

TRẦN KHÁNH HÒA

ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

BA PHA VÀ MỘT PHA CÔNG SUẤT NHỎ

ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA VÀ MỘT PHA



Vb 483/2003



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



TRẦN KHÁNH HÀ

**ĐỘNG CƠ ĐIỆN
KHÔNG ĐỒNG BỘ
BA PHA VÀ MỘT PHA
CÔNG SUẤT NHỎ**

ĐẶC ĐIỂM – TÍNH TOÁN – ỨNG DỤNG

(in lần thứ hai có sửa chữa, bổ sung)

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – 2002

LỜI NÓI ĐẦU

Động cơ điện công suất nhỏ (ĐCCSN) được sử dụng ngày càng nhiều trong công nghiệp, nông nghiệp, thủ công nghiệp, trong các thiết bị tự động và máy tính, các loại truyền động nhẹ và trong các thiết bị gia dụng.

Phần lớn những động cơ điện công suất nhỏ thuộc loại một pha và thường là động cơ điện không đồng bộ. Cách tính toán những động cơ điện này có khác với những động cơ điện công suất trung bình, nhất là khi tính đặc tính của máy.

Hiện nay có nhiều phương pháp tính toán ĐCCSN, mỗi phương pháp đều có ưu điểm riêng của nó, độ chính xác và thời gian cần thiết để tính toán của các phương pháp cũng khác nhau.

Trước đây (năm 1993), tác giả đã xuất bản một quyển sách cùng đề tài. Từ đấy đến nay trình độ khoa học và công nghệ không ngừng phát triển, nhiều vật liệu sắt từ và cách điện mới ra đời, cách tính toán cũng có nhiều cải tiến, do đó lần tái bản này tác giả đã sửa lại những chỗ sai sót, đưa ra cách tính mới trong mạch từ để có thể tính toán không phải lặp lại nhiều.

Nội dung quyển sách này giới thiệu cách tính toán các động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ ba pha và một pha khởi động bằng điện trở, điện dung, động cơ điện dung và động cơ có vành chập, trong đó có nhấn mạnh đặc điểm của các loại động cơ điện đó, cách tính toán dây quấn hình "sin" là loại dây quấn hiện nay hay dùng trong

động cơ điện một pha và các ví dụ tính toán cũng như những bảng số liệu dây quấn cùng chỉ tiêu kỹ thuật của một số động cơ điện nước ngoài để các kỹ sư, nhân viên kỹ thuật có thể sử dụng khi thiết kế tính toán lại các động cơ điện công suất nhỏ. Sách có thể làm tài liệu tham khảo hay giảng dạy trong các trường kỹ thuật.

Tuy tác giả đã cố gắng đưa vào nhiều tư liệu và viết ngắn gọn để bạn đọc có thể theo dõi một cách dễ dàng nhưng chắc chắn không tránh khỏi sai sót. Rất mong bạn đọc góp ý xây dựng.

Tác giả

ĐẠI CƯƠNG VỀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN CÔNG SUẤT NHỎ

Máy điện công suất nhỏ là một loại sản phẩm công nghiệp được phát triển mạnh mẽ trong gần nửa thế kỷ nay. Thường người ta giới hạn công suất của ĐCCSN trong khoảng từ một vài phần oát đến 750 W, nhưng cũng có khi có chế tạo những động cơ một pha công suất đến 1,5 kW (2 mã lực). Động cơ công suất nhỏ có thể chia làm hai loại lớn: loại thông dụng và loại đặc biệt.

Động cơ công suất nhỏ loại thông dụng chủ yếu được dùng trong công nghiệp nhẹ, công nghiệp thực phẩm, xí nghiệp y tế, nông nghiệp, nhà ăn công cộng, các ngành tiểu thủ công nghiệp và sinh hoạt thường ngày. Cũng có khi dùng trong các trang bị tự động làm động lực kéo phụ.

Loại sau dùng trong trang bị tự động, hàng không, tàu thủy và những cơ cấu khống chế khác.

Động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc công suất nhỏ ba pha và một pha là loại phổ biến nhất trong các động cơ xoay chiều công suất nhỏ. Có thể dùng các động cơ này để kéo các máy tiện nhỏ, máy ly tâm, máy nén, bơm nước, máy xay xát nhỏ, quạt gió, máy ghi âm, máy lạnh, máy giặt...

Do động cơ không đồng bộ một pha dùng nguồn điện một pha của lưới điện sinh hoạt nên được dùng ngày một rộng rãi.

Động cơ không đồng bộ công suất nhỏ so với những loại động cơ điện khác, nhất là động cơ có vành đổi chiều thông dụng, có những ưu điểm sau :

- 1) kết cấu đơn giản, giá thành hạ
- 2) không sinh ra nhiễu vô tuyến
- 3) ít tiếng ồn
- 4) sử dụng đơn giản và chắc chắn.

Nhược điểm của động cơ rôto lồng sóc là đặc tính điều chỉnh tốc độ kém. Những động cơ không đồng bộ đặc biệt như loại rôto rỗng có từ tính hay không từ tính, rôto đặc hay rôto lồng sóc có điện trở lớn có thể có phạm vi điều chỉnh lớn. Động cơ nhiều tốc độ ba pha và một pha điều chỉnh tốc độ theo cấp.

Trong quyển sách này sẽ giới thiệu phương pháp tính toán động cơ không đồng bộ công suất nhỏ rôto lồng sóc thường.

Hiện nay các nước đều sản xuất động cơ không đồng bộ công suất nhỏ thông dụng theo các dãy động cơ điện thống nhất từ 15 W đến 750 W (có khi đến 1,5 kW) với số cực là 2 và 4.

0.1. Phân loại động cơ điện công suất nhỏ và cách chọn động cơ điện

Căn cứ vào *số pha* của lưới điện và đặc trưng của *phần tử khởi động*, động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ có thể chia làm mấy loại sau:

- 1) Động cơ điện ba pha ($m = 3$)
- 2) Động cơ điện một pha ($m = 1$) có phần tử khởi động trong pha phụ.

Theo tính chất của *phần tử khởi động* có thể chia ra các loại sau:

a) Động cơ khởi động bằng điện trở. Trong dây quấn phụ có nối điện trở khởi động (là bản thân điện trở của dây quấn phụ hay điện trở phụ mắc nối tiếp với dây quấn phụ).

b) Động cơ khởi động bằng điện dung. Ở loại động cơ này trong dây quấn phụ có mắc nối tiếp một tụ điện khởi động.

3) Động cơ điện dung ($m = 2$). Có thể chia làm hai loại sau:

- a) Động cơ có điện dung khởi động và làm việc.
- b) Động cơ có điện dung làm việc.

Theo phương thức cung cấp điện, động cơ điện dung thuộc loại động cơ điện một pha nhưng do hai dây quấn của stato đều làm việc nên trong tất cả các công thức tính toán đều lấy $m = 2$.

4) Động cơ có vòng chập hay động cơ có khe hở to nhỏ không đều. Ở loại sau, dưới một phần cực từ có khe hở lớn hơn và không dùng vòng chập.

Động cơ ba pha, động cơ một pha có phần tử khởi động và động cơ điện dung có thể chế tạo thành loại một hoặc nhiều tốc độ.

Ngoài cách phân loại như trên, căn cứ vào *kiểu rôto*, có thể chia động cơ không đồng bộ ra làm các loại sau:

1) Động cơ rôto lồng sóc

2) Động cơ rôto dây quấn

3) Động cơ rôto khối. Loại này lại chia thành:

a) Rôto đặc làm bằng vật liệu từ tính

b) Rôto rỗng làm bằng vật liệu từ tính hoặc không từ tính.

Cách phân loại, sơ đồ nối dây và đặc tính khởi động của động cơ nhỏ thông dụng như trên được ghi trong bảng 1.

Căn cứ vào điều kiện khởi động, động cơ một pha có thể chia làm ba loại sau:

1) Khởi động với tải nhẹ: Mômen khởi động $M_k < 0,5$ mômen định mức M_{dm} (ở động cơ điện vòng chập, động cơ điện có tụ điện làm việc).

2) Khởi động bình thường: $M_k = 1 \div 1,2 M_{dm}$ (ở động cơ điện khởi động bằng điện trở, động cơ có điện dung làm việc, động cơ có điện dung khởi động và làm việc).

3) Khởi động với tải nặng: $M_k = 1,5 \div 3,5 M_{dm}$ (động cơ điện khởi động bằng điện dung).

Bảng 1 (tiếp theo)

1	2	3	4	5	6		7
Kết cấu rôto	lồng sóc	lồng sóc	lồng sóc	lồng sóc	lồng sóc	từ tính đặc	lồng sóc
Thiết bị khởi động	không cần	không cần	công tắc ly tâm	công tắc ly tâm	không cần	không cần	công tắc ly tâm
Dải công suất, W	50 ÷ 1100	0,5 ÷ 120	18 ÷ 550	18 ÷ 550	5 ÷ 750	10 ÷ 100(3)	5 ÷ 750
Điện áp, V	127/220(7)	127, 220	127, 220, 380	127, 220, 380	127, 220, 380	127, 220, 380	127, 220, 380
Tốc độ đồng bộ n_{ab} , vg/ph	1500 3000	1500 3000	1500 3000	1500 3000	750, 1000 1500, 3000	dao động trong khoảng 1500	1500, 3000
Điều chỉnh tốc độ điều chỉnh	không thể điều chỉnh	không thể điều chỉnh	không thể điều chỉnh (4)	không thể điều chỉnh	không thể điều chỉnh	có thể điều chỉnh	không thể điều chỉnh
Phạm vi sử dụng	Động lực cho máy công cụ	quạt lò sấy, máy giặt, máy dùng trong thương nghiệp...	máy giặt, máy lạnh, máy chiếu phim, máy dùng trong y tế...	máy bơm, máy ép, máy lạnh...	máy ghi âm, bơm dùng trong gia đình, quạt, động lực cho máy công cụ nhỏ	máy ghi âm, máy khoan	máy điện dùng trong gia đình, bơm, máy tiện nhỏ...

Ghi chú:

- (1) r_k - Điện trở khởi động nối ngoài hoặc trong bản thân dây quấn phụ
- (2) r_2 - Điện trở phụ dùng trong vài trường hợp như động cơ của máy ghi âm
- (3) - Công suất lúc khởi động
- (4) - Có thể chế tạo thành động cơ điện nhiều tốc độ (thường là hai)
- (5) Đường $m = (v)$ được vẽ theo từ trường sóng cơ bản
- (6) Hiện nay sản xuất cả hai loại vòng ngắn mạch và khe hở không khí không đều nhau. Trong những động cơ điện này mômen khởi động có thể rất lớn ($m_k = 1$) dùng trong máy giặt
- (7) Trường hợp cá biệt có thể chế tạo thành một loại điện áp.

Cách phân loại theo mômen khởi động như trên có thể dùng để lựa chọn một cách chính xác loại động cơ một pha. Cần chú ý rằng động cơ vòng chập kèm theo khe hở không khí không đều hay dùng hai vòng chập có thể làm tăng mômen khởi động. Động cơ có điện dung làm việc khi chọn điện dung thích hợp có thể đảm bảo mômen khởi động quy định, nhưng đặc tính làm việc sẽ kém đi một chút.

Bội số mômen khởi động so với mômen định mức của động cơ khởi động bằng điện trở có khi đạt đến $m_K = 2$, còn bội số mômen khởi động của động cơ có điện dung khởi động rất lớn, có thể đạt đến $m_K = 3,5$. Trong rất nhiều trường hợp, để đảm bảo động cơ làm việc tốt và giảm rung động, trong pha phụ của động cơ làm việc bằng điện dung có nối thêm điện trở. Lúc đó bội số mômen khởi động có thể tăng lên đến $m_K = 1 \dots 1,2$.

Động cơ ba pha và động cơ điện dung có chỉ tiêu năng lượng tốt nhất, $\cos\varphi$ của loại sau có khi còn cao hơn loại trước. Căn cứ vào các số liệu tổng hợp của một số dây động cơ công suất nhỏ của Nga ghi trong bảng 2, có thể so sánh tính năng của các loại động cơ không đồng bộ. Trong bảng ghi số liệu của động cơ ba pha kiểu kín 4AA có gió thổi ngoài, động cơ điện có điện dung làm việc kiểu kín 4AAT và 4AXI, động cơ một pha có phân tử khởi động bằng điện trở 4AAE, 4AXE, động cơ một pha có phân tử khởi động bằng điện dung 4AAY, 4AXY và động cơ có điện dung khởi động và làm việc 4AAYT, 4AXYT.

Từ bảng 2 có thể thấy động cơ không đồng bộ khởi động bằng điện trở (4AAE và 4AXE) có bội số dòng khởi động so với dòng định mức rất lớn, $i_K = 4 \dots 8,5$, vượt xa các loại động cơ điện khác.

Xuất phát từ bội số mômen khởi động, động cơ điện khởi động bằng điện trở và động cơ điện có điện dung làm việc

thích hợp với loại tải khởi động bình thường, $m_K = 0,8 \dots 1$, còn động cơ điện khởi động bằng điện dung thích hợp với tải đòi hỏi mômen khởi động lớn, $m_K = 1,6 \dots 1,8$.

Bội số mômen cực đại của những động cơ này nằm trong khoảng $m_K = 1,5 \dots 1,7$.

Các số liệu chi tiết về dây quấn của các động cơ nói trên được ghi trong phụ lục 5.

Tất cả những động cơ một pha có phần tử khởi động đều phải có thiết bị khởi động chuyên dụng. Trong thời gian khởi động, thiết bị khởi động sẽ nối pha phụ (pha khởi động) với phần tử khởi động (điện trở r_K hay tụ điện C_K). Khi đạt đến một tốc độ nhất định (bằng 0,7 đến 0,8 tốc độ đồng bộ n_{db}) thì ngắt pha phụ ra, động cơ chỉ làm việc với pha chính.

Ở tốc độ này, mômen do pha chính sinh ra thường lớn hơn mômen do cả hai pha sinh ra. Trong động cơ điện có điện dung khởi động và làm việc, thiết bị khởi động trong thời gian khởi động (từ hệ số trượt $s = 1$ đến $s = 0,25 \dots 0,2$) sẽ nối thêm tụ điện khởi động C_K vào pha phụ. Thiết bị khởi động có thể dùng công tắc ly tâm, nút ấn, role quá dòng điện... Thông dụng nhất là dùng công tắc ly tâm.

Để hạ giá thành, công nghệ đơn giản và sử dụng thuận lợi, người ta còn chế tạo một loại động cơ điện có kết cấu và dây quấn chung cho tất cả các loại động cơ điện công suất nhỏ, tức là thông dụng cho cả ba pha và một pha (với các loại phần tử khởi động khác nhau) gọi tắt là động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ vạn năng. Đối với loại động cơ này, đảm bảo cho được đặc tính khởi động và làm việc của những động cơ có dây quấn phụ khó hơn là đối với động cơ một pha thiết kế riêng.

Bảng 2. Chỉ tiêu kỹ thuật của động cơ điện công suất nhỏ của Nga

Kiểu động cơ điện		Công suất P, W	Số cực $2p$	Bội số mômen cực đại m_{max}	Bội số mômen khởi động m_k	Bội số mômen khởi động i_k	$\cos \varphi$	$\eta, \%$	Cấp cách điện
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3 pha	AOL-011-2-AOL-22-2	80 - 600	2	1,7 - 2,2	1,3 - 2	4 - 5	0,66 - 0,85	58 - 75	A
	AOL-011-4-AOL-022-4	50 - 400	4	1,72	1,3 - 1,8	3 - 4	0,5 - 0,76	43 - 70	A
	4AA50A-2-4AA50B-2	90 - 120	2	2,2	2	5	0,54 - 0,56	52 - 54	B
	4AA56A2-4AA63B-2	180 - 680	2	2,2	2	5	0,76 - 0,86	66 - 73	B
	4AA56A4-4AA63B4	120 - 370	4	2,2	2	5	0,64 - 0,69	63 - 68	B
	4AX71A2-4AX71B2	750 - 1100	2	2,2	2	5	0,9	77	B
	4AX71A4-4AX71B4	550 - 750	4	2,2	2	5	0,74	08	B
khởi động và làm việc bằng điện dung	AOLD-011-2-AOLD-22-2	50 - 400	2	1,6 - 2	1 - 1,2			48 - 70	A
	AOLD-011-4-AOLD-22-4	30 - 270	4	1,6 - 2	1 - 1,2			33 - 62	A
	4AAT56A2-4AAT63B2	120 - 370	2	1,7	0,4			45 - 88	B
	4AAYT56A2-4AAYT63B2			1,5			B		

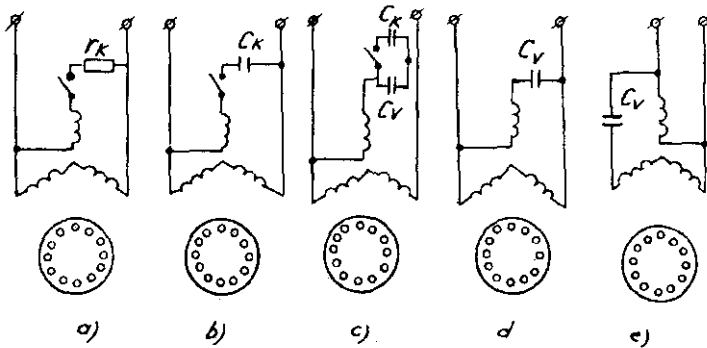
Bảng 2 (tiếp theo)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Khởi động và làm việc bằng điện dung	4AA56A4-4AAT63B4	90 - 250	4	1,6	0,4			51 - 62	B
	4AAYTS6A4-4AAYT63B4				1,6				B
	4AXT71A2-4AXT71B2	550 - 750	2	1,7	0,4			64 - 66	B
	4AXYT71A2-4AXYT71B2				1,5				B
	4AXT71A4-4AXT7B4	370 - 550	4	1,5 - 1,6	0,4			62 - 66	B
	4AXYT71A4-4AXYT71A4				1,6				B
Có phần tử khởi động	4AAE56A2-4AAE63B2	90 - 250	2	1,6 - 1,7	0,8 - 1	8,5	0,75 - 0,82	50 - 62	B
	4AAY56A2-4AAV63B2				1,6 - 1,7	5,5			B
	4AAE56A4-4AAE63B4	60 - 180	4	1,5	0,8 - 1	7,5	0,65 - 0,7	37 - 47	B
	4AAY56A4-4AAY63B4				1,6 - 1,8	4 - 4,5			B
	4AXE71A2-4AXE71B2	370 - 550	2	1,7	0,8	8,5	0,74 - 0,83	55 - 60	B
	4AXY71A2-4AXY71B2				1,7	5,5			B
	4XE71A4-4AXE71B4	250 - 370	4	1,5	1,0	7,5	0,7	50 - 51	B
	4AXY71A4-4AXY71B4				1,8	4			B

Khi sử dụng động cơ không đồng bộ ba pha công suất nhỏ làm động cơ một pha, thường đem dây quấn hai pha mắc nối tiếp lại làm pha chính, còn pha thứ ba thì lại làm pha phụ và phân tử khởi động nối với pha phụ này như ở hình 1.

