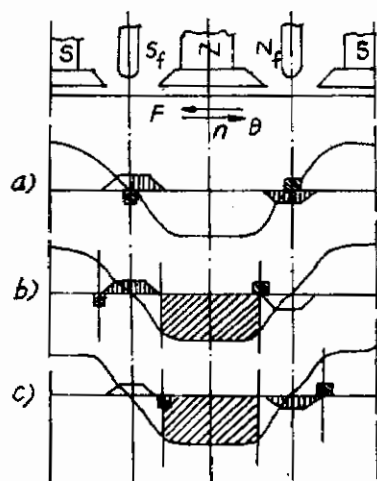
34.4. TỪ TRƯỜNG CỦA DÂY QUẤN BÙ

Như đã biết, ảnh hưởng của phản ứng phần ứng làm méo từ trường khe hở, do đó điện áp phân bố trên các phiên đổi chiều không đều, vì vậy đổi chiều của máy có khó khăn. Do đó trong những máy một chiều công suất lớn hay điều kiện làm việc nặng nhọc (như tải thay đổi đột ngột) đều có đặt dây quấn bù. Tác dụng của dây quấn bù là sinh ra từ trường triệt tiêu phản ứng phần ứng làm cho từ trường khe hở căn bản không bị méo nữa.

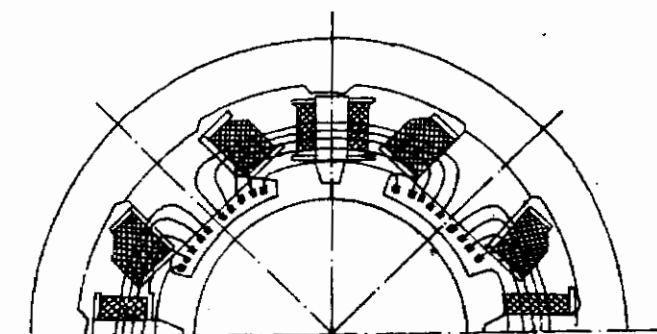
Dây quấn bù được đặt lên trên mặt cực của cực từ chính như hình 34-8.

Để có thể bù được ở bất cứ tải nào, dây quấn bù được nối tiếp với dây quấn phần ứng sao cho s.t.d của hai dây quấn đó ngược chiều nhau. Trên hình khai triển

34-9a các đường 1, 2 biểu thị sự phân bố các s.t.d phần ứng ngang trục F_{uq} và của dây quấn bù F_b . Ta thấy về cơ bản là bù được trên phạm vi mặt

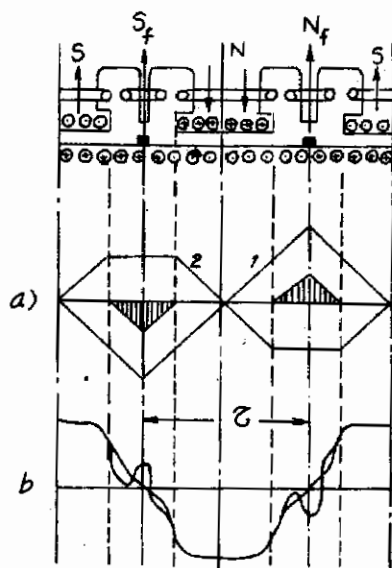


Hình 34-7. Ảnh hưởng của các cực từ phụ đến từ trường chính



Hình 34-8. Dây quấn bù

cực, chỉ có giữa hai cực do không đặt được dây quấn bù nên s.t.d F_b có dạng hình thang do đó ở giữa hai cực không bù được mà còn lại một phần (trong hình gạch chéo). Nhưng ở máy có dây quấn bù bao giờ cũng có đặt cực từ phụ nên dưới tác dụng của cực từ phụ và dây quấn bù, từ trường tổng của máy như hình 34-9b. Ta thấy sự phân bố của từ trường đó gần giống như từ trường lúc không tải mà không phụ thuộc vào tải của máy. Điều đó đảm bảo cho máy đổi chiều tốt. Về vấn đề đổi chiều sẽ nói ở chương sau.



Hình 34-9. Các đường s.t.d và từ trường tổng của máy một chiều có cực từ phụ và dây quấn bù

34.5. THÍ DỤ

Một máy phát điện một chiều có $p = 2$, số phần tử $S = 95$. Số vòng dây của mỗi phần tử $w_s = 3$. Đường kính ngoài phần ứng $D_u = 17 \text{ cm}$, dòng điện định mức $I_{dm} = 36 \text{ A}$, chổi than nằm trên đường trung tính hình học.

1. Nếu dây quấn phần ứng là dây quấn sóng đơn, tính phụ tải đường A và s.t.d ngang trục lúc tải đầy.

2. Nếu dây quấn phần ứng là xếp đơn, tính phụ tải đường A và s.t.d ngang trục lúc tải đầy.

3. Nếu chổi than dịch khỏi đường trung tính hình học 16° góc gô diện, dòng điện phần ứng vẫn là 36 A , tính s.t.d ngang trục và dọc trục của hai loại dây quấn sóng đơn và xếp đơn.

Giải

1. Tổng số thanh dẫn: $N = 2w_s S = 2 \times 3 \times 95 = 570$

Với dây quấn sóng đơn, lúc tải dây dòng điện trong mạch nhánh bằng:

$$i_u = \frac{I_{dm}}{2a} = \frac{36}{2 \times 1} = 18 \text{ A.}$$

(Trong dây quấn sóng đơn $a = 1$).

Phụ tải đường khi tải dây với dây quấn sóng đơn:

$$A = \frac{Ni_u}{\pi D} = \frac{570 \times 18}{\pi \times 17} = 191 \text{ A/cm.}$$

$$\text{Bước cực } \pi = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi \times 17}{4} = 13,36 \text{ cm.}$$

S.t.d ngang trục:

$$F_{uq} = A \cdot \tau = 191 \times 13,35 = 2560 \text{ A/dôi cực.}$$

2. Dòng điện trong mỗi mạch nhánh của dây quấn xếp đơn:

$$i_u = \frac{I_{dm}}{2a} = \frac{36}{2 \times 2} = 9 \text{ A}$$

(trong dây quấn xếp đơn $a = p = 2$).

Phụ tải đường khi tải dây với dây quấn xếp đơn:

$$A = \frac{Ni_u}{\pi D} = \frac{570 \times 9}{\pi \times 17} = 95,5 \text{ A/cm.}$$

S.t.d ngang trục: $F_{uq} = A \pi = 95,5 \times 13,35 = 1280 \text{ A/dôi cực.}$

3. Chiều dài trên chu vi phần ứng ứng với 16° góc độ điện bằng:

$$b = \frac{16^\circ}{180^\circ} \cdot \frac{\pi D}{2p} = \frac{16}{180} \cdot \frac{17}{2 \times 2} = 1,19 \text{ cm.}$$

Nếu dòng điện phần ứng vẫn bằng 36 A thì ta có:

Đối với dây quấn sóng đơn:

$$F_{ud} = A \cdot 2b = 191 \times 2 \times 1,19 = 456 \text{ A/dôi cực.}$$

$$F_{uq} = A(\pi - 2b) = 191 (13,35 - 2 \times 1,19) = 2104 \text{ A/dôi cực.}$$

Đối với dây quấn xếp đơn:

$$F_{ud} = A \cdot 2b = 95,5 \times 2 \times 1,19 = 228 \text{ A/dôi cực.}$$

$$F_{uq} = A(\pi - 2b) = 95,5(13,35 - 2 \times 1,19) = 1052 \text{ A/dôi cực.}$$

Câu hỏi

1. Tính chất của từ trường phản ứng?
2. Khi nào thì phản ứng phản ứng ngang trục có tính chất khử từ? Tại sao?
3. Nếu chổi than không ở trên đường trung tính hình học và dòng điện kích từ lúc có tải không đổi, hỏi khi máy phát quay thuận và quay ngược thì điện áp đầu cực máy có bằng nhau không? Có thể dùng phương pháp này để tìm đường trung tính vật lý không?
4. Tác dụng của từ trường cực từ phụ như thế nào?
5. Tác dụng của từ trường dây quấn bù?

Bài tập

1. Một động cơ điện kích thích song song có các số liệu sau: $P_{dm} = 550 \text{ kW}$, $U_{dm} = 600 \text{ V}$, $I_{dm} = 1000 \text{ A}$, $p = 3$, $n_{dm} = 500 \text{ vg/ph}$. Dòng điện kích từ $I_t = 19 \text{ A}$, phụ tải đường $A = 270 \text{ A/cm}$. Đường kính ngoài phần ứng $D_u = 92 \text{ cm}$. Dây quấn xếp phức tạp với $m = 2$. Điện áp giáng trên phần ứng $I_u R_u = 40 \text{ V}$.

a) Tính chất s.t.d phản ứng khi chổi điện nằm trên đường trung tính hình học.

b) Tính từ thông Φ của máy.

c) Tính F_{ud} , F_{uq} khi xê dịch chổi điện 10° góc độ điện khỏi đường trung tính hình học.

(S.d.d của động cơ điện một chiều có thể tính theo công thức: $E_u = U - I_u R_u$ và ở động cơ điện kích thích song song $I_{dm} = I_{udm} + I_t$).

Đáp số: a) $F_u = 1300 \text{ A}$

b) $\Phi = 0,136 \text{ Wb}$

c) $F_{ud} = 1441,8 \text{ A}$

$F_{uq} = 11564,2 \text{ A}$

2. Một máy điện một chiều có các số liệu sau:

$P_{dm} = 24 \text{ kW}$, $U_{dm} = 230 \text{ V}$, $I_{dm} = 104,5 \text{ A}$, $I_t = 1,5 \text{ A}$, $n = 1300 \text{ vg/ph}$, $2p = 4$.

Dây quấn sóng đơn. Tổng số thanh dẫn $N = 556$, số vòng dây của mỗi phần tử $\omega_s = 2$; $D_u = 294 \text{ mm}$, $R_u = 19,4 \text{ V}$ trong đó $I_u = I_{dm} + I_t$. Tính:

a) E_u , Φ , A .

b) F_u khi chổi điện trên đường trung tính hình học.

c) F_{uq} và F_{ud} khi vẽ dịch chổi điện đi một góc 10° góc độ điện

Đáp số:

a) $E_u = 249,4 \text{ A}$, $\Phi = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$;

$A = 316,9 \text{ A/cm}$.

b) $F_u = 12838,5 \text{ A}$

c) $F_{ud} = 423,4 \text{ A}$; $F_{uq} = 11415,1 \text{ A}$

3. Một máy phát điện một chiều có $P_{dm} = 13,3 \text{ kW}$, dây quấn sóng đơn $U_{dm} = 230 \text{ V}$, $I_{udm} = 58 \text{ A}$, $N = 834$, $2p = 4$, $D_u = 24,5 \text{ cm}$. Tính s.t.đ phần ứng khi chổi điện đường trung tính hình học và khi xê dịch đi một phần trăm góc nếu cho biết $G = 139$.

Đáp số: $F_u = 6046 \text{ A}$

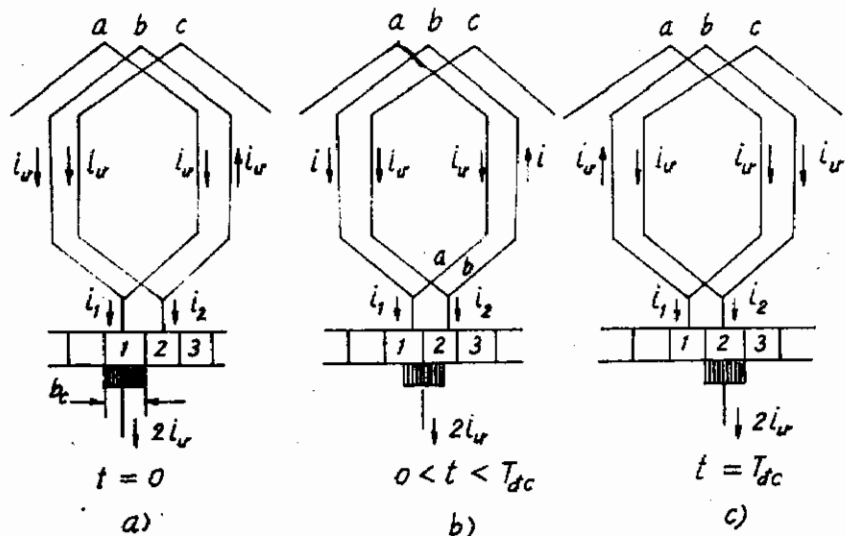
$F_{ud} = 348,1 \text{ A}$; $F_{uq} = 5697,9 \text{ A}$.

Chương 35

ĐỔI CHIỀU

35.1. ĐẠI CƯƠNG

Như đã trình bày ở Chương 9, khi chuyển động trong từ trường của một cực, mỗi phần tử dây quấn thuộc vào một nhánh song song và dòng điện i_w trong nó có chiều nhất định. Lúc các cạnh của phần tử đi vào vùng trung tính thì phần tử bị chổi than nối ngắn mạch, dòng điện trong phần tử thay đổi để sau đó khi phần tử bước sang ranh giới của cực kế tiếp và chuyển sang nhánh song song khác, dòng điện trong nó có chiều ngược lại ($-i_w$). Quá trình đổi chiều của dòng điện khi phần tử di động



Hình 35-1. Quá trình đổi chiều

trong vùng trung tính và bị chổi than nối ngắn mạch được gọi là sự đổi chiều.

Để có khái niệm cụ thể, hình 35-1 trình bày quá trình đổi chiều dòng điện trong phần tử b của dây quấn xếp đơn. Ta thấy khi chổi than phủ hoàn toàn lên phiến 1 (hình 35-1a) dòng điện trong phần tử b có chiều giả thử là $+i_u$. Khi chổi than hoàn toàn tách khỏi phiến 1 (hình 35-1c) thì dòng điện trong phần tử b có chiều ngược lại ($-i_u$). Ở các vị trí trung gian, chổi than tiếp xúc với các phiến đổi chiều 1 và 2 khiến cho phần tử bị nối tắt và dòng điện trong nó biến đổi theo những quy luật nhất định, phụ thuộc vào quá trình quá độ điện từ xảy ra trong và xung quanh phần tử mà ta sẽ xét tỉ mỉ ở chương này.

Quá trình đổi chiều của dòng điện trong mỗi phần tử tồn tại trong một thời gian rất ngắn. Khoảng thời gian để dòng điện hoàn thành việc đổi chiều gọi là chu kỳ đổi chiều, ký hiệu là T_{dc} . Đó là thời gian cần thiết để vành góp quay đi một góc ứng với chiều rộng của chổi, nghĩa là:

$$T_{dc} = \frac{b_c}{V_G}, \quad (35-1)$$

trong đó:

b_c - chiều rộng của chổi góp;

V_G tốc độ dài của vành góp.

Nếu chúng ta ký hiệu:

D_G - đường kính của vành góp;

$$b_G = \frac{D_G}{G} \text{ - bước góp;} \quad (35-2)$$

G - số phiến góp;

$$\beta_G = \frac{b_c}{b_G} \quad (35-3)$$

và biết rằng tốc độ dài của vành góp là:

$$v_G = \pi D_G n = b_G G_n \quad (35-4)$$

trong đó n là tốc độ quay của vành góp thì chu kỳ đối chiều ở đây quấn xếp đơn (hình 35-1) sẽ có dạng:

$$T_{dc} = \beta_G \frac{1}{G.n} \quad (35-5)$$

Ở loại dây quấn xếp phức tạp (mục 9.2) có bước vành góp $y_G = m$ ($m \neq 1$) thì giữa đầu và cuối mỗi phần tử có $(m - 1)$ phiên góp. Như vậy phần tử sẽ bị chổi than nối ngắn mạch trong khoảng thời gian để vành góp quay đi một cung $b_c - (m - 1)b_G$, do đó:

$$T_{dc} = \frac{b_c - (m - 1)b_G}{V_G}$$

Thay $b_c = \beta_G$, $m = \frac{a}{p}$ và trị số của D_G theo (35-4)

sẽ thu được:

$$T_{dc} = \frac{\beta_G - (\frac{a}{p} - 1)}{G.n} \quad (35-6)$$

Rõ ràng ở dây quấn xếp đơn $\frac{a}{p} = 1$, nên biểu thức (35-6) sẽ có dạng của biểu thức (35-5).

Khi máy điện làm việc các phần tử liên tiếp tiến hành đối chiều và trong thực tế $T_{dc} \approx 0,001$ s nên quá trình đối chiều diễn ra tuần hoàn với tần số vào khoảng $1000 \div 3000$ Hz.

Việc đối chiều có thuận lợi hay không, nói cách khác là chất lượng của sự đối chiều phụ thuộc vào nhiều yếu tố cơ và điện từ. Sự đối chiều kém chất lượng được biểu hiện bên ngoài bởi sự hình thành tia lửa dưới các chổi than và trên mặt vành góp. Tiêu chuẩn Nhà nước quy định các cấp tia lửa như trình bày ở bảng 35-1.

Bảng 35.1. Cấp tia lửa của máy điện

Cấp tia lửa	Đặc điểm	Tình trạng chổi và vành góp
1 $\frac{1}{4}$	Không có tia lửa Đốt lửa yếu ở một phần chổi than	Không có vết trên vành góp và muội than trên các chổi
$\frac{1}{2}$	Tia lửa yếu ở phần lớn chổi than.	Có vết trên vành góp nhưng có thể chùi sạch bằng dầu xăng. Có muội than trên chổi
2	Tia lửa ở toàn bộ chổi than chỉ cho phép đối với tải xung hoặc quá tải ngắn hạn	Có vết trên vành góp, không thể chùi sạch bằng dầu xăng và có muội than trên các chổi
3	Tia lửa mạnh vung ra ở toàn bộ chổi than. Chỉ cho phép lúc mở máy trực tiếp không biến trở với điều kiện sau đó vành góp và chổi than vẫn ở trạng thái bình thường, có thể tiếp tục làm việc được	Vết đậm trên vành góp không thể, chùi sạch bằng dầu xăng, cháy hoặc hỏng chổi điện

Dưới đây chúng ta sẽ phân tích sự biến đổi của dòng điện trong phần tử đổi chiều.

35.2. QUÁ TRÌNH ĐỐI CHIỀU

Để thấy rõ quy luật biến đổi của dòng điện trong phần tử đối chiều và nguyên nhân chủ yếu phát sinh tia lửa, từ đó nêu ra biện pháp cải thiện đối chiều, ta hãy nghiên cứu quy luật đối chiều xảy ra ở phần tử của dây quấn xếp đơn trên hình 35-1b. Biểu thức của dòng điện trong phần tử đối chiều có thể suy ra được từ các định luật Kirkhoff viết cho phần tử đó.

Theo định luật thứ hai viết cho mạch vòng của phần tử, ta có:

$$i_{pt} + i_1(r_d + r_{tx,1}) - i_2(r_d + r_{tx,2}) = \sum e \quad (35-7)$$

trong đó:

i - dòng điện ngắn mạch chạy trong phần tử đối chiều.

i_1, i_2 - các dòng điện chạy qua dây nối với các phiến đối chiều 1 và 2;

r_{pt} - điện trở của phần tử;

r_d - điện trở của dây nối;

$r_{tx,1,2}$ - điện trở tiếp xúc giữa chổi than và phiến đối chiều tương ứng.

$\sum e$ - tổng các s.d.đ cảm ứng sinh ra trong phần tử đối chiều, bao gồm:

a) S.d.đ tự cảm e_L gây ra do sự biến đổi của dòng điện i trong phần tử đối chiều

b) S.d.đ hổ cảm e_M do ảnh hưởng của sự đối chiều đồng thời của các phần tử khác nằm trong cùng một rãnh.

c) S.d.đ đối chiều $e_{d.c}$, sinh ra khi phần tử đối chiều chuyển động trong từ trường tổng hợp tại vùng trung tính. Từ trường này như đã trình bày ở Chương 34 do cực từ phụ và phản ứng phần ứng tạo thành.

Các s.d.đ e_L và e_M có tác dụng đối với quá trình đối chiều như nhau và tổng của chúng được gọi là s.d.đ phản kháng $e_L + e_M = e_{pk}$. Để quá trình đối chiều tiến hành được thuận lợi, s.d.đ đối

chiều e_{dc} phải luôn ngược chiều với s.d.đ e_{pk} nói trên. Tùy theo tương quan giữa hai loại s.d.đ đó, tính chất của quá trình đổi chiều cũng sẽ khác nhau. Trị số của các s.d.đ đó sẽ được tính ở phần sau.

Theo định luật Kirkhoff thứ nhất, có thể viết các phương trình dòng điện lần lượt tại các điểm nút a và b như sau:

$$\begin{aligned} i_u + i - i_1 &= 0 \\ i_u - i - i_2 &= 0 \end{aligned} \quad (35-8)$$

Như vậy các dòng điện i , i_1 , i_2 có thể suy ra từ các phương trình (35-7), (35-8) nếu các đại lượng khác trong các phương trình đó đã được biết. Trên thực tế r_{tx1} , r_{tx2} không những phụ thuộc vào i_1 , i_2 và thời gian mà còn phụ thuộc vào sự đốt nóng chổi than và phiên đổi chiều và cả hiện tượng điện phân dưới mặt chổi nữa. Hơn nữa tổng các s.d.đ $\sum e$ cũng khó xác định được chính xác nên dưới đây ta chỉ xét vấn đề được ở mức độ gần đúng. Với giả thiết $r_{pt} \approx 0$ và $r_d \approx 0$ sau khi thay trị số của i_1 và i_2 theo (35-8) vào (35-7) ta được:

$$i = \frac{r_{tx,2} - r_{tx,1}}{r_{tx,1} + r_{tx,2}} i_u + \frac{\sum e}{r_{tx,1} + r_{tx,2}} \quad (35-9)$$

Số hạng thứ nhất của biểu thức (35-9) biểu thị thành phần cơ bản của dòng điện đổi chiều i_{ch} , còn số hạng thứ hai - thành phần phụ i_1 . Với giả thiết $r_{pt} = 0$, $r_d = 0$. Mấu số trong biểu thức rõ ràng là tổng số điện trở của phần tử đổi chiều lúc bị chổi than nối ngắn mạch vì vậy dòng điện phụ i_1 chính là dòng điện ngắn mạch trong phần tử gây nên bởi $\sum e$.

Trong lý thuyết cổ điển về đổi chiều người ta giả thiết rằng $r_{tx,1}$ và $r_{tx,2}$ tỉ lệ nghịch với bề mặt tiếp xúc $S_{tx,1}$ và $S_{tx,2}$ giữa chổi than và phiên đổi chiều. Nếu cho rằng quá trình đổi chiều bắt đầu khi $t = 0$ và kết thúc khi $t = T_{dc}$ với điều kiện $b_c = b_G$ thì:

$$S_{tx1} = \frac{T_{dc} - t}{T_{dc}} S \quad (35-10)$$

$$S_{tx2} = \frac{t}{T_{dc}} S.$$

trong đó: S - mặt tiếp xúc toàn phần giữa chổi và phiến đổi chiều.

Ký hiệu điện trở tiếp xúc toàn phần ứng với mặt tiếp xúc toàn phần bằng r_{tx} ta có:

$$r_{tx,1} = \frac{S}{S_{tx,1}} r_{tx} = \frac{T_{dc}}{T_{dc} - t} r_{tx}, \quad (35-11)$$

$$r_{tx,2} = \frac{S}{S_{tx,2}} r_{tx} = \frac{T_{dc}}{t} r_{tx}$$

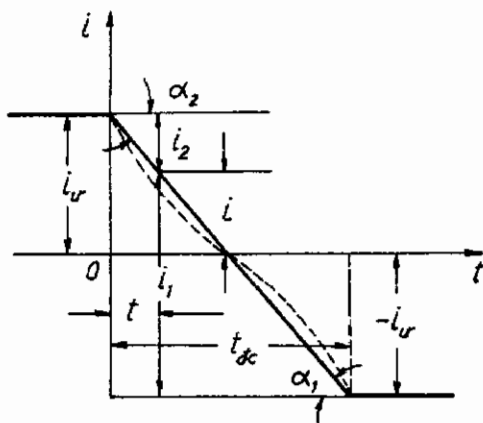
Thay (35-11) vào (35-9) ta có quan hệ giữa dòng điện trong phần tử đổi chiều i và thời gian t như sau:

$$i = \left(1 - \frac{2t}{T_{dc}}\right) i_u + \frac{\sum e}{r_n}, \quad (35-12a)$$

trong đó:
$$r_n = r_{tx} \cdot \frac{T_{dc}^2}{t(T_{dc} - t)} \quad (35-12b)$$

35.2.1. Đổi chiều đường thẳng

Giá thử s.d.d đổi chiều $e_{d.c}$ cảm ứng trong phần tử đổi chiều do tác dụng của từ trường tổng hợp tại vùng trung tính hoàn toàn triệt tiêu s.d.d phản kháng e_{pk} , nghĩa là $\sum e = 0$ thì dòng điện phụ trong phần tử đổi chiều bằng



Hình 35-2. Đổi chiều đường thẳng

không và từ (35-12) ta có:

$$i = \left(1 - \frac{2t}{T_{dc}}\right) i_u \quad (35-13)$$

Đường biểu diễn của dòng điện i theo thời gian t trong trường hợp này là một đường thẳng (hình 35-2) và đổi chiều mang tên là đổi chiều đường thẳng).

Nếu xét đến điện trở của phần tử và của dây nối ($r_{pt} \neq 0$, $r_d \neq 0$) thì đường thẳng ABC sẽ thay đổi một ít và có dạng theo đường nét đứt trên hình vẽ đó.

Khi đổi chiều đường thẳng, mật độ dòng điện ở bề mặt tiếp xúc phía đi ra và phía đi vào chổi bằng:

$$j_1 = \frac{i_1}{S_{lx1}} = \frac{T_{dc}}{S} \cdot \frac{i_1}{T_{dc} - t} \quad (35-14)$$

$$j_2 = \frac{i_2}{S_{lx2}} = \frac{T_{dc}}{S} \cdot \frac{i_2}{t}$$

Trên hình 35-2 ta thấy:

$$\frac{i_1}{T_{dc} - t} = \operatorname{tg} \alpha_1; \quad \frac{i_2}{t} = \operatorname{tg} \alpha_2$$

Vì ở trường hợp đổi chiều đường thẳng $\alpha_1 = \alpha_2$ cho nên trong suốt quá trình đổi chiều $j_1 = j_2 = C^{lc}$ và quá trình đổi chiều tiến hành được thuận lợi.

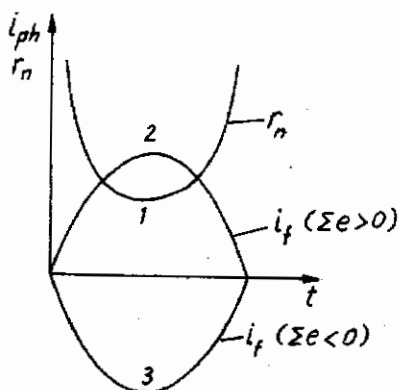
35.2.2. Đổi chiều đường cong

Trên thực tế s.d.d đổi chiều e_{dc} và s.d.d phản kháng e_{pk} trong phần tử đổi chiều không hoàn toàn triệt tiêu nhau, nghĩa là $\sum e \neq 0$ cho nên trong phần tử đổi chiều sẽ xuất hiện dòng điện phụ i_t xác định theo số hạng thứ hai của biểu thức (35-12). Dòng điện phụ i_t sẽ cộng với dòng điện cơ bản i_{cb} khiến cho quan hệ $i = f(t)$ không còn là đường thẳng nữa và ta có đổi chiều đường cong.

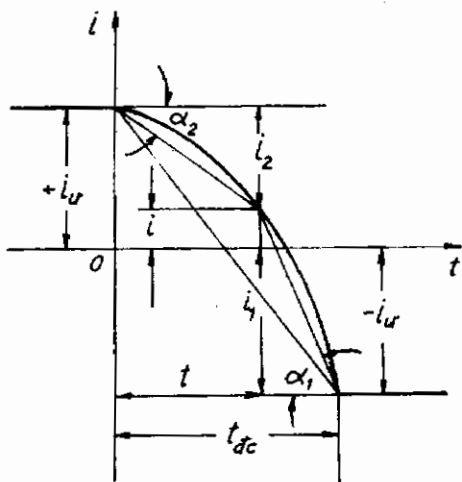
Giả thử $e_{pk} > e_{dc}$ hay là $\sum e > 0$. Với giả thiết r_{lx} không đổi,

từ biểu thức (35-12b) ta thấy rằng trong quá trình đổi chiều sự biến đổi của r_n có dạng như đường cong 1 trên hình 35-3. Cho rằng trong quá trình đó $\sum e = C^{te}$ thì dòng điện i_l biến đổi theo đường cong 2 trên hình 35-3 và dòng điện đổi chiều i , tổng của i_l và i_{cb} biến đổi theo đường cong ở hình 35-4. Ở trường hợp này đổi chiều mang tính chất trì hoãn nghĩa là dòng điện đổi chiều i thay đổi chậm hẳn so với ở trường hợp đổi chiều đường thẳng. Sở dĩ có sự trì hoãn đó là do tác dụng của s.d.d phản kháng e_{pk} chống lại sự thay đổi của dòng điện i . Từ hình 35-4 ta thấy $\alpha_1 > \alpha_2$ và $j_1 > j_2$.