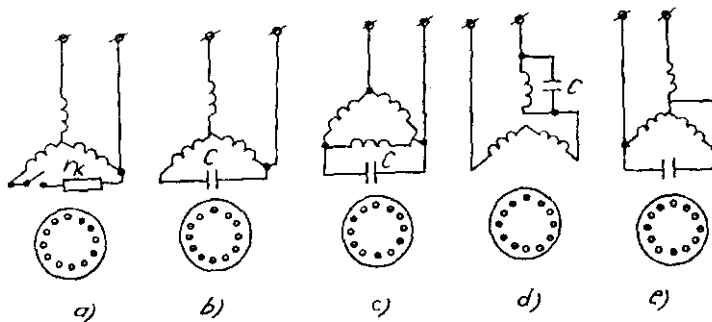
Ngoài ra có thể dùng cách đấu như ở hình 2. Trong đó cách đấu từ 2b đến 2d chỉ có thể dùng cho động cơ khởi động bằng điện dung, động cơ có điện dung làm việc và động cơ khởi động và làm việc bằng điện dung. Cách đấu ở hình 2a, và 2b được dùng trong trường hợp dây quấn ba pha đấu hình sao, còn ở hình 2c thì dùng trong động cơ có dây quấn ba pha đấu tam giác.

Nếu động cơ ba pha ra 6 đầu dây thì thường hay dùng cách đấu dây ở hình 1. Cách đấu dây ở hình 1a khi điện trở khởi động như nhau cũng tương tự như ở hình 2a nhưng mômen khởi động sẽ lớn hơn nhiều. Cách đấu dây ở hình 1b và 1c so với hình 2c đến 2e cũng có ưu điểm như vậy.



Hình 1. Sơ đồ đấu dây thành một pha của động cơ điện ba pha

- a) khởi động bằng điện trở; b) khởi động bằng điện dung;
- c) Có điện dung khởi động và làm việc; d và e) Có điện dung làm việc.



Hình 2. Sơ đồ đấu dây thành một pha của động cơ điện ba pha.

So sánh cách đấu dây ở hình 1b và 2b thì loại trước có thể đạt mômen khởi động lớn nhất, đồng thời đảm bảo năng lực quá tải lớn. Do đó, khi không cần mômen khởi động lớn, nên dùng cách đấu ở hình 2b; như vậy có thể đảm bảo khi khởi động dòng điện phân bố tương đối đều trong các pha và đặc tính làm việc giống như cách đấu ở hình 1b đồng thời điện áp trên tụ điện cũng tương đối thấp. Nếu máy điện dùng dây quấn một lớp bước đủ thì cách đấu này cũng có thể đạt được đặc tính mômen $M = f(s)$ không có chỗ lõm xuống. Khi $\cos\varphi$ của động cơ như nhau thì cách đấu theo hình 2b có thể sinh ra mômen khởi động giống như theo cách đấu ở hình 1b.

Trong trường hợp đấu động cơ ba pha thành một pha, nếu điện áp lưới bằng 2 lần điện áp pha định mức của động cơ ba pha thì dùng cách đấu theo hình 2d và 2e.

Nhược điểm của cách đấu theo hình 1 là động cơ phải dùng dây quấn hai lớp bước ngắn để tránh đường đặc tính mômen bị lõm xuống do sóng bậc 3 của từ trường gây nên.

0.2. Nhiệm vụ thiết kế và trình tự tính toán

Khi thiết kế động cơ điện cần phải có các số liệu sau:

1. Số liệu định mức:

Công suất định mức P_{dm} , W

Tốc độ quay đồng bộ n_{db} , vg/ph

Số pha m

Tần số nguồn điện f , Hz

Điện áp định mức U_{dm} , V.

2. Chế độ làm việc: liên tục, ngắn hạn lặp lại, ngắn hạn.

3. Điều kiện làm việc: biên độ thay đổi theo nhiệt độ và độ ẩm của môi trường.

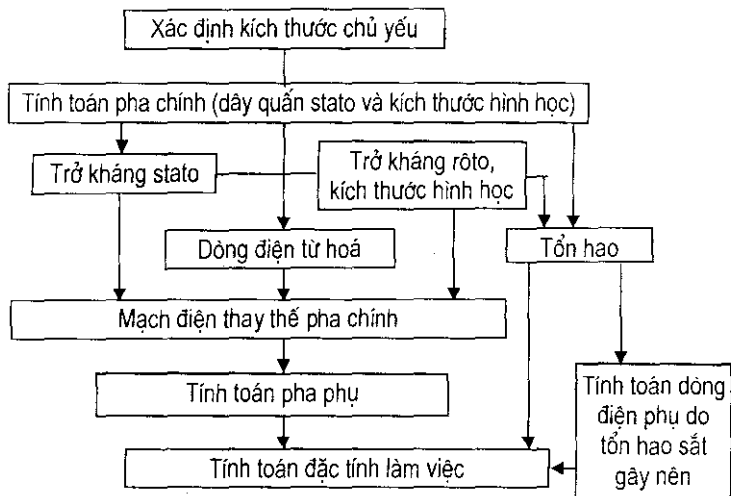
4. Điều kiện đặc biệt, trong đó có thể bao gồm đặc tính mômen theo hệ số trượt $M = f(s)$, đặc tính điều chỉnh, đặc tính khởi động (bội số mômen khởi động m_K , bội số dòng điện khởi động i_K), năng lực quá tải (bội số mômen cực đại m_{max}) và yêu cầu về độ ồn nhỏ, v.v...

Ngoài ra cần nói rõ vị trí làm việc của trục: nằm ngang hay đứng. Máy điện đa số là nằm ngang. Máy điện trục đứng thường dùng trong máy ly tâm, máy giặt, máy ghi âm v.v...

Người ta chọn loại và kiểu động cơ theo nhiệm vụ thiết kế và công dụng, còn kích thước chủ yếu thì xác định theo các số liệu định mức (xem chương 1). Khi chọn tải điện từ, tính toán rôto và pha phụ cũng như giải quyết các vấn đề có liên quan đến kết cấu thì phải chú ý đến các điều kiện đặc biệt. Trình tự tính toán động cơ không đồng bộ công suất nhỏ được trình bày trên hình 3. Đối với động cơ ba pha thì bỏ phần tính pha phụ. Để cho phương pháp tính toán động cơ ba pha và một pha thống nhất với nhau, khi quyết định kích thước chủ yếu của động cơ một pha sẽ dẫn ra một hệ số sử dụng quy đổi β_s (so với động cơ điện ba pha).

Trình tự tính toán theo hình 3 có những đặc điểm sau:

1) Tính đặc tính làm việc theo mạch điện thay thế.



Hình 3. Trình tự tính toán động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ.

2) Dùng những tham số có thể đảm bảo những điều kiện đặc biệt (nhất là tham số về bội số mômen cực đại đã cho) để thiết kế rôto một cách hợp lý.

3) Tổn hao sắt được quy đổi thành một dòng điện phụ cộng vào dòng điện stato. Như vậy đơn giản hoá được việc tính toán mà lại tương đối chính xác.

Ngoài ra đối với động cơ một pha còn có đặc điểm sau:

a) Tính toán pha chính: Đối với động cơ điện dung thì pha chính được thiết kế theo điều kiện động cơ hai pha đối xứng, đối với động cơ có phân tử khởi động thì tính theo điều kiện làm việc một pha (chỉ thông điện với pha chính).

b) Tính toán pha phụ.

c) Tính đặc tính làm việc với từ trường elip hay đập mạch.

Chương 1. XÁC ĐỊNH KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU

1.1. Hàng số máy điện và các hệ số kết cấu

Các yêu cầu đề ra cho động cơ không đồng bộ công suất nhỏ thường mâu thuẫn với nhau, vì vậy việc xác định kích thước chủ yếu trở nên phức tạp. Kích thước chủ yếu ở đây là đường kính trong D (có khi là đường kính ngoài D_n) và chiều dài tính toán l của lõi sắt stato. Ngoài ra cần phải chú ý đến sự liên quan giữa các kích thước chủ yếu ấy thể hiện ở các hệ số kết cấu như tỷ lệ giữa đường kính trong và ngoài $k_D = D/D_n$, tỷ lệ giữa chiều dài lõi sắt với đường kính trong lõi sắt $\lambda = l_s/D$ hay với đường kính ngoài lõi sắt $k_{ls} = l_s/D_n$.

Khi chọn kích thước chủ yếu cần xét đến các quan hệ sau:

- Quan hệ giữa hiệu suất $\cos\varphi$ với công suất định mức P_{dm} .

- Quan hệ giữa hệ số sử dụng vật liệu trên đơn vị công suất với công suất định mức $V_{sd} = \frac{\pi D_n^2 l_s}{4 P_{dm}} = f(P_{dm})$

- Quan hệ giữa tải điện từ (tải đường A và mật độ từ thông khe hở không khí B_δ) với công suất định mức trên đơn vị tốc độ $A, B_\delta = f(P_{dm}/n_{đb})$.

Các kích thước chủ yếu của động cơ ba pha và một pha được xác định theo cùng một công thức. Muốn được như vậy, khi xác định các kích thước chủ yếu người ta quy đổi công suất máy một pha ra máy ba pha có cùng kích thước. Lúc đó công suất máy ba pha quy đổi bằng:

$$P_{\text{SIII}} = \beta_s P'_s \quad (1-1)$$

trong đó $P'_{\text{SIII}} = P'_s = P_{\text{dm}}/(\eta \cos \varphi)$ là công suất tính toán của máy ba pha quy đổi và máy một pha cần thiết kế.

$\beta_s = \beta_1 \cdot \beta_2$ là hệ số quy đổi

β_1 là hệ số biểu thị tỷ số giữa công suất có ích của máy ba pha và máy thiết kế có cùng kích thước: $\beta_1 = \frac{P_{\text{dmIII}}}{P_{\text{dm}}}$

β_2 là hệ số. Đó là tỷ số giữa công suất năng lượng ($\eta \cdot \cos \varphi$) của động cơ một pha và ba pha:

$$\beta_2 = \eta_1 \cdot \cos \varphi_1 / (\eta_{\text{III}} \cdot \cos \varphi_{\text{III}}).$$

Quan hệ giữa các kích thước chủ yếu của máy điện được biểu thị bằng hằng số máy điện, còn gọi là *hằng số Arnold*.

$$C_A = \frac{D^2 l_s n_{\text{db}}}{P'_s} = \frac{8,6 \cdot 10^4}{B_\delta A} \cdot \beta_s, \text{ cm}^3 \cdot \text{vg}/\text{VA} \quad (1-2)$$

trong đó:

D - đường kính trong stato, cm;

l_s - chiều dài lõi sắt stato, cm;

n_{db} - tốc độ đồng bộ, vg/ph;

P'_s - công suất tính toán (công suất biểu kiến mà động cơ điện lấy từ lưới điện vào), VA;

B_δ - mật độ từ thông khe hở không khí, Tesla;

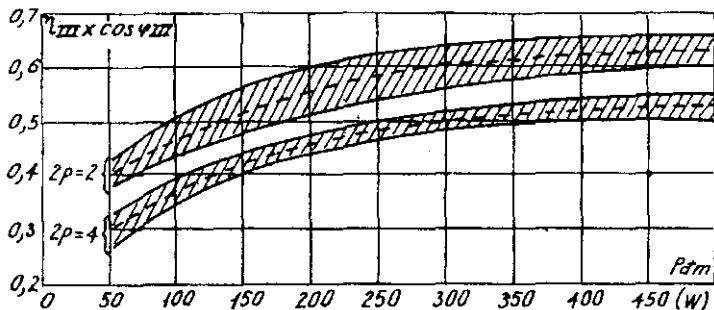
A - tải đường, A/cm;

Do trong công thức (1-2) đưa vào hệ số β_s , nên có thể xác định kích thước chủ yếu của cả hai loại động cơ một pha và ba pha.

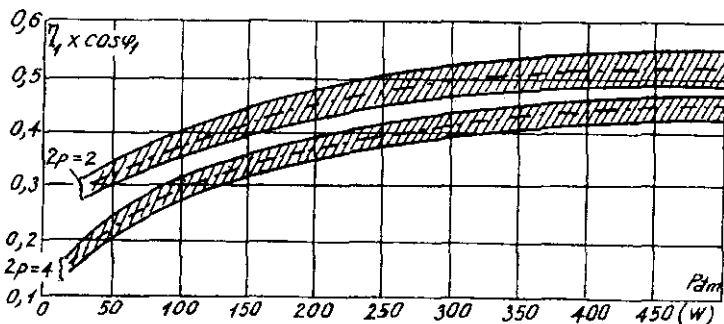
Đối với động cơ điện ba pha: $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1$.

Theo số liệu của các nước, đối với động cơ điện dung $\beta_1 = 1,25 \dots 1,7$ (với động cơ có điện dung dây 4A: $\beta_1 = 1,33 \dots 1,55$). Đối với động cơ có phân tử khởi động $\beta_1 = 2,2 \div 2,78$

(với dây 4A thì $\beta_1 = 2 \dots 2,1$). Khi kích thước bên ngoài của động cơ như nhau thì công suất của động cơ điện dung thường bằng khoảng 57% động cơ ba pha, còn động cơ điện một pha thì bằng khoảng 40%.



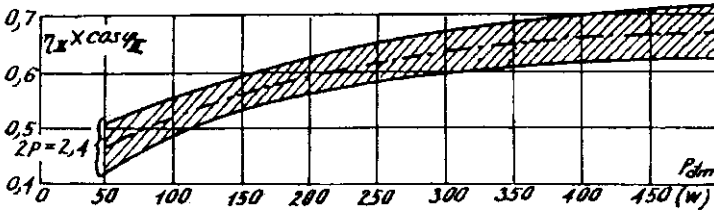
Hình 1-1. Đường biểu diễn hiệu suất điện năng $\eta_{III} \cdot \cos \varphi_{III} = f(P_{dm})$ của động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ ba pha.



Hình 1-2. Đường biểu diễn hiệu suất điện năng $\eta \cdot \cos \varphi = f(P_{dm})$ của động cơ điện công suất nhỏ một pha có phần tử mở máy (r_m hay C_m).

Có thể xác định hệ số β_2 của động cơ một pha và động cơ điện dung theo các đường biểu diễn ở các hình 1-1 đến 1-3.

Từ các hình trên có thể thấy động cơ điện dung không giống động cơ ba pha và một pha có phần tử khởi động ở chỗ tích số $\eta \cdot \cos \varphi$ của máy có cùng một phạm vi giới hạn khi số cực $2p = 2$ và $2p = 4$. Giới hạn trên của đường cong trên hình 1-3 chủ yếu dùng cho động cơ 4 cực.



Hình 1-3. Đường biểu diễn hiệu suất điện năng $\eta_1 \cdot \cos \varphi_1 = f(P_{dcm})$ của động cơ điện dung công suất nhỏ.

1.2. Tải điện từ

Kích thước chủ yếu của máy điện nhỏ (D và l) phụ thuộc vào việc chọn tải điện từ mà tải điện từ lại có quan hệ với vật liệu dẫn từ, cấp cách điện, kết cấu và cách làm mát máy.