Trong trường hợp đổi chiều trì hoãn, tia lửa thường xuất hiện ở đầu ra của chổi than khi phần tử ra khỏi tình trạng bị chổi than nối ngắn mạch. Sự xuất hiện tia lửa này có thể giải thích được như sau:



Hình 35-3. Dòng điện phụ i_l khi đổi chiều vượt trước ($\sum e > 0$ và đổi chiều trì hoãn ($\sum e < 0$))

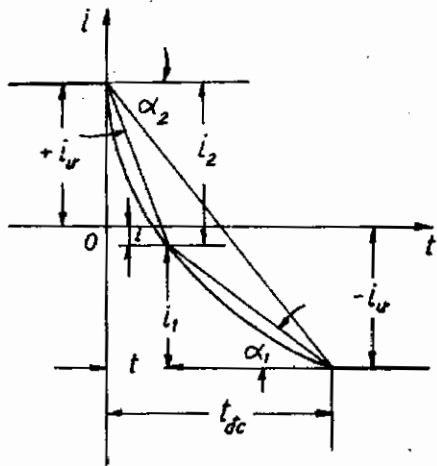


Hình 35-4. Đổi chiều có tính chất trì hoãn

do các hiện tượng điện hóa và nhiệt ở bề mặt tiếp xúc giữa chổi than và phiến đổi chiều, nên lúc quá trình đổi chiều kết thúc, điện trở tiếp xúc r_{txl} trong biểu thức (35-9) không phải tiến tới vô cùng lớn mà có một trị số nhất định, kết quả là lúc $t = T_{d.c}$ dòng điện phụ $i_f \neq 0$ và trong từ trường của phần tử đổi chiều tích lũy một năng lượng $\frac{1}{2}Li_f^2$ đáng kể. Khi phần tử đổi chiều ra khỏi tình trạng bị chổi than nối ngắn mạch, sự xuất hiện của tia lửa chính là hậu quả của việc giải phóng năng lượng điện từ đó một cách đột ngột, tương tự như khi dùng cầu dao cắt mạch điện có r và L .

Nếu $e_{pk} < e_{d.c}$ hay $\sum e < 0$ thì dòng điện phụ i_f đổi dấu và có dạng như đường cong 3 trên hình 35-3. Đường biểu diễn của dòng điện đổi chiều i

tương ứng được trình bày trên hình 35-5 và sự đổi chiều mang tính chất vượt trước. Khi đổi chiều vượt trước $\alpha_1 < \alpha_2$ do đó $j_1 < j_2$ đồng thời có thể có hiện tượng phóng tia lửa ở đầu vào của chổi than tương tự như khi đóng cầu dao khép kín mạch điện. Trên thực tế hiện tượng phóng tia lửa này rất yếu. Ở giai đoạn cuối của quá trình đổi chiều vượt trước i_1 và j_1 rất nhỏ và xấp xỉ bằng không nên phần tử đổi chiều ra khỏi tình trạng bị chổi than nối ngắn mạch một cách nhẹ nhàng và thuận lợi.



Hình 35-5. Đổi chiều có tính chất vượt trước

35.2.3. Xác định các s.d.đ trong phần tử đối chiều

Để bảo đảm điều kiện đối chiều bình thường của máy, khi thiết kế cần phải xác định các s.d.đ sinh ra trong phần tử đối chiều để giới hạn chúng trong một phạm vi nhất định. Dưới đây ta sẽ lần lượt tính các s.d.đ đó.

a. S.d.đ tự cảm e_L

S.d.đ tự cảm e_L có dạng:

$$e_L = - L \frac{di}{dt} \quad (35-15)$$

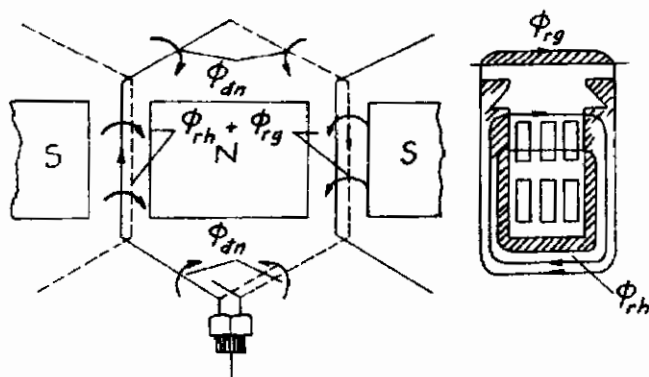
trong đó L - hệ số tự cảm của phần tử.

Vì qua quá trình đối chiều, dòng điện i biến đổi từ $+i_u$ đến $-i_u$, nên giá trị trung bình của đạo hàm trong chu kỳ đối chiều T_{dc} sẽ là:

$$\left[\frac{di}{dt} \right]_{tb} = - \frac{2i_u}{T_{dc}} \quad (35-16)$$

do đó:
$$e_{L-tb} = \frac{2Li_u}{T_{dc}} \quad (35-17)$$

Từ thông tản Φ_l sinh ra s.d.đ tự cảm e_L trong phần tử đối chiều bao gồm từ thông tản qua rãnh Φ_{rh} , từ thông tản dính răng



Hình 35-8. Từ thông tản của phần tử đối chiều

Φ_{rg} và từ thông tản ở phần đầu nối Φ_{dn} và chủ yếu đi qua không khí (hình 35-6) nên rất ít phụ thuộc vào sự bão hòa của răng, do đó có thể cho rằng $\Phi_L \equiv w s_{1u}$. Mặt khác vì từ thông móc vòng $\psi_L = w_2 \Phi_L$ nên biểu thức của từ thông móc vòng sẽ là:

$$\psi_L = \lambda_L w_s^2 i_u \quad (35-18)$$

trong đó λ_L là hệ số tỉ lệ biểu thị suất dẫn từ tản của phần tử có trị số bằng từ thông móc vòng của một vòng dây khi dòng điện $i_u = 1A$. Vì thành phần chủ yếu của ψ_L là từ thông tản của hai cạnh tác dụng nằm trong rãnh nên suất dẫn từ theo một đơn vị chiều dài bằng:

$$\lambda_L = \frac{\lambda_{L1}}{2l}$$

$$\text{do đó:} \quad \psi_L = \lambda_L \cdot 2l_s w_s^2 i_u \quad (35-19)$$

$$\text{Vì } L = \frac{\psi_L}{i_u} \text{ ta có:}$$

$$L = 2w_s^2 l_s \lambda_L \quad (35-20)$$

Thay (35-20) vào (35-17) và chú ý đến biểu thức của $T_{d.c}$ (35-6), ta có biểu thức s.d.đ tự cảm trung bình trong phần tử đối chiều:

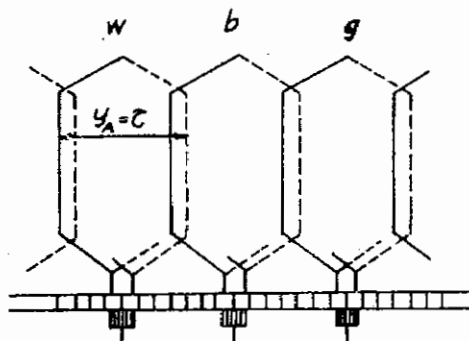
$$e_{L.tb} = 2w_s^2 l_s \lambda_L \cdot \frac{2i_u G_n}{\beta_G - \left(\frac{a}{p} - 1\right)} \quad (35-21)$$

Nếu biểu thị $i_u = \frac{\pi D_u A}{2Gw_s}$ và $n = \frac{v_u}{\pi D_u}$ trong đó v_u là tốc độ dài trên mặt phần ứng thì biểu thức cuối cùng của s.d.đ tự cảm trung bình sẽ là:

$$e_{L.tb} = \frac{2w_s l_s A v_u}{\beta_G - \left(\frac{a}{p} - 1\right)} \lambda_L \quad (35-22)$$

b. S.d.đ hồ cảm

Cùng một lúc với sự đổi chiều dòng điện trong phần tử đang xét, sự đổi chiều cũng xảy ra ở một số phần tử khác. Ở đây quán xép đơn hai lớp bước đủ (hình 35-7), sự đổi chiều xảy ra đồng thời trong các cạnh tác dụng cùng nằm trong một rãnh. Hơn nữa, thường thì $b_c > b_G$ và các chổi than nối ngắn mạch vài



Hình 35-7. Đổi chiều đồng thời trong các cạnh tác dụng nằm trong một rãnh

phần tử liên tiếp nhau có cạnh nằm trong một rãnh như trên hình 35-7, nên giữa các phần tử cùng tham gia đổi chiều đó có sự liên hệ hồ cảm rất mạnh. Vì vậy trong phần tử tham gia đổi chiều đang xét, ngoài s.d.đ tự cảm còn có s.d.đ hồ cảm:

$$e_M = \sum_1^n e_M^n = - \sum_1^n M_s \frac{di_n}{dt}$$

trong đó:

M_n - hệ số hồ cảm giữa phần tử đang xét và phần tử thứ n .

i_n - dòng điện trong phần tử thứ n .

S.d.đ hồ cảm e_M cũng có tác dụng giống như s.d.đ tự cảm e_L .

Trị số trung bình của nó bằng:

$$e_{M.tb} = \frac{2i_u}{T_{dc}} \sum M_n \quad (35-23)$$

Tương tự như đối với s.d.đ tự cảm biểu thức cuối cùng của s.d.đ hồ cảm có dạng:

$$e_{M.tb} = \frac{2w_s l_s A v_u}{\beta_a - \left(\frac{a}{p} - 1\right)} \sum \lambda_M \quad (35-24)$$

trong đó:

λ_M - suất dẫn từ do hồ cảm trên đơn vị dài của cạnh tác dụng của phần tử.

c. S.d.d phản kháng

Như trình bày ở trên, theo định nghĩa s.d.d phản kháng trung bình có dạng:

$$e_{pk.tb} = e_{L.tb} + e_{M.tb} = \frac{2w_s l_d A v_u}{\beta_G - \left(\frac{a}{p} - 1\right)} (\lambda_L + \sum \lambda_M) \quad (35-25)$$

Để tính $e_{pk.tb}$ phải xác định λ_L và $\sum \lambda_M$. Cách xác định các suất dẫn từ đó sẽ được trình bày chung trong phần tham số dây quấn của máy điện xoay chiều.

d. S.d.d đối chiều e_{dc}

Gọi B_{dc} là từ cảm tổng hợp của từ trường cực từ phụ và từ trường của phần ứng tại vùng trung tính (còn gọi là từ cảm đối chiều) thì biểu thức s.d.d đối chiều có dạng:

$$e_{dc} = 2B_{dc} \cdot w_s l_{dc} \cdot v_u \quad (35-26)$$

trong đó:

l_{dc} - chiều dài của thanh dẫn cắt đường sức của từ trường đối chiều.

35.2.4. Đối chiều khi $b_c > b_G$

Ta hãy xét quá trình đối chiều của dây quấn xếp đơn bước đủ, có các phần tử bằng nhau với số rãnh nguyên tố $u = 4$, và $b_c = 2,5b_G$ (hình 35-8). Dưới đây ta sẽ xác định s.d.d phản kháng e_{pk} và chiều rộng vùng đối chiều trong trường hợp đó.

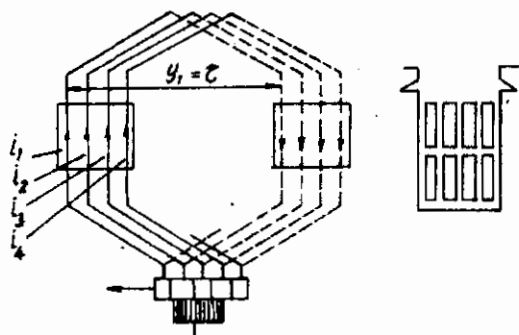
a. S.d.d phản kháng

Để đơn giản, ta giả thiết hệ số tự cảm và hệ số hồ cảm của những phần tử cùng nằm trong một rãnh bằng nhau và có quá trình đối chiều đường thẳng.

Dòng điện đối chiều của các phần tử được trình bày trên h.35-9, a trong đó thời điểm bắt đầu đối chiều của các phần tử cách nhau một khoảng thời gian

$$t_{dc} = \frac{1}{G \cdot n} \quad (35-27)$$

Với giả thiết hệ số tự cảm bằng hệ số hổ cảm mỗi hình chữ nhật trên hình 35-9b có chiều cao tương ứng với s.d.d $e_L = e_M$ và chiều dài tương ứng với chu kỳ đối chiều T_{dc} . Dĩ nhiên các hình chữ nhật ấy xê dịch nhau một khoảng t_{dc} theo trục thời gian.



Hình 35-8. Đối chiều khi $u = 4$ và $b_c = 2,5 b_g$

Muốn xác định s.d.d phản kháng e_{pk1} trong phần tử 1, ta cộng hình chữ nhật 1 với các phần của các hình chữ nhật 2, 3, 4 nằm dưới hình chữ nhật 1, bởi vì dòng điện trong các phần tử 2, 3, 4 gây ảnh hưởng đến phần 1 trong thời gian T_{dc} của phần tử này. Kết quả cho ta đường gấp khúc biểu thị sự biến đổi của s.d.d. phản kháng e_{pk1} theo thời gian (hình 35-9c).

Tương tự, ta được đường biểu diễn s.d.d phản kháng $e_{pk2, 3, 4}$ theo thời gian như trình bày trên các hình 35-9d, e, g.

Hình 35-9h cho ta đường biểu diễn s.d.d phản kháng tổng của các phần tử đối chiều trong một rãnh. Việc xác định đường cong này có ý nghĩa quan trọng trong việc tìm một s.d.d đối chiều e_{dc} đối nghịch triệt tiêu ảnh hưởng của s.d.d phản kháng đó, để có được đối chiều đường thẳng. Tuy nhiên, việc dựng đường cong e_{pk}

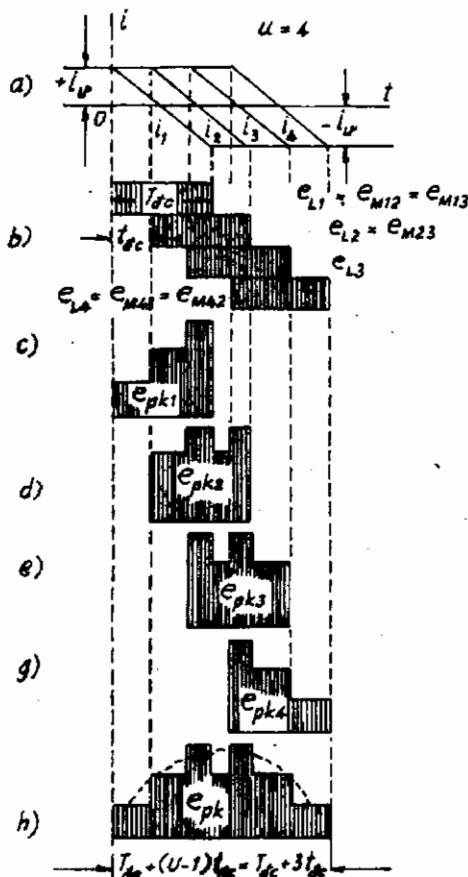
nói trên rất phức tạp vì cần phải tính đến $e_L \neq e_M$, các quan hệ hồ cảm giữa các phần tử đối chiều do các chốt than bên cạnh, ảnh hưởng của bước ngắn, ảnh hưởng của hai lớp dây trong một rãnh.

Trên thực tế ở các máy điện có cực từ phụ để tạo ra từ trường đối chiều phải tính toán sao cho $e_{pk} \leq 7 + 10 V$ còn trong trường hợp không có từ trường đối chiều $e_{pk} \leq 2 + 3 V$.

b. Chiều rộng vùng đối chiều

Trong quá trình đối chiều, cạnh tác dụng của phần tử đối chiều di động một khoảng cách

nhất định và ứng với nó là vùng đối chiều b_{dc} trên mặt phần ứng. Để đảm bảo đối chiều, được tốt, chiều rộng vùng đối chiều phải ở trong một giới hạn nhất định. Muốn xác định chiều rộng



Hình 38-9. Xác định s.d.d phân kháng
khi $u = 4$, $b_c = 25 b_g$

vùng đối chiều ta xuất phát từ thời gian cần thiết để đối chiều dòng điện trong u phần tử nằm trong một rãnh.

Khi dây quấn có bước đủ, ta có:

$$T = T_{dc} + (u - 1)t_{dc} \quad (35-28)$$

Nếu dây quấn có bước ngắn hoặc bước dài thêm ε thì tùy theo chiều quay của phần ứng, dòng điện ở những phần tử thuộc lớp dưới sẽ đối chiều sớm hoặc trễ hơn ở những phần tử thuộc lớp trên một khoảng thời gian là εt_{dc} , nghĩa là:

$$T = T_{dc} + (u - 1 + \varepsilon)t_{dc} \quad (35-29)$$

Thay T_{dc} theo (35-6) và t_{dc} theo (35-27) và (35-29), ta có:

$$T = \frac{\beta_G - (\frac{a}{p} - 1)}{G_n} + \frac{(n - 1 + \varepsilon)}{G_n} = \frac{1}{G_n} [\beta_G + (u - \frac{a}{p} + \varepsilon)] \quad (35-30)$$

Vì $b_{dc} = T_{dc}$ và biết rằng $v_u = \pi D_u n$ nên kết hợp với (35-3) ta được:

$$b_{dc} = [\beta_G + (u - \frac{a}{p} + \varepsilon)] \cdot \frac{\pi D_u}{G} \quad (35-31)$$

Nếu biểu thị $\frac{\pi D_u}{G}$ dưới dạng $\frac{\pi D_G}{G} \cdot \frac{D_u}{D_G} = b_G \frac{D_u}{D_G}$ và chú ý đến (35.3) ta có:

$$b_{dc} = [b_c + (u - \frac{a}{p} + \varepsilon)b_G] \frac{D_u}{D_G} \quad (35-32)$$

Trong thực tế chiều rộng vùng đối chiều $b_{dc} \leq (50 + 60)\%$ khoảng cách giữa các móm cực chính để đảm bảo cho phần tử đối chiều không rơi vào vùng có từ trường mạnh của cực chính, do đó đối chiều sẽ dễ dàng. Biểu thức (35-32) cũng cho thấy nếu tăng ε thì b_{dc} tăng, vì vậy không nên chế tạo dây quấn có bước ngắn quá.

35.3. NGUYÊN NHÂN SINH RA TIA LỬA VÀ PHƯƠNG PHÁP CẢI THIỆN ĐỐI CHIỀU

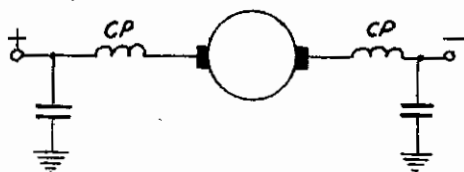
35.1.1. Nguyên nhân sinh ra tia lửa

Tia lửa sinh ra dưới chổi than có thể do nguyên nhân cơ hoặc nguyên nhân điện từ. Những nguyên nhân thuộc loại thứ nhất có thể là: vành góp không đồng tâm với trục, sự cân bằng bộ phận quay không tốt, bề mặt vành góp không phẳng do những phiến đối chiều hoặc mica cách điện giữa các phiến đối chiều nhô lên, lực ép trên chổi than không thích hợp, kẹt chổi trong hộp chổi, hộp chổi không được giữ chặt hay đặt không đúng vị trí v.v... Nguyên nhân thuộc loại thứ hai là do s.d.đ đối chiều không triệt tiêu được s.d.đ phản kháng trong phần tử đối chiều. Ngoài ra còn phải kể đến sự phân bố không đều của mật độ dòng điện trên mặt tiếp xúc và quan hệ phi tuyến của điện trở tiếp xúc $R_{tx} = f(t, \theta)$ trong đó θ là thông số đặc trưng cho tác dụng nhiệt và hiện tượng điện phân dưới chổi than.

Khi sự đối chiều bị rối loạn phía sau chổi than phóng ra tia lửa mãnh liệt. Chùm tia lửa này khi tắt để lại một vùng ion hóa và đó chính là điều kiện tốt để nếu nguyên nhân gây rối loạn chưa bị loại trừ, chùm tia lửa sau đó sinh ra càng mãnh liệt hơn. Ở mức độ ác liệt, các chùm tia lửa càng dài ra và sẽ nối từ chổi này sang chổi khác tạo nên một vòng lửa trên mặt vành góp. Vòng lửa xuất hiện khi dòng điện trong phần ứng tăng lên quá định mức (quá tải, ngắn mạch trong hoặc ngoài máy). Để chống lại vòng lửa phải dùng dây quấn bù (xem 35.3.2c) và trang bị máy cắt cực nhanh kịp thời cắt mạch ngay sau khi xảy ra sự cố (trong khoảng $0,05 + 0,10$ s).

Cần chú ý rằng quá trình đối chiều diễn ra tuần hoàn và sinh ra dao động điện từ với tần số khoảng $1000 + 3000$ Hz (mục 35.1). Nếu máy được sử dụng vào lĩnh vực vô tuyến điện, sự đánh tia lửa dưới chổi than với tần số ấy sẽ gây nhiễu trong hệ thống vô tuyến. Để chống sự nhiễu loạn ấy, người ta chia những cuộn

dây nối tiếp với phần ứng trong đó có các cuộn dây của cực từ phụ thành hai phần và nối đối xứng với phần ứng như ở hình 35-10. Ngoài ra giữa các chổi và thân máy còn nối những tụ điện để tạo đường thoát cho các dao động tần số cao tại các đầu ra của máy.



Hình 35-10. Chống nhiễu vô tuyến điện

35.3.2. Các phương pháp cải thiện đổi chiều

Để tạo điều kiện tốt cho sự đổi chiều, trước hết cần phải giữ đúng những điều quy định về trạng thái của vành góp và cơ cấu giữ chổi than sao cho bảo đảm loại trừ được những nguyên nhân cơ sinh ra tia lửa. Dưới đây ta xét những biện pháp tạo ra điều kiện điện từ cần thiết cho sự đổi chiều dựa vào khuynh hướng làm giảm dòng điện phụ i_r chạy trong phần tử đổi chiều.

a. Cực từ phụ

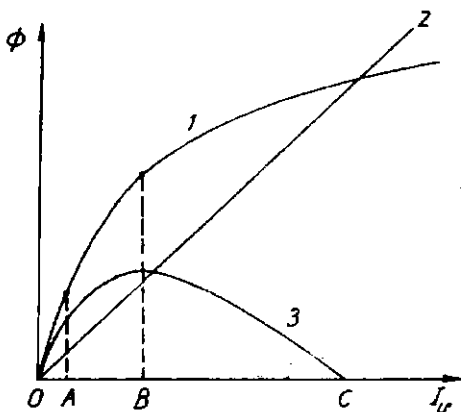
Biện pháp cơ bản để cải thiện đổi chiều trong những máy điện một chiều hiện đại là tạo ra từ trường ngoài, còn gọi là từ trường đổi chiều tại vùng trung tính bằng cách đặt những cực từ phụ giữa những cực từ chính (hình 35-5).

S.t.d của cực từ phụ F_1 phải có chiều ngược với thành phần ngang của phản ứng phần ứng F_{uq} và có độ lớn sao cho ngoài việc có tác dụng trung hòa được ảnh hưởng của F_{uq} còn tạo ra được từ trường phụ để sinh ra s.d.d đổi chiều e_{dc} làm triệt tiêu ảnh hưởng của s.d.d phản kháng e_{pk} . Hình 35-5 cho thấy rõ cực từ phụ ở máy phát điện phải có cùng cực tính với cực từ chính mà các cạnh trong phần ứng tại cực từ phụ sắp quay tới. Ở động cơ điện cực tính sẽ ngược lại.

Như đã biết $e_{pk} \equiv A \equiv I_u$ [theo biểu thức (35-25)] và

$e_{dc} \equiv B_{dc}$ [theo biểu thức (35-26)]. Do đó để cực từ phụ có thể phát huy tác dụng thì điều kiện cơ bản là $B_{dc} \equiv I_u$. Muốn vậy dây quấn của cực từ phụ phải được nối nối tiếp với dây quấn phần ứng và dòng điện tải I_u phải thay đổi trong phạm vi khiến mạch từ của cực từ phụ không bão hòa (hình 35-11). Trên hình vẽ đường 1 là đường cong từ hóa của cực từ phụ, đường 2 là đường từ tần của cực từ phụ và đường 3 là đường cong Φ_{dc} (B_{dc}). Ta thấy từ O đến a quan hệ $B_{dc} = f(I_u)$ còn tuyến tính, quá điểm a mạch từ bắt đầu bão hòa, tác dụng của cực từ phụ giảm bớt và tại vùng lân cận điểm C thì không còn tác dụng nữa. Trên thực tế không thể đạt được $B_{dc} \equiv I_u$ ở nhiều tải khác nhau và do đó không thể đạt được một vùng đối chiều đường thẳng. Vì vậy ở những máy điện làm việc ở chế độ thường bị quá tải không nặng lắm, người ta chế tạo cuộn dây cực từ phụ thích hợp sao cho khi máy làm việc ở chế độ định mức thì sự đối chiều hơi vượt trước (nhưng chưa có tia lửa), khi quá tải - đối chiều đường thẳng và khi quá tải nặng - đối chiều hơi trì hoãn.

Cấu tạo của cực từ phụ phải làm sao tạo ra được từ trường đối chiều trong khắp khu vực đối chiều và sinh ra s.d.d đối chiều tương ứng với s.d.d phản kháng như trên hình 35-9h. Thường khe hở dưới cực từ phụ bằng $1,5 \div 2$ lần khe hở dưới cực chính. Bề rộng mặt cực từ phụ vào khoảng $0,4 \div 0,8$ bề rộng của khu vực đối chiều.



Hình 35-11. Đường cong của từ thông tại vùng đối chiều

Cùng cần nói thêm là cực từ phụ được đặt ở những máy có $P > 0,3 \text{ kW}$. Số cực từ phụ thường bằng số cực từ chính, tuy nhiên trong những máy có $P < 2 \div 2,5 \text{ kW}$ có thể chỉ đặt một nửa số cực từ phụ là đủ.

b. Xê dịch chổi than khỏi vùng trung tính hình học

Ở những máy điện nhỏ, để thay thế cho tác dụng của cực từ phụ, ta có thể lợi dụng từ trường tổng của máy để có từ trường đối chiều bằng cách xê dịch chổi than khỏi vùng trung tính hình học. Từ hình 35-12 có thể thấy rằng, ở trường hợp máy phát điện, muốn từ trường ở khu vực đối chiều có cực tính của cực từ chính mà sau khi đối chiều các cạnh phần tử sẽ đi tới như ở trường hợp cực từ phụ thì phải xê dịch chổi than thuận chiều quay của máy một góc:

$$\beta = \alpha + \gamma$$

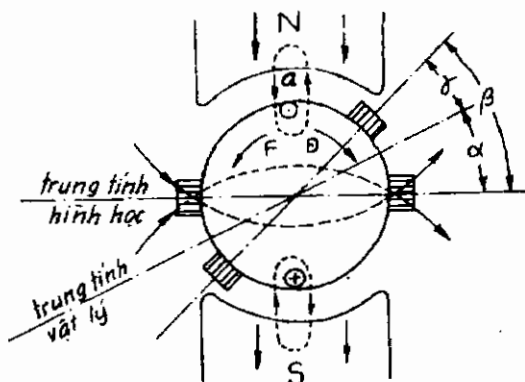
trong đó:

α - góc giữa các đường trung tính hình học và vật lý;

γ - góc có trị số ứng với điều kiện từ trường tổng bằng từ trường đối chiều.

Trong trường hợp động cơ điện thì chổi than phải xê dịch ngược chiều quay của máy.

Phương pháp xê dịch chổi than có nhược điểm là do e_{pk} phụ thuộc vào I_u nên mỗi khi



Hình 35-12. Xê dịch chổi than khỏi vùng trung tính để cải thiện đối chiều

tải của máy thay đổi muốn cho e_{dc} thay đổi theo bắt buộc phải xê dịch lại vị trí của chổi than để thay đổi góc γ . Trên thực tế điều đó không thể thực hiện được và phương pháp này chỉ có thể cải thiện được đôi chút ở một tải nhất định.

c. Dây quấn bù

Đối với các máy điện có công suất lớn hơn 150 kW và làm việc trong điều kiện tải thay đổi đột ngột, để ngăn ngừa hiện tượng vòng lửa và hỗ trợ thêm cho cực từ phụ, người ta dùng dây quấn bù. Như đã biết ở Chương 34, tác dụng của dây quấn bù là triệt tiêu từ trường của phần ứng trong phạm vi dưới mặt cực chính. Kết quả là từ trường của cực chính hầu như không bị biến dạng. Vì từ trường phần ứng phụ thuộc theo dòng điện tải I_u nên để có thể bù được từ trường đó ở tải bất kỳ, dây quấn bù phải được nối tiếp với dây quấn phần ứng. Khi có dây quấn bù, s.d.đ của cực phụ sẽ được giảm nhỏ, mạch từ của cực phụ ít bão hòa hơn và hiệu quả cải thiện đôi chút của cực từ phụ sẽ tăng lên.

d. Những biện pháp khác

Để giảm nhỏ dòng điện phụ i_f và do đó cải thiện đôi chút, từ biểu thức (35-9) ta thấy còn có khả năng tăng điện trở tiếp xúc hoặc khi thiết kế không chế sao cho s.d.đ phản kháng $e_{pk} \leq 7 + 10$ V. Nhưng những biện pháp đó khiến cho cấu tạo máy phức tạp và công nghệ chế tạo khó khăn cho nên không được thông dụng và ta cũng không đề cập đến.