Tải điện từ nói ở đây gồm các tham số sau:

1) Mật độ từ thông trong khe hở không khí B_δ và hệ thống mạch từ.

2) Tải đường A và mật độ dòng J đối với bộ phận mang điện. B_δ , A , J có thể biểu thị tình hình sử dụng dây quấn và hệ thống mạch từ, còn quan hệ giữa A và B_δ có thể quyết định đặc tính khởi động và làm việc của động cơ.

Trị số của A và B_δ trong động cơ công suất nhỏ tương đối bé. Mật độ từ thông trong khe hở không khí B_δ bị hạn chế bởi mật độ từ thông cho phép trong răng và gông lõi sắt. Theo sự phát triển của kỹ thuật vật liệu, chất lượng

thép dẫn từ ngày càng tốt lên nên B_8 có thể chọn cao hơn.

Hiện nay trong máy điện ở nước ta đang sử dụng hai loại thép kỹ thuật điện cán nóng (ký hiệu thép của Nga là 1213 hay E21) và cán nguội (ký hiệu là 2212). Loại cán nguội dẫn từ tốt hơn loại cán nóng, do đó có thể chọn B_8 cao hơn so với khi sử dụng thép kỹ thuật điện cán nóng. Đặc tính từ hoá của các loại thép này được ghi trong phụ lục 1.

Do bước cực τ của động cơ nhỏ tương đối bé, từ thông Φ nhỏ nên số vòng dây dẫn tương đối nhiều, hơn nữa tiết diện dây dẫn rất nhỏ. Vì vậy cách điện dây dẫn trong rãnh chiếm một không gian tương đối lớn. Ngoài ra cần phải xét đến hiện tượng dây dẫn sắp xếp trong rãnh không đồng đều nên hệ số lấp đầy rãnh khá thấp. Vì lý do trên nên việc nâng cao tải đường bị hạn chế.

Tải nhiệt cho phép của máy điện W' chủ yếu được quyết định bởi cách làm mát máy, tỷ lệ thuận với tải đường và mật độ dòng điện:

$$W' = \frac{\rho}{100} J \cdot A, \quad W/\text{cm}^2$$

trong đó ρ là điện trở suất của vật liệu dẫn điện.

Với một tải nhiệt cho phép, mật độ dòng điện J cho phép có thể tăng lên khi giảm tải điện từ A . Mật độ dòng điện của động cơ điện công suất nhỏ thường cao hơn động cơ điện thường. Đối với động cơ điện m pha (bao gồm cả động cơ điện dung đối xứng) tải điện bằng:

$$A_m = \frac{2m \cdot W \cdot I}{D} \quad (1-3)$$

trong đó W là số vòng dây của một pha.

Đối với động cơ có phân tử khởi động, tải đường được xác định theo số ampe - vòng của pha chính và chiều dài

của cung trong đó đặt dây quấn chính:

$$A = 2W_A I_A / \alpha_{ZA} \quad (1-4)$$

trong đó: $\alpha_{ZA} = \pi D \cdot Z_A / Z_S$ là chiều dài cung có rãnh đặt dây quấn chính; Z_A , Z_S là số rãnh đặt dây quấn chính và số rãnh stato.

Trên thực tế, tải điện từ được chọn trong giới hạn sau:

$$B_8 = 0,3 \div 1 \text{ Tesla};$$

$$A = 90 \div 180 \text{ A/cm khi } 2p = 2$$

$$A = 90 \div 200 \text{ A/cm khi } 2p = 4.$$

Mật độ dòng điện J có thể chọn trong khoảng 6 đến 8,5 A/mm².

Đối với dây quấn phụ của động cơ điện một pha chỉ nối với nguồn điện khi khởi động, mật độ dòng điện cho phép có thể lớn hơn trị số trên khoảng 2 đến 3 lần, có khi đến 5 lần.

Khi chọn mật độ từ thông khe hở không khí B_8 của động cơ điện công suất nhỏ nên xét đến:

a) Độ bão hoà cho phép của mạch từ trong phần răng và gông stato (đặc biệt là máy hai cực).

b) Yêu cầu đạt được tính năng làm việc và khởi động tốt nhất.

c) Yêu cầu có tiếng ồn ít nhất.

Muốn thoả mãn yêu cầu thứ hai thì phải tăng B_8 và như vậy sẽ mâu thuẫn với yêu cầu thứ nhất và thứ ba.

Tải đường thay đổi không nhiều (khoảng 90 đến 200 A/cm) còn mật độ từ thông khe hở không khí lại thay đổi rất nhiều. Do động cơ công suất nhỏ có yêu cầu kỹ thuật và kiểu kết cấu khác nhau nhiều nên B_8 có thể thay đổi trong phạm vi lớn, trong đó trị số nhỏ dùng cho động cơ điện công suất tương đối nhỏ và ít tiếng ồn. Tuy vậy với thép kỹ thuật điện cán nóng thường chọn $B_8 = 0,5 \dots 0,6$ Tesla,

trong đó trị số lớn ứng với máy 4 cực. Dây máy 4A của Nga dùng thép cán nguội có $B_{\delta} = 0,8 \dots 1$ Tesla.

1.3. Xác định đường kính trong, ngoài, chiều dài lõi sắt stato và bước cực

1. Đường kính trong, ngoài lõi sắt stato

Sử dụng hằng số máy điện và dựa vào các hệ số kết cấu k_D , λ có thể xác định được đường kính ngoài lõi sắt theo công thức:

$$D_n = \frac{44}{k_D} \sqrt[3]{\frac{P'_{SIII} P}{B_{\delta} A \cdot \lambda \cdot n_{db}}}, \text{ cm} \quad (1-5)$$

ở đây: $P'_{SIII} = P'_{dmIII} / (\eta_{III} \cdot \cos \varphi_{III})$.

B_{δ} và A chọn theo mục 1.2.

Hệ số $\lambda = l/D = 0,22 \dots 1,57$. Với máy đặc biệt như máy ghi âm lấy $\lambda = 0,22 \dots 0,33$.

Hệ số $k_D = 0,485 \dots 0,615$ khi $2p = 2$.

$k_D = 0,495 \dots 0,655$ khi $2p = 4$.

Đối với động cơ điện một pha có vòng chập, có thể xác định đường kính trong stato theo công thức sau:

$$D = \sqrt[3]{\frac{C \cdot P_{dm}}{\lambda \cdot n_{db}}}, \text{ cm} \quad (1-6)$$

trong đó:

$$C = \frac{5,5}{\alpha \cdot B_{\delta} A}$$

ở đây: $B_{\delta} = 0,4 \dots 0,6$, Tesla; $A = 60 \dots 200$, A/cm;

$\alpha = 0,6 \dots 0,9$; $\lambda = 0,4 \dots 1,2$.

Có thể dựa vào phương pháp quy hoạch thực nghiệm cho một dây máy để đưa ra cách tính hệ số sử dụng vật liệu

trên đơn vị công suất tối ưu và từ đây tìm ra đường kính ngoài tối ưu.

Trong dải công suất đến 180 W, hệ số đó là:

Khi $2p = 2$ (với hệ số tản mạn $\sigma^2 = 1,71$):

$$V_{sd} = 2,29 + \frac{59,48}{P_{dm}} - \frac{77,77}{P_{dm}^2} + \frac{40,48}{P_{dm}^3} + \frac{2,29}{P_{dm}^4} \quad (1-7a)$$

Khi $2p = 4$ (với hệ số tản mạn $\sigma^2 = 2,25$):

$$V_{sd} = 2,5 + \frac{113,6}{P_{dm}} - \frac{204,34}{P_{dm}^2} + \frac{121,52}{P_{dm}^3} + \frac{2,5}{P_{dm}^4} \quad (1-7b)$$

Như vậy đường kính ngoài lõi sắt sẽ bằng:

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{4I_{dm}V_{sd}}{\pi k_{ls}}} \quad , \text{ cm} \quad (1-8)$$

ở đây $k_{ls} = l_n/D_n$. Trong các động cơ điện không đồng bộ thường, $k_{ls} = 0,415 \dots 0,67$; trong các động cơ điện không đồng bộ đặc biệt như loại ba pha và một pha thông dụng, $k_{ls} = 0,43 \dots 0,85$ và với máy ghi âm $k_{ls} = 0,12 \dots 0,38$.

Khi xác định đường kính ngoài lõi sắt cần chú ý đến chiều cao tâm trục của máy thiết kế. Nói chung trong các động cơ điện hiện đại như dây 4A của Nga, quan hệ giữa chiều cao tâm trục H với đường kính ngoài lõi sắt D_n như sau:

$$H \approx 0,55D_n + (6 \dots 8), \text{ mm} \quad (1-9)$$

trong đó D_n tính theo mm.

Đường kính ngoài tiêu chuẩn của dây 4A theo chiều cao tâm trục như sau:

$H, \text{ mm:}$	50	56	63	71	80	90
$D_n, \text{ mm:}$	81	89	100	116	131	149

Sau khi chọn đường kính ngoài tiêu chuẩn thì xác định đường kính trong theo công thức:

$$D = k_D D_n \quad (1-10)$$

2. Chiều dài stato và bước cực

Chiều dài tính toán của stato được xác định theo hệ số kết cấu λ hay k_{ls} :

$$\begin{aligned} l_s &= \lambda \cdot D, \text{ cm;} \\ \text{hay} \quad l_s &= k_{ls} D_n, \text{ cm} \end{aligned} \quad (1-11)$$

và bước cực:

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}, \text{ cm} \quad (1-12)$$

Thông thường bước cực trung bình nằm trong khoảng:

$$\begin{aligned} \tau_{tb} &= 8,5 \dots 10 \text{ cm khi } 2p = 2 \\ \tau_{tb} &= 4,3 \dots 6 \text{ cm khi } 2p = 4 \end{aligned}$$

Với động cơ điện một pha có phần tử khởi động, trị số τ lớn hơn 15 đến 20% so với động cơ điện ba pha, còn với động cơ điện đồng bộ thì lớn hơn 10 đến 15%.

1.4. Khe hở không khí

Để giảm nhỏ dòng điện không tải và nâng cao $\cos \varphi$, khe hở không khí thường chọn nhỏ, nhưng khe hở càng nhỏ thì càng khó chế tạo do đó giá thành chế tạo cao. Khe hở còn ảnh hưởng đến sóng bậc cao. Khe hở càng nhỏ thì ảnh hưởng đó càng lớn.

Khe hở không khí trong động cơ điện công suất nhỏ thường chọn trong khoảng sau:

$$\delta = 0,2 \div 0,3 (0,35), \text{ mm} \quad (1-13)$$

Đối với động cơ một pha, để cải thiện đặc tính khởi động, chọn khe hở lớn hơn so với động cơ ba pha, đồng

thời khe hở của động cơ có $2p = 2$ lớn hơn khe hở của động cơ có $2p = 4$.

Khe hở không khí của động cơ ba pha có thể được tính theo công thức kinh nghiệm sau:

$$\delta = 0,2 \div D/200, \text{ mm} \quad (1-14)$$

ở đây D tính theo cm.

Đối với động cơ có số rãnh của mỗi pha dưới mỗi cực là phân số thì khe hở không khí δ phải tăng lên 20%. Khi kết cấu ổ đỡ là bạc đỡ, do có khả năng bị lệch tâm nên trị số của khe hở không khí phải tăng thêm 10 đến 20%.

Chương 2. DÂY QUẤN, RÃNH VÀ GÔNG STATO

2.1. Chọn số rãnh stato và rôto

Việc chọn số rãnh stato Z_S và số rãnh rôto Z_R của động cơ điện công suất nhỏ có quan hệ mật thiết với nhau và khi xét quan hệ đó phải chú ý đến những yếu tố sau:

1) Trên đặc tính mômen $M = f(n)$ không có chỗ lõm nhiều do những mômen ký sinh đồng bộ và không đồng bộ sinh ra.

2) Động cơ khi làm việc, tiếng ồn do lực hướng tâm sinh ra nhỏ nhất.

3) Tổn hao do phân rã sinh ra nhỏ nhất.

Ngoài ra, khi đã cho đường kính ngoài stato, việc chọn số rãnh Z_S còn phụ thuộc vào chiều rộng răng nhỏ nhất mà công nghệ cho phép, thường $b_Z = 1,8 \dots 3$ mm (giới hạn dưới dùng cho máy công suất nhỏ).

Cuối cùng, khi số cực khác nhau thì việc chọn số rãnh stato và kiểu dây quấn cũng có liên quan với nhau (xem mục 2.2).

Điều kiện cơ bản để giảm nhỏ ảnh hưởng lực ký sinh theo lực hướng tâm và lực tiếp tuyến như sau:

Để giảm nhỏ mômen ký sinh không đồng bộ phải chọn:

$$Z_R \leq 1,25(Z_S + p)$$

Để giảm nhỏ mômen ký sinh không đồng bộ phải tuân theo những bất đẳng thức sau:

a) Khi khởi động: $Z_R \neq Z_S$, $Z_R \neq 0,5Z_S$

$$Z_R \neq 2Z_S, \quad Z_R \neq 2mpg$$

b) Khi làm việc: $Z_R \neq 2mpg \pm 2p$, $Z_R \neq Z_S \pm 2p$

$$Z_R \neq 0,5Z_S \pm p, \quad Z_R \neq Z_S \neq p$$

$$Z_R \neq 2Z_S \pm 2p.$$

Để tránh xuất hiện lực hướng tâm phải tuân theo những bất đẳng thức sau:

$$Z_R \neq 2mpg \pm 1 \quad Z_R \neq 2mpg \pm 1$$

$$Z_R \neq 2mpg \pm 2p \pm 1.$$

Đối với động cơ không đồng bộ công suất nhỏ rôto lồng sóc ba pha và một pha, sự phối hợp giữa rãnh stato và rôto có thể chọn theo bảng 2-1.

Bảng 2-1. Sự phối hợp rãnh stato và rôto

$2p$	Z_s	Z_R
2	18	21 (15, 22, 23, 30)
2	24	18 (17, 19, 22, 30, 36)
2	30	(36)
4	24	16, 22, 30 (17, 36)
4	32	26, 42 (44)
4	36	46 (48)

Ghi chú: Số rãnh trong ngoặc không thể thỏa mãn mọi yêu cầu.

Có thể sử dụng bảng 2-2 để chọn sự phối hợp rãnh stato và rôto đối với động cơ điện một pha theo yêu cầu.

Bảng 2-2. Sự phối hợp rãnh Z_s/Z_R đối với động cơ điện một pha

$2p$	Z_s	Z_R với các trị số cực tiểu về			
		mômen ký sinh đồng bộ	mômen ký sinh không đồng bộ	tiếng ồn	lực hướng tâm
2	8	12, 19, 21, 23	13	13, 19, 21, 23	-
2	12	17, 21, 23	17	17, 21, 23	-
2	16	21, 23, 25	21	23, 25	25
2	24	17, 19, 21	17, 19, 21	17, 19	-
4	8	11, 13, 15, 17, 19, 21, 22	11, 13	15, 17, 19, 21, 22	22
4	16	13, 19, 21, 23, 25	13, 19, 21, 23	23, 25	-
4	24	17, 19, 21, 27, 29, 31	17, 19, 21, 27, 29, 31	17, 31	-

Xuất phát từ những yêu cầu đề ra mà chọn sự phối hợp rãnh Z_S/Z_R tốt nhất.

Trong dây động cơ 4A ba pha chọn như sau:

$$\text{Với } 2p = 2 \quad Z_S/Z_R = 12/8; \quad 24/19$$

$$\text{Với } 2p = 4 \quad Z_S/Z_R = 12/8; \quad 24/18$$

Trong dây động cơ 4A một pha thì lấy $Z_S/Z_R = 24/17$.

Số rãnh stato thường dùng nhất là $Z_S = 18, 24$ và 36 .

Vì vậy đối với động cơ điện ba pha loại 2, 4 cực thường sản xuất, số rãnh của mỗi pha dưới mỗi cực q bằng:

$$\text{Với } 2p = 2 \quad q = 3, 4, 6$$

$$\text{Với } 2p = 4 \quad q = 1,5, 2, 3$$

Do dây quấn có q là phân số chế tạo phức tạp, từ tản tạp lớn nên ít dùng. Số rãnh dưới mỗi cực của pha chính của động cơ một pha ký hiệu là Q_A , ở pha phụ là Q_B . Trong động cơ điện dung thường có $Q_A = Q_B$. Vì vậy khi số rãnh stato $Z_S = 18, 24, 36$ thì:

$$\text{Với } 2p = 2 \quad Q_A = Q_B = (4,5), 6, 9$$

$$2p = 4 \quad Q_A = Q_B = (2,25), 3, (4,5)$$

Trong động cơ điện một pha có phân tử khởi động, thường pha chính chiếm $2/3$ tổng số rãnh stato, pha phụ chiếm $1/3$.

Với sự phân phối rãnh như vậy có thể triệt tiêu sóng bậc ba trong đường biểu diễn sức từ động của pha chính. Xét về việc lợi dụng vật liệu thì điều đó là hợp lý. Trong vài trường hợp hãn hủu có thể dùng sự phân phối rãnh khác như $3/4$ và $1/4$.

Vì vậy, trong động cơ điện một pha có phân tử khởi động, nếu $Z_S = 18, 24, 36$ thì ta thường có:

$$\text{Với } 2p = 2 \quad Q_A = 6, 8, 12; \quad Q_B = 3, 4, 6;$$

$$2p = 4 \quad Q_A = 3, 4, 6; \quad Q_B = 1,5, 2, 3.$$

2.2. Chọn kiểu dây quấn

1. Yêu cầu cơ bản của dây quấn

Có nhiều yêu cầu đối với dây quấn stato. Những yêu cầu này liên quan tới đặc tính làm việc, nhất là đặc tính khởi động và công nghệ chế tạo dây quấn. Khi khởi động, để có đặc tính mômen $M = f(n)$ tốt (không có chỗ lõm xuống) phải chọn chính xác sự phối hợp rãnh stato, rôto và kiểu dây quấn.

Khi thiết kế dây quấn ba pha và một pha, điều cần đặc biệt chú ý là phải triệt tiêu hoặc làm yếu đi sóng điều hoà không gian bậc cao trong đường cong sức từ động. Những sóng bậc cao này, đặc biệt nguy hiểm là sóng bậc ba, làm cho đường đặc tính mômen có chỗ lõm rõ rệt, có khi làm cho động cơ điện không thể đạt tới tốc độ định mức mà phải dừng lại ở tốc độ nhỏ hơn tốc độ định mức. Lúc đó, do dòng điện khởi động lớn và kéo dài nên có khả năng dây quấn bị cháy.

Đối với động cơ điện khởi động bằng điện trở, do mật độ dòng điện trong dây quấn phụ tương đối cao nên sóng bậc cao trong đường cong sức từ động càng đặc biệt nguy hiểm. Vì vậy cần phải chọn chính xác dây quấn động cơ điện một pha. Khi chọn cần xét đến yêu cầu đảm bảo chế độ làm việc tốt và cả yêu cầu về kết cấu và công nghệ.

Động cơ điện công suất nhỏ một pha khi sản xuất theo dây cần chú ý đơn giản hoá việc chế tạo dây quấn. Hệ số lấp đầy rãnh càng nhỏ thì lồng dây càng dễ nhưng lợi dụng rãnh kém. Để tăng cường việc lợi dụng rãnh có thể giảm bớt cách điện phụ trong rãnh như dùng dây quấn một lớp để có thể bỏ cách điện lớp đi.

Giảm chiều dài phần đầu nối của dây quấn có thể rút ngắn chiều dài máy, đồng thời cũng giảm được điện kháng tản phần đầu nối.

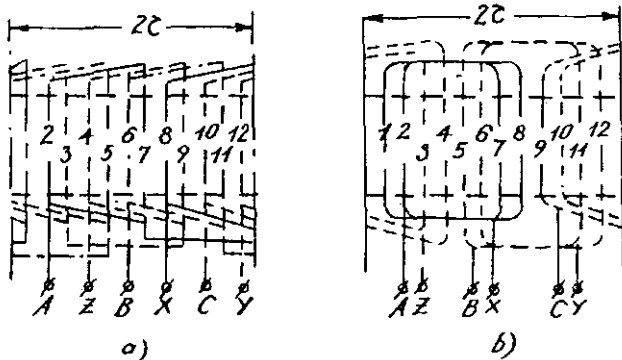
Cần hiểu rõ rằng thường phải giảm yêu cầu về kết cấu và công nghệ để thoả mãn yêu cầu về vận hành.

2. Phân loại dây quấn

Cũng giống như ở máy điện thường, người ta phân dây quấn của động cơ điện nhỏ ra làm hai loại cơ bản theo sự sắp xếp của dây quấn trong rãnh:

- Dây quấn một lớp
- Dây quấn hai lớp.

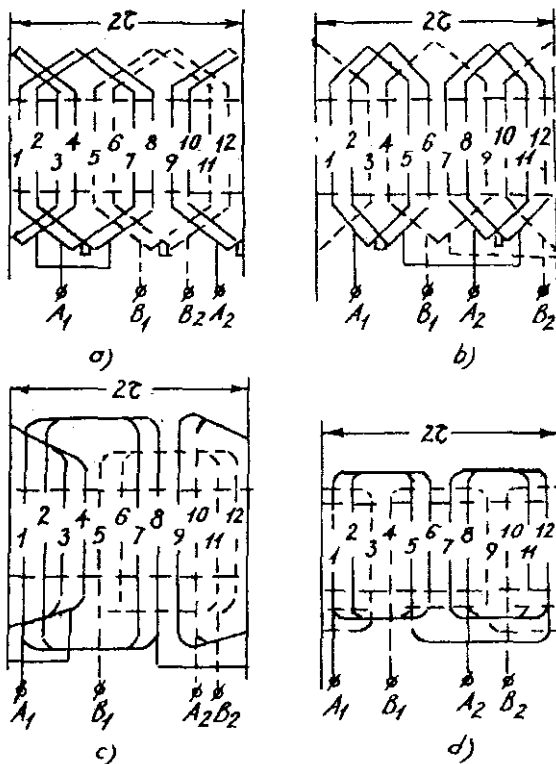
Dây quấn một lớp lại chia làm hai loại tùy theo hình dạng dây quấn và cách sắp xếp đầu dây nối. Đó là dây quấn một lớp đồng khuôn và dây quấn đồng tâm. Mỗi loại chia làm nhiều kiểu, trong đó ở động cơ điện nhỏ thường dùng kiểu đồng khuôn mắt xích (hình 2-1a), dây quấn đồng khuôn phân tán (hình 2-2a và 2-2b) và dây quấn đồng tâm hai mặt phẳng (hình 2-1b, 2-2c và 2-2d). Bối dây quấn một lớp có thể làm thành bước đủ hay bước ngắn (như trong dây quấn mắt xích) nhưng nhìn toàn bộ thì đây là dây quấn bước đủ (hình 2-2b và 2-2d).



Hình 2-1. Dây quấn một lớp ba pha: $Z_s = 12$; $m = 3$; $2p = 2$; $q = 2$.
a) dây quấn kiểu mắt xích; b) dây quấn đồng tâm hai mặt phẳng.

Dây quấn hai lớp của động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ thường là loại dây quấn đồng khuôn bước ngắn.

Khi sử dụng động cơ điện ba pha làm động cơ điện một pha nên dùng dây quấn hai lớp bước ngắn để giảm sóng không gian bậc ba của từ thông, làm ảnh hưởng đến đặc tính khởi động của động cơ điện.



Hình 2-2. Dây quấn một lớp một pha với $Z_s = 12$; $2p = 2$; $Q_A = 4$; $Q_B = 2$

- a) dây quấn kiểu mắt xích; b) dây quấn kiểu mắt xích có bởi dây bước ngắn; c) dây quấn đồng tâm hai mặt phẳng bước đủ; d) dây quấn đồng tâm hai mặt phẳng có bởi dây bước ngắn.

Trong động cơ một pha còn dùng dây quấn đặc biệt gọi là dây quấn “sin”. Đó là loại dây quấn tạo được sức từ động hình sin có độ chính xác cao, trước đây thường dùng trong các động cơ không đồng bộ thuộc hệ thống tự động nhưng nay dùng cả cho những động cơ thường. Số vòng dây của các bố dây đặt trong các rãnh phân bố theo một quy luật nhất định (hình 2-10 và 2-11) nên có thể đảm bảo sức từ động và mật độ từ thông khe hở không khí của máy điện phân bố gần hình sin, vì vậy gọi là dây quấn “sin”. Dây quấn này có thể triệt tiêu hoặc giảm một cách đáng kể sóng bậc cao (bậc 3, 5 và 7). Xét theo bố dây, dây quấn “sin” giống như dây quấn một pha kiểu đồng tâm (hình 2-10).

Trong động cơ một pha có điện trở khởi động lớn, để đảm bảo trị số điện trở khởi động, một phần dây quấn phụ được quấn theo cách dây đôi (hình 2-3). Lúc đó số vòng dây tác dụng không bao gồm số vòng dây quấn đôi mà bằng:

$$W_{Btd} = W_B - W_{Bd}$$

trong đó W_{Btd} là số vòng dây tác dụng pha khởi động; W_B là tổng số vòng dây pha khởi động; W_{Bd} là số vòng dây quấn đôi của pha đó.

Hình dáng dây quấn kiểu dây đôi giống như dây quấn một lớp.

3. Sơ đồ dây quấn động cơ một pha

Động cơ điện một pha dây quấn phụ cất ra sau khi khởi động thường là dây quấn một lớp và hai lớp. Dây quấn chính thường chiếm 2/3, dây quấn phụ thường chiếm 1/3 tổng số rãnh stato.



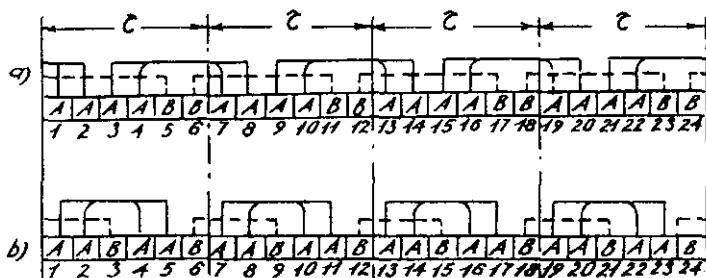
Hình 2-3. Bố dây quấn theo lối dây đôi.

Dây quấn phụ của động cơ điện dung khi làm việc vẫn nối vào lưới điện. Hai dây quấn chính và phụ chiếm số rãnh bằng nhau ở stato.

Chế tạo dây quấn một lớp đơn giản hơn dây quấn hai lớp, hệ số lấp đầy rãnh cao hơn (vì không có cách điện lớp) nhưng tồn tại sóng không gian bậc cao nhiều hơn trong đường cong sức từ động.

Nếu trong dây quấn hai lớp dùng bước ngắn đến $1/3$ bước cực thì có thể hoàn toàn triệt tiêu sóng sức từ động bậc ba của dây quấn chính và phụ. Đối với dây quấn lớp đơn, do dây quấn chính rải trong $2/3$ tổng số rãnh nên sóng sức từ động bậc ba cũng tự triệt tiêu. Như vậy biên độ sóng sức từ động bậc ba của dây quấn phụ có thể đến 25% biên độ sóng cơ bản. Các sóng bậc cao khác (bậc 5, 7, ...) đối với dây quấn một lớp cũng thể hiện khá rõ.

Đối với động cơ không đồng bộ công suất nhỏ một pha có phân tử khởi động khi dùng dây quấn "sin", dây quấn chính và phụ không cần phân phối số rãnh theo tỷ lệ 2:1 mà chỉ cần đặt các bố dây của hai pha trong rãnh stato theo một quy luật đã chọn.



Hình 2-4. Sơ đồ phân đầu nối dây quấn một lớp.

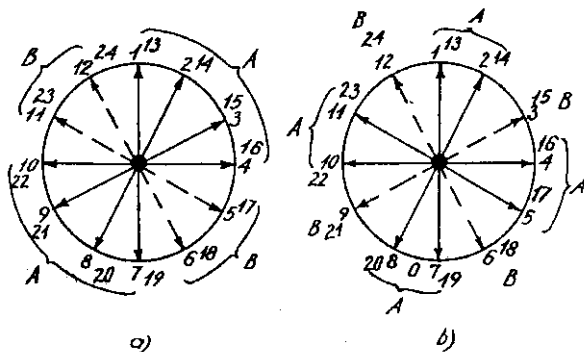
$$Z_s = 24, 2p = 4, Q_A = 4, Q_B = 2.$$

a) dây quấn có bố dây bước ngắn ($k_1 = 1$);

b) dây quấn bước ngắn ($k_2 = \sqrt{2}/2$)

Hình 2-4 là sơ đồ dây quấn khai triển một lớp bố trí dây bước ngắn của động cơ điện một pha có điện trở khởi động АОЛБ 11/4 với $Z_s = 24$, $2p = 4$, $Q_A = 4$, $Q_B = 2$, trong đó một phần bố trí dây của pha khởi động dùng dây quấn đôi. Mặc dù dây quấn này có bố trí dây bước ngắn nhưng nhìn toàn bộ thì dây quấn là bước đủ, tức là hệ số bước ngắn $k_y = 1$. Vì vậy khi gọi dây quấn một lớp là bước đủ thì nên hiểu là dây quấn đó rải vào q rãnh thuộc một pha của dải pha đó, dù bước của bố trí dây là đủ hay ngắn.

Nguyên tắc tạo nên dây quấn một lớp và cách xác định ảnh hưởng của bước ngắn có thể biểu thị trên hình sao sức điện động. Hình 2-5, 2-6 thể hiện sự phân chia rãnh của các pha với dây quấn bước đủ và bước ngắn hình sao sức điện động và đồ thị vectơ chỉ cách xác định hệ số dây quấn của dây quấn một lớp với $Z_s = 24$, $2p = 4$.

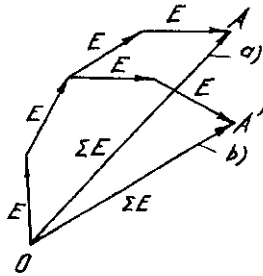


Hình 2-5. Hình sao sức điện động.

- a) dây quấn có bố trí dây bước ngắn (xem hình 2-6a);
- b) dây quấn bước ngắn (xem hình 2-6b).

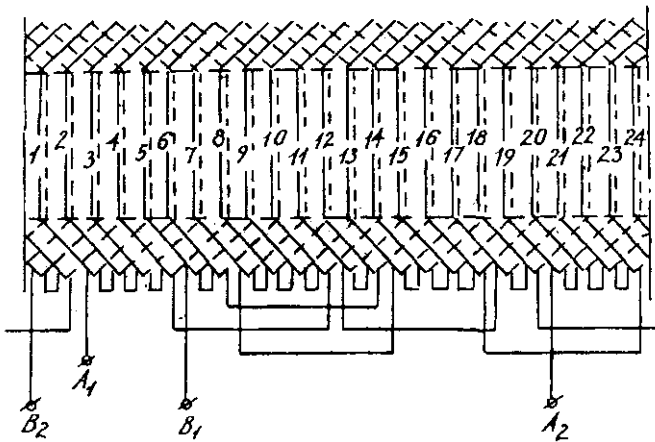
Trên hình 2-5 có thể thấy các rãnh trong một dải pha chỉ thuộc về một pha, do đó mặc dù phần đầu nối của bố trí dây đã được rút ngắn nhưng bước dây không bị rút ngắn và hệ số k_y vẫn bằng 1.

Khi các rãnh trong một dải pha thuộc vào các pha khác nhau thì hệ số dây quấn giảm xuống do bước của dây quấn bị rút ngắn. Trong ví dụ, hệ số đó từ $k_{dl} = 0,838$ giảm xuống còn $k_{dl} = 0,672$.



Hình 2-6. Đồ thị vectơ sức điện động để tìm hệ số dây quấn.
a) Dây quấn có bước dây ngắn; b) Dây quấn bước ngắn.

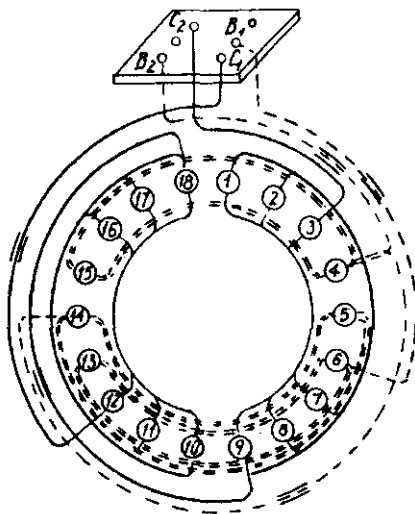
Giản đồ khai triển của dây quấn hai lớp của động cơ điện một pha có điện trở khởi động lớn với $Z_s = 24$, $2p = 4$ như ở hình 2-7.



Hình 2-7. Giản đồ khai triển của dây quấn hai lớp động cơ điện một pha có phân tử khởi động.
 $Z_s = 24$; $2p = 4$; $Q_A = 4$; $Q_B = 2$; A_1, A_2 - pha chính; B_1, B_2 - pha phụ.

Sơ đồ đấu dây thường biểu thị theo sự phân bố của dây quấn trên chu vi stato. Hình 2-8 biểu thị sơ đồ đấu dây của dây quấn một lớp có bố trí dây rút ngắn của động cơ một pha kiểu АОЛБ 11/2 ($Z_s = 18, 2p = 2, Q_A = 6, Q_B = 3$).