35.4. THÍ DỤ

Một máy phát điện kích thích song song dây quấn sóng đơn có những số liệu sau: $P_{dm} = 10$ kW, $U_{dm} = 115$ V, $n = 1040$ vg/ph, $p = 2$, $D_u = 24,5$ cm, $l_g = 12$ cm, $Z = 35$, $G = 105$, $w_s = 1$, $K = 8,5$ cm, $\lambda = 7 \cdot 10^{-6}$ H/m. Khe hở không khí ở cực từ phụ $\delta_1 = 2,5$ mm, hệ số khe hở của cực từ phụ $k_{\delta f} = 1,33$. Tính s.d.đ e_{pk} và số vòng dây cần thiết ở mỗi cực từ phụ để e_{dc} triệt tiêu e_{pk} .

Giải

Áp dụng công thức (35-25) với điều kiện $B_G = 1$, $a = p$, $\lambda_M = 0$, ta có:

$$e_{pk} = 2w_{slđ} v_u \lambda A$$

$$\text{trong đó: } v_u = \frac{\pi D \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 24,5 \cdot 1040}{60} = 1336 \text{ cm/s}$$

$$A = \frac{N i_u}{\pi D} = 119 \text{ A/cm}$$

$$N = 2G = 210$$

$$i_u = \frac{I_{dm}}{2a} = \frac{P_{dm}}{2U_{dm}} = 43,5 \text{ a (bỏ qua dòng điện } I^t).$$

$$\text{Vậy: } e_{pk} = 2 \times 1 \times 12 \times 1336 \times 10^{-2} \times 119 \times 7 \times 10^{-6} = 0,267 \text{ V}$$

S.t.d cần thiết của một cực từ phụ:

$$F_t = -\frac{1}{2} A_t + \frac{2}{\mu_o} B_{dc} \delta_p k_{df}$$

$$\text{trong đó: } \tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi \times 24,5}{2 \times 2} = 19,3 \text{ cm}$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$B_{dc} = \frac{l_\delta}{l_{dc}} \lambda A = \frac{12}{8,5} 7 \cdot 10^{-6} \cdot 119 \cdot 10^2 = 0,1175 \text{ Wb/m}^2.$$

(theo điều kiện $e_{pk} = e_{dc}$).

$$\begin{aligned} \text{Vậy: } F_t &= -\frac{1}{2} 119 \times 19,3 + \frac{1}{4\pi \times 10^{-7}} 0,1175 \times 2,5 \cdot 10^{-3} \times 1,33 = \\ &= 1456 \text{ A/cực.} \end{aligned}$$

Mặt khác lại có: $F_t = w_f I_{dm}$.

Vậy số vòng cần thiết của một cực từ phụ:

$$w_f = \frac{F}{I_{dm}} = \frac{1456}{87} \approx 17 \text{ vòng.}$$

Câu hỏi

1. Ảnh hưởng của tốc độ đến đổi chiều?
2. Ảnh hưởng của bước dây quấn đến đổi chiều?
3. So sánh các phương pháp dùng để cải thiện đổi chiều, nói rõ hiệu quả và ứng dụng của từng phương pháp đó.
4. S.t.d của cực phụ phải đảm bảo triệt tiêu phản ứng của phần ứng và sinh ra từ trường đổi chiều cần thiết. Trong hai thành phần đó, thành phần nào lớn và nó chiếm tỉ lệ khoảng bao nhiêu phần trăm của toàn bộ s.t.d của cực phụ?
5. Vẽ cách nối dây của các dây quấn bù và dây quấn của cực từ phụ.

Bài tập

1. Tính s.d.d e_{pk} trong trường hợp bài tập số 2 Chương 34 với

$$\lambda = 8,5 \times 10^{-6} \text{ H/m và } \frac{l_b}{l_{dc}} = 1,2.$$

$$\text{Đáp số: } e_{pk} = 0,215 \text{ V}$$

2. Tính số vòng dây của cực từ phụ của máy phát điện một chiều để có đổi chiều đường thẳng. Cho $N = 834$, $I_u = 50 \text{ A}$, $a = p = 1$, $w_s = 3$, $D = 24,5 \text{ cm}$, $N = 1460 \text{ vg/ph}$, $\lambda = 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$, $l_b = l_{dc} = 8 \text{ cm}$, $\delta_f = 3 \text{ mm}$, $k_{dt} = 1,3$.

$$\text{Đáp số: } w_f = 118 \text{ vòng.}$$

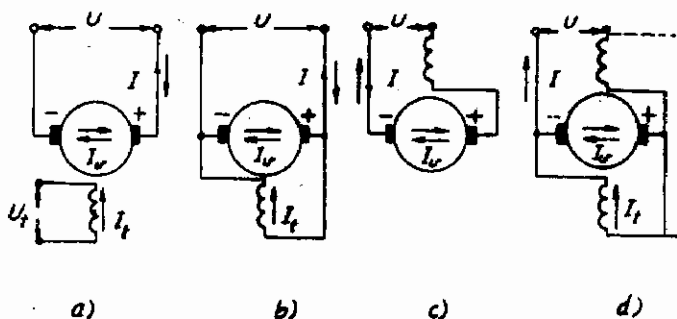
Chương 36

MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

36.1. ĐẠI CƯƠNG

Trong nền kinh tế quốc dân, nhiều ngành sản xuất như luyện kim, hóa 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...

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



Hình 36-1. Sơ đồ nguyên lý của máy phát điện một chiều kích thích độc lập (a), kích thích song song (b), kích thích nối tiếp (c) và kích thích hỗn hợp (d) (các mũi tên đứt nét biểu thị chiều dòng điện ở chế độ động cơ điện)

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 ác 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.

Sơ đồ của các loại máy phát điện một chiều kích thích độc lập, song song, nối tiếp và hỗn hợp được trình bày trên hình 35-1a và d. Từ hình đó ta thấy rằng ở các máy phát kích thích song song và kích thích hỗn hợp $I = I_u - I_t$ còn ở máy phát kích thích nối tiếp $I = I_u = I_t$.

35.2. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

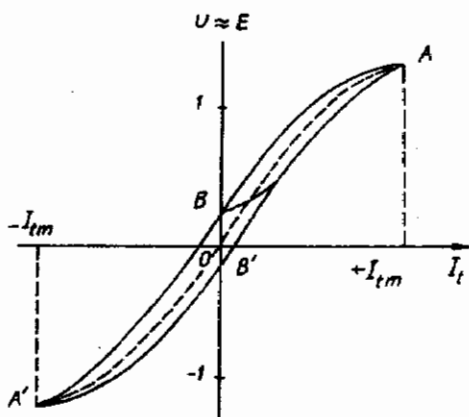
Máy phát điện một chiều có bốn đại lượng đặc trưng là U , I_u , I_t và n . Trừ tốc độ n được động cơ sơ cấp giữ không đổi, ba đại lượng còn lại U , I_u , I_t là những đại lượng biến thiên có liên hệ chặt chẽ với nhau. Với ba đại lượng đó có thể thành lập ba mối quan hệ cơ bản: $U = f(I_u)$ khi $I_t = C^{tc}$; $U = f(I_t)$ khi $I_u = C^{tc}$ và $I_u = f(I_t)$ khi $U = C^{tc}$. Dựa vào đó, khi nghiên cứu máy phát điện một chiều ta có các đặc tính sau đây:

1) Đặc tính không tải $U_0 = E = f(I_t)$ khi $I = 0$, $n = C^{tc}$;

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

- 3) Đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi $I_l = C^{tc}$, $n = C^{tc}$,
- 4) Đặc tính tải $U = f(I_l)$ khi $I_u = C^{tc}$, $n = C^{tc}$,
- 5) Đặc tính điều chỉnh $I_l = f(I_u)$ khi $U = C^{tc}$, $n = C^{tc}$.

Trong năm đặc tính trên đây, đặc tính không tải là trường hợp đặc biệt của đặc tính tải khi $I_u = 0$ và đặc tính ngắn mạch là trường hợp đặc biệt của đặc tính điều chỉnh khi $U = 0$. Tất cả năm 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



Hình 36-2. Đặc tính không tải của máy phát điện một chiều

đơn giản chỉ cần làm hai thí nghiệm không tải và ngắn mạch, sau đó dựa vào tam giác đặc tính để suy ra ba 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 $U_0 = E = f(I_l)$ khi $I = 0$; $n = C^{tc}$.

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 ($I = 0$), do các trị số I_l 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

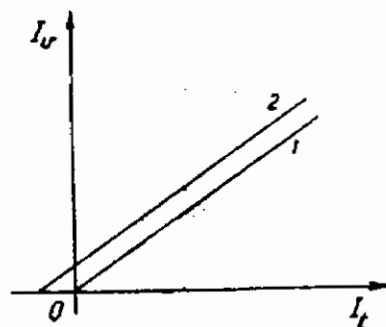
bộ chu trình trở đối xứng $ABA'B'A$ giữa hai trị số giới hạn của dòng điện kích thích $\pm I_{lm}$ ứng với điện áp $\pm (1,15 + 1,25)U_{dm}$ (hình 36-2).

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_l nên ta chỉ có thể vẽ được chu trình phụ ABA' giữa $+I_{lm}$ và O .

Đoạn OB trên hình 36-2 là s.d.d ứng với từ dư trong mạch từ của máy. S.d.d này rất nhỏ, thường bằng $2 + 3\% U_{dm}$ nên có thể bỏ qua, vì vậy đặc tính không tải của máy phát điện một chiều là đường trung bình đi qua gốc tọa độ AOA' biểu thị bằng đường đứt nét. Đó cũng chính là đường cong từ hóa của máy phát điện suy ra được khi tính toán mạch từ của máy lúc không tải (Chương 12).

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

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_l và tương ứng ta được đặc tính ngắn mạch. Theo biểu thức (33-15) khi ngắn mạch $E_u = I_u R_u$. Do R_u rất nhỏ, một khác phải giữ cho dòng điện I khỏi lớn quá trị số $(1,25 + 1,5) I_{dm}$ nên E_u rất nhỏ và dòng điện kích thích I_l tương ứng cũng sẽ rất nhỏ. Vì I_l nhỏ nên mạch từ của máy không bão hòa ($\mu = C^{te}$), $E_u \approx I_l$ do đó $I \approx I_l$ và đặc tính ngắn mạch là một đường thẳng. Nếu máy đã được khử từ dư thì đường thẳng này đi qua gốc

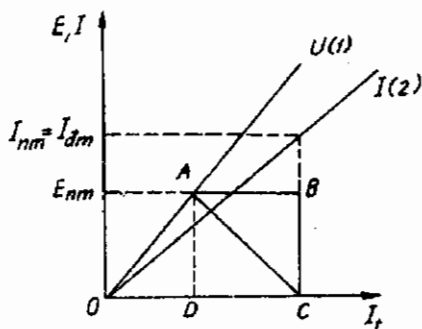


Hình 36-3. Đặc tính ngắn mạch của máy phát điện một chiều

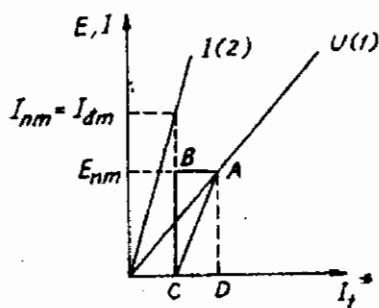
tọa độ (đường 1 trên hình 36-3). Nếu máy chưa được khử từ ta sẽ có đường 2), và để có đặc tính ngắn mạch tiêu chuẩn ta chỉ việc vẽ đường thẳng song song với đường 2 qua gốc tọa độ.

Tam giác đặc tính

Để thành lập tam giác đặc tính trên hệ tọa độ chung có trục hoành I_t ta vẽ các đặc tính không tải (đường 1) và đặc tính ngắn mạch (đường 2) như trên hình 36-4. 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.d.đ khắc phục điện áp rơi trên điện trở phần ứng $I_{dm}R_u = AD = BC$; phần còn lại DC trong trường hợp phản ứng phần khử từ $= AB$ 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



Hình 36-4. Dựng tam giác đặc tính trong trường hợp phản ứng phần khử từ



Hình 36-5. Dựng tam giác đặc tính trong trường hợp phản ứng phần ứng từ

trong điều kiện mạch từ không bão hòa tỉ lệ với phản ứng phần ứng, nghĩa là cùng tỉ lệ với dòng điện I .

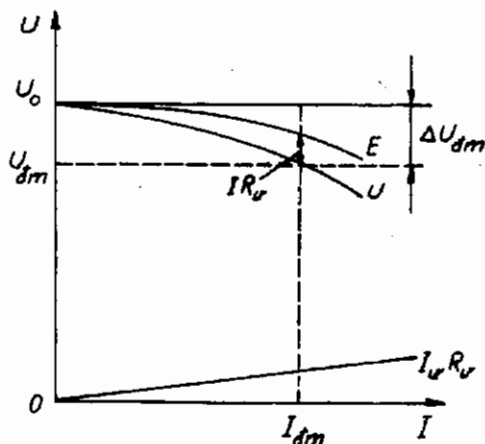
Độ lớn của cạnh AB phụ thuộc vào loại máy và lớn nhất ở máy điện một chiều không có dây quấn bù và cực từ phụ. Ở máy có dây quấn bù và cực từ phụ, phản ứng phần ứng hầu như bị triệt tiêu, cạnh $AB \approx 0$. Ở máy điện một

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 36-5).

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

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

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.



Hình 36-6. Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích độc lập

Dạng của đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích độc lập được trình bày trên hình 36-6. Hiệu số điện áp lúc không tải ($I = 0$) và lúc tải định mức ($I = I_{dm}$) 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:

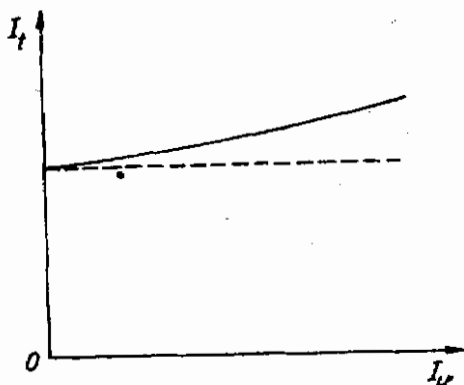
$$\Delta U_{dm}\% = -\frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100$$

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

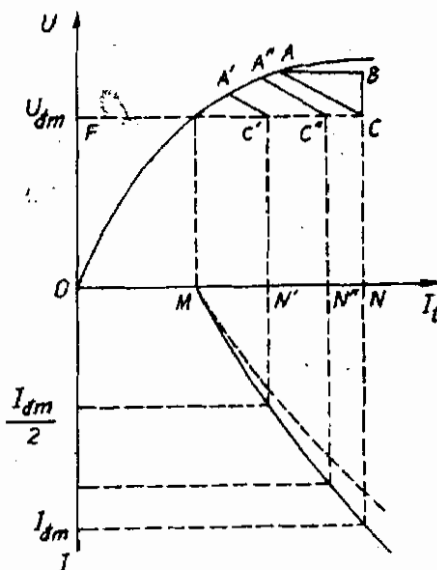
Như đã nói ở trên, đặc tính ngoài có thể có được bằng thí nghiệm trực tiếp hoặc bằng phương pháp gián tiếp dựa vào đặc

điểm D". Tiếp tục theo trình tự trên, ta có thể 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 $I_1 = C^{lc}$, $n = C^{lc}$. Trên thực tế do ảnh hưởng của bão hòa, 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 36-7.

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_u 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



Hình 36-8. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện một chiều kích thích độc lập



Hình 36-9. Dựng đặc tính điều chỉnh của máy phát điện kích thích độc lập từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính

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 $I_L = f(I)$ 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 trình bày trên hình 35-8 cho thấy khi tải tăng, cần phải tăng dòng điện kích thích sao cho bù được điện áp rơi trên R_g và ảnh hưởng của phản ứng phần ứng. Từ không tải (với $U = U_{dm}$) tăng đến tải định mức ($I = I_{dm}$) thường phải tăng dòng điện kích thích lên 15 + 25%.

Phương pháp dựng đặc tính điều chỉnh bằng đặc tính không tải và tam giác đặc tính được trình bày trên hình 36-9. Với trị số xác định của $U_0 = U_{dm} = MP$, khi $I = 0$ ta được điểm M ứng với dòng điện kích thích $I_L = OM$. 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 đứng 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 ở trường hợp dựng đặc tính ngoài ở mục a. Để tìm những điểm khác ta chỉ kẻ những đoạn thẳng $A'C'$, $A''C''$, ... song song với cạnh huyền 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 đường huyền AC .

Do ảnh hưởng của bão hòa, đường đặc tính điều chỉnh thu được bằng thí nghiệm trực tiếp có dạng theo đường đứt nét trên hình 36-9.

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

Máy phát điện một chiều kích thích song song (hình 35-1b) 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. Trước khi đi sâu vào các đặc tính ta hãy tìm hiểu điều kiện và quá trình tự kích thích của máy.

Như 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 s.d.đ E và trên cực máy sẽ tạo ra được một điện áp U vào quang $2 \div 3\% U_{dm}$. Nếu nối

kín mạch kích thích thì trong nó sẽ có dòng điện $I_t = \frac{U}{r_t}$ trong

đó r_t là điện trở của mạch kích thích. Kết quả là sinh ra s.t.đ $I_t \omega_t$. Nếu s.t.đ. 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 tự kích thích được. Nếu từ thông sinh ra ngược chiều với từ dư thì máy sẽ bị khử từ, không thể tự kích thích và tạo ra điện áp được.

Để thấy rõ quá trình tạo ra điện áp của máy phát điện kích thích song song, ta hãy 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 thiết rằng hệ số tự cảm của dây quấn kích thích $L_t = C^{te}$, hơn nữa có thể bỏ qua R_u vì nó rất nhỏ so với r_t , ta có:

$$r_t i_t + L_t \frac{di_t}{dt} = E, \quad (36-1)$$

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

Trong biểu thức (36-1), s.d.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. Để việc nghiên cứu được đơn giản, ta giả thiết rằng quá trình tự kích thích được tiến hành khi máy được quay với tốc độ $n = n_{dm} = C^{ic}$, tuy rằng trong thực tế quá trình đó tiến hành đồng thời với việc tăng tốc độ của máy phát điện từ $n = 0$ đến $n = n_{dm}$. Với giả thiết $n = C^{ic}$, ta có $E = f(I_t)$ và đó chính là đặc tính không tải của máy phát điện.

Phương trình vi phân (36-1) có thể giải được dễ dàng trên máy tính hoặc cũng có thể tính bằng phương pháp gần đúng. Muốn tính bằng phương pháp gần đúng, trước hết phải biểu thị đặc tính không tải đã cho biết của máy bằng biểu thức giải tích có dạng:

$$E = a_0 + a_1 i_t + a_2 i_t^2 + \dots + a_n i_t^n \quad (36-2)$$

trong đó $A_0 > 0$, chính là s.đ.đ E_{du} do từ thông dư sinh ra.

Giải hệ thống phương trình (36-1), (36-2) ta sẽ có được sự biến đổi của dòng điện i_t từ trị số $i_t = 0$ đến trị số xác lập $i_t = I_t$. Khi

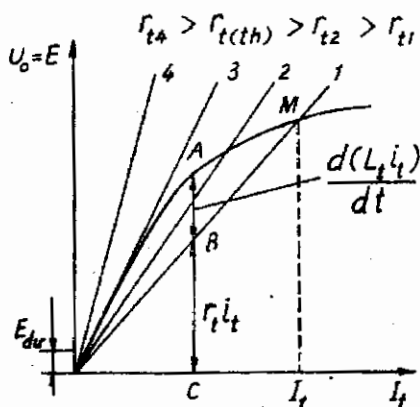
dòng điện đó đạt đến trị số xác lập I_t thì $\frac{di_t}{dt} = 0$ và điện áp

tạo ra được ở đầu máy bằng:

$$r_t I_t = E = U_0 \quad (36-3)$$

Từ những phương trình (36-1), (36-2) ta cũng thấy điều kiện để có nghiệm, nói khác đi điều kiện để máy tự kích thích và tạo ra được điện áp là:

a) Khi $i_t = 0$ trị số $a_0 \neq 0$, nghĩa là máy phải có từ dư, vì nếu không, phương trình (36-1) không có lời giải nào khác $i_t = 0$, nói khác đi là



Hình 36-10. Điện áp xác lập của máy phát kích song song ứng với các trị số khác nhau của r_t

máy không thể tự kích thích được.

b) 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 (36-1) không có lời giải và máy cũng không thể tự kích thích được.

c) Nếu r_t quá lớn, dòng điện i_t xác lập sẽ rất nhỏ, điện áp xác lập bằng E_{du} của máy.

Điện áp U_o thành lập được ở đầu máy theo biểu thức (36-3) cũng có thể tìm thấy trên hình 36-10 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 $U = i_t R_t$. Thật vậy từ hình 36-10 ta thấy rằng: khi $i_t < I_t$ thì đạo hàm:

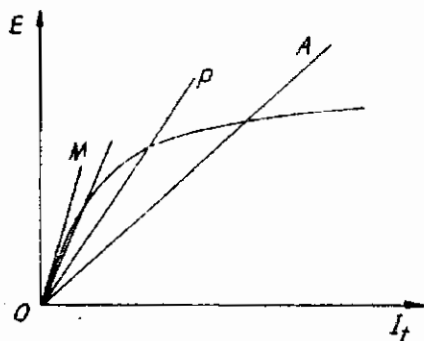
$$L_t \frac{di_t}{dt} = E - r_t i_t > 0$$

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 .

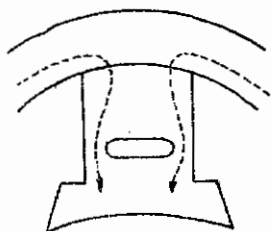
Ta chú ý rằng nếu r_t tăng thì đường thẳng $U = i_t r_t$ có độ dốc lớn hơn (đường 2), điện áp thành lập được sẽ nhỏ hơn. Trị số r_t ứng với đường 3 trùng với đoạn thẳng của đặc tính không tải gọi là điện trở tới hạn $r_{t(th)}$. Khi đó điện áp đầu máy phát sẽ không ổn định. Nếu $r_t > r_{t(th)}$ ta



Hình 36-11. Ổn định phần thẳng của đặc tính không tải của máy phát điện một chiều kích thích song song

có đường thẳng 4 và điện áp đầu máy bằng s.d.đ E_{du} , nối khác đi máy không thể tự kích thích được.

Ta cũng thấy rằng do tính chất bão hòa của mạch từ, bằng cách tăng r_1 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



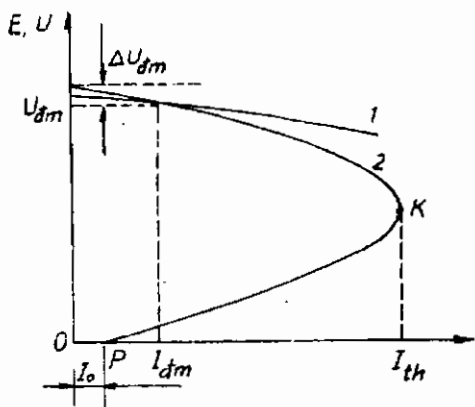
Hình 36-12. Xé rãnh ở cực từ

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 36-11). Muốn vậy, phải làm cho mạch từ sớm bão hòa bằng cách xé rãnh cực từ như ở hình 36-12.

a. Đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi $r_1 = C^{lc}$, $n = C^{lc}$.

Đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích song song được trình bày trên hình 36-13 (bằng đường 2). Để tiện so sánh, trên hình đó cũng trình bày đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích độc lập (đường 1). Ta thấy khi tăng tải, điện áp của máy phát điện kích thích song song giảm nhiều hơn so với điện áp của máy phát điện kích thích độc lập, vì ngoài ảnh hưởng của phản ứng phần ứng và điện áp rơi trên R_u như trong máy phát kích thích độc lập, trong máy phát kích thích song song với s.d.đ



Hình 36-13. Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích song song (2) và kích thích độc lập (1)

đường thẳng OP qua gốc tọa độ (hình 36-14).

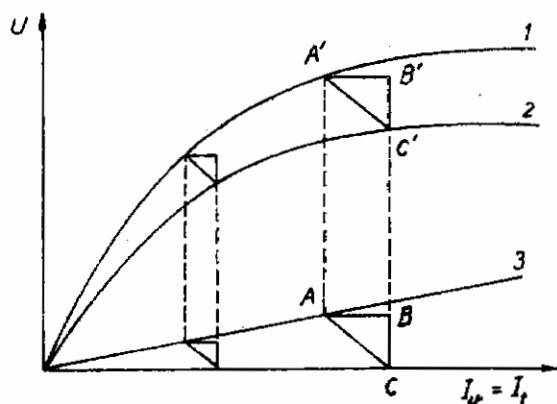
Tam giác đặc tính ABC ở đây sẽ tịnh tiến trong vùng giới hạn giữa đặc tính không tải và đường OP , trong khi ở trường hợp máy phát kích thích độc lập, trong vùng giới hạn giữa đặc tính không tải và đường thẳng đứng PP' (hình 36-7).

b. Đặc tính điều chỉnh $I_1 = f(I)$ khi $U = C^{te}$, $\alpha = C^{te}$.

Đặc tính điều chỉnh của máy phát kích thích song song giống như đặc tính điều chỉnh của 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.

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

Trong máy phát điện kích thích nối tiếp (hình 36-1c), dây quấn kích thích được nối 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



Hình 36-15. Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp

thích song song nhưng ngược lại tiết diện của dây lớn hơn một cách tương ứng.

Máy phát kích thích nối tiếp thuộc loại tự kích thích, cần 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 một điện trở, nói khác đi là máy chỉ được kích thích khi có tải. Vì $I_l = I_u = I$ cho nên khi $n = C^{te}$ chỉ còn hai đại lượng biến đổi là U và I , do đó máy phát điện này chỉ có một 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 35-15. Trên hình, đường cong 1 là đặc tính không tải, đường thẳng 3 là quan hệ $IR_u = f(I)$. Tịnh 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 các 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 trên thực tế loại máy này rất ít được dùng.

36.2.4. 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 cả hai loại máy này. Tùy theo cách nối, s.t.d của hai dây quấn kích thích có thể cùng chiều hoặc ngược chiều nhau.

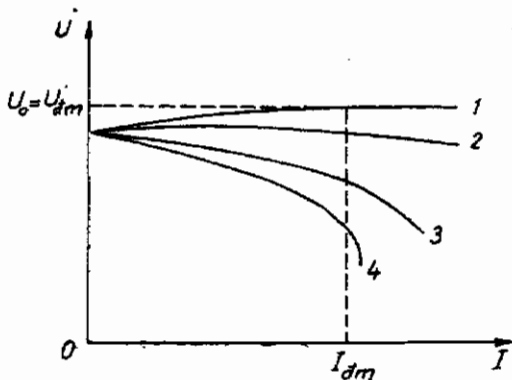
Trường hợp sau rất ít gặp và chỉ áp dụng với những mục đích đặc biệt, ví dụ như ở máy phát để hàn. Khi nối thuận hai dây quấn kích thích, dây quấn song song đóng vai trò chính còn dây

quấn nối tiếp đóng vai trò bù lại tác dụng của phản ứng phần ứng và điện áp rơi trên R_{Σ} , nhờ đó mà máy có khả năng điều chỉnh tự động được điện áp trong một phạm vi tải nhất định.

a. Đặc tính ngoài

$U = f(I)$ khi $n = C^{tc}$.

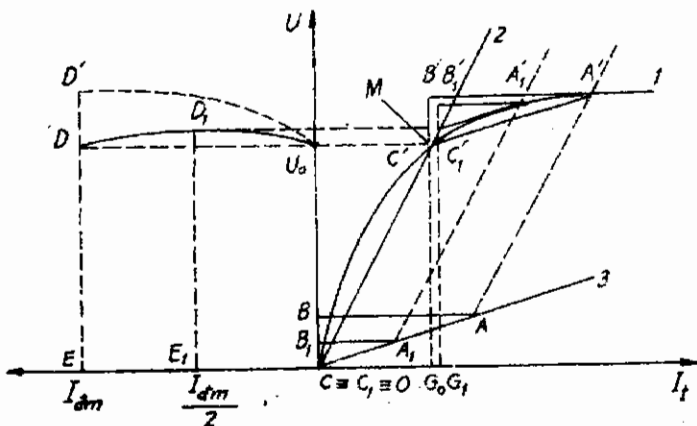
Trên hình 36-16 trình bày đặc tính ngoài của máy phát kích thích hỗn hợp. Khi nối thuận, điện áp đầu cực được giữ hầu như không đổi (đường 2). Trường hợp bù thừa điện áp sẽ tăng khi tải tăng (đường 1). Điều này có ý nghĩa đặc biệt khi cần bù hao hụt điện áp trên đường dây tải điện để giữ cho điện áp ở hộ tiêu thụ điện không đổi.