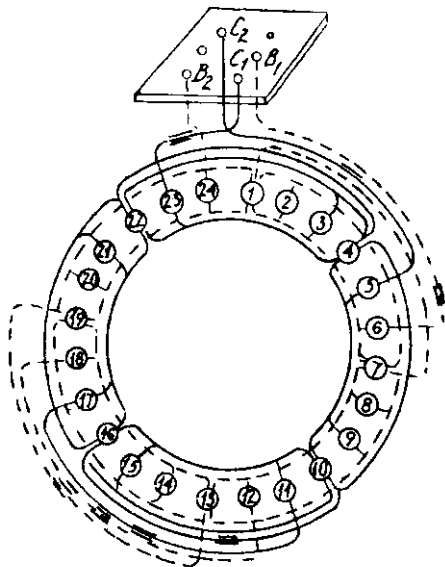
Hình 2-9 là sơ đồ đấu dây của dây quấn một lớp, bố trí dây bước ngắn của động cơ điện dung АОЛБ 11/4 ($Z_s = 24, 2p = 4, Q_A = Q_B = 3$). Đặc điểm của dây quấn trong hình 2-4 là trong hai pha có 4 bố trí dây “phân tán” (bố trí dây chia làm hai nửa). Dây quấn này gọi là dây quấn có bố trí dây phân tổ, số tổ bố trí dây bằng số cực.



Hình 2-8. Sơ đồ nối dây của dây quấn một lớp động cơ điện một pha có phần tử khởi động với $Z_s = 18, 2p = 2, Q_A = 6, Q_B = 3$.

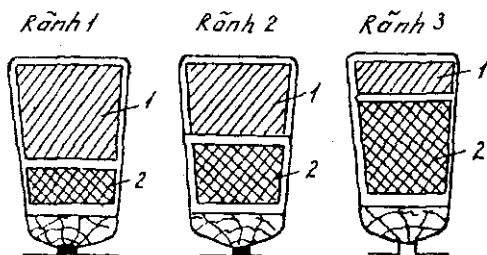
Hình 2-11 vẽ sơ đồ khai triển dây quấn “sin” của động cơ một pha khởi động bằng điện trở ($Z_s = 24, 2p = 4$), đồng thời biểu thị sự phân bố của các dây quấn trong các rãnh

theo đơn vị tương đối lấy số vòng dây nhiều nhất của một bố trí dây quấn chính làm đơn vị. Hình dạng của dây quấn “sin” giống như dây quấn một lớp (chỉ khác số vòng dây) nhưng trong rãnh sẽ có hai cạnh bên của hai bố trí dây thuộc hai pha khác nhau (hình 2-10). Như vậy cũng gần giống như dây quấn hai lớp. Vì vậy xét riêng về kết cấu dây quấn “sin” đã tổng hợp được đặc điểm cơ bản của dây quấn một lớp và hai lớp thường.



Hình 2-9. Sơ đồ nối dây của dây quấn một lớp động cơ điện điện dung một pha với $Z_s = 24$; $2p = 4$; $Q_A = Q_B = 3$

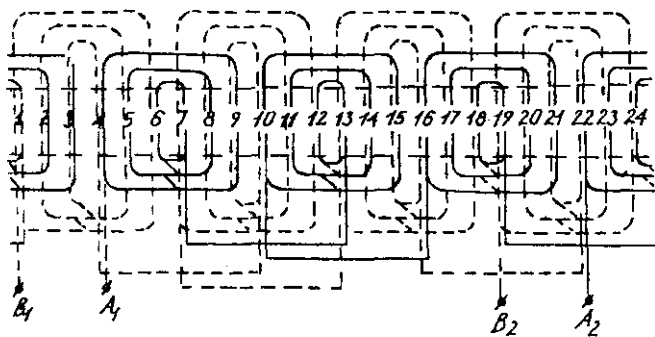
Ưu điểm của công nghệ dây quấn “sin” là toàn bộ dây quấn của một pha có thể đặt trong một mặt phẳng (lớp), cho nên pha khởi động có thể đặt ở lớp trên tiện cho việc quấn lại khi sửa chữa. Tất nhiên các bố trí dây có vòng dây khác nhau làm cho việc quấn dây phức tạp hơn.



Hình 2-10. Bố trí dây quấn trong rãnh khi bố dây có số vòng dây khác nhau. 1- bối dây pha chính; 2- bối dây pha phụ.



a)



b)

Hình 2-11. Dây quấn "sin" của động cơ điện một pha có phần tử khởi động với $Z_s = 24$; $2p = 4$.

a) phân bố dây dẫn trong các rãnh;

b) cách đấu dây: A_1, A_2 - pha chính; B_1, B_2 - pha phụ.

2.3. Tính toán dây quấn stato

1. Hệ số dây quấn

Trong trường hợp chung, hệ số dây quấn của một dây quấn rải bước ngắn bằng:

$$k_{dv} = k_{rv} \cdot k_{yv} \quad (2-1)$$

trong đó:

k_{dv} - hệ số dây quấn sóng bậc v của dây quấn;

k_{rv} - hệ số rải sóng bậc v ;

k_{yv} - hệ số bước ngắn của sóng bậc v .

Khi số pha $m > 2$, hệ số dây quấn đối xứng nhiều pha với số rãnh của mỗi pha dưới mỗi cực bất kỳ (số nguyên hay phân số) bằng:

$$k_{dv} = k_{rv} k_{yv} = \frac{\sin \frac{\pi v}{m \cdot k_{df}}}{c \sin \frac{\pi v}{m \cdot c \cdot k_{df}}} \quad (2-2)$$

trong đó: m - số pha; v - bậc của sóng sức từ động; c - tử số của một phân số không thể rút gọn nữa khi q là phân số;

$\frac{c}{d} = \frac{k_1}{k_{df}} \cdot q$ với c và d là số nguyên; $q = \frac{Z}{2pm}$ là số rãnh của

một pha dưới mỗi cực; k_1 - hệ số liên quan đến số lớp dây quấn, ở dây quấn hai lớp thì $k_1 = 2$, dây quấn một lớp $k_1 = 1$; k_{df} - hệ số liên quan đến dải pha của dây quấn; với dây quấn ba pha với số dải pha $2m = 6$ (dải pha $\pi/m = 60^\circ$) thì $k_{df} = 2$; với dây quấn hai lớp có số dải pha $2m = 4$ (dải pha $\pi/m = 90^\circ$) thì $k_{df} = 2$.

Trong trường hợp đặc biệt, công thức chung của hệ số dây quấn của dây quấn có $2m$ dải pha có thể đơn giản hoá như sau:

Với dây quấn bước ngắn ba pha:

$$k_{dv} = \frac{0,5}{c \sin \frac{\pi v}{6c}} \sin \left(\beta \frac{\pi}{2} v \right) \quad (2-3)$$

trong đó c được xác định theo các điều kiện sau:

- dây quấn hai lớp: $q = \frac{c}{d}$
- dây quấn một lớp: $\frac{q}{2} = \frac{c}{d}$.

c/d là phân số tối giản (c và d là số nguyên), khi q là số nguyên thì $q = c$;

$$\beta = \frac{2py}{Z_s} \text{ là bước dây quấn.}$$

Hệ số quấn rải của sóng cơ bản $k_{r1} = \frac{0,5}{c \sin \left(\frac{\pi v}{6c} \right)}$ có thể

tra ở bảng 2-3.

Bảng 2-3. Hệ số quấn rải của dây quấn ba pha

c	1	2	3	4	5	6	7
k_{r1}	1,00	0,965	0,96	0,958	0,957	0,956	0,955

Với dây quấn một lớp bước đủ ba pha:

$$k_{dv} = \frac{0,5}{q \sin \frac{\pi v}{6q}} \quad (2-4)$$

Với dây quấn bước ngắn hai pha:

$$k_{dv} = \frac{0,707\pi}{c \sin \frac{\pi v}{4c}} \sin \left(\beta \frac{\pi}{2} v \right) \quad (2-5)$$

trong đó c được xác định theo các yêu cầu đã nêu ở công thức (2-3).

Với dây quấn một lớp bước đủ hai pha:

$$k_{dv} = \frac{0,707}{q \sin\left(\frac{\pi v}{4q}\right)} \quad (2-6)$$

Đối với động cơ điện một pha có phần tử khởi động, hệ số dây quấn của mỗi pha phải được tính riêng theo công thức sau:

Với dây quấn hai lớp bước ngắn một pha:

$$k_{dv} = \frac{\sin \frac{k.p.v.Q}{Z_s}}{Q \sin\left(\frac{\pi.p.v}{Z_s}\right)} \cdot \sin\left(\beta \frac{\pi}{2} v\right) \quad (2-7)$$

trong đó Q là số bội dây của dây quấn dưới mỗi cực.

Công thức (2-7) thích hợp với $Z_s/2p$ và Q là số nguyên.

Với dây quấn một lớp một pha bước ngắn (dây quấn đồng khuôn):

$$k_{dv} = \frac{\sin \frac{\pi.p.v.Q}{Z_s}}{Q \sin \frac{\pi.p.v}{Z_s}} \cdot \sin\left(\beta \frac{\pi}{2} v\right) \quad (2-8)$$

trong đó Q là số bội dây của dây quấn dưới mỗi cực.

Công thức (2-8) thích hợp với $Z_s/2p$ và Q là số nguyên.

Với dây quấn một lớp một pha bước đủ:

$$k_{dv} = \frac{\sin \frac{\pi \cdot p \cdot v \cdot Q}{Z_S}}{Q \sin \frac{\pi \cdot p \cdot v}{Z_S}} \quad (2-9)$$

trong đó Q là số rãnh của mỗi pha dưới mỗi cực.

Công thức (2-9) thích hợp với $Z_S/2p$ và Q là số nguyên.

2. Số vòng dây mỗi pha

Số vòng dây mỗi pha của động cơ ba pha và số vòng dây pha chính động cơ một pha (bao gồm cả động cơ điện dung) có thể xác định theo công thức về sức điện động cảm ứng trong dây quấn stato:

$$W_S = \frac{k_E U_{dm}}{4k_S f \Phi k_{dl}} \quad (2-10)$$

trong đó $k_E = \frac{E_{dm}}{U_{dm}} = \frac{|U_{dm} - I_{dm} Z_S|}{U_{dm}} \quad (2-11)$

E_{dm} - sức điện động pha định mức; U_{dm} - điện áp pha định mức; I_{dm} - dòng điện pha định mức; k_S - hệ số sóng; Φ - từ thông khe hở không khí; k_{dl} - hệ số dây quấn cơ bản; Z_S - trở kháng dây quấn stato.

Do điện áp giáng trong máy điện nhỏ tương đối lớn nên hệ số k_E nhỏ hơn so với động cơ không đồng bộ thường. Ngoài ra điện trở tác dụng của động cơ công suất nhỏ r_S không bỏ qua được và có thể so sánh được với điện kháng x_S của dây quấn stato nên $I Z_S \neq I x_S$. Công suất máy điện càng nhỏ thì ảnh hưởng của r_S càng lớn. Trong những máy công suất rất nhỏ thì $r_S > x_S$.

Khi tính toán số vòng dây W_S , hệ số k_E lúc đầu chọn trong khoảng 0,7 ... 0,9; trị số nhỏ dùng cho những máy công suất tương đối nhỏ.

Sau khi tính được điện trở dây quấn stato r_s và điện kháng x_s cũng như đặc tính làm việc định mức của động cơ điện, cần nghiệm lại trị số của k_E giả thiết ban đầu. Hình 2-12 là đồ thị vectơ trong đó điện áp, dòng điện và góc φ đều lấy ở trạng thái định mức. Lúc đầu có thể tham khảo theo hình 2-13, 2-14, 2-15.

Nếu theo đồ thị vectơ tính ra k_E khác nhiều so với trị số giả thiết ban đầu thì phải căn cứ vào trị số k_E vừa tính được để tính lại số vòng dây của dây quấn.

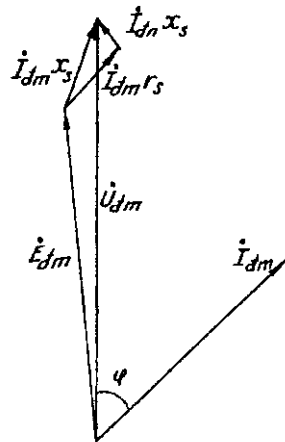
Khi điều kiện làm việc thay đổi (từ không tải đến ngắn mạch), hệ số k_E của máy điện nhỏ thay đổi ít nhưng cũng làm ảnh hưởng đến điện kháng hồ cảm x_m tương ứng với từ thông khe hở không khí. Ảnh hưởng này đặc biệt rõ khi công suất động cơ tương đối nhỏ. Có khi phải căn cứ vào trị số mới của k_E ở trạng thái ngắn mạch để tính lại tham số x_m .

Hệ số sóng k_s được chọn theo độ bão hoà răng của động cơ điện.

Từ thông trong khe hở không khí:

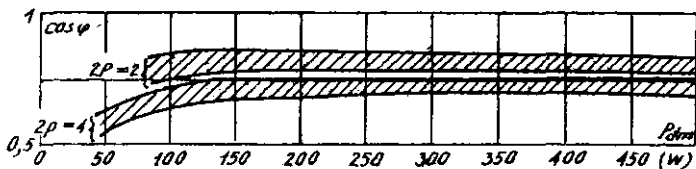
$$\Phi = \alpha_8 \tau \cdot l \cdot B_8 \cdot 10^{-4}, \text{ Vebe} \quad (2-12)$$

trong đó α_8 là hệ số cung cực từ tính toán. Hệ số này và hệ số sóng k_s phụ thuộc vào độ bão hoà răng stato và roto. Sự bão hoà vùng răng sẽ dẫn đến sự bằng đầu của đường cong từ trường ở khe hở không khí (hình 2-16), trong đó đường bằng đầu 2 cắt đường cong sóng cơ bản l ở điểm có góc ψ

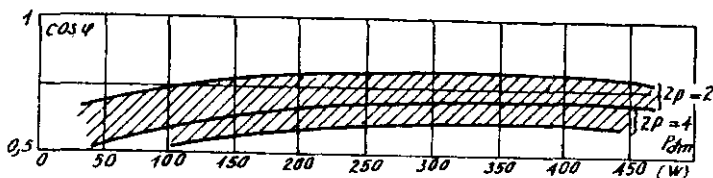


Hình 2-12. Đồ thị vectơ để xác định k_E .

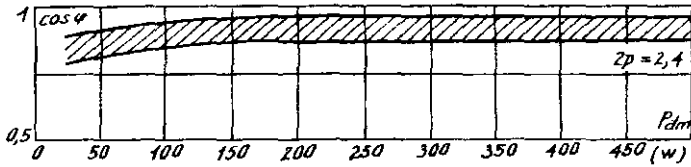
trong khoảng $33 \dots 36^\circ$ so với trục của sóng (lấy trung bình $\psi = 35^\circ$). Vì vậy từ cảm với trị số không biên độ $B_{tt} = B_{max} \cos \psi = 0,82 B_{max}$. Từ B_{tt} xác định cường độ từ trường H_{tt} theo đường cong từ hoá sóng cơ bản và sau đấy tăng kết quả tính toán lên $H_{max} = \frac{H_{tt}}{0,82}$ để có biên độ cường độ từ trường sóng cơ bản. Với khe hở không khí quan hệ $H = f(B)$ là tuyến tính nên $H_{max} = \frac{B_{max}}{\mu_0}$, nhưng với mạch từ thì không được, vì vậy phải dùng đường cong từ hoá đã hiệu chỉnh để tính toán cường độ từ trường trên răng và gông. Vì lý do đó lấy $\alpha_s = 2/\pi = 0,64$ và $k_s = 1,11$ là trị số ở sóng cơ bản.



Hình 2-13. Quan hệ $\cos \varphi = f(P_{dm})$ của động cơ công suất nhỏ ba pha.



Hình 2-14. Quan hệ $\cos \varphi = f(P_{dm})$ của động cơ điện công suất nhỏ một pha có phân tử khởi động.

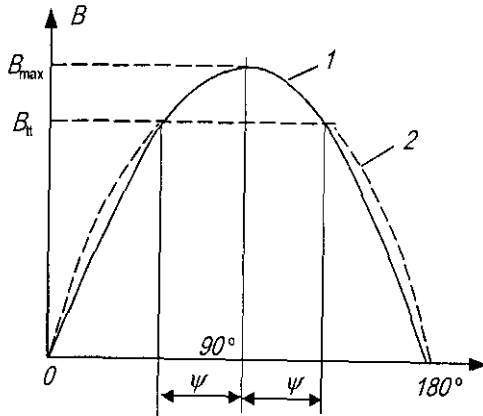


Hình 2-15. Quan hệ $\cos \varphi = f(P_{dm})$ của động cơ điện dung.

3. Số thanh dẫn trong rãnh và tiết diện dây dẫn

Đối với động cơ ba pha ($m = 3$) và hai pha ($m = 2$) có số rãnh của mỗi pha như nhau thì số thanh dẫn trong mỗi rãnh bằng:

$$u_r = \frac{2m \cdot W_S \cdot a}{Z_S} = \frac{W_S \cdot a}{p \cdot q} \quad (2-13)$$



Hình 2-16. Đường cong từ hoá trong khe hở không khí máy điện không đồng bộ.

Đối với động cơ điện một pha có dây quấn chính chiếm $2/3$ tổng số rãnh thì:

$$u_r = \frac{3W_S \cdot a}{Z_S} = \frac{W_S \cdot a}{p \cdot Q} \quad (2-14)$$

Tiết diện dây quấn stato (đối với động cơ điện một pha là dây quấn pha chính) bằng:

$$S'_S = \frac{I_{dm}}{a \cdot J}$$

trong đó I_{dm} - dòng điện pha định mức; J - mật độ dòng điện;
 a - số mạch nhánh song song.