Hình 36-16. Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp

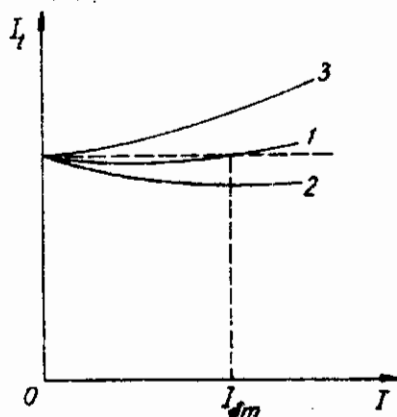
Nếu nối ngược hai dây quấn kích thích, khi tải tăng, điện áp sẽ giảm nhanh hơn ở máy phát kích thích song song (đường 3 và 4).

Phương pháp dựng đặc tính ngoài từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính ở đây không có gì khác so với ở trường hợp máy phát kích thích song song. Trên hình 36-17, đường cong 1 biểu thị đặc tính không tải, đường 2 - quan hệ $U = I_t r_t$ và đường thẳng 3 - điện áp rơi trên điện trở phần ứng $I_a R_a$. Tam giác đặc tính trên hình ứng với trường hợp bù thừa (xem h.35-6). Cho $A_1 B_1 C_1$ là tam giác đặc tính ứng với $I = \frac{1}{2} I_{dm}$. 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



Hình 30-17. Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp bằng đặc tính không tải và tam giác đặc tính

điện áp ứng với dòng điện tải bằng $\frac{I_{dm}}{2}$. Nếu ABC là tam giác đặc tính ứng với $I = I_{dm}$ thì cũng 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 sẽ có trường hợp $U_{dm} = U_0$. 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



Hình 30-18. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp.

tính ngoài có dạng theo đường nét đứt.

b. Đặc tính điều chỉnh $I_1 = f(I)$, khi $U = C^{te}$, $n = C^{te}$.

Đặc tính điều chỉnh của máy phát kích thích hỗn hợp được trình bày trên hình 36-18, 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.

36.3. 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, thí dụ khi tải giảm, một hoặc một số máy phát sẽ ngừng hoạt động để cho 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.

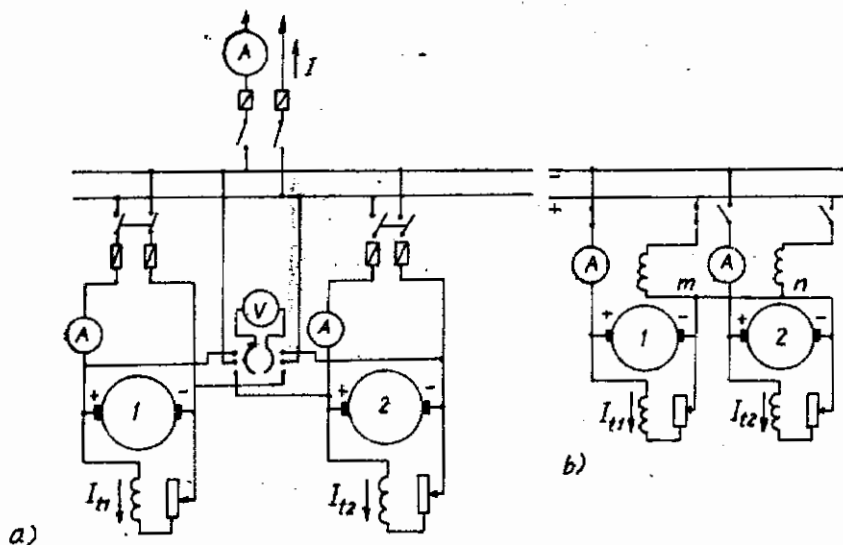
36.3.1. Điều kiện làm việc song song của máy phát điện một chiều

Giả thử ta có hai máy phát điện một chiều I và II , trong đó máy phát điện I đã làm việc với một tải I nào đó (hình 36-19). Muốn ghép máy phát II vào làm việc song song với máy phát I cần phải giữ đúng những điều kiện sau:

1. 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.

2. S.d.đ của máy phát II phải bằng điện áp U của thanh góp.

3. Nếu những máy làm việc song song thuộc loại máy phát kích thích hỗn hợp thì cần có điều kiện thứ ba: mỗi dây cân bằng



Hình 36-19. Máy phát điện một chiều làm việc song song: a) máy phát kích thích song song; b) máy phát kích thích hỗn hợp

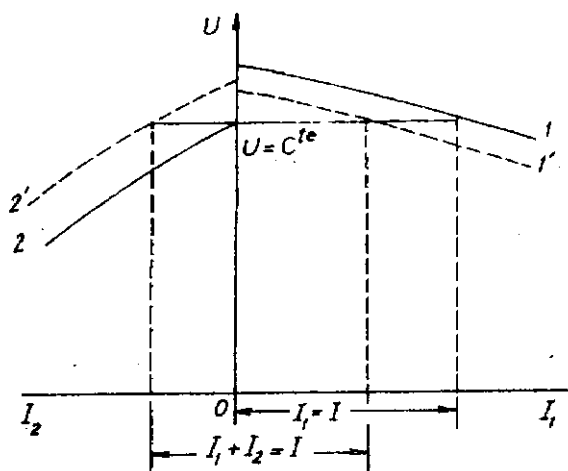
giữa các điểm m và n như ở hình 36-19b.

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 qua điện trở của tải, gây nên tình trạng ngắn mạch của cả hai máy. Nếu điều kiện thứ hai không thỏa 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 ba có thể giải thích như sau: nếu không có dây cân bằng thì sau khi ghép song song nếu đột nhiên vì một lý do nào đó tốc độ của một trong hai máy, thí dụ của máy I tăng thì s.d.d 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 dành 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 hai máy khiến cho s.d.đ của cả hai máy đều tăng.

36.3.2. Phân phối và chuyển tải giữa các máy phát điện

Như đã nói ở trên 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 hai máy phát điện được trình bày như các đường 1 và 2 trên hình 36-20. Để được rõ ràng, trên hình đó ta vẽ đặc tính ngoài của máy II ở góc phần tư thứ hai. Muốn cho máy II nhận tải, nghĩa là tham gia phát điện, phải tăng E_2 lớn hơn U và như vậy đặc tính ngoài của nó sẽ tịnh tiến lên trên (đường đứt nét 2' trên góc phần tư thứ hai). 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 đứt nét 1' trên góc phần tư thứ



Hình 36-20. Phân phối tải giữa các máy phát điện

nhất), sao cho ở điện áp $U = U^c$ 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_{11} và I_{12} 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, thường người ta dùng phương pháp thay đổi dòng điện kích thích để phân phối lại tải giữa các máy phát, tuy nhiên phải nói rằng cả hai phương pháp trên đều khiến cho công suất của động cơ sơ cấp 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* cho 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 *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_{11} 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 ra hư hỏng động cơ sơ cấp. Cũng cần chú ý thêm rằng, việc điều chỉnh các dòng điện kích thích I_{11} và I_{12} phải tiến hành rất chậm và liên tục, vì một sự thay đổi nhỏ của các dòng điện đó sẽ làm cho các dòng điện I_1 và I_2 thay đổi rất nhiều.

Từ hình 36-20 ta cũng thấy rằng khi làm việc song song trong điều kiện lúc không tải s.d.d 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. Đó là trường hợp của máy *I* trên hình vẽ. Ngược lại máy phát điện có đặc tính ngoài mềm, nghĩa là có 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.

36.4. THÍ DỤ

Thí dụ 1

Cho một máy phát điện kích thích song song 25 kW, 230 V, 1800 vg/ph, $R_u = 0,09 \Omega$, điện áp giáng trên chổi than $\Delta U_{tx} = 2$ V phản ứng phần 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 hóa 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

$$I_{dm} \approx I_u = \frac{25000}{230} = 108,7 \text{ A}$$

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

Từ đường cong từ hóa suy ra: $I_t = 3,25$ A. Tuy nhiên để khác phục phản ứng phần ứng, trên thực tế phải có:

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

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

b) Điện áp lúc không tải U_o là giao điểm của đường thẳng $U_o = R_t I_t = 69,6 I_t$ và đặc tính không tải. Bằng phương pháp vẽ ta suy ra giao điểm đó ứng với $I_t = 3,56$ a và $U_o = 247,6$ V.

Thí dụ 2

Cho một máy phát điện kích thích độc lập có các số liệu lúc

tải dây $U = 220 \text{ V}$, $I_1 = 2,5 \text{ A} = C^{tc}$, $I_u = 10 \text{ A}$, $nN = 1000 \text{ vg/ph}$.
Số vòng dây của dây quấn kích thích $w_1 = 850$.

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

$I_1, \text{ A}$	1,0	1,6	2	2,5	2,6	3	3,6	4,4
$U_o, \text{ V}$	78	120	150	176	180	193,5	206	225

Tính:

- Điện áp không tải ở $n = 1000 \text{ v/ph}$.
- 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.d.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) S.d.đ của máy phát khi tải đầy ở tốc độ 1000 v/ph

$$E_u = U + I_u R_u = 220 + 10 \times 0,4 = 224 \text{ V}$$

và ở tốc độ 750 v/ph

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

Từ đường cong từ hóa ta tìm được dòng điện kích từ tương ứng $I_1 = 2,35 \text{ A}$. Vậy số ampe vòng khử từ bằng:

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

- c) Khi quá tải 25% phản ứng phần ứng sẽ tăng 25% tương ứng với:

$$I_1 = (2,5 - 2,35) \cdot 1,25 = 0,1875 \text{ A}$$

và dòng điện kích thích có hiệu quả bằng:

$$I_1 = 2,5 - 0,1875 = 2,315 \text{ A}$$

Từ đường từ hóa suy ra $E_{(750)} = 165 \text{ V}$, do đó:

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

Điện áp đầu cực sẽ bằng:

$$U = E - I_a R_a = 220 - (10 \times 1,25) 0,4 = 215 \text{ V}.$$

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 $r_{l(th)}$ 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 thích được?

3. Giải thích vì sao các đặc tính suy 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 thể tự kích thích 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 hai máy như thế nào? Điện áp của lưới lúc đó ra sao?

Bài tập

1. Cho một máy điện một chiều có $P_{dm} = 215 \text{ kW}$, $U_{dm} = 115 \text{ V}$ và $n = 450 \text{ v/p.h.}$. 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_p, A	5	10	15	20	25	30	35
U_o, V	49	87	108	119,3	125,2	129,5	135

I_p, A	0	6
I_{nm}, 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 $I_l = C^{te}$ thì khi $I = I_{dm}$, $\Delta U\%$ bằng bao nhiêu?

Đáp số: b) 20%; c) 5%

2. Hai máy phát điện làm việc song song với $U = 220 V$, $\Delta U_1 = 4,8\%$, $\Delta U_2 = 5,5\%$. Hỏi máy phát điện nào chong đầy tải, lúc một máy đầy tải thì máy kia có tải bằng bao nhiêu?

Đáp số: Máy I chong đầy tải, khi đó máy II có tải bằng 0,87 tải định mức.

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

Máy	P_{dm}, kW	$n, v/g/ph$	U_o, V	U_{dm}, V
I	20	1000	230	210
II	15	1200	240	210

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

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

Đáp số: a) $P_1 = P_2 = 10 kW$

b) $\sum P = 35 kW$.

Chương 37

ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

37.1. ĐẠI CƯƠNG

Như đã nói ở các Chương 33 và 36, nói chung máy điện một chiều có thể làm việc theo chế độ máy phát khi $E > U$ và theo chế độ động cơ khi $E < U$. Việc chuyển từ chế độ máy phát sang chế độ động cơ xảy ra hoàn toàn tự động không cần thay đổi gì ở mạch nối, cụ thể là khi giảm dòng điện kích thích khiến cho E của máy phát hạ đến mức $E < U$, dòng điện trong phần ứng sẽ tự động đổi chiều, năng lượng sẽ chuyển theo chiều ngược lại và máy phát nghiêm nhiên trở thành động cơ.

Động cơ điện một chiều được dùng rất phổ biến trong công nghiệp, giao thông vận tải và nói chung ở những thiết bị cần điều chỉnh tốc độ quay liên tục trong một phạm vi rộng (máy cán thép, máy công cụ lớn, đầu máy điện,...)

Cũng như máy phát, động cơ điện một chiều được phân loại theo cách kích thích từ, thành các động cơ điện kích thích độc lập, kích thích song song, kích thích nối tiếp và kích thích hỗn hợp. Sơ đồ nối dây của chúng cũng tương tự như ở trường hợp máy phát. Cần chú ý rằng ở động cơ kích thích độc lập $I_u = I$; ở động cơ kích thích song song và hỗn hợp $I = I_u + I_t$; ở động cơ điện kích thích nối tiếp $I = I_u = I_t$.

Trên thực tế, đặc tính của động cơ điện kích thích độc lập và kích thích song song hầu như giống nhau nhưng khi cần công suất lớn người ta thường dùng động cơ điện kích thích độc lập để điều chỉnh dòng điện kích thích được thuận lợi và kinh tế hơn mặc dù loại động cơ này đòi hỏi phải có thêm nguồn điện phụ

bên ngoài. Ngoài ra, khác với ở trường hợp máy phát kích thích nối tiếp, động cơ điện kích thích nối tiếp được dùng rất nhiều, chủ yếu trong ngành kéo tải bằng điện.

Trong chương này chúng ta sẽ nghiên cứu các vấn đề chính của các loại động cơ điện một chiều bao gồm vấn đề mở máy, đặc tính của động cơ điện một chiều, dựa vào các quan hệ điện từ đã nghiên cứu ở Chương 33.

37.2. 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 đây:

1) Mômen mở máy 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.

2) Dòng điện mở máy I_k phải được hạn chế đến mức nhỏ nhất để tránh cho dây quấn khỏi bị cháy hoặc ảnh hưởng xấu đến đổi chiều.

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

- 1) Mở máy trực tiếp ($U = U_{dm}$)
- 2) Mở máy nhờ biến trở;
- 3) 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 (33-3) mômen ứng với mỗi trị số của dòng điện I_u luôn luôn lớn nhất. Hơn nữa phải bảo đảm không để xảy ra đứt mạch kích thích vì trong trường hợp đó $\Phi = 0$, $M = 0$, động cơ không quay được, do đó $E_u = 0$ và theo biểu thức (33-17) dòng điện I_u 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 hai phương pháp, hoặc đổi chiều dòng điện trong phần ứng hoặc đổi chiều từ thông, cụ thể là chiều 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 tác cũng có thể thực hiện được bằng cả hai phương pháp trên, tuy nhiên trên thực tế chỉ được dùng phương pháp đổi chiều dòng điện phần ứng I_u vì như đã biết dây quấn kích thích có nhiều vòng dây do đó hệ số tự cảm L_k 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 qua 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.

37.2.1. 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 $E_u = 0$ và dòng điện qua phần ứng bằng $I_u = \frac{U - E_u}{R_u} = \frac{U}{R_u}$. Vì trong thực tế $R_{u*} = 0,02 \div 0,1$, nên với điện áp định mức $U_n = 1$ dòng điện I_u 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 cơ máy này R_u tương đối lớn do đó khi mở máy $I_u \leq (4 \div 6)I_{dm}$. Trong những trường hợp đặc biệt mới cho phép mở máy trực tiếp đối với những động cơ có công suất vài kilôoat.

37.2.2. Mở máy nhờ biến trở

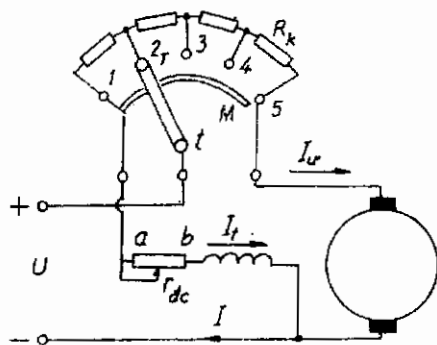
Để tránh nguy hiểm cho động cơ vì dòng điện mở máy quá lớn, người ta dùng biến trở mở máy R_k , gồm một số điện trở

nối tiếp khác nhau và đặt trên mạch phản ứng (hình 37-1). Như vậy trong quá trình mở máy ta có:

$$I_u = \frac{U - E_i}{R_u + R_{ki}}$$

trong đó "i" là chỉ số ứng với thứ tự các bậc của điện trở.

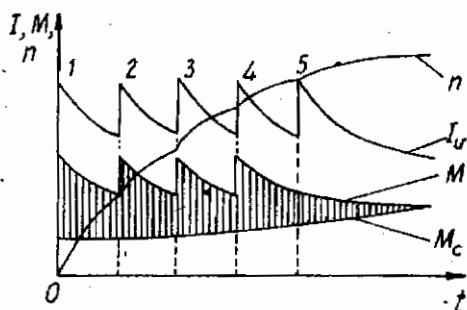
Biến trở mở máy được tính sao cho dòng điện mở máy $I_{k1} = (1,4 \div 1,7)I_{dm}$ đối với các động cơ lớn và $I_{k1} = (2 \div 2,5)I_{dm}$ đối với các động cơ nhỏ. Trước lúc mở máy tiếp điểm T nằm tại vị trí 0 và con chạy của biến trở ở mạch kích thích ở vị trí b ($r_{dc} = 0$). Khi bắt đầu mở máy, gạt T về vị trí 1. Nhờ cung đồng hồ M , dây



Hình 37-1. Sơ đồ mở máy động cơ điện một chiều kích thích song song bằng biến trở

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 bởi tốc độ quay n . Do sự xuất hiện và tăng lên của E , dòng điện phản ứng I_u sẽ giảm theo M giảm khiến n tăng chậm hơn (hình 37-2). Khi I_u 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_u lập tức tăng đến giới hạn trên của nó kéo theo M , n và 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 $n \approx n_{dm}$ thì R_k cũng được loại trừ hoàn toàn và động cơ làm việc với toàn bộ điện áp. Sự biến thiên của I , M và n trong quá trình mở máy trình bày trên hình 37-2 cho thấy mỗi khi loại một bậc điện trở, I và M tăng với hàng số thời

gian $T_d \approx 0$ vì hệ số tự cảm của phản ứng rất bé. Trái lại sự giảm dần của I và M xảy ra chậm, vì phụ thuộc vào sự tăng s.d.đ E hay là tốc độ n , nghĩa là phụ thuộc vào hằng số thời gian T_{co} rất lớn của cả khối quay.



Hình 37-2. Các quan hệ I , M và n đối với thời gian khi mở máy động cơ

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.

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

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

37.3. ĐẶC TÍNH CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Tùy theo cách kích thích từ, động cơ điện một chiều có những tính năng khác nhau biểu diễn bằng các đường đặc tính làm việc, đặc tính động cơ, khác nhau. Trong các đặc tính đó, quan trọng nhất là đặc tính cơ biểu thị quan hệ giữa tốc độ quay và mômen $n = f(M)$. Dưới đây ta sẽ lần lượt xét đặc tính cơ, sau đó đặc tính làm việc của các động cơ điện một chiều.

37.3.1. Đặc tính cơ và điều chỉnh tốc độ của động cơ điện một chiều

Đặc tính cơ $n = f(M)$ của động cơ điện một chiều có thể suy ra từ các biểu thức (9-1) về s.d.đ và (33-21):

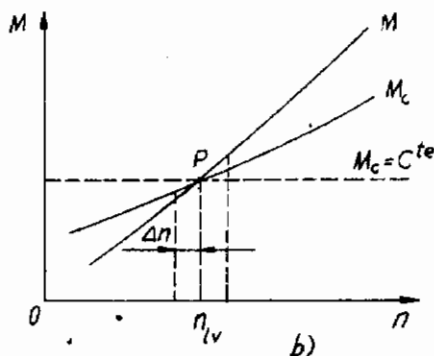
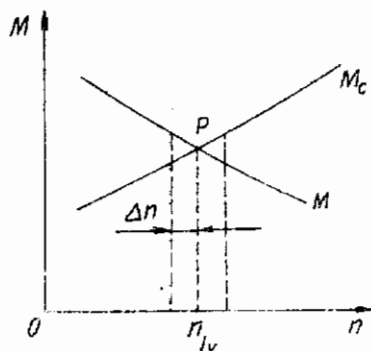
$$n = \frac{E}{C_e \Phi} = \frac{U - I_a R_a}{C_e \Phi} \quad (37-1)$$

và vì $M = C_M I_a$, biểu thức (37-1) có thể viết dưới dạng:

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a M}{C_M C_e \Phi^2} \quad (37-2)$$

Trong truyền động điện lực một vấn đề tương đối quan trọng được đặt ra là phải phối hợp tốt đặc tính cơ của động cơ điện và đặc tính cơ của tải hoặc của máy công tác. Tùy theo tính chất của truyền động có thể có những yêu cầu khác nhau đối với động cơ điện, thí dụ tốc độ không thay đổi hoặc thay đổi nhiều khi mômen cần thay đổi và để thỏa mãn những yêu cầu đó cần phải dùng các loại động cơ điện khác nhau có đặc tính cơ thích hợp.

Sự phối hợp các đặc tính cơ của động cơ điện và của tải còn phải sao cho luôn đảm bảo được tính ổn



Hình 37-3. Chế độ làm việc ổn định (a) và không ổn định (b) của động cơ điện một chiều

định công tác trong chế độ làm việc xác lập cũng như quá trình quá độ, thí dụ như khi điều chỉnh tốc độ. Để nghiên cứu điều kiện làm việc ổn định của hệ truyền động, ta xét đặc tính $M = f(n)$ của động cơ điện và $M_c = f(n)$ của tải trình bày trên hình 37-3. Ở trường hợp của hình 35-3, a ta thấy xảy ra sự tăng tốc độ ngẫu nhiên nào đó ($n = n_{lv} + \Delta n$) thì $M_c > M$ và động cơ điện bị hãm lại để trở về tốc độ ban đầu n_{lv} , ứng với điểm P.

Cũng như vậy, khi xảy ra sự giảm tốc độ đột nhiên $M_c < M$ động cơ điện được gia tốc và đạt tốc độ n_{lv} . Đây là trường hợp động cơ làm việc ổn định và từ hình vẽ đó ta thấy điều kiện làm việc ổn định của động cơ như sau:

$$\frac{dM}{dn} < \frac{dM_c}{dn} \quad (37-3)$$

Ngược lại, nếu $M = f(n)$ và $M_c = f(n)$ có dạng như ở hình 8-3b thì việc tăng tốc độ đột nhiên sẽ khiến cho động cơ điện có mômen gia tốc dương làm cho tốc độ tiếp tục tăng mãi, hoặc sự giảm tốc độ sẽ đưa lại hậu quả làm cho tốc độ tiếp tục giảm. Như vậy là truyền động làm việc không ổn định ứng với điều kiện:

$$\frac{dM}{dn} > \frac{dM_c}{dn} \quad (37-4)$$

Từ biểu thức (37-2) ta thấy rằng việc điều chỉnh tốc độ của động cơ điện một chiều có thể thực hiện được bằng cách thay các đại lượng Φ , R_u và U .

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi Φ được áp dụng tương đối phổ biến, có thể thay đổi tốc độ được liên tục và kinh tế. Trong quá trình điều chỉnh hiệu suất $\eta \approx C^{te}$ vì sự điều chỉnh dựa trên việc tác dụng lên mạch kích thích có công suất rất nhỏ so với công suất động cơ. Cần 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 phản ứng để tăng R_u 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 quay 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.

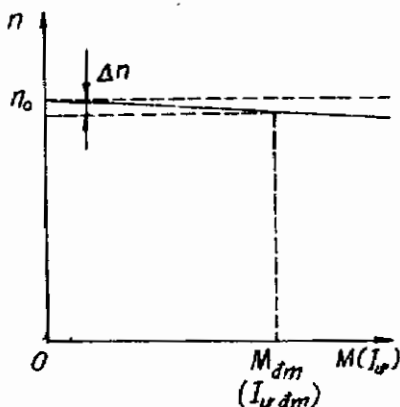
Sau đây ta sẽ xét đặc tính cơ và cách điều chỉnh tốc độ của từng loại động cơ điện.

A. Động cơ điện kích thích song song hoặc kích thích độc lập

Với những điều kiện $U = C^{te}$, $I_f = C^{te}$ khi M (hoặc I_d) thay đổi, từ thông Φ của động cơ điện cũng hầu như không đổi, vì thực ra ảnh hưởng làm giảm bớt từ thông của phản ứng ngang trục của phản ứng rất nhỏ cho nên biểu thức (37-2) có thể viết dưới dạng:

$$n = n_0 - \frac{R_u M}{k} \quad (37-5)$$

và đặc tính cơ của động cơ điện kích thích song song là một đường thẳng như trình



Hình 37-4. Đặc tính cơ (và đặc tính tốc độ) tự nhiên của động cơ điện một chiều kích thích song song

bày ở hình 37-4. 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.

Do R_u rất nhỏ, nên khi tải thay đổi từ không đến định mức) tốc độ giảm rất ít (khoảng $2 + 8\%$ tốc độ định mức) cho nên đặc tính cơ 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, quạt, ...).

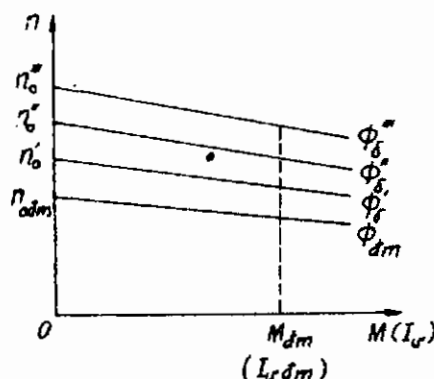
a. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông Φ

Nếu tăng điện trở r_{dc} trên mạch kích thích từ (hình 37-1) ứng với các trị số khác nhau của điện trở kích thích ta có các đặc tính cơ tương ứng như trình bày trên hình 37-5. Các đường đó có n_0 lớn hơn n_{odm} và có độ nghiêng khác nhau và sẽ 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 (37-5) hoặc (37-1). 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.



Hình 37-5. 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.

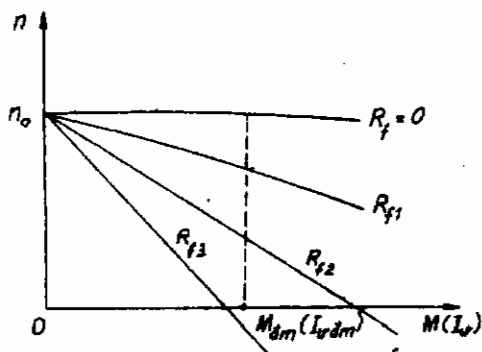
Cũng có thể sản xuất những động cơ giới hạn điều chỉnh 1 : 5 thậm chí đến 1 : 8 nhưng phải dùng những phương pháp không chế đặc biệt, do đó cấu tạo và công nghệ chế tạo phức tạp khiến cho giá thành của máy tăng lên.

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

Nên nối thêm điện trở phụ R_f vào mạch phản ứng, thì biểu thức (37-5) trở thành:

$$n = n_0 \cdot \frac{(R_u + R_f)M}{k} \quad (37-6)$$

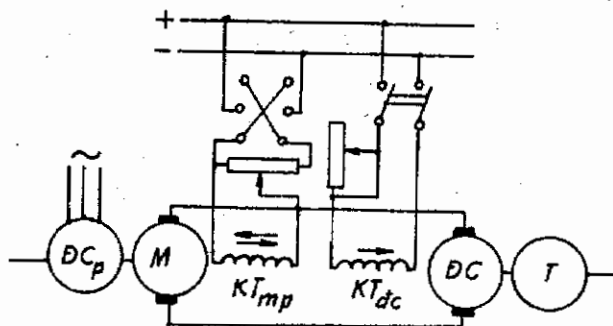
Hình 37-6 trình bày các đặc tính cơ ứng với các trị số khác nhau của R_f trong đó ứng với $R_f = 0$ là đặc tính cơ tự nhiên. Ta thấy rằng nếu R_f càng lớn đặc tính cơ sẽ có độ dốc càng cao và do đó càng mềm hơn, nghĩa là tốc độ sẽ thay đổi nhiều khi tải thay đổi. Cũng như trên, giao điểm của những đường đó với đường $M_0 = f(n)$ cho biết trị số tốc độ xác lập khi điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện trở phụ R_f .