Dòng điện pha định mức động cơ điện một pha và ba pha có thể tính trước theo công suất tính toán P'_S :

$$I_{dm} = \frac{P'_S}{m \cdot U_{dm}} \quad (2-15)$$

Đối với động cơ điện dung cũng tính dòng điện trong pha chính như vậy. Lúc đó, trước hết coi động cơ điện này là động cơ điện hai pha đối xứng, dòng điện pha bằng:

$$I_{dm} = \frac{P'_S}{\sqrt{2} U_{dm}} \quad (2-16)$$

Mật độ dòng điện có thể chọn trong phạm vi $J = 6 \dots 8,5$ A/mm²; giới hạn cao dùng cho động cơ điện công suất tương đối nhỏ.

Khi dùng điện một pha cung cấp cho động cơ điện, do trong động cơ điện pha chính và phụ phân bố không giống như ở động cơ đối xứng, dòng điện tính toán thường có khác so với dòng điện thực tế, cho nên lúc đầu nên chọn mật độ dòng điện ở giới hạn dưới. Mật độ dòng điện thực tế sẽ được hiệu chỉnh khi tính toán đặc tính làm việc.

Dây quấn động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ có thể dùng các loại dây điện theo ký hiệu Nga như sau: Dây men có độ bền cao ПЭВ-2 dùng cho cách điện cấp A và dây men chịu nhiệt ПЭТВ dùng cho cấp B, dây ПЭТBM hay ПЭТМ dùng cho cấp B và F.

Căn cứ vào tiết diện S' , chọn đường kính cỡ dây tiêu chuẩn S_s (xem phụ lục 2). Tiết diện dây đồng trong rãnh stato:

$$S_{DS} = S_s \cdot U_r \quad (2-19)$$

2.4. Tính toán dây quấn "sin"

Mục này sẽ thảo luận chủ yếu về cách tính dây quấn "sin" của động cơ điện một pha thường.

Tác dụng của dây quấn sin là bố trí dây dẫn trong rãnh một cách hợp lý để có được đường cong sức từ động $F_x = f(x)$ gần hình sin trong không gian. Dây quấn "sin" có thể hoàn toàn triệt tiêu sóng bậc ba. So với dây quấn hai lớp có thể triệt tiêu sóng bậc cao tốt hơn (bậc 5, 7...). Để đạt được yêu cầu đó, phân bố thanh dẫn trong rãnh $u_{ri} = \varphi(x)$ (u_{ri} - số thanh dẫn trong rãnh i) phải theo dạng đường cong như ở hình 2-17. Phân bố dây dẫn trong rãnh có thể có dạng hình chữ nhật không hoàn chỉnh, hình tam giác, hình thang... Từ hình 2-17 (hình này có thể dùng làm thí dụ nghiên cứu phân bố theo hình thang của dây dẫn trong rãnh) có thể thấy đường cong sức từ động phân bố theo hình thang.

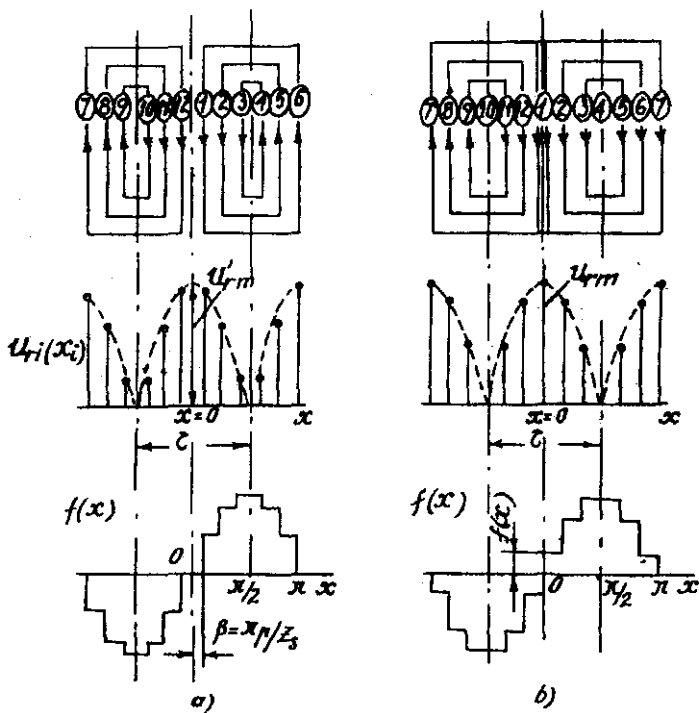
Tính toán hệ số dây quấn của dây quấn "sin" và chọn phân bố có lợi nhất của dây dẫn trong rãnh có điểm đặc biệt hơn loại dây quấn thường.

1. Hệ số dây quấn

Khi phân bố trong rãnh của các thanh dẫn dây quấn "sin" $u_{ri} = \varphi(x)$ đã được xác định (hình 2-17) thì hệ số dây quấn sóng bậc ν của dây quấn đó là tỷ số giữa biên độ sóng bậc ν của sức từ động $F_{m\nu}$ với biên độ sóng cùng bậc của dây quấn tập trung $F_{mc\nu}$:

$$k_{d\nu} = \frac{F_{m\nu}}{F_{mc\nu}} \quad (2-20)$$

gọi là dây quấn tập trung hay bố dây đơn $u_{tc} = \varphi(x)$ khi trong hai bước cực 2τ chỉ đặt một bố dây, bố dây này nằm trong hai rãnh cách nhau đúng một bước cực τ .



Hình 2-17. Phân bố dây dẫn của dây quấn hình "sin" $u_i(x_i)$ và đường cong sức từ động $f(x)$ với $\beta = \pi p / Z_s$ (a) và $\beta = 0$ (b).

Biên độ sóng bậc ν của đường cong sức từ động hình thang bằng:

$$F_{m\nu} = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} f(x) \sin \nu x dx \quad (2-21)$$

Do đường cong sức từ động dây quấn “sin” là đối xứng nên tích phân trên chỉ lấy từ 0 đến $\pi/2$.

Đối với đường cong sức từ động đối xứng, biên độ sóng bậc v bằng:

$$F_{mv} = \frac{4}{v\pi} \left[f(x_0) + \sum \Delta f(x_i) \cos vx_i \right] \quad (2-22)$$

trong đó x_0 là trị số ban đầu tương ứng với đường cong đi qua điểm 0 trong đường cong sức từ động ở hình 2-17 và hoành độ x_i biến thiên trong khoảng 0 đến $\pi/2$.

$$0 < x_i < \pi/2$$

Lượng tăng trên trục tung ở bất kỳ một điểm nào trên đường cong sức từ động bằng:

$$\Delta f(x_i) = f(x_i) - f(x_{i-1}) \quad (2-23)$$

Lượng tăng đó ứng với trị số x ở hoành độ có thể xác định trên đường cong sức từ động và tương ứng với số thanh dẫn đặt trong rãnh u_i .

Khi dây quấn tập trung, hình không gian của sức từ động là hình chữ nhật có chiều cao là $f_c(x)$, như vậy biên độ sóng bậc v bằng:

$$F_{mcv} = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} f_c(x) \sin vxdx = \frac{4}{v\pi} f_c(x) \quad (2-24)$$

Vì vậy hệ số dây quấn của dây quấn “sin” bằng:

$$k = \frac{F}{f_c(x)} = \frac{f(x_0) + \sum \Delta f(x_i) \cos vx_i}{f_c(x)} \quad (2-25)$$

trong đó $\Delta f(x_i) = u_i$ và $f(x_0) = 0$ khi $\beta = \pi p/Z_s$

$$f(x_0) = u_{\text{max}} \quad \text{khi } \beta = 0$$

ở góc giữa trục đường cong sức từ động với vị trí của rãnh ($i = 1$).

u_{rm} là số thanh dẫn nhiều nhất trong một rãnh của dây quấn “sin”.

$$f_c(x) = \sum_0^{\pi/2} \Delta f(x_i) \quad (2-26)$$

Thực tế f_c có thể coi như là sức từ động của tổng số dây dẫn của một pha dưới một cực nên công thức (2-25) có thể viết thành:

$$k_{dv} = \frac{f(x_0)}{W_S / p} + \sum \frac{u_{ri}}{W / p} \cos vx_i \quad (2-27)$$

2. Chọn cách phân bố thanh dẫn trong rãnh

Muốn cho đường cong sức từ động có dạng hình sin thì phân bố thanh dẫn trong các rãnh u_{ri} phải theo quy luật sau:

$$u_{ri} = u'_{rm} \cdot \cos x_i \quad (2-28)$$

trong đó góc điện: $x_i = \beta + (i-1) (\pi/\tau_z)$ (2-29)

ở đây i là số thứ tự của rãnh dưới mỗi cực; u'_{rm} là số thanh dẫn trong rãnh về lý thuyết là lớn nhất (biên độ cực đại của đường cong hình sin của trị số thanh dẫn trong rãnh);

τ_z là số rãnh dưới mỗi cực (hay bước cực tính bằng số rãnh);

β là góc giữa trục đường cong sức từ động với vị trí đầu tiên của rãnh.

Theo sơ đồ triển khai dây quấn ở hình 2-17 ta thấy $\beta = \pi p/Z_s$ (hình 2-17a) hay $\beta = 0$ (hình 2-17b). Như vậy số thanh dẫn lớn nhất thực tế sẽ bằng:

$$u_{rm} = u'_{rm} \cdot \cos \beta \quad \text{khi } \beta = \pi p/Z_s$$

$$u_{rm} = u'_{rm} \quad \text{khi } \beta = 0.$$

Khi chọn phân bố của dây dẫn trong rãnh, đối với dây

quần “sin”, nếu triệt tiêu được tất cả sóng bậc cao trong đường cong sức từ động thì tốt nhất nhưng trên thực tế không thể làm như thế được. Vì vậy phương án phân bố dây dẫn tốt nhất cần chọn là hoàn toàn triệt tiêu sóng bậc 3 (sóng bậc cao quan trọng nhất trong động cơ điện một pha) và làm yếu sóng bậc 5 và 7. Đường cong phân bố dây dẫn $u_{ri} = \varphi(x)$ có dạng hình thang với đáy trên bằng $1/3$ bước cực có thể thoả mãn điều kiện đó. Muốn vậy, số rãnh stato dưới mỗi cực phải chia hẳn cho 3, nghĩa là $Z_s/6p$ phải là số nguyên.

Như vậy số rãnh stato phải chọn là:

$$Z_s = 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 \quad \text{khi } 2p = 2$$

$$Z_s = 12, 24, 36, 48 \quad \text{khi } 2p = 4.$$

Các rãnh nằm trong phạm vi đáy trên của đường phân bố dây dẫn theo hình thang sẽ có số thanh dẫn nhiều nhất $2_{r,m}$ với hệ số lấp đầy rãnh cho phép.

Trong hình thang sức từ động phải lấy các điểm sau làm gốc ($x_0 = 0$):

$$1) \text{ Nếu } \tau_z = \frac{Z_s}{2p} \text{ là số nguyên lẻ } [f(x_0) > 0] \text{ (hình 2-17a)}$$

thì lấy điểm giữa của rãnh có số thanh dẫn nhiều nhất.

$$2) \text{ Nếu } \tau_z = \frac{Z_s}{2p} \text{ là số nguyên chẵn } [f(x_0) = 0] \text{ thì lấy}$$

điểm giữa ở giữa hai rãnh có số thanh dẫn nhiều nhất (hình 2-17b).

Để triệt tiêu sóng bậc 3 thì hệ số dây quấn sóng bậc 3 phải bằng 0:

$$k_{d3} = \frac{f(x_0) + \sum \Delta f(x_i) \cos 3x_i}{f_c(x)} = 0 \quad (2-30)$$

Muốn thoả mãn biểu thức (2-30) thì tử số phải bằng 0,

ngĩa là tổng các trị số dương bằng tổng các trị số âm, còn $f(x_0)$ bằng 0 hoặc là một số dương.

Nếu $3x_i < \frac{\pi}{2}$ tức là $x_i < \frac{\pi}{6}$ thì $\cos 3x_i$ là số dương.

Nếu $3x_i > \frac{\pi}{2}$ tức là $x_i > \frac{\pi}{6}$ thì $\cos 3x_i$ là số âm.

Do đó để triệt tiêu sóng bậc 3 thì quy luật phân bố các thanh dẫn hợp lý nhất khi tổng sức từ động do các rãnh có hoành độ $x_i < \frac{\pi}{6}$ sinh ra phải bằng tổng sức từ động do các

rãnh có hoành độ trong khoảng $\frac{\pi}{6} < x_i < \frac{\pi}{2}$

Bảng 2-3 ghi trị số góc của các rãnh trên trục hoành x_i khi $\tau_z/3$ là số nguyên, đây dẫn trong các rãnh phân bố theo hình thang.

Bảng 2-4. Trị số của x_i trên trục hoành

Khi $\tau_z/3$ là số lẻ	Khi $\tau_z/3$ là số chẵn
$x_0 = 0$	$x_0 = 0$
$x_1 = \frac{2\rho}{Z_s} \pi$	$x_1 = \frac{\rho}{Z_s} \pi$
$x_2 = \frac{4\rho}{Z_s} \pi$	$x_2 = \frac{3\rho}{Z_s} \pi$
$x_3 = \frac{6\rho}{Z_s} \pi$	$x_3 = \frac{5\rho}{Z_s} \pi$
$x_4 = \frac{8\rho}{Z_s} \pi$	$x_4 = \frac{7\rho}{Z_s} \pi$
...	...

3. Trình tự tính toán

Cách tính toán dây quấn “sin” như sau:

1) Chọn số rãnh stato theo điều kiện $Z_s/2p$ bằng bội số của 3 để phân bố một cách hợp lý nhất các thanh dẫn vào các rãnh.

2) Trước hết dùng đơn vị tương đối bố trí các thanh dẫn trong rãnh của dây quấn chính và phụ, đồng thời xét đến số thanh dẫn tối đa u_{rm} có thể đặt trong các rãnh chiếm $1/3$ bước cực và giữ cho cạnh xiên của hình thang được thẳng. Chuẩn dùng để tính đơn vị tương đối thường là số thanh dẫn nhiều nhất trong rãnh chiếm $1/3$ bước cực (lấy $u_{rm} = 1$) hoặc tổng số vòng dây của một pha dưới một cực $W_s/2p$.

3) Với quy luật phân bố dây dẫn đã xác định, vẽ hình thang sức từ động $F(x)$.

4) Với phân bố dây quấn như trên, kiểm tra hệ số dây quấn của các sóng bậc 1, 3, 5, 7. Sau đó theo điều kiện $k_{d3} = 0$ (công thức 2-30) và k_{d5}, k_{d7} nhỏ nhất để hiệu chỉnh lại số thanh dẫn phân bố trong rãnh thích hợp nhất. Lúc đó sử dụng bảng 2-4 và các công thức (2-18), (2-19).

5) Căn cứ vào quy luật phân bố thanh dẫn trong rãnh (theo đơn vị tương đối) sơ bộ tính toán số vòng dây của một bối và số bối dây của dây quấn chính và phụ. Cần chú ý rằng hệ số dây quấn của hai pha trong dây quấn “sin” giống nhau, tức $k_{dA} = k_{dB}$.

6) Căn cứ vào những điều kiện sau để xác định kích thước rãnh:

a) Dựa vào mật độ dòng điện chọn tiết diện dây dẫn. Lúc đó dây quấn chính được xét theo chế độ định mức còn dây quấn phụ theo điều kiện khởi động.

- b) Hệ số lấp đầy rãnh $k_d \leq 0,75$.
- c) Việc lấp đầy các rãnh bằng dây dẫn của hai pha là đều nhau và đối xứng.
- 7) Thiết kế dạng, kích thước rãnh stato và hiệu chỉnh kết quả tính toán của hai dây quấn.
- 8) Tính chính xác hệ số dây quấn của sóng cơ bản và các sóng bậc cao.
- Có thể xem thí dụ tính toán dây quấn “sin” theo trình tự trên ở mục 13.4.

2.5. Rãnh và gông stato

1. Chọn dạng rãnh stato

Stato máy điện nhỏ có thể dùng các dạng rãnh như ở hình 2-18: hình quả lê, nửa quả lê, hình thang. Với các dạng rãnh này chiều rộng răng sẽ đều suốt cả chiều cao rãnh.

Rãnh hình quả lê (hình 2-18a) có khuôn dập đơn giản nhất, từ trở ở đáy rãnh so với hai dạng rãnh kia nhỏ, vì vậy giảm được sức từ động cần thiết trên răng.

Dạng rãnh hình nửa quả lê (hình 2-18b) có diện tích lớn hơn dạng rãnh hình quả lê.

Diện tích rãnh dạng hình thang (hình 2-18c) lớn nhất nhưng tính công nghệ kém hơn dạng rãnh hình nửa quả lê.

Nếu không đặt vấn đề giảm giá thành khuôn dập, có thể căn cứ vào diện tích rãnh và trị số sức từ động để tính toán, so sánh giữa ba dạng rãnh sau đó chọn phương án tốt nhất.

2. Kích thước rãnh và gông stato

Chiều rộng rãnh stato b_{zs} được xác định theo kết cấu, tức là xét đến: độ bền của răng, giá thành của khuôn dập,

độ bên của khuôn và đồng thời đảm bảo mật độ từ thông qua răng B_{ZS} nằm trong phạm vi cho phép, thường $B_{ZS} \leq 2$ Tesla.

Chiều cao gông stato:

$$h_{gS} = 0,2 b_{ZS} \frac{Z_S}{p} \quad (2-31)$$

Chiều cao này bị hạn chế bởi mật độ từ thông cho phép trên gông. Chọn kích thước miệng rãnh như sau: chiều cao miệng rãnh $h_{4S} = 0,5 \dots 0,8$ mm, chiều rộng miệng rãnh $b_{4S} = d_{cd} + (1,1 \dots 1,5)$ mm, trong đó d_{cd} là đường kính dây dẫn kể cả cách điện của dây quấn stato.

Kích thước rãnh hình quả lê (hình 2-18a) tính như sau:

$$d_1 = \frac{\pi(D + 2h_{4S}) - b_{ZS}Z_S}{Z_S + \pi} \quad (2-32)$$

$$d_2 = \frac{\pi(D_n - 2h_{gS}) - b_{ZS}Z_S}{Z_S + \pi} \quad (2-33)$$

trong đó D_n , D là đường kính ngoài và đường kính trong của stato.

Chiều cao rãnh:

$$h_{rS} = \frac{D_n - D - 2h_{gS}}{2} \quad (2-34)$$

Chiều cao phần thẳng của rãnh:

$$h_{12} = h_{rS} - 0,5(d_2 + d_1 + 2h_{4S}) \quad (2-35)$$

Diện tích rãnh:

$$S_{rS} = \frac{\pi}{8}(d_1^2 + d_2^2) + \frac{1}{2}h_{12}(d_1 + d_2) \quad (2-36)$$

Kích thước rãnh hình nửa quả lê (hình 2-18b) tính như sau:

$$d_1 = \frac{\pi(D + 2h_{4S}) - b_{ZS}Z_S}{Z_S - \pi} \quad (2-37)$$

$$b_2 = \frac{\pi(D_n - 2h_{gS})}{Z_S} - b_{ZS} \quad (2-38)$$

Chiều cao rãnh:
$$h_{rS} = \frac{D_n - D - 2h_{gS}}{2} \quad (2-39)$$

Chiều cao phần thẳng của rãnh:

$$h_{12} = h_{rS} - 0,5(d_1 + 2h_{4S}) \quad (2-40)$$

Diện tích rãnh:

$$S_{rs} = \frac{\pi d_1^2}{8} + \frac{1}{2} h_{12}(d_1 + d_2) \quad (2-41)$$

Kích thước rãnh hình thang (hình 2-18c) tính như sau:

$$b_1 = \frac{\pi(D + 2h_{4S} + h_3)}{Z_S} - b_{ZS} \quad (2-42)$$

Thường $h_3 + h_{4S} \approx \frac{1}{3} b_2$ và:

$$b_2 = \frac{\pi(D_n - 2h_{gS})}{Z_S} - b_{ZS} \quad (2-43)$$

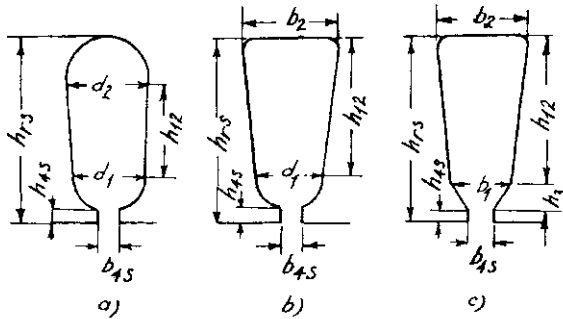
Chiều cao rãnh:
$$h_{rS} = \frac{D_n - D - 2h_{gS}}{2} \quad (2-44)$$

Chiều cao phần thẳng của rãnh:

$$h_{12} = h_{rS} - (h_3 + h_{4S}) \quad (2-45)$$

Diện tích rãnh:

$$S_{rs} = \frac{1}{2} [h_{12}(b_1 + b_2) + h_3(b_1 + b_{4S})] \quad (2-46)$$



Hình 2-18. Rãnh stato.

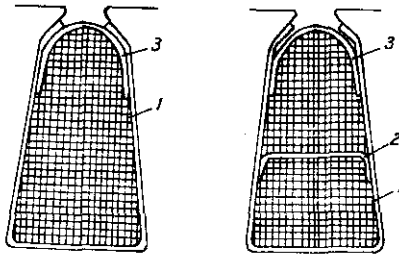
a) rãnh hình quả lê; b) rãnh hình nửa quả lê; c) rãnh hình thang.

3. Cách điện rãnh

Kết cấu cách điện rãnh như ở hình 2-19.

Dùng giấy cách điện có tráng màng mỏng tổng hợp dày 0,2 ... 0,25 mm làm cách điện rãnh.

Dùng gỗ cứng, bakêlit, tre làm nệm dày khoảng 1,5 đến 2 mm.



Hình 2-19. Cách điện rãnh

1. tấm lót rãnh; 2. tấm lót giữa hai lớp (khi dây quấn có hai lớp);
3. nệm.

Máy điện có công suất vài oát trở xuống thường không dùng nệm mà dùng một lớp cách điện dày úp lên.

Cách điện rãnh của dây động cơ điện công suất nhỏ 4A là một lớp bìa tráng màng tổng hợp dày 0,2 mm.

Hệ số lấp đầy rãnh:

$$k_d = \frac{d_{cd}^2 u_r}{S_{rx} - S_{cd}} \leq 0,75 \quad (2-47)$$

trong đó d_{cd} là đường kính dây dẫn kể cả cách điện; u_r là số thanh dẫn trong một rãnh; S_{rx} là diện tích rãnh; S_{cd} là tiết diện cách điện rãnh bao gồm cả nêm.

Ở các nhà máy chế tạo, có khi dùng công thức sau để tính hệ số lấp đầy rãnh:

$$k'_d = \frac{\pi d_{cd}^2 u_r}{4S_{rs}} \quad (2-48)$$

ở đây k'_d nằm trong giới hạn sau:

Số cực $2p$	2	4	6
Hệ số k'_d	0,41	0,39	0,37

Ở máy điện có vòng ngắn mạch trên stato làm thành dạng cực từ, có thể coi như stato có số rãnh bằng số cực từ mà chiều rộng của rãnh giữa các rãnh chính bằng chiều rộng cực từ.

Mật độ từ thông trên cực từ thường chọn như sau:

$$B_{cs} \leq 0,8 \dots 1,0 \text{ T.}$$

Chương 3. RÃNH, GÔNG VÀ LỒNG SÓC RÔTÔ

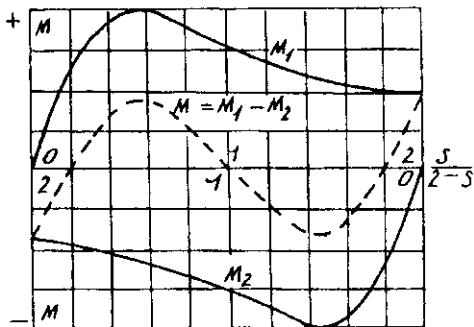
3.1. Chọn tham số dây quấn rô-tô

Số rãnh rô-tô được chọn theo sự phối hợp rãnh Z_S/Z_R đã nêu (mục 2.1). Số rãnh rô-tô ít ($Z_R < Z_S$) có lợi cho việc đúc nhôm bằng áp lực vào rô-tô, đồng thời có thể đảm bảo thanh dẫn của lồng sóc rô-tô có tiết diện đủ lớn.

Kích thước rô-tô (gông, rãnh, thanh dẫn lồng sóc và vành ngắn mạch) một mặt phụ thuộc vào mật độ từ thông cho phép của rãnh và gông rô-tô trong điều kiện ít tiếng ồn, mặt khác phụ thuộc vào yêu cầu về năng lực quá tải của máy

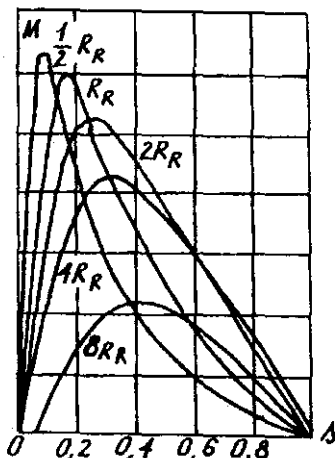
$$\text{diện: } m_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_{\text{dm}}}$$

Mômen cực đại của động cơ điện một pha có liên quan tới điện trở tác dụng của rô-tô, vì khi điện trở rô-tô lớn thì mômen hãm của từ trường nghịch càng tăng, do đó làm giảm trị số cực đại của mômen tổng hợp. Điều này khác với động cơ điện ba pha. Hình 3-1 cho quan hệ giữa mômen của động cơ điện một pha có điện trở của rô-tô rất lớn so với hệ số trượt.

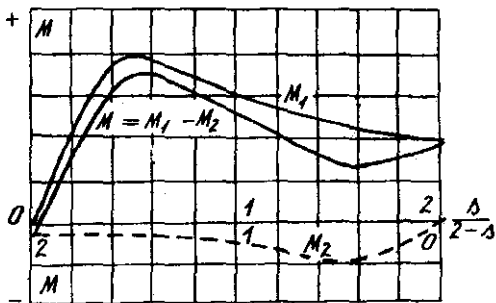


Hình 3-1. Quan hệ $M = f(s)$ của động cơ điện một pha khi điện trở tác dụng của mạch điện rô-tô lớn.

Khi điện trở tác dụng của rô-tô r_R thay đổi, quan hệ giữa mômen tổng hợp trên trục động cơ $M = M_1 + M_2$ với hệ số trượt như ở hình 3-2. Từ hình 3-2 ta thấy, khi điện trở rô-tô tăng lên thì năng lực quá tải giảm xuống và hệ số trượt ứng với M_{\max} cũng tăng lên (sau này sẽ ký hiệu hệ số trượt đó bằng s_m). Động cơ điện điện dung (từ trường elip) có quan hệ về mômen và hệ số trượt như ở hình 3-3. Từ đường cong thấy rằng từ trường nghịch ảnh hưởng không lớn đến mômen tổng hợp nên ảnh hưởng của điện trở rô-tô đến M_{\max} cũng ít. Đối với động cơ điện không đồng bộ ba pha lồng sóc công suất từ 10 đến 60 W, tiêu chuẩn Nga quy định bội số mômen cực đại $m_{\max} = 1,5 \dots 2,2$ (trị số nhỏ ứng với động cơ điện công suất nhỏ).



Hình 3-2. Quan hệ $M = f(s)$ của động cơ điện một pha khi trong mạch rô-tô có điện trở khác nhau.



Hình 3-3. Quan hệ $M = f(s)$ của động cơ điện điện dung khi điện trở trong mạch điện rô-tô rất lớn.

Động cơ công suất nhỏ một pha do Liên Xô (trước đây)

sản xuất có m_{\max} hơi nhỏ hơn động cơ ba pha.

Ở động cơ ba pha từ trường quay tròn, quan hệ giữa M_{\max} , s_m và s_{dm} như sau:

$$m_{\max} = \frac{\frac{s_{dm}}{s_m} + \frac{s_m}{s_{dm}} + \gamma \cdot s_m}{2 + \gamma \cdot s_m} \quad (3-1)$$

trong đó $\gamma = 2r_s/r_R$.

Khi đã xác định được s_{dm} và m_{\max} , có thể theo công thức (3-1) tính ra s_m .

Với máy điện nhỏ, trị số của γ trong khoảng 1 đến 3. Nếu trong công thức (3-1) lấy $\gamma = 2$ thì sai số cũng không lớn.

Hình 3-4 thể hiện quan hệ $s_m = f(s_{dm})$ với $\gamma = 2$ và m_{\max} khác nhau. Ở động cơ điện một pha rôto lồng sóc $s_m = 0,2 \dots 0,3$. Khi hệ số trượt thay đổi trong khoảng s_{dm} đến s_m thì ảnh hưởng của từ trường nghịch đến trị số của mômen có thể bỏ qua, đồng thời khi tính toán rôto có thể sử dụng công thức (3-1) hay đường cong ở hình 3-4 ứng với động cơ điện từ trường tròn.

Khi tính đến đặc tính làm việc của động cơ điện một pha, trị số của m_{\max} , s_m và s_{dm} phải được hiệu chỉnh nếu xét đến ảnh hưởng của từ trường nghịch.

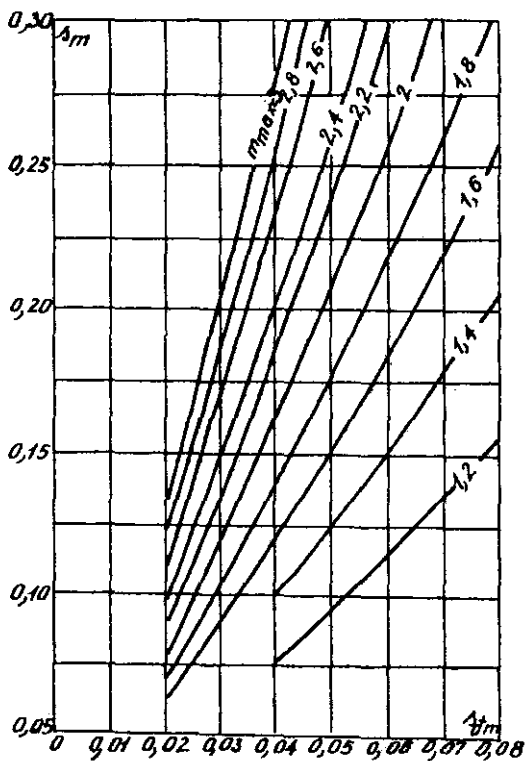
Cần chú ý rằng đối với động cơ điện một pha có bộ phận ngắt dây quấn phụ khi máy làm việc, năng lực quá tải của máy được xác định theo M_{\max} ở trạng thái một pha (chỉ nối với dây quấn stato để đảm bảo hệ số trượt s_m cần thiết). Đối với động cơ điện công suất nhỏ có thể dùng công thức đơn giản sau:

$$s_m = 1 - \sqrt{1 - 1,05 \frac{I_R}{X_n} \operatorname{tg} \alpha} \quad (3-2)$$

trong đó $\alpha = \frac{1}{2} \arctg \frac{r_R}{x_n}$

x_n là điện kháng ngắn mạch.

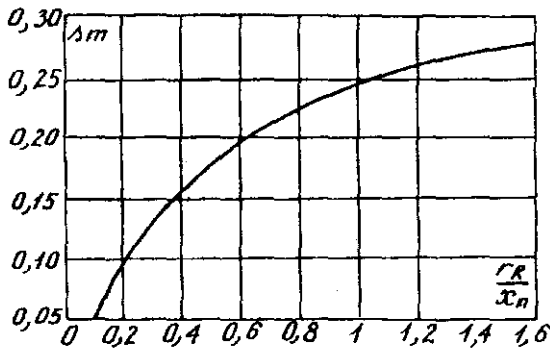
Quan hệ $\frac{r_R}{x_n} = f(s_m)$ như ở hình 3-5.



Hình 3-4. Quan hệ giữa s_m và s_{sm} với các bội số mômen cực đại m_{max} khác nhau.

Để đạt được năng lực quá tải cần thiết, cần tính toán tham số rôto theo trình tự sau:

a) Hệ số trượt định mức của động cơ công suất nhỏ thường chọn trong khoảng 0,03 đến 0,07.



Hình 3-5. Quan hệ $\frac{r_R}{x_n} = f(s_m)$.

Trong dãy động cơ công suất nhỏ, hệ số trượt của động cơ một pha có dây quấn khởi động $s_{dm} = 0,033 \dots 0,05$. Căn cứ vào hệ số trượt định mức và bội số mômen cực đại m_{max} đã cho, căn cứ vào đường cong ở hình 3-4 để xác định s_m .

b) Sơ bộ lấy $x_n = 2x_s$. Căn cứ vào công thức (3-2) hoặc đường cong $r_R/x_n = f(s_m)$ ở hình 3-5 tìm ra điện trở tác dụng của dây quấn rôto.

c) Căn cứ vào điện trở rôto và số rãnh rôto đã chọn, tính ra điện trở cần thiết của một phần tử lồng sóc rôto:

$$r_{pt} = r_i + \frac{r_v}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{Z_R}} = \frac{r_R Z_R k_{dR}^2}{4mW_S^2 k_{dS}^2} \quad (3-3)$$

trong đó r_i - điện trở thanh dẫn lồng sóc;

r_v - điện trở của phần vòng ngắn mạch giữa hai thanh dẫn;

r_R - điện trở của lồng sóc đã quy đổi.