Hình 37-6. 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

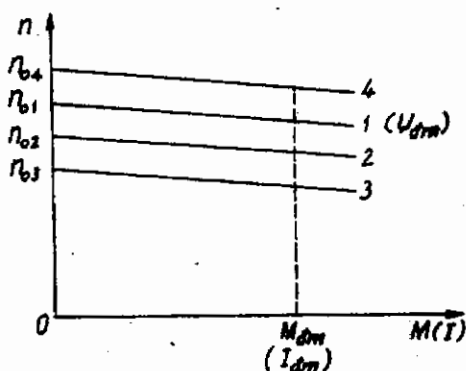
c. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện áp

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 một nguồn độc lập được thực hiện trong kỹ thuật bằng cách ghép thành tổ máy phát - động cơ



Hình 37-7. 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

có sơ đồ nguyên lý trình bày trên hình 37-7. Khi thay đổi U ta có một họ đặc tính cơ có cùng một độ dốc (hình 37-8): 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 37-8. 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 một phạm vi rất hẹp. Đặc điểm của phương pháp này là lúc điều chỉnh tốc độ, mômen không đổi vì Φ và I_f đều không đổi. Sở dĩ I_f không đổi là vì khi giảm U , tốc độ n giảm làm E cũng giảm, nên:

$$I_u = \frac{U - E}{R_u} \approx C^{ic}$$

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 rãi, 1:10 hoặc hơn nữa.

B- 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

$$\Phi = k_\phi I, \quad (37-7)$$

trong đó hệ số tỷ lệ k_ϕ chỉ là hằng số trong vùng $I < 0,8I_{dm}$ còn khi $I > (0,8 + 0,9)I_{dm}$ thì hơi giảm xuống do ảnh hưởng bão hòa của mạch từ.

Như vậy biểu thức mômen sẽ có dạng:

$$M = C_M \Phi I_u = C_M \frac{\Phi^2}{k_\phi} \quad (37-8)$$

và kết hợp với biểu thức (37-2) ta có:

$$n = \frac{\sqrt{C_M} U}{C_e \sqrt{k_\phi} \sqrt{M}} - \frac{R_u}{C_e k_\phi} \quad (37-9)$$

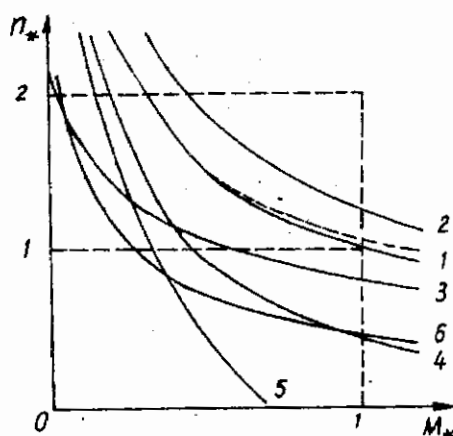
Nếu bỏ qua R_u thì:

$$n \approx \frac{U}{\sqrt{M}} \text{ hay là } M = \frac{C^2}{n^2} \quad (37-10)$$

và như vậy khi mạch từ chưa bão hòa đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp có dạng của đường hypecbon bậc hai như trình bày trên hình 37-9 (đường 1). 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. Cũng vì vậy không được cho loại động cơ điện này làm việc ở những điều kiện có thể xảy ra mất tải như dòng dai truyền, vì khi xảy ra đứt hoặc trượt dai truyền tốc độ quay tăng rất cao. Thông thường chỉ cho phép động cơ làm việc với tải tối thiểu $P_2 = (0,2 + 0,25) P_{dm}$.

Trên thực tế do ảnh hưởng của bão hòa khí tải tăng, tốc độ của động cơ giảm ít hơn theo đường nét đứt trên hình 37-9.

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 một vùng rộng, thí dụ ở các đầu máy kéo tải (xe điện, métro, đầu máy điện, cần trục...).



Hình 37-9. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp ở các trường hợp điều chỉnh tốc độ khác nhau

a) Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi từ thông Φ

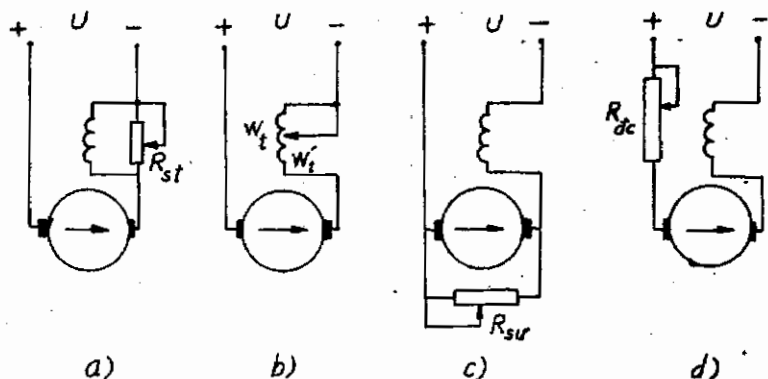
Từ thông Φ của động cơ kích thích nối tiếp có thể thay đổi bằng những biện pháp sau đây: mắc sun dây quấn kích thích bằng một điện trở; thay đổi số vòng dây của dây quấn kích thích; mắc sun dây quấn phản ứng, theo các sơ đồ trình bày trên hình 37-10. Hai biện pháp đầu dẫn đến cùng một kết quả. Nếu dòng điện kích thích lúc đầu là $I_1 = I$ thì dòng điện kích thích sau khi áp dụng các biện pháp trên sẽ giảm xuống $I_1 = kI$, trong đó hệ số giảm:

$$k = \frac{R_{st}}{R_1 + R_{st}} < 1$$

nếu mắc sun dây quấn kích thích, trong đó R_{st} - điện trở của sun; hoặc:

$$k = \frac{\omega'_1}{\omega_1} < 1$$

nếu thay đổi số vòng dây của dây quấn kích thích.



Hình 37-10. 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

Như vậy trong công thức của đặc tính cơ (37-9) hệ số k_ϕ được thay bằng $k.k_\phi$. Rõ ràng là 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 ở hình 37-9).

Nếu dùng biện pháp thứ ba, mắc sun phản ứng, thì điện trở tổng của toàn mạch sẽ bé đi, dòng điện $I = I_1$ và từ thông 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 37-9). Vì R_1 rất bé nên R_{su} hầu như được đặt dưới toàn bộ điện áp của mạng cho nên hao tổn 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 hòa của mạch từ nên phương pháp này rất ít được áp dụng.

b) Điều chỉnh tốc độ bằng thêm điện trở vào mạch phản ứng

Sơ đồ trên hình 37-10 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 cũng ít được ứng dụng. Đặc tính cơ ứng với trường hợp này được trình bày trên hình 37-9 - đường 4 và 5.

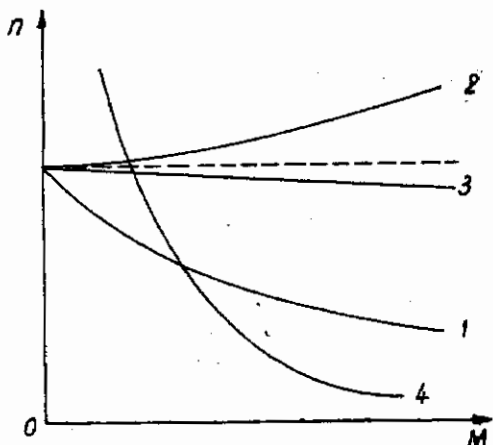
c) Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện áp

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 $U_1 = U_{dm}$ và sau khi đổi nối thành nối tiếp - với 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 37-9.

C- Động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp

Động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp có thể được chế tạo sao cho tác dụng của các dây quấn kích thích song song và nối tiếp hoặc bù nhau hoặc ngược nhau; song 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 động cơ 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 ở trường hợp 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 37-11 trong đó đường 1 - ứng với kích thích hỗn hợp bù, đường 2 - hỗn hợp ngược, đường 3 - kích thích song song và 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.



Hình 37-11. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp- so sánh với các loại động cơ điện một chiều khác

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 trong máy ép (nén), máy bào, máy in, máy cán thép, máy nâng tải ... Trong 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 trở về lưới điện.

37.3.2. Đặc tính làm việc của động cơ điện một chiều

Đặc tính làm việc của động cơ điện một chiều bao gồm các quan hệ $n, M, \eta = f(I_a)$ khi $U = U_{dm} = C^{te}$.

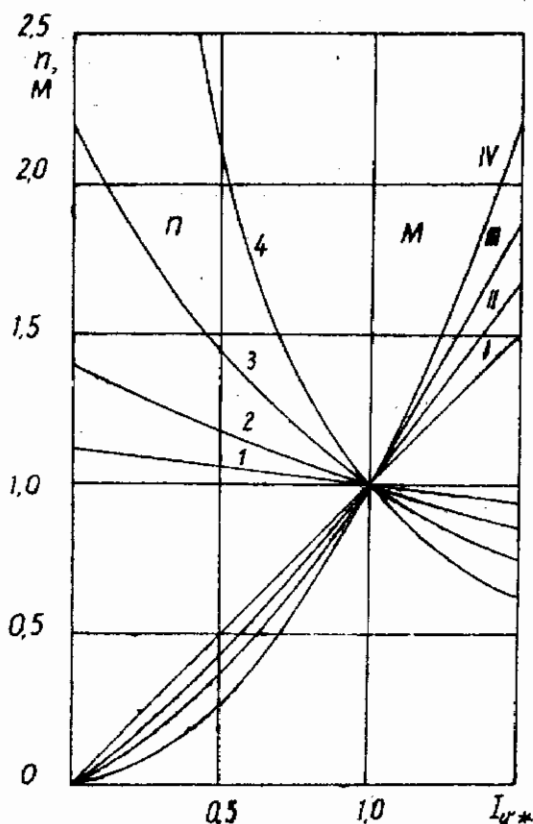
Từ các biểu thức (37-1) và (37-2) ta thấy ngay rằng về bản chất đặc tính tốc độ $n = f(I_a)$ có dạng giống các đặc tính cơ. Các đặc tính tốc độ của các loại động cơ biểu thị theo đơn vị tương đối được trình bày trên hình 37-12, trong đó đường 1 ứng với động cơ kích thích song song, đường 4 - động cơ kích thích nối

tiếp, đường 2 và 3 có tính chất trung gian giữa 1 và 4 ứng với động cơ kích thích hỗn hợp.

Đặc tính mômen $M = f(I_u)$ khi $U = U_{dm} = C^{tc}$ biểu thị quan hệ $M = C_M \Phi I_u$. Ở động cơ kích thích song song $\Phi \approx C^{tc}$ nên M phụ thuộc vào I_u theo quan hệ đường thẳng (đường I trên hình 37-12). Ở động cơ kích thích nối tiếp $\Phi \propto I_u$ do đó $M \propto I_u^2$ nên dạng của đặc tính mômen là đường

parabôn (đường IV). Còn ở động cơ kích thích hỗn hợp khi I_u tăng Φ tăng, nhưng với mức độ chậm hơn so với sự tăng Φ ở động cơ kích thích nối tiếp vì vậy đường đặc tính mômen có tính chất trung gian giữa I và IV (đường II và III).

Đặc tính hiệu suất $\eta = f(I_u)$ khi $U = U_{dm} = C^{tc}$ của các loại động cơ điện một chiều nói chung có dạng như trình bày trên hình 37-13. Hiệu suất cực đại của động cơ điện một chiều thường được tính toán với dòng điện tải $I_u = 0,75 I_{dm}$ và lúc đó tổn hao



Hình 37-12. Đặc tính tốc độ và đặc tính mômen của các loại động cơ điện một chiều

không đổi trong động cơ điện bao gồm tổn hao cơ và tổn hao sắt từ bằng tổn hao biến đổi phụ thuộc vào điện trở các dây quấn và tỉ lệ với bình phương của dòng điện I_u . Hiệu suất của động cơ điện một chiều công suất nhỏ vào khoảng $\eta = 75 \div 85\%$, ở động cơ điện công suất trung bình và lớn $\eta = 85 \div 94\%$.

37.4. THÍ DỤ

Thí dụ 1

Cho một động cơ điện một chiều 10 sức ngựa, 230V kích thích song song $R_u = 0,35 \Omega$, $R_t = 288 \Omega$. Khi $I_u = 1,6 \text{ A}$ thì $n = 1040 \text{ vg/ph}$. Muốn cho dòng điện mạch ngoài $I = 30,8 \text{ A}$ và $n = 600 \text{ vg/ph}$. Hỏi:

a) Trị số điện trở cần thiết cho vào mạch phản ứng?

b) Với điện trở đó nếu $I = 22,8 \text{ A}$ thì tốc độ bằng bao nhiêu?

c) Nếu $I_{dm} = 38,5 \text{ A}$, hãy tính M/M_{dm} trong hai câu hỏi trên.

d) Công suất đưa vào động cơ điện, công suất mạch phản ứng, công suất cơ khi $I = 40,8 \text{ A}$.

Giải

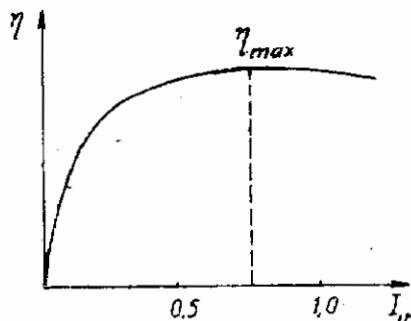
a) Cho rằng khi tải thay đổi, từ thông là hằng số, ta có:

$$\frac{n}{n'} = \frac{U - I_u R_u}{U - I'_u (R_u + R_{\text{đc}})}$$

với $n = 1040 \text{ vg/ph}$, $n' = 600 \text{ vg/ph}$

$$I_u = 1,6 \text{ A}$$

$$I'_u = I - I_t = 40,8 - \frac{230}{288} = 40 \text{ A}$$



Hình 37-13. Đặc tính hiệu suất của động cơ điện

$$U = 230 \text{ V}, R_u = 0,35 \Omega.$$

Từ biểu thức trên ta được $R_{dc} = 2,1 \Omega$.

b) Với điện trở $R_{dc} = 2,1 \Omega$, $I = 22,8 \text{ A}$

$$I_u = 22,8 - \frac{230}{288} = 22 \text{ A}$$

tương tự như trên ta có:

$$\frac{n^h}{n^l} = \frac{n^*}{600} = \frac{230 - 22(0,35 + 2,1)}{230 - 40(0,35 + 2,1)}$$

Ta suy ra $n^* = 800 \text{ vg/ph}$.

c) Ta có: $M = C_M \Phi I_u$, vậy:

$$\frac{M'}{M_{dm}} = \frac{I'_u}{I_{dm}} = \frac{40}{38,5 - 0,8} = 1,06.$$

$$\frac{M''}{M_{dm}} = \frac{I''_u}{I_{dm}} = \frac{22}{38,5 - 0,8} = 0,58.$$

d) Công suất đưa vào bằng:

$$P_l = U_{dm} I = 230 \cdot 40,8 = 9400 \text{ W}.$$

Công suất mạch phản ứng bằng:

$$P_l - r_l I_l^2 = 9400 - 2880,8^2 = 9216 \text{ W}.$$

Công suất cơ bằng:

$$P_l - r_l I_l^2 - I_u^2 R_u = 9216 - 40^2 \cdot 2,45 = 5296 \text{ W}.$$

Thí dụ 2

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

a) Nếu đem dùng như động cơ điện (bỏ qua tác dụng phản ứng phản ứng) với $U_{dm} = 110 \text{ V}$, $P_{dm} = 25 \text{ kW}$, $\eta = 0,86$, hãy tính tốc độ n ?

b) Sự biến đổi của tốc độ từ tải đầy đến không tải.

Giải

a) Khi làm việc như máy phát điện thì:

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

Thay vào đó các trị số:

$$U = 115 \text{ V}, 2\Delta U_{tx} = 2 \text{ V}, R_u = 0,02 \Omega$$

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

ta được: $E_F = 121,8 \text{ V}$.

Khi làm việc như động cơ điện:

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

Thay vào đó:

$$U = 110 \text{ V}, R_u = 0,02 \Omega, 2\Delta U_{tx} = 2 \text{ V}$$

$$I_{u(D)} = \frac{P_{dm}}{\eta U_{dm}} - I_l = \frac{25.000}{0,86 \cdot 110} - 5 = 259,3 \text{ A}$$

ta được $E_D = 102,3 \text{ V}$.

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

$$\text{và giả thiết rằng: } \frac{\Phi_D}{\Phi_F} = \frac{I_{tD}}{I_{tF}} = \frac{4,7}{5}$$

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

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

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

$$\text{và suy ra: } n_{oD} = n_D \cdot \frac{110}{102,3} = 1030 \cdot \frac{110}{102,3} = 1105 \text{ vg/ph.}$$

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. So sánh các đặc tính của các động cơ điện một chiều.
3. 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 mặt kích thích r_{dc} quá lớn.
4. Nếu chổi điện đặt không đúng vị trí mà bị xô dịch ngược chiều quay của rôto, 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: $P_{dm} = 95 \text{ kW}$, $U_{dm} = 220 \text{ V}$, $I_{dm} = 470 \text{ A}$, $I_{tđm} = 4,25 \text{ A}$, $R_u = 0,0125 \Omega$, $n_{dm} = 500 \text{ vg/ph}$. Hãy xác định:

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

Đáp số: a) 91,8%

b) $P = 8,4 \text{ kW}$, $P_o = 4753,5 \text{ W}$;

$I_o = 25,8 \text{ A}$

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

d) $I' = 536 \text{ A}$

e) $R_f = 0,45 \Omega$

f) $R'_f = 0,532 \Omega$

2. Số liệu của một máy phát điện kích thích song song như sau: $P_{dm} = 27 \text{ kW}$, $U_{dm} = 115 \text{ V}$, $n = 1150 \text{ vg/ph}$, $I_t = 5 \text{ A}$, $\eta_{dm} = 86\%$, $R_u = 0,01673 \Omega$, điện trở dây quấn cực từ phụ bằng $0,00717 \Omega$, $2\Delta U_{tx} = 2 \text{ V}$. Nếu chuyển sang làm việc như động cơ điện ở điện áp 110 V thì có công suất ở trục là 25 kW . Giả thiết rằng trạng thái bão hòa và hiệu suất của máy không đổi. Tính:

a) Tốc độ quay;

b) Khi đột nhiên không tải thì động cơ làm việc với tốc độ bằng bao nhiêu? (bỏ qua dòng điện không tải và phản ứng phần ứng).

Đáp số: a) 954 vg/ph

b) 1031 vg/ph

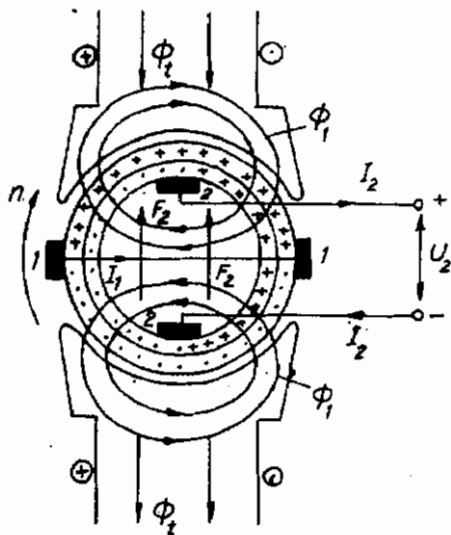
Chương 38

MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU ĐẶC BIỆT

Nhiều trường hợp trong kỹ thuật và sản xuất đã đặt ra cho máy điện một chiều một số yêu cầu mà những máy có cấu tạo thông thường không thể nào thỏa mãn được. Thực tế đòi hỏi phải nghiên cứu và chế tạo những máy điện một chiều đặc biệt và trong lĩnh vực này, ngành chế tạo máy điện đã thu được những kết quả nhất định. Trong chương này chúng ta sẽ nghiên cứu sơ lược một vài loại máy điện một chiều đặc biệt đã hoặc có triển vọng được ứng dụng rộng rãi trong thực tế, bao gồm các máy điện một chiều với từ trường ngang, máy phát hàn điện, máy phát một cực và một số máy cực nhỏ dùng trong kỹ thuật đo lường và tự động.

38.1. MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU TỪ TRƯỜNG NGANG

Máy điện một chiều từ trường ngang là máy điện một chiều có vành góp, dùng từ trường tạo nên bởi phản ứng phản ứng để cảm ứng dòng điện đưa ra dùng. Như vậy trong dây quấn phản ứng đồng thời có hai dòng điện: dòng điện thứ nhất tạo ra từ trường



Hình 38-1. Cấu tạo của máy phát một chiều từ trường ngang

ngang và dòng điện thứ hai đưa ra dùng được sinh ra bởi từ trường ngang đó. Sơ đồ cấu tạo của máy điện từ trường ngang hai cực được trình bày trên hình 38-1, trong đó:

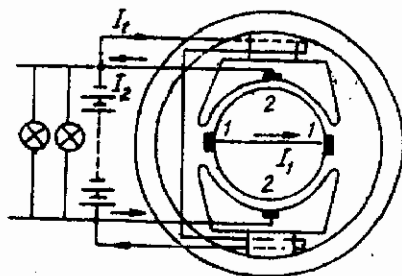
- Phần cảm nằm ở stato gồm các cực và gông từ;
- Phần ứng nằm ở rôto và có vành góp.

Cặp chổi 1-1 được đặt trên đường trung tính hình học và được nối với nhau, cặp chổi 2-2 lệch khỏi cặp 1-1 một góc 90° và nối với đầu dây ra của máy. Trên phần ứng, những ký hiệu ở vòng ngoài chỉ chiều dòng điện I_1 trong dây quấn phần ứng và những ký hiệu ở vòng trong - chiều dòng điện I_2 cũng trong dây quấn đó. Như vậy ở hai nửa bước cực dòng điện trong dây quấn phần ứng bằng tổng số hai dòng điện I_1, I_2 ; còn ở hai nửa bước cực kia - hiệu số của chúng.

38.1.1. Máy phát cho dòng điện không đổi khi thay đổi tốc độ quay

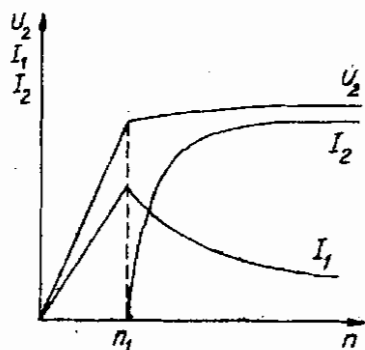
Loại máy phát này dùng để đốt đèn trong toa xe lửa làm việc song song với ác quy và được kéo bởi trục bánh của toa xe qua dây đai truyền. Tốc độ xe luôn luôn thay đổi, nhưng dòng điện qua bóng đèn phải giữ không đổi.

Máy phát từ trường ngang với sơ đồ trình bày trên hình 38-2 đáp ứng được yêu cầu trên một cách đầy đủ. Khi máy quay, dưới tác dụng của từ thông Φ trong mạch giữa các chổi than. 1-1 sẽ cảm ứng được E_1 , còn trong mạch giữa các chổi than 2-2 thì s.d.d bằng không. Vì các chổi than



Hình 38-2. Sơ đồ máy phát từ trường ngang cho dòng điện $I_2 = C^{te}$

1-1 đã được nối với nhau nên trong mạch 1-1 có dòng điện I_1 , tạo nên từ thông ngang Φ_1 của phần ứng, khép vòng qua các môm cực. Từ thông này sẽ cảm ứng trong mạch 2-2 s.d.đ E_2 . Nếu các chổi than 2-2 khép kín mạch qua một tải bên ngoài thì dưới tác dụng của E_2 trong mạch đó sẽ có dòng điện tải I_2 . Dòng điện I_2 này lại sinh ra từ thông Φ_2 , có phương trùng với trục của các cực và chiều chống lại Φ_1 . Chính tác dụng của Φ_2 giữ $U \approx \text{const}$ khi n thay đổi. Các quan hệ giữa I_1 , U_2 , I_2 và tốc độ được trình bày trên hình 38-3. Máy phát được kích thích bởi ác quy. Từ $n = 0$ đến $n = n_1$, máy làm việc không tải (aptômat mở, $I_2 = 0$). Trong khoảng này I_1 và $U_2 = E_2$ tỉ lệ với n . Khi $n = n_1$, $U_2 = E_2$ cân bằng được điện áp của ác quy, aptômat đóng máy phát



Hình 38-3. Quan hệ I_1 , U_2 , $I_2 = f(n)$ của máy phát cho dòng điện $I_2 = C^{10}$

vào làm việc song song với ác quy. Trong vùng $n > n_1$, nếu tốc độ tăng, E_2 sẽ tăng, dòng điện tải I_2 và s.t.đ F_2 cũng sẽ tăng. Dưới tác dụng của F_2 , Φ_1 bắt đầu giảm kéo E_1 , I_1 , Φ_1 giảm theo kết quả là E_2 cũng giảm và I_2 được giữ không đổi. Kết quả cũng sẽ tương tự khi n giảm (trong vùng $n > n_1$).

Ta cũng có thể thấy rằng cực tính của máy phát điện không phụ thuộc vào chiều quay của rôto. Đó là những tính chất rất giá trị của loại máy phát này trong trường hợp làm việc song song với ác quy (vừa đốt đèn vừa nạp ác quy) khi trục bánh của toa xe quay xuôi ngược bất kỳ. Khi $n < n_1$ hoặc xe dừng, aptômat cắt mạch 2-2 và ác quy một mình cung cấp điện cho đèn.

Máy phát dùng cho toa xe được chế tạo với điện áp $U_2 = 50$ V công suất $P = 5$ kW.

38.1.2. Máy khuếch đại điện từ

Máy khuếch đại điện từ là một máy điện quay dùng để khuếch đại những tín hiệu điện thu được từ các phần tử trong mạch đo lường (nhiệt độ, áp lực, nồng độ ...) để đưa vào các mạch không chế. Máy phát điện một chiều kích thích độc lập cũng được xem như một máy khuếch đại điện từ một bậc, trong đó tín hiệu đầu vào là công suất kích thích P_i và tín hiệu đã được khuếch đại là công suất đưa ra P_{dm} ở đầu máy phát. Vì $P_i = (0,01 \div 0,02) P_{dm}$, hệ số khuếch đại rất nhỏ ($k_{kd} = 50 \div 100$), nên máy phát điện kích thích độc lập không được dùng như máy khuếch đại điện từ.

Máy khuếch đại điện từ với từ trường ngang có hệ số khuếch đại lớn hơn nhiều, vì có hai bậc khuếch đại:

$$k_{kd} = \frac{P_{ra}}{I_{vào}} = \frac{U_r \cdot I_r}{U_v \cdot I_v} = k_v \cdot k_i \quad (39-1)$$

trong đó:

$$k_v = \frac{U_r}{U_v} \text{ - hệ số khuếch đại điện áp;}$$

$$k_i = \frac{I_r}{I_v} \text{ - hệ số khuếch đại dòng điện.}$$

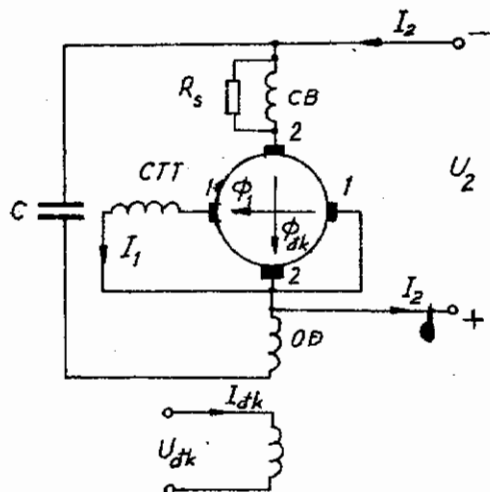
Hiện nay có thể chế tạo những máy khuếch đại điện từ có hệ số $k_{kd} = 10000 \div 100.000$.

Chất lượng của máy khuếch đại điện từ còn được đánh giá bởi khả năng tác dụng nhanh của nó, xác định bằng hằng số thời gian điện từ T của máy. Thông thường $T = 0,05 \div 0,3$ s. Để xét cả hai yếu tố nói trên, người ta dùng hệ số chất lượng:

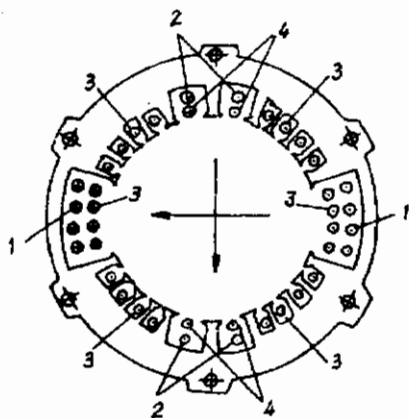
$$k_{cl} = \frac{k_{kd}}{T} \quad (38-2)$$

để đánh giá máy khuếch đại điện từ và dĩ nhiên k_{cl} càng lớn, chất lượng máy càng cao.

Sơ đồ của máy khuếch đại điện tử với từ trường ngang được trình bày trên hình 38-4. Nguyên lý tác dụng của máy tương tự như của máy phát đã xét ở mục 38.1.1. Ở đây s.t.đ F_2 do I_2 sinh ra hoàn toàn bị s.t.đ của cuộn bù CB trung hòa, nhờ đó công suất của tín hiệu đầu vào (công suất điều khiển) sẽ bé và k_{kd} tăng lên. Điện trở R_s có công dụng hiệu chỉnh tác dụng của cuộn bù CB chống bù thừa quá nhiều để tránh cho máy nguy cơ bị tự kích thích. Cuộn trợ từ CTT cho phép hạ thấp dòng điện I_1 do đó cải thiện điều kiện đối chiều cho cặp chổi 1-1 mà không cần đặt cực từ phụ theo hướng ngang. Việc cải thiện đối chiều cho hai chổi 2-2 dựa vào hai cực từ phụ đặt theo hướng dọc (hình 38-5). Để tránh hiện tượng dao động còn



Hình 38-4. Sơ đồ nguyên lý về hoạt động của máy khuếch đại điện tử



Hình 38-5. Lá thép stato của máy khuếch đại điện tử có từ trường ngang và vị trí của các dây quấn

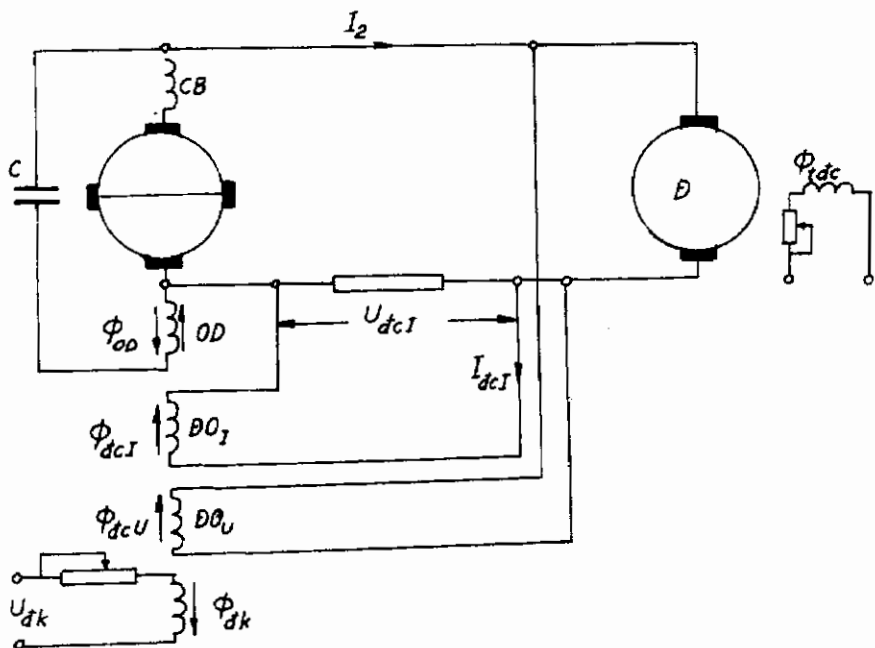
- 1) dây quấn điều khiển; 2) dây quấn trợ từ;
3) dây quấn bù; 4) dây quấn cực từ phụ.

đặt thêm cuộn ổn định OD nối vào đầu ra của máy qua tụ điện C .

Để đặt các dây quấn nói trên là thép stato của máy khuếch đại điện từ có dạng như trên hình 38-5. Trong đó 1 là dây quấn điều khiển; 2 - dây quấn trợ từ CTT ; 3 - dây quấn bù CB ; 4 - dây quấn cực từ phụ.

Máy khuếch đại điện từ với từ trường ngang được chế tạo đến công suất 20 kW và khi có cực phụ để cải thiện đổi chiều của cặp khối 1-1 có thể đạt đến công suất 100 kW.

Để có khái niệm về ứng dụng của máy khuếch đại điện từ, hình 38-6 trình bày sơ đồ điều khiển giữ cho U và I cung cấp



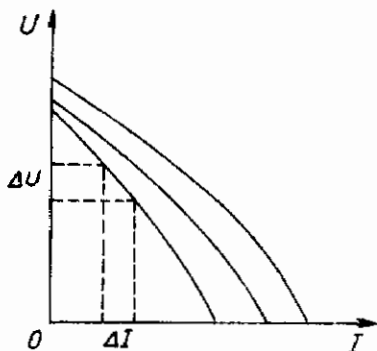
Hình 38-6. Sơ đồ ứng dụng máy khuếch đại điện từ cung cấp dòng điện trực tiếp cho động cơ

cho một động cơ điện không đối. Ví dụ vì một nguyên nhân nào đó I_2 tăng thì $U_{đcl}$, $I_{đcl}$ và $\Phi_{đcl}$ giảm. Kết quả là I_2 sẽ giảm trở về vị trí số ban đầu. Quá trình cũng tương tự như vậy nếu xảy ra sự thay đổi của U .

38.2. MÁY PHÁT HÀN ĐIỆN

Ta biết rằng muốn cho mỗi hàn có chất lượng cao, nhiệt lượng ở mỗi hàn và dòng điện sinh ra nhiệt lượng đó phải ổn định.

Để đáp ứng được yêu cầu đó, máy phát điện cần phải có đặc tính ngoài $U = f(I)$ có độ dốc cao (hình 38-7). Muốn có đặc tính như vậy trên thực tế người ta chế tạo loại máy phát đặc biệt có sơ đồ cấu tạo trình bày trên hình 38-8. Ở loại máy này, lõi sắt của mỗi cực từ được chia làm hai phần, một phần có tiết diện rộng, một phần có tiết diện hẹp.

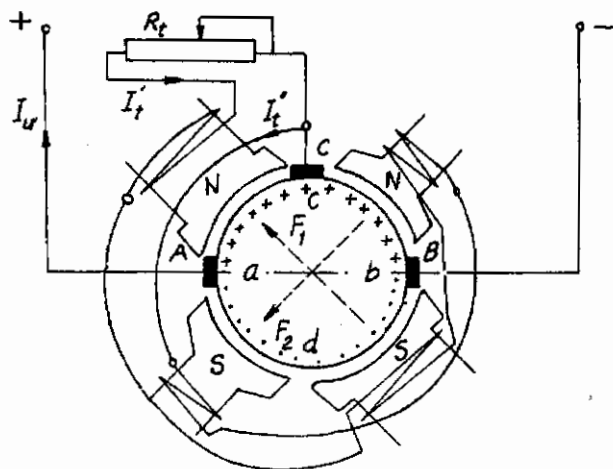


Hình 38-7. Đặc tính ngoài của máy phát một chiều dùng trong hàn điện

Lõi sắt hẹp bão hòa mạnh còn lõi sắt rộng ít bão hòa.

Máy có hai dây quấn kích

thích, một dây quấn kích thích đặt trên các lõi thép tiết diện rộng và một dây quấn kích thích đặt trên các lõi thép tiết diện hẹp. Phản ứng của máy phát có thể xem như được chia ra làm bốn phần. Các phần ad và cb tạo nên phản ứng phản ứng khử từ đối với các cực từ rộng, còn các phần ac và bd tạo ra phản ứng phản ứng trợ từ đối với các cực hẹp. Như vậy khi I_u tăng, từ thông của các cực rộng giảm nhiều, thậm chí có thể đổi chiều, còn từ thông của các cực hẹp hầu như không đổi do lõi thép của các cực hẹp bị bão hòa, kết quả là từ thông tổng của các cực $NN-SS$ giảm nhanh, khiến cho điện áp đầu cực U_{AB} hạ thấp rất



Hình 38-8. Sơ đồ máy phát có ba chổi góp và các cực tách làm hai phần dùng trong kỹ thuật

nhiều, đặc tính ngoài rất dốc. Chú ý rằng điện áp U_{BC} giữa chổi chính B và chổi phụ C cung cấp cho các dây quấn kích thích vẫn giữ không đổi khi I_U tăng vì từ thông của các cực hẹp không thay đổi. Ứng với các trị số khác nhau của R_t , I_U , ta có các đặc tính ngoài khác nhau như trình bày trên hình 9-7.

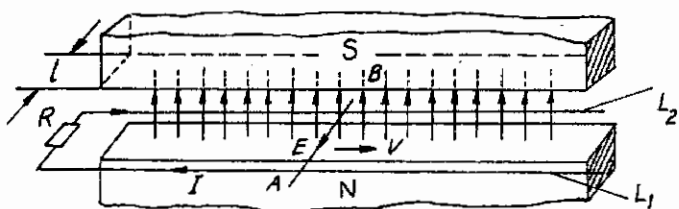
Hiện nay các máy phát hàn điện kiểu này được sản xuất với $U_{dm} = 35 \text{ V}$ ($U_0 = 80 \text{ V}$) và $i = 500 \text{ A}$.

38.3. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU MỘT CỰC

Máy phát một cực là một loại máy phát điện một chiều đặc biệt không vành góp, cho phép đạt được dòng điện lớn (đến 500000 A) ở điện áp (1 + 50 V).

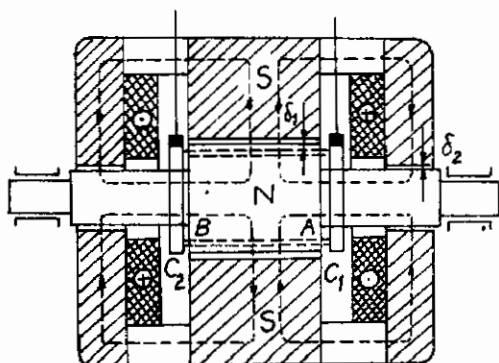
Để dẫn đến cấu tạo cụ thể của máy, ta có thể xét nguyên lý cấu tạo của nó như trình bày trên hình 38-9.

Cho thanh dẫn AB trượt trên hai dây dẫn L_1, L_2 trong từ trường đều của hai cực từ N, S dài vô tận với một tốc độ không



Hình 38-9. Giải thích nguyên lý cấu tạo của máy một cực

đối, thì trong thanh dẫn đó sẽ sinh ra s.d.d cảm ứng, và trong mạch ARB sẽ có dòng điện một chiều. Thực ra hai cực từ dài vô tận có thể thay bằng hai cực từ hình trụ lồng vào nhau; hai dây L_1L_2 bằng hai vành dẫn khép kín. Thanh dẫn có thể đặt trên hình trụ trong và đó chính



Hình 38-10. Máy một cực

là cấu tạo của máy điện một cực như trình bày trên hình 38-10.

Ta thấy rằng hai từ thông đối xứng tạo ra bởi hai cuộn kích thích KT hình ống, đặt ở hai đầu trục, gặp nhau tại giữa rôto (cực N) rồi đi ra theo phương bán kính qua khe không khí thứ nhất δ_1 giữa rôto và stato, sau đó rẽ ra hai phía trên stato để rồi qua khe hở không khí thứ hai δ_2 khép kín mạch về rôto. Như vậy toàn bộ rôto là một cực (cực N) và cũng từ đó máy phát mang tên Máy phát một cực. Trên mặt rôto có đặt các thanh dẫn hai đầu nối chặt với hai vành C_1, C_2 (cũng có thể dùng chính thân rôto thay cho các thanh dẫn trên). Khi rôto quay trong các thanh

dẫn sẽ sinh ra s.d.d và dòng điện được lấy ra từ các chổi tỳ lên C_1 và C_2 . Vì dòng điện rất lớn nên hệ thống chổi rất cồng kềnh, do đó tổn hao cơ và điện cũng tăng. Để giải quyết khó khăn đó, ngày nay người ta thay chổi than bằng kim loại lỏng (thủy ngân, natri, hợp kim natri-kali) để dẫn dòng điện lớn ra ngoài. Bằng cách đó công suất máy có thể nâng lên đến hàng nghìn kW.

38.4. MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU CÔNG SUẤT BÉ

Cùng với sự phát triển của các ngành tự động hóa, điều khiển xa và kỹ thuật máy tính, một vấn đề lớn đặt ra cho ngành máy điện là nghiên cứu và chế tạo những máy điện cực nhỏ, thường là những chi tiết không thể thay thế được trong các mạch khớp chế tự động. Theo chức năng của chúng trong các lĩnh vực nói trên, các máy điện cực nhỏ được chia thành những nhóm cơ bản sau đây:

- 1) Động cơ thừa hành (hay còn gọi là động cơ chấp hành);
- 2) Máy phát đo tốc độ;
- 3) Máy biến áp xoay;
- 4) Hệ thống tự đồng bộ (xenxin).

Trong phạm vi máy điện một chiều, ta sẽ đề cập sơ lược đến hai nhóm đầu: động cơ thừa hành và máy phát đo tốc độ. (Các động cơ điện thừa hành và máy phát đo tốc độ dòng điện xoay chiều đã được nghiên cứu).

38.4.1. Động cơ thừa hành điện một chiều

Động cơ thừa hành có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu điện (điện áp điều khiển) nhận được thành di chuyển cơ học của trục tác dụng lên các bộ phận điều khiển hoặc điều chỉnh khác. Yêu cầu chính đối với loại động cơ này là tác động nhanh, chính xác, hơn thế nữa mômen và tốc độ quay của nó phải phụ thuộc vào điện áp điều khiển theo quan hệ đường thẳng.

Cấu tạo của động cơ thừa hành tương tự như của một động cơ điện kích thích độc lập. Động cơ thừa hành có thể được điều khiển trên phần ứng hoặc trên cực từ. Khi điều khiển trên phần ứng, điện áp kích thích được đặt thường trực trên dây quấn kích thích và như vậy động cơ ở trạng thái chuẩn bị thừa hành. Nếu có tín hiệu điều khiển U_{dk} đặt lên dây quấn phần ứng lập tức động cơ hoạt động. Với phương pháp điều khiển này $M = f(U_{dk})$ và $n = f(U_{dk})$ là những đường thẳng. Khi điều khiển từ cực từ, dây quấn phần ứng được đặt thường trực dưới điện áp U_u và điện áp điều khiển U_{dk} được đưa vào dây quấn kích thích. Như vậy công suất điều khiển sẽ nhỏ nhưng quan hệ $n = f(U_{dk})$ không còn là đường thẳng nữa. Vì vậy thường người ta dùng cách điều khiển trên phần ứng.

Động cơ thừa hành có cấu tạo thông thường như trình bày ở trên được chế tạo đến công suất $500 + 600 \text{ W}$.

Trong thời gian gần đây, nhờ chế tạo được nam châm vĩnh cửu có từ tính cao, người ta sản xuất những động cơ thừa hành điều khiển từ phần ứng với cực từ bằng nam châm vĩnh cửu có công suất từ $50 + 100 \text{ W}$, nhưng loại này còn ít được dùng vì nam châm vĩnh cửu quá đắt.

Để động cơ thừa hành tác động nhanh, người ta chế tạo phần ứng có quán tính nhỏ dưới dạng rôto rỗng hoặc rôto dẹt hình đĩa có mạch in. Loại đầu thường chế tạo với công suất $10 + 15 \text{ W}$ còn loại sau $100 + 200 \text{ W}$.

38.4.2. Máy phát đo tốc độ

Máy phát điện một chiều đo tốc độ là máy phát dùng để biến đổi chuyển động quay thành tín hiệu điện (điện áp). Yêu cầu đối với loại máy này là phải có quan hệ đường thẳng $U = f(n)$ và độ chính xác khoảng $0,2 + 0,5\%$, đôi khi đến $0,01\%$. Máy phát điện một chiều đo tốc độ thường có công suất từ 10 đến 50 W . Ở máy công suất nhỏ, khi tốc độ $n = 1000 \text{ vg/ph}$, điện áp $U = 3 + 5 \text{ V}$; còn ở máy công suất lớn $U = 50 + 100 \text{ V}$.

Hầu hết các máy phát đo tốc độ đều có cấu tạo như máy phát thông thường kích thích độc lập hoặc kích thích bằng nam châm vĩnh cửu. Trong trường hợp cần giảm quán tính của phần quay và sự đập mạch của từ thông và điện áp vì sự tồn tại của răng trên mặt phần ứng, rôto được chế tạo theo kiểu phần ứng rỗng.

PHẦN THỨ SÁU

MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU CÓ VÀNH GÓP

Động cơ điện không đồng bộ xoay chiều được ứng dụng rất rộng rãi vì kết cấu đơn giản, làm việc bảo đảm, giá thành hạ, nhưng có nhược điểm là không dùng được những phương pháp và thiết bị đơn giản để điều chỉnh tốc độ trong phạm vi rộng và bằng phẳng, lại tiêu thụ công suất phản kháng lớn, làm hệ số *cosφ* của lưới điện thấp. Động cơ điện một chiều khắc phục được những nhược điểm trên nhưng lại đòi hỏi phải có nguồn một chiều nên phạm vi sử dụng bị hạn chế. Do đó người ta chế tạo ra loại máy điện xoay chiều có vành góp mà chủ yếu dùng làm động cơ điện. Máy phát điện xoay chiều có vành góp cũng được chế tạo song phạm vi sử dụng ít hơn và thường được dùng trong một số trường hợp đặc biệt như tạo tần số hay giữ điện áp không đổi khi tốc độ thay đổi.

Nhược điểm của máy điện xoay chiều có vành góp là kết cấu phức tạp, giá thành cao. Người ta tính ra rằng một máy điện xoay chiều ba pha có vành góp đắt gấp 1,5 đến 2 lần máy điện một chiều và gấp 4 đến 6 lần máy điện không đồng bộ cùng công suất; đổi chiều phức tạp và khó khăn hơn các máy điện một chiều thông thường; hiệu suất thấp hơn và làm việc không được chắc chắn lắm.

Do vậy máy điện xoay chiều có vành góp thường được ứng dụng trong một số ngành chuyên môn đặc biệt, trong giao thông vận tải... Hiện nay một số nước ở châu Âu như Đức, Thụy Sĩ, Cộng hòa Séc, v.v... dùng nhiều máy điện xoay chiều có vành góp. còn ở Nga, Mỹ và một số nước khác thì loại máy điện này không phát triển lắm.

Dưới đây sẽ nghiên cứu một số máy điện xoay chiều có vành góp chính.

Chương 39

ĐỘNG CƠ ĐIỆN BA PHA CÓ VÀNH GÓP

39.1. ĐẠI CƯƠNG

Trong truyền động điện bằng động cơ xoay chiều có hai vấn đề đặt ra cần được giải quyết là: làm sao điều chỉnh tốc độ quay trong phạm vi rộng, bằng phẳng, kinh tế và chắc chắn đồng thời lại nâng cao được hệ số cos ϕ của lưới điện.

Để giải quyết những vấn đề trên, thực tế có nhiều phương hướng. Đi đôi với việc chế tạo những động cơ xoay chiều có đặc tính tốt hơn hay dùng một số thiết bị phụ trong vận hành và sử dụng động cơ, người ta chế tạo ra những máy mới đó là những động cơ điện xoay chiều ba pha có vành góp như các động cơ xoay chiều kích thích song song, kích thích nối tiếp, các động cơ bù pha và máy bù pha.

Ở các máy này, biện pháp chính để giải quyết hai vấn đề trên là đưa thêm s.d.đ phụ có chiều xác định vào trong mạch thứ cấp của động cơ không đồng bộ. Biện pháp này có ý nghĩa rất quan trọng và đồng thời cũng là nguyên tắc cơ bản vận hành các máy điện xoay chiều có vành góp.

39.2. ĐƯA THÊM S.D.Đ PHỤ VÀO MẠCH THỨ CẤP CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

39.2.1. Để điều chỉnh tốc độ quay

Đối với động cơ điện không đồng bộ thông thường, ta đã biết dòng điện thứ cấp:

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}} \quad (39-1)$$

mà trên thực tế $r_2^2 > (sx_2)^2$ nên có thể cho rằng:

$$I_2 = \frac{sE_2}{r_2} \quad (39-2)$$

nghĩa là xem vectơ dòng điện I_2 trùng pha với s.d.d. chính $sE_2 = E_{2s}$ (hình 39-1a).

Nếu đưa vào mạch thứ cấp một s.d.d. phụ E_f ngược chiều với s.d.d. chính sE_2 thì ngay ở thời điểm đó do quán tính rôto lớn nên tốc độ và hệ số trượt chưa thay đổi kịp do đó dòng điện thứ cấp:

$$I_2 = \frac{sE_2 - E_f}{r_2} \quad (39-3)$$

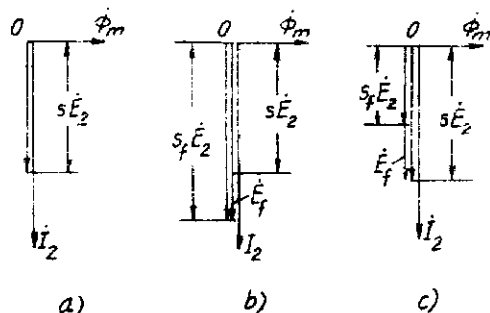
sẽ giảm xuống. Dòng điện I_2 giảm làm mômen $M = C_m I_2 \Phi$ cũng giảm. Giả sử mômen tải không đổi, như vậy động cơ sẽ bị hãm làm cho tốc độ bắt đầu giảm xuống và hệ số trượt tăng lên. Quá trình cứ tiếp tục cho đến khi dòng điện rôto và mômen đạt đến trị số ban đầu với hệ số trượt mới s_f và tốc độ mới, nghĩa là:

$$I_2 = \frac{s_f E_2 - E_f}{r_2} = \frac{sE_2}{r_2} \quad (39-4)$$

do đó:
$$s_f = s + \frac{E_f}{E_2} \quad (39-5)$$

Như vậy khi đưa một s.d.d. phụ E_f ngược với s.d.d. chính sE_2 thì hệ số trượt tăng lên và tốc độ quay của động cơ giảm xuống. Đồ thị vectơ lúc đó sẽ như ở hình 39-1b.

Trường hợp nếu



Hình 39-1. Điều chỉnh tốc độ quay của động cơ điện không đồng bộ bằng cách đưa s.d.d. phụ E_f vào mạch rôto

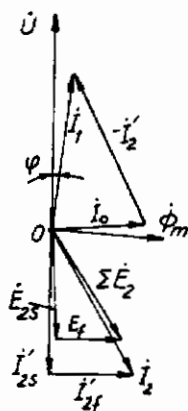
đưa s.d.đ. phụ E_f cùng chiều với s.d.đ. chính sE_2 thì cũng phân tích như trên ta sẽ được kết luận ngược lại: hệ số trượt giảm xuống và tốc độ quay của động cơ tăng lên:

$$s_f = s - \frac{E_f}{E_2} \quad (39-6)$$

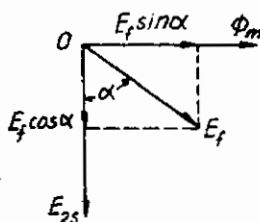
Đồ thị véctơ vẽ ở h.39-1c.

39.2.2. Để điều chỉnh $\cos\varphi$

Nếu đưa s.d.đ. E_f vào vuông góc với s.d.đ. sE_2 thì nó sẽ có tác dụng làm thay đổi góc φ giữa U_1 và I_1 , do đó có thể điều chỉnh được hệ số $\cos\varphi$ của lưới. Ví dụ s.d.đ. E_f đưa vào vượt trước s.d.đ. sE_2 một góc 90° thì sẽ làm cho góc φ giảm xuống và $\cos\varphi$ của lưới điện được nâng cao (hình 39-2).



Hình 39-2. Điều chỉnh $\cos\varphi$ bằng cách đưa s.d.đ. phụ vào mạch rôto



Hình 39-3. Đồ thị véctơ đưa s.d.đ. phụ E_f vào rôto của động cơ không đồng bộ để điều chỉnh tốc độ và $\cos\varphi$

39.2.3. Trường hợp chung

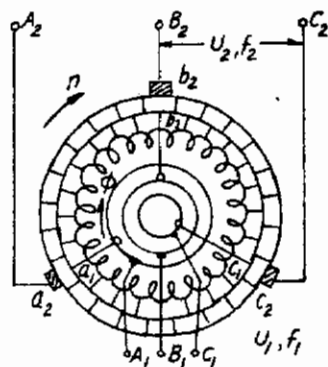
Nếu s.d.đ. E_f đưa vào làm thành một góc với E_2 (hình 39-3) thì ta có thể xem E_f như gồm hai thành phần: thành phần

$E_1 \cos \alpha$ trùng pha với sE_2 sẽ có tác dụng điều chỉnh tốc độ quay của động cơ; thành phần $E_1 \sin \alpha$ vuông góc với sE_2 sẽ có tác dụng điều chỉnh $\cos \varphi$ của lưới điện.

39.3. TẠO S.D.Đ. CÓ TẦN SỐ TRƯỢT NHỎ VÀNH GÓP.

Như trên đã nói, muốn điều chỉnh tốc độ của động cơ hay nâng cao $\cos \varphi$ của lưới điện thì phải đưa vào trong mạch thứ cấp một s.d.đ. có chiều xác định. Nhưng cần chú ý rằng s.d.đ. phụ phải có cùng tần số với s.d.đ. chính của mạch thứ cấp, nghĩa là phải có tần số trượt $f_2 = sf_1$. Muốn vậy ta có thể dùng một kiểu cơ cấu tạo tần như sau.

Phần quay của cơ cấu gồm lõi thép, dây quấn và vành góp giống hệt như phần ứng của máy điện một chiều thông thường. Dây quấn phần ứng một mặt nối với ba vành trượt có ba chổi than tỳ trên đó, đặt điện áp ba pha vào $A_1 B_1 C_1$ có tần số f_1 , mặt khác vẫn được nối với vành góp trên đó có ba chổi than cách nhau 120° nối với phía $A_2 B_2 C_2$ lấy điện ra ngoài. (Phần tĩnh chỉ làm nhiệm vụ mạch dẫn từ (hình 39-4, ở đây không vẽ phần tĩnh). Gọi phía vành trượt là sơ cấp, còn phía vành góp là thứ cấp của cơ cấu tạo tần.



Hình 39-4. Cơ cấu tạo tần

Nếu phần quay đứng yên, nghĩa là tốc độ $n = 0$, khi đặt điện áp ba pha vào sơ cấp thì từ trường sinh ra sẽ quay với tốc độ đồng bộ $n_1 = \frac{60f_1}{p}$ so với phần quay cũng như với ba chổi than trên vành góp hay với phần tĩnh. Giả sử từ trường quay theo

chiều kim đồng hồ (hình 39-4). Khi đem quay rôto với tốc độ n theo chiều quay từ trường thì từ trường quay sẽ có tốc độ là $n_1 + n$ so với ba chổi than a_2, b_2, c_2 đặt trên vành góp. Trường hợp rôto quay ngược lại thì tốc độ đó sẽ là $n_1 - n$. Do đó tần số của s.d.đ. trên các chổi than a, b, c , nói chung có thể viết dưới dạng:

$$f_2 = p \frac{n_1 \pm n}{60} = \frac{pn_1}{60} \cdot \frac{n_1 \pm n}{n_1} = f_1 s \quad (39-7)$$

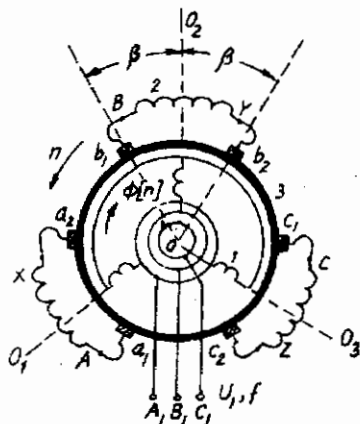
Như vậy là với cơ cấu trình bày ở trên ta đã tạo được s.d.đ lấy ra trên các chổi than với tần số trượt $f_2 = sf_1$. Đó là nguyên lý tạo s.d.đ. phụ có cùng tần số trượt với s.d.đ. chính của mạch thứ cấp của động cơ không đồng bộ dùng trong các máy điện xoay chiều có vành góp.

39.4. ĐỘNG CƠ ĐIỆN BA PHA KÍCH THÍCH SONG SONG (ĐỘNG CƠ SRAGHE-RICTE)

39.4.1. Sơ lược kết cấu

Sơ đồ nguyên lý như hình 39-5.

Phần tính giống máy không đồng bộ thông thường nhưng dây quấn ba pha 2 có các đầu dây nối với từng đôi chổi than a_1a_2 , b_1b_2 và c_1c_2 tỳ lên vành góp ở phần quay. Các chổi than được nối với hai hệ thống cơ khí riêng biệt để có thể hoạc thay đổi vị trí tương ứng giữa ba chổi than này đối với ba chổi than kia ($a_1b_1c_1$ với $a_2b_2c_2$) hoặc thay đổi vị trí tương ứng giữa từng đôi chổi than với nhau (a_1 với a_2 ; b_1 với b_2 và c_1 với c_2).



Hình 39-5. Sơ đồ nguyên lý của động cơ điện Sraghe-Ricte

Phần quay gồm dây quấn ba

pha 1, một đầu nối Y còn đầu kia nối với ba vành trượt giống như dây quấn rôto của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn. Trong rãnh rôto còn đặt cả dây quấn 3 nối với vành góp giống hệt dây quấn phần ứng của máy điện một chiều (để đơn giản trên hình 39-5 dây quấn 3 và vành góp được vẽ thành một vòng nét đậm). Tóm lại có thể xem phần quay như là sự "kết hợp" giữa rôto của động cơ dây quấn với phần ứng của máy điện một chiều.

39.4.2. Nguyên lý làm việc

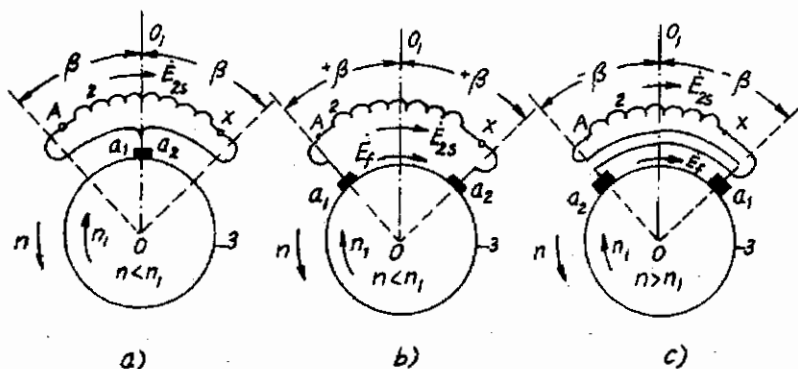
Dòng điện ba pha cho vào dây quấn 1 ở rôto ($A_1B_1C_1$) sinh ra từ trường quay. Từ trường này tác dụng với dòng điện cảm ứng trong dây quấn 2 sẽ sinh ra lực điện từ tác dụng lên dây quấn này, nhưng vì dây quấn 2 nằm ở trên phần tĩnh nên phản lực sẽ thể hiện lên dây quấn rôto làm rôto quay theo chiều ngược lại. Như vậy động cơ làm việc cũng giống như động cơ không đồng bộ thông thường, chỉ khác là ở đây dây quấn rôto đóng vai trò của dây quấn "sơ cấp", còn dây quấn stato đóng vai trò của dây quấn "thứ cấp" và chiều quay n ngược với chiều từ trường quay n_1 . S.d.d. cảm ứng trong dây quấn 2 là $E_{2s} = sE_2$ có tần số $f_2 = sf_1$. Dây quấn 3 với những trị số xác định của góc mở 2β giữa từng đôi chổi than một (a_1a_2 ; b_1b_2 và c_1c_2) sẽ cho s.d.d. phụ E_f tương ứng cũng có cùng tần số trượt $f_2 = sf_1$ như ta đã biết ở trên.

39.4.3. Điều chỉnh tốc độ quay và $\cos\varphi$ của động cơ Sraghe-Ricte

1. Điều chỉnh tốc độ quay

Khi $\beta = 0$

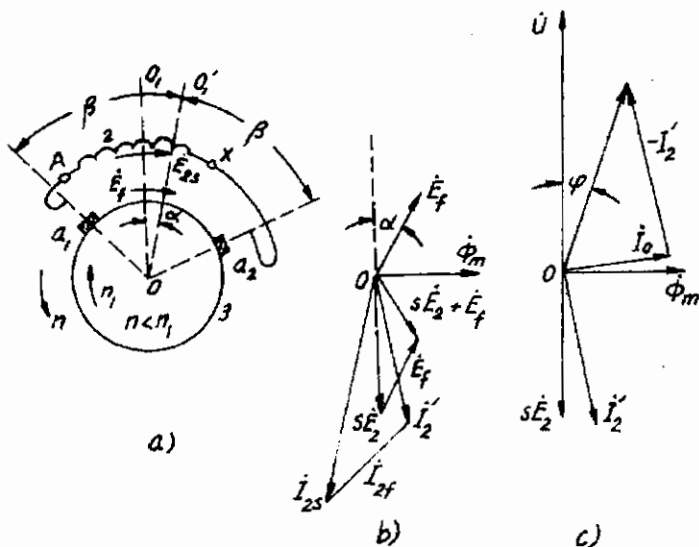
Nếu điều chỉnh hệ thống cơ khí để từng đôi chổi than nhập lại với nhau và trùng với trục các pha dây quấn phần tĩnh tương ứng thì s.d.d. $E_f = 0$ và dây quấn 2 coi như bị ngắn mạch. Lúc đó động cơ làm việc như một động cơ không đồng bộ thông thường quay với tốc độ n nhưng ngược với chiều quay của từ trường n_1 (hình 39-6a).



Hình 39-6. Điều chỉnh tốc độ động cơ Sraghe-Ricte

Khi $\beta \neq 0$

Cho hai chổi than dịch về hai phía đối với trục OO_1 ta có góc mở $+\beta$ (hình 39-6b). Giả sử hai dây quấn 2 và 3 có chiều quấn như nhau thì những s.d.d. cảm ứng trong chúng sẽ cùng pha và



Hình 39-7. Điều chỉnh $\cos \varphi$ của động cơ Sraghe-Ricte

đi theo mạch vòng AXa_2a_1A , ta có hai s.d.d. E_{2s} và E_f ngược chiều nhau, trong đó E_{2s} là s.d.d. trong dây quấn 2 còn E_f là s.d.d. của các phần tử của dây quấn 3 giới hạn giữa hai chổi than a_1a_2 cần đưa vào mạch dây quấn 2. Theo lý thuyết trên, E_{2s} và E_f ngược chiều nhau ta có trường hợp điều chỉnh giảm tốc độ. Tùy theo việc điều chỉnh cả hai chổi than để góc mở β lớn hay bé mà E_f sẽ có trị số lớn hay bé và tốc độ động cơ điều chỉnh được nhiều hay ít.

Khi cho hai chổi than dịch ngược lại với trên ta có góc $-\beta$ (hình 39-6c). Lúc này đi theo mạch vòng AXa_2a_1A thì hai s.d.d. E_{2s} và E_f cùng chiều nhau, tương ứng ta có trường hợp điều chỉnh tăng tốc độ (có thể điều chỉnh n lớn hơn n_1).

2. Điều chỉnh $\cos\varphi$

Nếu điều chỉnh trục của cơ cấu chổi than để cho trục OO'_1 của dây quấn 3 giữa từng đôi chổi than lệch với trục OO_1 của dây quấn 2 tương ứng một góc α nào đó (hình 39-7a) thì s.d.d. E_f sẽ lệch với trường hợp hình 39-6b cũng một góc α tương ứng (hình 39-7b). Kết quả có thể có được I_2 vượt trước E_{2s} và sẽ có tác dụng nâng cao hệ số $\cos\varphi$ của lưới điện (hình 39-7c). Cần chú ý rằng trường hợp này s.d.d. E_f ngoài thành phần vuông góc với s.d.d. E_{2s} còn có thành phần trùng pha với s.d.d. chính E_{2s} nên nó còn có tác dụng điều chỉnh tốc độ quay của động cơ (ở đây là điều chỉnh giảm tốc độ).

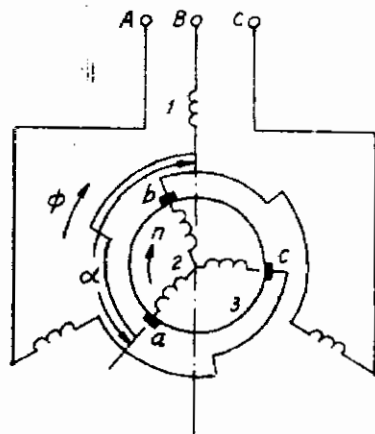
Động cơ điện ba pha kích thích song song ngoài việc điều chỉnh tốc độ quay tương đối tốt (phạm vi có thể 3:1) và nâng cao được hệ số $\cos\varphi$ của lưới điện, nó còn có đặc tính mở máy tốt vì đưa được E_f vào trong mạch thứ cấp nên có thể giảm được dòng điện lúc mở máy.

Nhược điểm chính của động cơ này là điện áp phải đặt vào phần quay qua vành trượt, do đó chỉ chế tạo được với loại điện áp thấp, thường $U_1 \leq 500$ V. Mặt khác do chế tạo phức tạp, giá thành cao, đổi chiều lại khó khăn nên chủ yếu người ta chỉ sản xuất với loại công suất không lớn, thường là từ vài chục tới vài

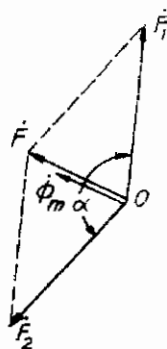
trăm kilôoat (đặc biệt có thể đến 500 kW). Động cơ ba pha kích thích song song được dùng nhiều trong các ngành công nghiệp dệt, giấy, in, đường...

39.5. ĐỘNG CƠ ĐIỆN BA PHA KÍCH THÍCH NỐI TIẾP

Sơ đồ nguyên lý như hình 39-8. Phần tĩnh giống động cơ không đồng bộ thông thường, nhưng dây quấn ba pha 1 có ba đầu nối với lưới xoay chiều, còn ba đầu kia nối với ba chổi than a, b, c tỳ lên vành gập ở rôto. Phần quay giống phần ứng máy điện một chiều có dây quấn phần ứng nối với vành gập. Để đơn giản ta có thể dùng sơ đồ dây quấn hình Y đẳng trị 2 để thay thế cho dây quấn phần ứng nối với hình Δ (hình 39-8). Dòng điện I_1 sinh ra s.t.d. F_1 , dòng điện I_2 sinh ra s.t.d. F_2 và nối chung F_1 và F_2 lệch nhau một góc α nào đó trong không gian (hình 1.9.). S.t.d. tổng $F = F_1 + F_2$ sinh ra từ thông quay Φ_m . Từ thông Φ_m tác dụng với dòng điện I_2 trong rôto tạo nên mômen quay làm động cơ quay. Trường hợp góc lệch $\alpha = 0$ hay



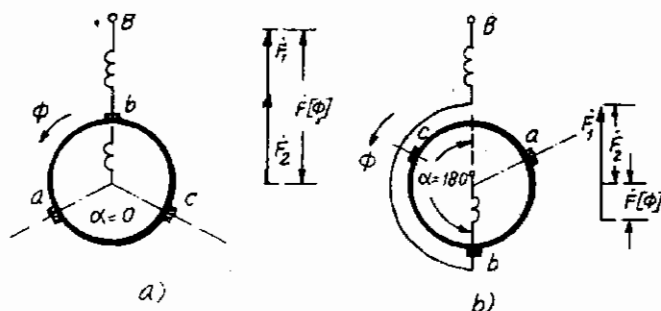
Hình 39-8. Sơ đồ nguyên lý của động cơ điện ba pha kích thích nối tiếp



Hình 39-9. Đồ thị s.t.d. của động cơ điện ba pha kích thích nối tiếp

$\alpha = 180^\circ$, tức các vectơ không gian s.t.d. F_1 và F_2 trùng pha nhau, nghĩa là lực tiếp tuyến tạo nên mômen quay bằng không, do đó $M = 0$ và động cơ đứng yên (hình 39-10).

Chiều quay của động cơ phụ thuộc vào chiều xê dịch các chổi than. Theo quy luật chung thì trục của dây quấn phần quay có khuynh hướng trùng với trục dây quấn phần tĩnh và vì vậy từ thông xuyên qua dây quấn phần quay sẽ lớn nhất. Do đó nếu



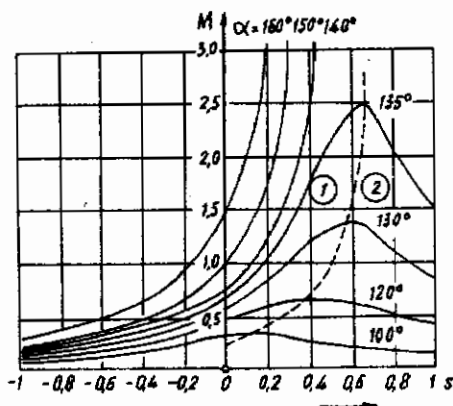
Hình 39-10. Vị trí các chổi than của động cơ điện ba pha kích thích nối tiếp lúc không tải (a) và lúc ngắn mạch (b)

dịch chổi than ngược chiều quay của từ thông thì rôto sẽ quay cùng chiều với từ thông; nếu dịch chổi than cùng chiều quay với từ thông thì rôto sẽ quay ngược lại với chiều quay của từ thông. Đó cũng là phương pháp được dùng để thay đổi chiều quay của động cơ. Nhưng cũng cần nhớ rằng, khi rôto quay ngược với từ trường thì tổn hao trong thép sẽ tăng tương ứng với tần số $f_2 = f_1(n_1 + n)$ và s.d.d. biến áp trong phần tử bị chổi than ngắn mạch cũng tăng theo tần số đó làm khó khăn cho quá trình đổi chiều của dòng điện. Chính vì thế trên thực tế các động cơ ba pha kích thích nối tiếp được vận hành với chiều quay cùng với chiều quay của từ trường.

Đặc tính cơ của động cơ này cũng tương tự như động cơ một

chiều kích thích nối tiếp. Với những góc α khác nhau, ta được một họ đặc tính cơ như hình 39-11.

Ở đây đường nét đứt là giới hạn phạm vi ổn định (1) và không ổn định (2) của họ đường đặc tính cơ. Thường động cơ làm việc trong phạm vi góc $\alpha = 130^\circ \div 160^\circ$.



Hình 39-11. Các đặc tính cơ của động cơ điện ba pha kích thích nối tiếp

Động cơ điện ba pha kích thích nối tiếp được

dùng nhiều trong truyền động máy bơm, quạt gió ly tâm, máy nén, thiết bị trục hàng, máy in,... và có thể chế tạo được với công suất hàng trăm kilôoat.

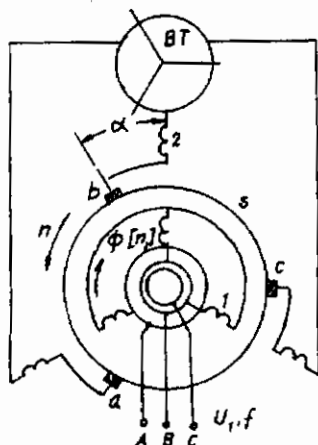
39.6. ĐỘNG CƠ ĐIỆN BÙ PHA VÀ MÁY BÙ PHA

Để nâng cao hệ số $\cos\varphi$ của lưới điện, có thể dùng động cơ không đồng bộ có $\cos\varphi$ được bù hay dùng một máy bù $\cos\varphi$ riêng cho động cơ. Vấn đề ở đây vẫn là đưa một s.d.d. phụ E_L vào trong mạch thứ cấp của động cơ một cách thích hợp để cải thiện $\cos\varphi$. Để giải quyết vấn đề đó, người ta cũng lợi dụng tính chất của phần ứng của máy điện một chiều như động cơ ba pha kích thích song song và kích thích nối tiếp đã trình bày ở trên. Nếu máy nhỏ thì phần ứng của máy điện một chiều được đặt ngay vào trong máy chính làm thành một máy gọi là động cơ bù pha; nếu máy lớn thì phần ứng của máy một chiều làm thành một máy riêng gọi là máy bù pha.

39.6.1. Động cơ điện bù pha

Sơ đồ nguyên lý như hình 39-12. Phần tĩnh có dây quấn ba

pha 2 như động cơ không đồng bộ thông thường, ba đầu nối với ba chổi than a, b, c tỳ lên vành góp và có thể đồng thời thay đổi vị trí được; ba đầu còn lại nối với biến trở ba pha BT dùng để mở máy động cơ điện. Phần quay có hai bộ dây: bộ dây ba pha 1 nối Y và ba đầu nối với ba vành trượt để đưa điện vào; bộ dây phản ứng của máy điện một chiều 3 nối với vành góp giống máy điện một chiều. Dây quấn 1 ở phần quay làm nhiệm vụ dây quấn sơ cấp, dây quấn 2 ở phần tĩnh làm nhiệm vụ dây quấn thứ cấp.



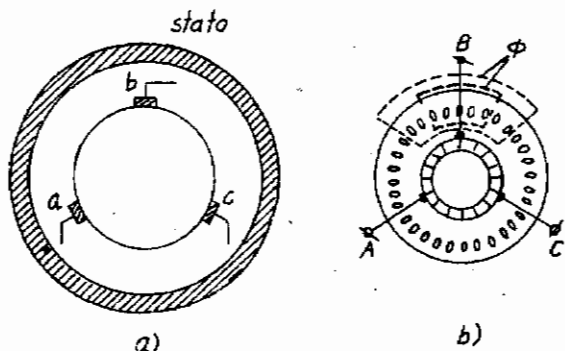
Hình 39-12. Sơ đồ nguyên lý động cơ điện bù pha

Đặt điện áp U_1 có tần số f_1 vào dây quấn 1, từ trường quay sinh ra quay với tốc độ $n_1 = \frac{60f_1}{p}$ đối với phần quay. Do tác dụng phản lực, phần quay sẽ quay ngược lại với tốc độ là n tương tự như động cơ ba pha kích thích song song đã nghiên cứu. S.d.d. cảm ứng trong dây quấn 2 là E_2 và trong dây quấn 3 là E_3 . Cả hai có cùng tần số trượt là $f_2 = sf_1$. Nếu xê dịch chổi than ngược chiều quay từ trường một góc α nào đó thì E_1 sẽ vượt trước E_{2s} một góc pha tương ứng. Kết quả là nhờ có thành phần $E_1 \sin \alpha$ vuông góc với E_{2s} làm cho hệ số $\cos \varphi$ được nâng cao. Cũng cần lưu ý rằng ở đây thành phần $E_1 \cos \alpha$ trùng pha với E_{2s} sẽ có tác dụng làm thay đổi tốc độ của động cơ. Trên thực tế thường các động cơ bù pha làm việc với góc $\alpha = 0 + 90^\circ$ bởi vì lúc đó tác dụng bù là tốt nhất.

39.6.2. Máy bù pha

Cấu tạo của nó đơn giản hơn. Rôto là phần ứng của máy điện

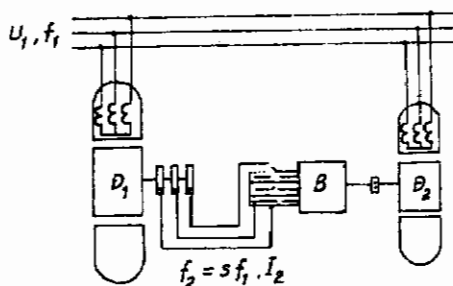
một chiều và điện được đưa vào ở vành góp qua ba chổi than đặt cách nhau 120° . Stator chỉ là những lá thép ghép lại để làm mạch dẫn từ mà không có dây quấn (hình 39-13a).



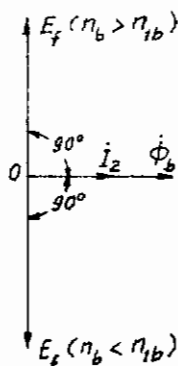
Hình 39-13. Máy bù pha có kích từ ở phần quay

Ngày nay người ta có thể chế tạo những máy bù pha với rôto rãnh kín sao cho từ thông khép kín luôn luôn trên các rãnh đó mà không cần làm mạch từ ở stator nữa (hình 39-13b).

Máy bù pha B làm việc được nối mạch với dây quấn rôto của động cơ không đồng bộ D_1 làm thành một tổ liên hợp. Thường máy bù pha được quay bởi một động cơ không đồng bộ D_2 (hình 39-14), song có khi không cần D_2 mà dùng ngay động cơ D_1 để quay cũng được.



Hình 39-14. Động cơ điện không đồng bộ có máy bù pha



Hình 39-15. S.d.d. E_1 khi $n_b < n_{1b}$ và khi $n_b > n_{1b}$

Khi máy bù pha đứng yên, dòng điện I_2 có tần số $f_2 = sf_1$ ở đây quấn rôto của động cơ D_1 đi vào máy bù pha tạo nên từ trường quay Φ_b quay với tốc độ $n_{1b} = \frac{60f_2}{p}$ so với ba chổi than

(trong đó p_b là số đôi cực của máy bù) và sinh ra trong máy bù s.d.đ.

$$E_f = 4,44f_2\omega_b k_{dq} \Phi_b \quad (39-8)$$

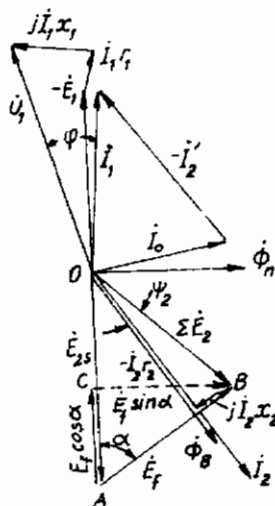
chậm sau từ thông Φ_b và dòng điện I_2 một góc 90° (hình 39-15).

Nếu rôto của máy bù được quay theo chiều của Φ_b với tốc độ $n_b < n_{1b}$ thì từ thông Φ_b vẫn tiếp tục quay với tốc độ n_{1b} so với các chổi than, nhưng s.d.đ. của máy bù sẽ là:

$$E_f = 4,44(f_2 - f_b)\omega_b k_{dq} \Phi_b \quad (39-9)$$

trong đó $f_b = \frac{p_b \cdot n_b}{60}$ là tần số tương ứng với tốc độ quay n_b của máy bù. Ta thấy s.d.đ. E_f giảm nhỏ hơn

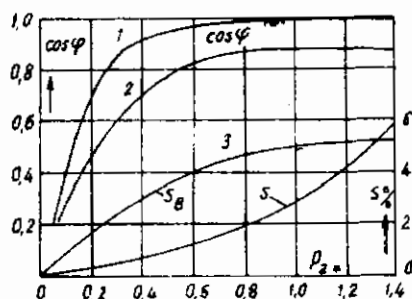
trước nhưng vẫn chậm với dòng điện I_2 một góc 90° . Nếu đưa tốc độ quay của máy bù đến $n_b = n_{1b}$ thì $f_b = f_2$ và $E_f = 0$. Khi từ thông vẫn quay theo chiều đó nhưng tốc độ $n_b > n_{1b}$ thì s.d.đ. E_f đổi ngược dấu và vượt trước I_2 một góc 90° (hình 39-15). Thông thường động cơ không đồng bộ làm việc với hệ số trượt s rất nhỏ nên góc ψ_2 giữa E_2 và I_2 rất bé, do đó với tốc độ $n_b > n_{1b}$ và s.d.đ. E_f đủ lớn sẽ có tác dụng sinh ra dòng điện I_2 vượt trước s.d.đ. E_{2s} . Đồ thị vectơ ứng với trường hợp này được biểu thị trên hình 39-16. Ở đây $\vec{OA} = E_{2s}$ là vectơ s.d.đ. chính của mạch thứ cấp của động cơ không đồng bộ, $\vec{AB} = E_f$ và vectơ s.d.đ. phụ do máy bù sinh ra, $\vec{OB} = E_{2s} + E_f = \sum E_2$ là s.d.đ. tổng



Hình 39-15. Đồ thị vectơ của động cơ điện không đồng bộ có máy bù pha khi $n_b > n_{1b}$

trong mạch thứ cấp lúc đã cho s.d.d. phụ vào. Lúc đó ψ_2 là góc lệch giữa các vectơ s.d.d. ΣE_2 và dòng điện I_2 . Do I_2 vượt trước E_{2s} nên I_1 sẽ gần U_1 nghĩa là góc φ giữa U_1 và I_1 càng nhỏ và $\cos\varphi$ càng được nâng cao. Chú ý rằng thực ra s.d.d. E_1 có thể xem là gồm hai thành phần: thành phần $E_1 \sin\alpha$ có tác dụng cải thiện hệ số $\cos\varphi$ của bộ nối cấp, còn thành phần $E_1 \cos\alpha$ có tác dụng làm giảm tốc độ quay của động cơ điện trong trường hợp đó.

Hình 39-17 vẽ đặc tính $\cos\varphi = f(P_{2s})$ của động cơ làm việc khi có (đường 1) và không có (đường 2) máy bù. Từ đường cong 1 ta thấy rằng, khi tải vào khoảng 30% tải định mức thì động cơ điện có máy bù, hệ số $\cos\varphi$ được cải thiện rất nhiều và bắt đầu từ 60% tải định mức trở đi thì $\cos\varphi = 1$. Nhưng khi tải nhỏ hay không tải, $\cos\varphi$ rất thấp. Đó cũng là nhược điểm lớn của máy bù.



Hình 39-17. Đặc tính $\cos\varphi$ và $s = f(P_{2s})$ của động cơ điện không đồng bộ có và không có máy bù

Để khắc phục nhược điểm đó, nghĩa là vẫn bù được $\cos\varphi$ lúc dòng điện I_2 nhỏ và tránh hiện tượng bù quá lúc I_2 gần định mức, thì máy bù thường được chế tạo với một mạch từ bão hòa rất cao. Trong trường hợp đó, khi dòng điện nhỏ thép của máy bù còn chưa bão hòa, s.d.d. tăng nhanh sẽ thỏa mãn được yêu cầu thứ nhất; ngược lại khi dòng điện lớn, thép bão hòa

mạnh, s.d.d. tăng chậm hơn dòng điện sẽ thỏa mãn được yêu cầu thứ hai. Ngoài ra hiện tượng bão hòa của máy bù sẽ có tác dụng cải thiện điều kiện đối chiều, vì sự bão hòa mạnh sẽ làm cho đường cong từ thông ngang bằng hơn và sẽ làm giảm từ tản ở khu vực đối chiều.

Câu hỏi

1. Tại sao đưa s.d.d. phụ vào mạch thứ cấp của động cơ không đồng bộ lại điều chỉnh được tốc độ quay và $\cos\varphi$? Làm thế nào để đưa được s.d.d. phụ vào? Nếu thông qua máy một chiều quay độc lập với máy không đồng bộ, có thể đưa s.d.d. phụ vào theo yêu cầu trên không, tại sao?

2. Trình bày nguyên lý làm việc và cách vận hành của các loại động cơ ba pha kích thích song song, động cơ ba pha kích thích nối tiếp, động cơ bù pha và máy bù pha.

Chương 40

ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT PHA CÓ VÀNH GÓP

Động cơ điện xoay chiều một pha có vành góp nói chung kết cấu cũng tương tự như máy điện một chiều thông thường, chỉ có khác là ở dây điện áp đặt vào là điện áp một pha. Động cơ loại này được dùng nhiều trong kéo tải bằng điện, trong một số máy móc dùng trong sinh hoạt và một vài ngành chuyên môn đặc biệt.

40.1. S.Đ.Đ. BIẾN ÁP VÀ S.Đ.Đ. QUAY SINH RA TRONG PHẢN ỨNG CỦA MÁY ĐIỆN MỘT PHA CÓ VÀNH GÓP DO TỪ TRƯỜNG ĐẬP MẠCH

Khi đưa điện áp xoay chiều một pha vào phần ứng của máy điện xoay chiều có vành góp nói chung trong chúng sẽ có hai loại s.đ.đ. cảm ứng:

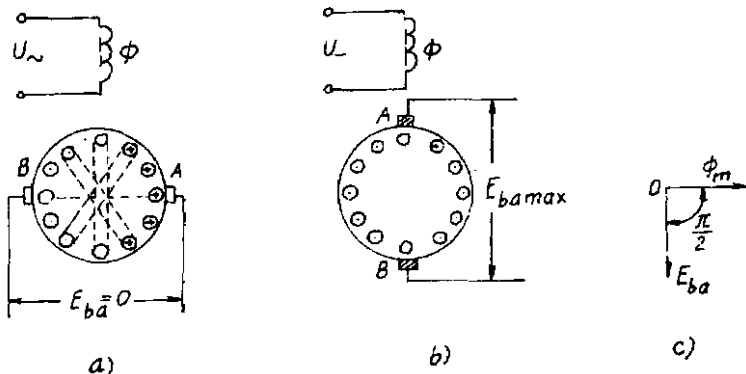
1) S.đ.đ. kiểu như m.b.a. gọi là s.đ.đ. biến áp E_{ba} , vì sự liên hệ giữa các dây quấn kích từ và dây quấn phần ứng qua từ trường xoay chiều cũng tương tự như sự liên hệ giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp của m.b.a.;

2) S.đ.đ. do phản ứng quay gây nên gọi là s.đ.đ. quay E_q , bởi vì khi phần ứng quay các thanh dẫn sẽ cắt các đường sức từ trường và gây nên s.đ.đ. cảm ứng giống như trong máy điện một chiều thông thường.

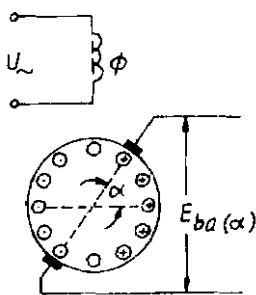
40.1.1. S.đ.đ. biến áp E_{ba}

Giả thử đặt điện áp một pha xoay chiều U_2 vào dây quấn kích từ K ở phần tĩnh của máy điện xoay chiều, từ thông Φ do nó sinh ra sẽ đập mạch với tần số f của lưới điện.

Trước hết ta giả thiết rằng phản ứng đứng yên, nghĩa là tốc độ $n = 0$ thì hiện tượng xảy ra giống hệt như trong m.b.a. mà ở đây dây quấn sơ cấp là dây quấn kích từ, còn dây quấn thứ cấp là cuộn dây phản ứng. Trong các thanh dẫn của dây quấn phản ứng ở hai bên trục của dây quấn kích từ sẽ cảm ứng ra các s.d.d. khác dấu nhau (hình 40-1).



Hình 40-1. S.d.d. E_{ba} do từ trường đập mạch sinh ra trong dây quấn phản ứng khi $n = 0$



Hình 40-2. S.d.d. E_{ba} sinh ra trong dây quấn phản ứng khi dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học một góc α .

Nếu chổi than A - B đặt trên đường trung tính hình học thì vì mỗi nhánh dây quấn có số phần tử bằng nhau với các s.d.d. ngược dấu nên s.d.d. biến áp ở hai đầu chổi than sẽ bằng không, $E_{ba} = 0$ (hình 10-1a). Nếu chổi than A - B đặt trên trục dọc của dây quấn kích từ (tức chính giữa cực từ) thì s.d.d. biến áp lấy ra sẽ có trị số cực đại (hình 40-1b). Tần số của s.d.d. biến áp trên các chổi than bằng tần số f của từ trường đập mạch, nghĩa là của dòng điện kích từ tương ứng. Cũng tương tự như trong m.b.a., trị

số hiệu dụng của s.d.d. biến áp là:

$$E_{ba} = 4.44fwk_{Jq} \Phi_m \quad (40-1)$$

trong đó: w - số vòng dây của một mạch nhánh dây quấn phần ứng;

k_{Jq} - hệ số dây quấn.

Về góc pha thì s.d.d. E_{ba} chậm sau từ thông $\Phi_m \angle 90^\circ$ (hình 40-1c).

Khi dịch chổi than $A - B$ khỏi đường trung tính hình học một góc α nào đó (hình 40-2) thì:

$$E_{ba(\alpha)} = E_{ba} \sin \alpha \quad (40-2)$$

40.1.2. S.d.d. quay E_q

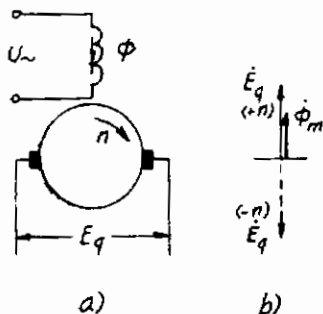
Ta lại giả thiết rằng $\Phi_m = \text{const}$, nếu cho phần ứng quay trong từ trường đó với tốc độ n thì s.d.d. E_q hình thành ở hai đầu chổi than chính là s.d.d. ta đã nghiên cứu trong máy điện một chiều, song chú ý rằng khi đó s.d.d. cảm ứng trong các phần tử dây quấn phần ứng là xoay chiều với tần số $f_q = \frac{pn}{60}$, nhưng s.d.d. quay E_q lấy được ở chổi than là s.d.d. một chiều tần số $f = 0$, chỉ phụ thuộc vào tốc độ quay n và từ thông Φ_m như ta đã biết ở phần thứ nhất, tập I :

$$E_q = \frac{pN}{60a} n \Phi_m \quad (40-3)$$

S.d.d. này có trị số cực đại khi chổi than đặt trên đường trung tính hình học và bằng không khi chổi than đặt chính giữa cực từ. Trường hợp chổi than đặt lệch một góc α nào đó so với đường trung tính hình học thì:

$$E_{q(\alpha)} = E_q \cos \alpha \quad (40-4)$$

Bây giờ cho từ thông đập mạch với tần số f , phần ứng vẫn quay với tốc độ n , ta nhận thấy trong trường hợp này s.d.d. cảm ứng ra trong mỗi phần tử dây quấn vẫn tồn tại hai loại: s.d.d.



Hình 40-3. S.d.d. quay E_q sinh ra trong dây quấn phần ứng do từ trường đập mạch.

quay có tần số $f_q = \frac{pn}{60}$ và s.d.d. biến áp có tần số $f_{ba} = f$, nhưng trên chổi than A - B, s.d.d. quay E_q và s.d.d. biến áp E_{ba} đã mang tính chất khác hẳn. Nếu chổi than đặt ở đường trung tính hình học (hình 40-3a) thì $E_{ba} = 0$, chỉ còn s.d.d. E_q mà ở một tốc độ xác định thì $E_q \equiv \Phi_m$. Từ thông Φ_m đập mạch với tần số f thì E_q cũng đập mạch với tần số f . Tốc độ n thay đổi chỉ làm thay đổi trị số và chiều của E_q chứ không ảnh hưởng gì đến tần số của nó cả. Nếu phần ứng quay theo chiều $(+n)$, s.d.d. E_q sẽ ngược pha với Φ_m (hình 40-3).

Trường hợp chổi than A - B dịch khỏi đường trung tính hình học một góc α thì ta lấy ra được một s.d.d. tổng gồm cả hai loại và có cùng một tần số f :

$$E_{A-B} = \sqrt{E_{ba}^2 \sin^2 \alpha + E_q^2 \cos^2 \alpha}. \quad (40-5)$$

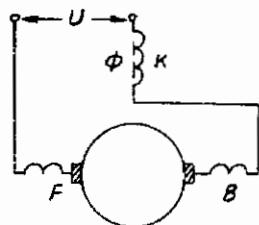
Tóm lại dưới tác dụng của điện áp xoay chiều một pha ở đầu chổi than phần ứng ta được s.d.d. tổng gồm hai loại E_{ba} và E_q . S.d.d. tổng biến thiên với tần số f của nguồn kích thích, còn tốc độ quay và vị trí của chổi than chỉ có tác dụng làm thay đổi trị số và chiều của s.d.d. chứ không ảnh hưởng gì đến tần số của nó.

40.2. ĐỘNG CƠ NỐI TIẾP MỘT PHA

40.2.1. Sơ lược cấu tạo và nguyên lý làm việc

Nói chung cấu tạo của động cơ nối tiếp một pha không khác với máy điện một chiều kích thích nối tiếp thông thường là mấy. Đáng chú ý là ở đây cực từ được ghép bằng những lá thép kỹ thuật điện để giảm tổn hao dòng xoáy và tổn hao từ trễ và về hình dáng thì có thể làm kiểu cực lõi (đối với máy nhỏ) hay cực

ân (đối với máy lớn). Trên cực từ cũng có dây quấn kích từ K , dây quấn bù B và cũng có cực từ phụ với dây quấn F để cải thiện đổi chiều như máy điện một chiều thông thường. Sơ đồ nối dây của động cơ một pha kích thích nối tiếp như được trình bày ở hình 40-4.



Hình 40-4. Sơ đồ nguyên lý của động cơ điện nối tiếp một pha

Khi đặt điện áp xoay chiều một pha vào động cơ, từ thông Φ của cuộn kích thích nối tiếp tác dụng lên dòng điện I chạy trong phần ứng tạo nên mômen quay làm động cơ quay. Vì phần ứng mắc nối tiếp với cuộn kích thích nên Φ và I cùng dấu (bỏ qua góc lệch pha gây nên do tổn hao sắt) do đó mômen luôn luôn dương và động cơ luôn được quay theo một chiều.

40.2.2. Mômen của động cơ

Giả thử xem rằng dòng điện trong một mạch nhánh i_u và từ thông kích từ Φ đều biến đổi hình sin theo thời gian, nghĩa là trị số tức thời:

$$i_u = I_{um} \sin \omega t \quad (40-6)$$

$$\Phi = \Phi_m \sin(\omega t - \gamma) \quad (40-7)$$

trong đó γ là góc lệch pha giữa i_u và Φ do tổn hao sắt từ và tham số của phần tử bị ngắn mạch quyết định. Do đó trị số tức thời của mômen cũng giống như ở máy điện một chiều:

$$M_t = \frac{pN}{\pi} i_u \Phi = \frac{pN}{\pi} I_{um} \Phi_m \sin \omega t \sin(\omega t - \gamma) \quad (40-8)$$

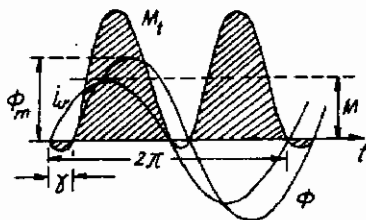
và mômen trung bình:

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi M_t d\omega t = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \frac{pN}{\pi} I_{um} \Phi_m \sin \omega t \sin(\omega t - \gamma) d\omega t \\ &= \frac{pN}{2\pi} I_{um} \Phi_m \cos \gamma = \frac{pN}{\pi} I_u \frac{\Phi_m}{2} \cos \gamma \end{aligned} \quad (40-9)$$

trong đó I_u - trị số hiệu dụng của dòng điện trong một mạch nhánh song song của dây quấn phản ứng của động cơ điện;

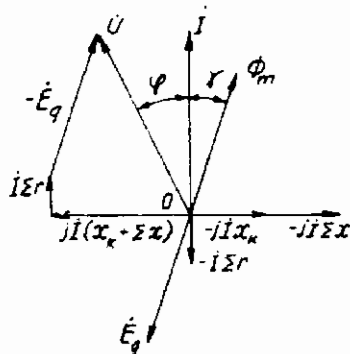
Φ_m - biên độ của từ thông kích từ.

Thường góc γ nhỏ nên nói chung mômen do động cơ sinh ra vẫn lớn. Đường cong dòng điện, từ thông và mômen theo thời gian được trình bày trên hình 40-5.



Hình 40-5. Đường cong dòng điện, từ thông và mômen của động cơ điện nối tiếp một pha

40-2-3. Đồ thị vectơ



Hình 40-6. Đồ thị vectơ của động cơ điện nối tiếp một pha.

Giả thiết động cơ quay với tốc độ n và các chổi than được đặt trên đường trung tính hình học. Khi đặt điện áp U vào động cơ ta có dòng điện I chạy vào trong máy. Từ thông chính Φ_m do f sinh ra chậm sau một góc γ . S.d.d. E_2 sinh ra bởi từ thông đó sẽ ngược pha với Φ_m vì rằng máy làm việc ở chế độ động cơ điện, nghĩa là E_p ngược chiều với I . Còn s.d.d. biến áp trong trường hợp này bằng không vì chổi than đặt trên đường trung tính hình học. Ngoài ra trong động cơ điện còn có: s.d.d.

tương ứng với toàn bộ từ thông kích từ chậm sau I 90° là $-jI x_K$, trong đó x_K là điện kháng toàn phần của dây quấn kích từ; s.d.d. tương ứng với từ thông tản của dây quấn phản ứng, dây quấn bù và dây quấn cực từ phụ cũng chậm sau I 90° là $-jI \Sigma x$, trong đó Σx là tổng điện kháng tản của các dây quấn trên; điện áp rơi

$\dot{I}\Sigma r$, trong đó Σr là tổng các điện trở của động cơ điện kể cả điện trở tiếp xúc của chổi than. Vậy phương trình cân bằng s.d.d. của động cơ điện được viết là:

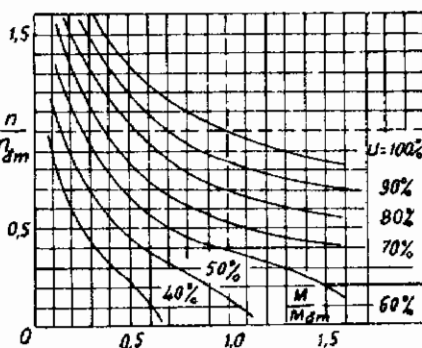
$$\begin{aligned}\dot{U} &= -\dot{E}_p + j\dot{I}\Sigma x + \dot{I}r \\ &= -\dot{E}_q + j(\dot{I}x_K + \Sigma x) + \dot{I}r.\end{aligned}\quad (40-10)$$

Đồ thị vectơ tương ứng vẽ ở hình 40-6. Ở đây φ là góc lệch giữa điện áp U và dòng điện I . Thông thường động cơ làm việc với hệ số $\cos\varphi = 0,7 \div 0,95$ và tốc độ càng lớn thì hệ số $\cos\varphi$ càng cao.

40.2.4. Các đặc tính làm việc

Đặc tính η và $\cos\varphi = f(M)$ khi $U = \text{var}$.

Đặc tính cơ $n = f(M)$ cũng tương tự như động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp. Hình 40-7 vẽ một họ đặc tính cơ với những điện áp khác nhau. Đồ thị cho thấy khi điện áp càng giảm thì đặc tính cơ càng thấp. Chính vì vậy mà khi mắc vào đầu động cơ một m.b.a. có đầu phân áp để điều chỉnh điện áp thì có thể điều chỉnh được tốc độ quay và mở máy động cơ một cách dễ dàng.

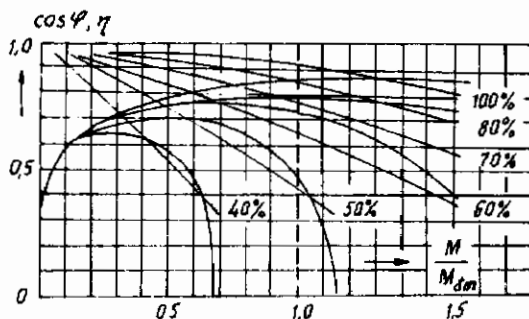


Hình 40-7. Đặc tính $n = f(M)$ ở các trị số điện áp khác nhau

Đặc tính hiệu suất $\eta = f(M)$ và hệ số công suất $\cos\varphi = f(M)$ được vẽ trên hình 40-8. Từ đồ thị ta cũng thấy rằng khi điện áp giảm thì cả hiệu suất và $\cos\varphi$ của động cơ đều giảm.

Để nâng cao hệ số $\cos\varphi$ động cơ điện ta có thể giảm tổng số các điện kháng trong mạch bằng cách giảm khe hở không khí giữa rôto và stato (đối với máy nhỏ hơn 100 kW thì khe hở ở

$= 1,5 \div 2,5 \text{ mm}$, còn đối với máy lớn thì $\delta = 2 \div 4 \text{ mm}$), dùng dây quấn bù để bù lại phản ứng phần ứng hoặc dùng tần số thấp (ví dụ ở Đức, Thụy sĩ, Thụy Điển dùng tần số $16\frac{2}{3} \text{ Hz}$, ở Mỹ dùng tần số 25 Hz). Khi giảm tần số thì đồng thời cũng làm tăng được hiệu suất của động cơ lên nữa. Song nói chung vì tổn hao sắt và tổn hao phụ nên hiệu suất của loại động cơ này vẫn thấp hơn động cơ một chiều kích thích nối tiếp thông thường.



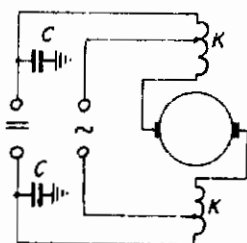
Hình 48-8. Đặc tính η và $\cos \varphi = f(M)$ ở các trị số điện áp khác nhau

Vấn đề đổi chiều trong động cơ loại này tương đối phức tạp vì trong phần tử đổi chiều ngoài s.d.đ. phần kháng như trong máy điện một chiều thông thường còn có s.d.đ. biến áp do từ thông một pha đập mạch qua phần tử đó. Kết quả là s.d.đ. trong phần tử đổi chiều sẽ khá lớn gây khó khăn cho quá trình đổi chiều. Mặt khác cực từ phụ không có khả năng trừ khử s.d.đ. biến áp nên muốn cải thiện đổi chiều được tốt hơn còn phải dùng một vài phương pháp khác như mắc thêm điện trở phụ song song với dây quấn cực từ phụ. Song biện pháp này cũng chỉ triệt tiêu được s.d.đ. biến áp ở một tốc độ quay xác định, còn ở những tốc độ khác thì điều này không thực hiện được. Vì vậy nói chung việc đổi chiều trong máy điện xoay chiều có vành góp vẫn khó khăn hơn so với các máy điện một chiều thông thường.

40.2.5. Ứng dụng

Động cơ điện có vành góp một pha được ứng dụng chủ yếu trong việc điện khí hóa đường sắt bằng dòng điện một pha. Thường được chế tạo với công suất khá lớn đặt trên các đầu máy xe điện làm việc trên các tuyến đường sắt điện khí hóa ở một số nước như Pháp, Đức, Mỹ, Nga, v.v... Các động cơ công suất nhỏ hơn 0,5 kW được dùng rộng rãi trong công nghiệp hoặc trong đời sống với yêu cầu tốc độ cao ($3000 \div 30.000 \text{ vg/ph}$) và phạm vi điều chỉnh tốc độ rộng như máy mài, máy hút bụi, máy lau nhà, máy khâu v.v...

Ngày nay người ta còn chế tạo ra loại động cơ điện kích thích nối tiếp vạn năng có thể chạy điện xoay chiều hay một chiều. Khi dùng điện một chiều, vì không có điện áp rơi trên điện kháng nên với cùng một trị số điện áp thì tốc độ quay động cơ sẽ lớn hơn. Do đó để cho đặc tính cơ của động cơ không thay đổi thì người ta làm các đầu điện áp xoay chiều và một chiều khác nhau (hình 40-9). Trong đó đầu điện áp xoay chiều ứng với số vòng dây kích từ nhỏ hơn đầu điện áp một chiều. Tự điện C dùng để giảm nhiễu vô tuyến điện.



Hình 40-9. Sơ đồ nguyên lý của động cơ điện kích thích nối tiếp vạn năng

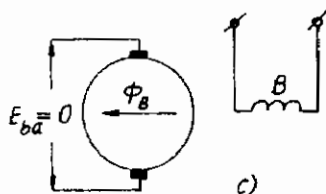
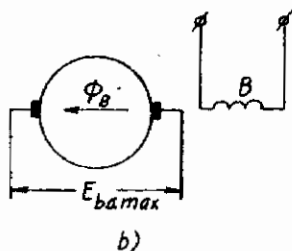
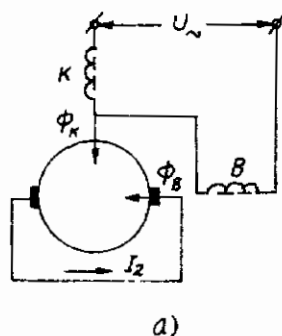
40.3. ĐỘNG CƠ ĐIỆN DÂY

40.3.1. Động cơ điện dây với hai dây quấn phần tĩnh

Dây quấn kích từ K và dây quấn bù B nối tiếp nhau và đặt dưới điện áp xoay chiều $U_{\sim}$, chổi than đặt trên đường trung tính hình học (hình 40-10).

Từ thông của cuộn kích từ Φ_K chỉ gây ra s.d.đ. quay hai đầu chổi than khi phần ứng quay, do đó trước hết khi phần ứng đứng yên nhờ từ thông đập mạch Φ_B của dây quấn bù nên hai đầu chổi than sẽ cảm ứng ra s.d.đ. biến áp E_{ba} lớn nhất (hình 40-10b) và

tạo nên trong phần ứng dòng điện I_2 . Dòng điện I_2 tác dụng với từ thông Φ_K tạo nên mômen quay làm động cơ quay. Như vậy ta thấy như có một sự "đẩy" giữa từ trường của phần ứng với từ trường của cực từ mà tạo nên mômen quay cho nên động cơ mang tên là động cơ điện đẩy.



Hình 40-10. Động cơ điện đẩy với hai dây quấn ở phần tĩnh

Trường hợp chổi than đặt trùng với trục của dây quấn kích từ thì s.d.d. biến áp $E_{ba} = 0$, dòng điện $I_2 = 0$ và do đó mômen quay bằng không (hình 40-10c).

Biểu thức mômen nói chung cũng có dạng quen thuộc:

$$M = C_m I_2 \Phi_K \cos(\angle I_2, \Phi_K) \quad (40-11)$$

hay thông thường góc giữa I_2 và $\Phi_K \approx 0^\circ$ nên:

$$M \approx C_m I_2 \Phi_K \quad (40-12)$$

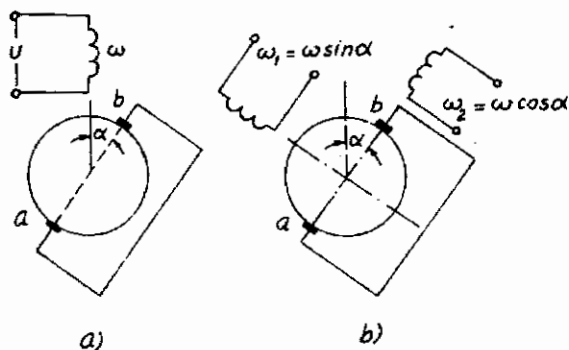
trong đó C_m là hằng số mômen.

40.3.2. Động cơ điện đẩy chỉ có một dây quấn ở phần tĩnh (Động cơ Tôm-xơn)

Cũng tương tự như loại trên nhưng ở phần tĩnh chỉ có một

dây quấn w và một bộ chổi than di chuyển được ở phần ứng với trục của chổi than có thể làm thành một góc α bất kỳ với trục của dây quấn phần tĩnh (hình 40-11).

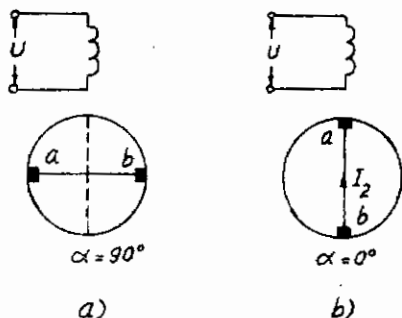
Trường hợp này ta có thể xem như có hai cuộn dây: cuộn $w_1 = w \sin \alpha$ đóng vai trò của dây quấn kích từ w_K và cuộn $w_2 = w \cos \alpha$ đóng vai trò của dây quấn bù w_B như trong trường hợp động cơ điện đẩy có hai dây quấn ở phần tĩnh đã xét ở trên. Kết quả là động cơ sẽ làm việc tương tự như động cơ đó. Chiều quay của động cơ tùy thuộc vào chiều chuyển dịch của chổi than đối với trục của cuộn dây w .



Hình 40-11. Động cơ điện chỉ có một dây quấn phần tĩnh

Cần chú ý rằng lúc $\alpha = 90^\circ$ (hình 40-12a) thì tổng s.d.đ. trong mỗi nhánh của dây quấn phần ứng bằng không, do đó dòng điện trong phần ứng và mômen do động cơ sinh ra cũng bằng không. Lúc đó động cơ điện được coi như một m.b.a. hở ở mạch thứ cấp. Vị trí của chổi than ứng với góc $\alpha = 90^\circ$ đó gọi là vị trí không tải. Một vị trí khác của chổi than là lúc $\alpha = 0^\circ$ (hình 40-12b). Lúc này s.d.đ. ở hai đầu chổi than sẽ có trị số lớn nhất. Trong phần ứng sẽ sinh ra điện I_2 tạo thành s.d.đ. ngược với s.d.đ. của dây quấn kích từ, do đó mômen sinh ra cũng bằng không. Động cơ được xem như m.b.a. làm việc ở tình trạng ngắn

mạch, vị trí của chổi than tương ứng lúc đó gọi là vị trí ngắn mạch.



Hình 40-12. Động cơ điện đẩy với vị trí chổi than khi không tải (a) và khi ngắn mạch (b)

Ở những góc α xác định thì đặc tính cơ và các đặc tính làm việc cũng gần giống như động cơ kích thích nối tiếp đã trình bày trên.

Việc điều chỉnh tốc độ và mở máy của loại động cơ này tương đối thuận lợi nhờ việc xê dịch chổi than.

Động cơ Tômxơn thường được chế tạo với công suất khoảng vài chục kilôoat và

được dùng nhiều trong lĩnh vực kéo tải bằng điện.

Câu hỏi

1. Khi đưa điện áp xoay chiều một pha vào động cơ xoay chiều một pha có vành góp thì trong đó xuất hiện những s.d.d. loại nào, tính chất của chúng ra sao?

2. Trình bày nguyên lý làm việc và cách vận hành của các loại động cơ nối tiếp một pha và động cơ điện đẩy.

MỤC LỤC

Phần thứ tư

✓ MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Chương 22.	ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ	
	Nguyên lý làm việc cơ bản của máy điện đồng bộ	3
22.1.	Phân loại và kết cấu của máy điện đồng bộ	3
22.2.	Các trị số định mức của máy điện đồng bộ	11
Chương 23.	TỪ TRƯỜNG TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ	
23.1.	Đại cương	13
23.2.	Từ trường của dây quấn kích từ	14
23.3.	Từ trường của phản ứng	19
23.4.	Quy đổi các s.t.d. trong máy điện đồng bộ	25
Chương 24.	QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ	
24.1.	Đại cương	28
24.2.	Phương trình điện áp và đồ thị vectơ máy điện đồng bộ	28
24.3.	Cân bằng năng lượng trong máy điện đồng bộ	36
24.4.	Các đặc tính góc của máy điện đồng bộ	37
Chương 25.	MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC Ở TẢI ĐỐI XỨNG	
25.1.	Đại cương	44
25.2.	Các đặc tính của máy phát điện đồng bộ	45
25.3.	Cách xác định các tham số của máy phát điện đồng bộ	52
25.4.	Tổn hao và hiệu suất của máy điện đồng bộ	54
Chương 26.	MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC Ở TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG	
26.1.	Đại cương	58

26.2.	Các tham số của máy phát điện đồng bộ khi làm việc ở tải không đối xứng	60
26.3.	Ảnh hưởng của tải không đối xứng đối với máy điện đồng bộ	64
26.4.	Ngắn mạch không đối xứng	66
<i>Chương 27.</i>	MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC SONG SONG	
27.1.	Đại cương	70
27.2.	Ghép máy phát điện đồng bộ làm việc song song	70
27.3.	Điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy phát đồng bộ	76
<i>Chương 28.</i>	ĐỘNG CƠ VÀ MÁY BÙ ĐỒNG BỘ	
28.1.	Động cơ điện đồng bộ	85
28.2.	Máy bù đồng bộ	93
<i>Chương 29.</i>	QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ	
29.1.	Đại cương	97
29.2.	Ngắn mạch đột nhiên ba pha của máy phát điện đồng bộ	99
<i>Chương 30.</i>	DAO ĐỘNG CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ	
30.1.	Khái niệm chung	113
30.2.	Mômen và phương trình chuyển động của rôto lúc dao động	114
30.3.	Dao động của các máy điện đồng bộ khi làm việc song song với lưới điện	117
30.4.	Dao động cưỡng bức của máy phát điện đồng bộ khi làm việc đơn độc	121
<i>Chương 31.</i>	MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ ĐẶC BIỆT	
31.1.	Máy phát điện đồng bộ một pha	123
31.2.	Máy biến đổi một phần ứng	124
31.3.	Động cơ điện phản kháng	125
31.4.	Động cơ kiểu nam châm vĩnh cửu	126
31.5.	Động cơ điện đồng bộ kiểu từ trễ	127

31.6.	Máy điện đồng bộ cảm ứng	128
31.7.	Động cơ bước	129

Phần thứ năm

MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

✓ <i>Chương 32.</i>	ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU	
	Nguyên lý làm việc cơ bản của máy điện một chiều	132
32.1.	Cấu tạo của máy điện một chiều	132
32.2.	Các trị số định mức	137
✓ <i>Chương 33.</i>	QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU	
33.1.	Mômen và công suất điện từ	139
33.2.	Quá trình năng lượng và các phương trình cân bằng	141
33.3.	Tính chất thuận nghịch trong máy điện một chiều	146
<i>Chương 34.</i>	TỪ TRƯỜNG LÚC CÓ TẢI	
34.1.	Đại cương	150
34.2.	Từ trường phản ứng	150
34.3.	Từ trường cực từ phụ	157
34.4.	Từ trường của dây quấn bù	159
34.5.	Thí dụ	160
<i>Chương 35.</i>	ĐỐI CHIỀU	
35.1.	Đại cương	164
35.2.	Quá trình đối chiều	168
35.3.	Nguyên nhân sinh ra tia lửa và phương pháp cải thiện đối chiều	181
35.4.	Thí dụ	185
<i>Chương 36.</i>	MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU	
36.1.	Đại cương	188
36.2.	Các đặc tính của máy phát điện một chiều	189

36.3.	Máy phát điện một chiều làm việc song song	206
36.4.	Thí dụ	210
✓Chương 37.	ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU	
37.1.	Đại cương	214
37.2.	Mở máy động cơ điện một chiều	215
37.3.	Đặc tính của động cơ điện một chiều	218
Chương 38.	MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU ĐẶC BIỆT	
38.1.	Máy điện một chiều từ trường ngang	236
38.2.	Máy phát hàn điện	242
38.3.	Máy phát điện một chiều một cực	243
38.4.	Máy điện một chiều công suất thấp	245

Phần thứ sáu

MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU CÓ VÀNH GÓP

Chương 39.	ĐỘNG CƠ ĐIỆN BA PHA CÓ VÀNH GÓP	
39.1.	Đại cương	250
39.2.	Đưa s.d.d. phụ vào mạch thứ cấp của máy điện không đồng bộ	250
39.3.	Tạo s.d.d. có tần số trượt nhờ vành góp	253
39.4.	Động cơ điện ba pha kích thích song song	254
39.5.	Động cơ điện ba pha kích thích nối tiếp	258
39.6.	Động cơ điện bù pha và máy bù pha	260
Chương 40.	ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT PHA CÓ VÀNH GÓP	
40.1.	S.d.d. biến áp và s.d.d. quay sinh ra trong phần ứng của máy điện một pha có vành góp do từ trường đập mạch	266
40.2.	Động cơ nối tiếp một pha	269
40.3.	Động cơ điện đẩy	274

MÁY ĐIỆN

Tập 2

Tác giả:

**VŨ GIA HANH, TRẦN KHÁNH HÀ
PHAN TỬ THỤ, NGUYỄN VĂN SÁU**

Chịu trách nhiệm xuất bản : **Pgs, Pts. TÔ ĐĂNG HẢI**

Biên tập :

NGUYỄN NGỌC

Trình bày :

VĂN CẦM

Vẽ bìa :

HƯƠNG LAN

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

70 Trần Hưng Đạo, Hà nội

In 1000 cuốn tại Nhà in Đại học quốc gia.

Giấy phép xuất bản số 544 - 30 - 3/10/98

In xong và nộp lưu chiểu tháng 10/1998