Đối với động cơ một pha có phần tử khởi động, trong công thức (3-3) phải thay chữ số 4 bằng 8.

d) Chọn thanh dẫn và vành ngắn mạch của lồng sóc rôto phải làm sao cho điện trở tác dụng thoả mãn trị số của r_{pt} mà tiết diện lại phù hợp với mật độ dòng điện cho phép, mật độ từ thông trên răng rôto cũng nằm trong phạm vi cho phép. Khi sơ bộ thiết kế có thể lấy tổng diện tích các thanh dẫn rôto (bằng đồng) bằng khoảng 80% tổng diện tích thanh dẫn stato (với rôto lồng sóc đúc nhôm thì bằng 160%).

Mật độ dòng điện cho phép của thanh dẫn nhôm trong rôto đúc nhôm như sau: với động cơ điện ba pha và động cơ điện dung $J_1 = 3 \dots 5 \text{ A/mm}^2$; với động cơ điện một pha có phần tử khởi động $J_1 = 2 \dots 3 \text{ A/mm}^2$. Mật độ dòng điện trong thanh dẫn bằng đồng lớn hơn, tương ứng có thể chọn bằng 6 đến 8 A/mm^2 và 3,5 đến 5 A/mm^2 .

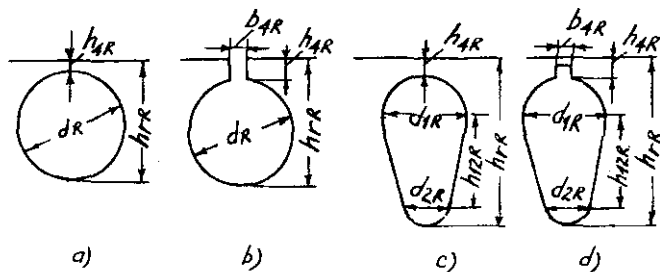
Mật độ dòng điện trong vành ngắn mạch là $J_v = (0,6 \dots 0,8) J_r$. Tiết diện vành ngắn mạch S_v vào khoảng 2,5 đến 3,5 lần tiết diện thanh dẫn S_r .

e) Căn cứ vào kích thước rôto đã chọn, tính điện kháng rôto đã quy đổi (xem mục 4.2) đồng thời nghiệm lại điện kháng ngắn mạch $x_n = x_s + x_R$. Nếu kết quả không phù hợp với giả thiết ban đầu là $x_n = 2x_s$ thì căn cứ vào đường cong ở hình 3-4 xác định lại trị số r_R . Tiết diện thanh dẫn và vành ngắn mạch của rôto lúc ấy sẽ phải sửa lại cho đến khi đạt được kết quả phù hợp.

3.2. Chọn dạng và tính toán rôto

Rãnh rôto có dạng hình tròn, quả lê. Thường là rãnh miệng kín để đảm bảo độ bền của khuôn dập và tiện cho việc đúc nhôm (hình 3-6).

Theo quan điểm về chế tạo khuôn dập thì rãnh tròn đơn giản nhất nhưng tiết diện thanh dẫn rôto có thể không đủ, khi đó phải đổi thành rãnh quả lê. Rãnh quả lê có thể thiết kế để chiều rộng răng được đều theo chiều cao của rãnh. Để cho nhôm có thể lấp đầy đáy rãnh khi đúc, đường kính đáy d_{2R} (hình 3-6c và d) không được nhỏ hơn 2,5 mm.



Hình 3-6. Các dạng rãnh của rôto.

a và b) rãnh tròn; c và d) rãnh hình quả lê.

Ở động cơ công suất nhỏ, để đảm bảo độ bền của khuôn dập, chiều cao miệng rãnh nhỏ nhất lấy vào khoảng $h_{4R} = 0,3 \dots 0,4$ mm. Với rãnh kín, khi bão hoà phần chiều cao miệng rãnh h_{4R} có tác dụng như miệng rãnh hở. Chiều rộng miệng rãnh hở lấy bằng $b_{4R} = 1 \dots 1,5$ mm.

Kích thước rãnh tròn (hình 3-6a và b) tính như sau:

$$r = \frac{2(\delta + l_3)]\pi - b_{ZR} Z_R}{Z_R + \pi} \quad (3-4)$$

trong đó D - đường kính trong stato;

Z_R - số rãnh rôto;

b_{ZR} - chiều rộng răng;

$l_3 = d_R + h_{4R}$ là chiều cao rãnh rôto.

$$\text{Tiết diện rãnh: } S_{rR} = \frac{\pi d_R^2}{4}$$

Kích thước rãnh hình quả lê (hình 3-6c và d) tính như sau:

$$d_{rR} = \frac{[D - 2(\delta + h_{4R})]\pi - b_{ZR}Z_R}{Z_R + \pi} \quad (3-5)$$

Chiều cao phần thẳng của rãnh:

$$h_{12R} = 0,5 \left[D - 2(\delta + h_{4R}) - d_{rR} - \frac{Z_R(b_{ZR} + d_{2R})}{\pi} \right] \quad (3-6)$$

Chiều cao rãnh:

$$h_{rR} = 0,5(d_{rR} + d_{2R}) + h_{12R} + h_{4R} \quad (3-7)$$

Diện tích rãnh:

$$S_{rR} = \frac{\pi}{8} (d_{rR}^2 + d_{2R}^2) + 0,5h_{12R} (d_{rR} + d_{2R}) \quad (3-8)$$

3.3. Tính toán hệ số rãnh nghiêng

Để giảm tiếng ồn và mômen ký sinh, stato hoặc rôto động cơ điện rôto lồng sóc thường làm rãnh nghiêng (hình 3-7). Với động cơ công suất nhỏ thường làm rãnh nghiêng ở rôto, bước nghiêng lấy vào khoảng một bước rãnh stato. Khi rãnh nghiêng ở stato thì bước nghiêng bằng khoảng một bước rãnh rôto. Hệ số rãnh nghiêng xét đến sự giảm sức điện động cảm ứng trong một dây quấn do từ thông chính của dây quấn khác sinh ra, vì vậy có thể tính gần giống như hệ số của dây quấn rôto:

$$k_n = k_{dR} = \frac{2\sin(\alpha_n / 2)}{\alpha_n} \quad (3-9)$$

trong đó $\alpha_n = \frac{\pi 2p}{Z_R} \beta_n$ là góc ở tâm rãnh nghiêng, rad;

$\beta_n = \frac{b_n}{t_R}$ là độ nghiêng rãnh biểu thị bằng phân số của

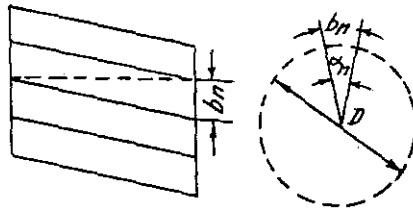
bước răng rôto;

b_n là độ nghiêng rãnh tính theo cung tròn của rôto, mm;

$t_R = \frac{\pi D'}{Z_R}$ là bước răng rôto, mm;

$D' = D - 2\delta$ là đường kính ngoài rôto, mm.

Khi dùng rãnh nghiêng, do sóng bậc cao của từ trường bị triệt tiêu tương đối ít nên từ thông tản tạp có tăng lên.



Hình 3-7. Rãnh nghiêng ở rôto lồng sóc.

Chương 4. TRỞ KHÁNG DÂY QUẤN STATO VÀ RÔTÔ

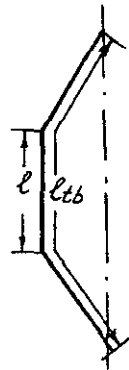
4.1. Trở kháng dây quấn stato

Độ chính xác của tính toán máy điện phụ thuộc vào độ chính xác của tính toán tham số. Vì vậy việc xác định điện trở và điện kháng dây quấn stato rất quan trọng.

Giống như máy điện không đồng bộ thông thường, khi tính toán sơ bộ với tải thay đổi từ không tải đến định mức, có thể coi trở kháng stato (r_s, x_s) và trở kháng rôto (r_R, x_R) không thay đổi.

Khi động cơ điện làm việc đến hệ số trượt giới hạn s_m ứng với M_{max} thì dòng điện dây quấn stato I_s và rôto I_R vượt quá trị số định mức, lúc đó từ trường tản ở răng bắt đầu có hiện tượng bão hoà, vì vậy x_s và x_R giảm xuống.

Khi $x > x_m$, đặc biệt khi $s = 1$, trong thanh dẫn rôto có hiệu ứng mặt ngoài nên trở kháng của rôto thay đổi. Tuy vậy, vì kích thước rãnh động cơ điện công suất nhỏ không lớn, ảnh hưởng của hiệu ứng mặt ngoài ở thanh dẫn rôto đến tham số r_R, x_R của rôto nhỏ hơn nhiều so với động cơ điện thường, do đó đối với động cơ điện công suất nhỏ thường có thể dùng cùng một tham số để tính đặc tính làm việc và đặc tính khởi động.



Hình 4-1. Một nửa phần tử dây quấn.

1. Điện trở của dây quấn stato

Điện trở tác dụng của dây quấn stato bằng:

$$r_{S(t)} = \rho \frac{L_S}{S_S \cdot a}, \quad \Omega \quad (4-1)$$

trong đó $r_{S(t)}$ là điện trở tác dụng của dây quấn ở nhiệt độ t , °C;

L_S là tổng chiều dài dây dẫn của một pha dây quấn stato (trong một mạch nhánh song song):

$$L_S = 2l_{tb} W_S \cdot 10^{-2}, \quad \text{m}; \quad (4-2)$$

W_S là số vòng dây nối tiếp của một pha.

$l_{tb} = l + l_d$ là chiều dài trung bình của nửa vòng dây tính theo centimet (hình 4-1);

l_d - chiều dài phần đầu nối:

$$l_d = k_1 \tau_y + 2B, \quad \text{cm}; \quad (4-3)$$

trong đó $\tau_y = t_{tb} y_{tb}$; y_{tb} là bước dây quấn trung bình của bố trí dây biểu thị bằng số rãnh;

$$t_{tb} = \frac{\pi D_{tb}}{Z_S} \quad \text{là bước rãnh ở đường kính trung bình, cm};$$

$D_{tb} = D + h_{r,s}$ là đường kính trung bình, cm;

D - đường kính trong stato, cm;

$h_{r,s}$ - chiều cao rãnh stato, cm;

k_1 và B là hệ số kinh nghiệm, lấy $k_1 = 1,2$ khi $2p = 2$ và $k_1 = 1,3$ khi $2p = 4$; B lấy trong khoảng 0,5 đến 1,5 cm;

S_S - tiết diện dây dẫn, mm²;

a - số mạch nhánh song;

ρ - điện trở suất của vật liệu dây quấn ở nhiệt độ làm việc tính toán, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;

Đối với cách điện cấp A, E, B, nhiệt độ đó là 75°C; cấp F, H là 115°C (xem bảng 4-1).

Đối với dây quấn đồng khuôn có thể dùng công thức sau:

$$\tau_y = \frac{\pi D_{tb}}{2p} \beta$$

trong đó β là bước dây quấn của bối dây tính theo phần trăm của bước cực.

Bảng 4-1. Điện trở suất của kim loại dùng trong động cơ điện, $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

Vật liệu	Nhiệt độ, °C		
	20	75	115
đồng	1/56	1/46	1/41
nhôm	1/34	1/28	1/25
nhôm đúc rôto	1/28	1/23	1/20,5

2. Điện kháng tản của dây quấn stato

Khi tính toán điện kháng tản của dây quấn có thể sử dụng nhiều hệ số kinh nghiệm và công thức, trong sách này nêu lên những công thức thường dùng.

Từ tản có thể chia làm ba loại:

- từ tản rãnh
- từ tản do sóng bậc cao gây nên (từ tản tạp)
- từ tản phần đầu nối.

Căn cứ vào ba loại từ tản trên, trong công thức tính toán điện kháng tản stato x_s người ta đưa vào ba hệ số từ dẫn: λ_r - hệ số từ dẫn rãnh; λ_t - hệ số từ dẫn tạp và λ_d - hệ số từ dẫn phần đầu nối.

Điện kháng tản của dây quấn stato được tính theo công thức sau:

$$x_S = 0,158 \cdot \frac{f}{100} \cdot \frac{W_S^2}{100} \cdot \frac{l_S}{p \cdot q} \cdot \Sigma \lambda_S \quad (4-4)$$

trong đó $\Sigma \lambda_S = \lambda_r + \lambda_l + \lambda_d$ là hệ số từ dẫn tổng; f - tần số nguồn điện; p - số đôi cực; W_S - số vòng dây nối tiếp của một pha; q - số rãnh của một pha dưới một cực (đối với động cơ điện một pha dùng số rãnh dưới mỗi cực của mỗi dây quấn Q thay cho q); l_S - chiều dài tính toán của stato.

a/ Hệ số từ dẫn của từ tản rãnh

Hệ số λ_r phụ thuộc vào kích thước và hình dạng rãnh cũng như loại dây quấn (1 lớp hay 2 lớp). Khi tính toán chỉ xét đến từ tản ở thành rãnh và miệng rãnh (không xét đến từ tản ở ngoài rãnh). Trong dây quấn hai lớp bước ngắn, vì trong một số rãnh có dây quấn của hai pha khác nhau nên tổng từ thông móc vòng giảm xuống, do đó λ_r cũng giảm nên phải dùng hệ số k_β và $k_{\beta 1}$ để xét sự giảm xuống của hệ số từ dẫn λ_r . Hệ số k_β có liên quan đến bước ngắn.

Hình dạng rãnh stato của động cơ điện công suất nhỏ với vị trí bố trí dây đặt trong rãnh như ở hình 4-2. Hệ số từ dẫn rãnh của rãnh hình quả lê (hình 4-2a) và nửa hình quả lê (hình 4-2b) như sau:

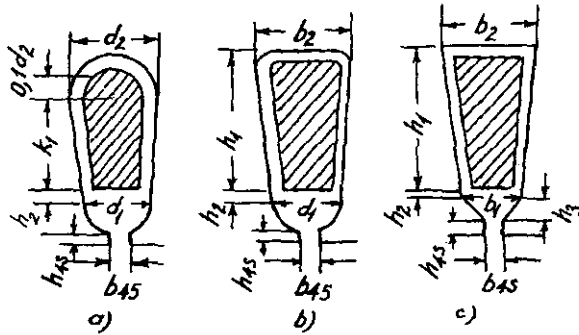
$$\lambda_r = \left[\frac{h_1}{3d_1} k_\beta + \left(0,785 - \frac{b_{4S}}{2d_1} + \frac{h_2}{d_1} + \frac{h_{4S}}{b_{4S}} \right) k_{\beta 1} \right] \quad (4-5)$$

Hệ số từ dẫn của rãnh hình thang (hình 4-2c):

$$\lambda_r = \left[\frac{h_1}{3b_1} k_\beta + \left(\frac{h_2}{b_1} + \frac{3h_3}{b_1 + 2h_{4S}} + \frac{h_{4S}}{b_{4S}} \right) k_{\beta 1} \right] \quad (4-6)$$

Khi tính toán hệ số từ dẫn, có thể xác định kích thước rãnh theo kích thước lá thép dập sẵn, kích thước h_1 theo cách điện dây dẫn. Nếu mép dưới của dây quấn ở phía dưới

tâm của phần nửa vòng tròn đường kính d_1 thì h_2 có giá trị âm (hình 4-2).



Hình 4-2.

Bảng 4-2. Hệ số k_β và k_{β_1}

Loại dây quấn	β	k_β	k_{β_1}
Dây quấn hai lớp ba pha và một pha	$\frac{2}{3} \leq \beta \leq 1$	$\frac{7+9\beta}{16}$	$\frac{1+3\beta}{4}$
Dây quấn hai lớp hai pha	$\beta \leq 1$	$\frac{1+3\beta}{4}$	β
Dây quấn một lớp với bất kỳ số pha nào	$\beta = 1$	1	1

Hệ số k_β và k_{β_1} tra ở bảng 4-2 theo hệ số bước ngắn y/τ của dây quấn. Nếu $1 < \beta < 2$ thì khi tính toán hệ số k_β và k_{β_1} phải dùng $2-\beta$ thay cho β .

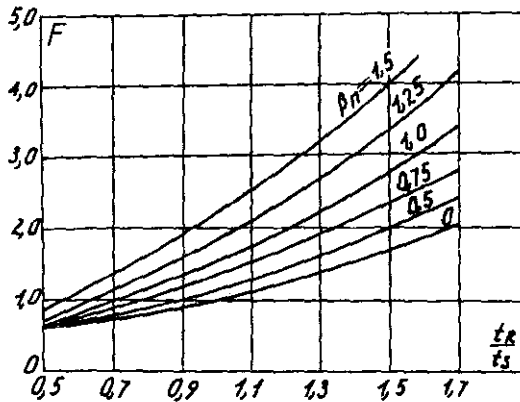
b/ Hệ số từ dẫn của từ tản tạp

Hệ số từ dẫn của từ tản tạp xét đến ảnh hưởng của từ trường sóng bậc cao (sóng điều hòa răng và sóng điều hòa của dây quấn) gây nên từ thông móc vòng tản trong dây quấn stato. Theo lý thuyết máy điện, sóng bậc cao của từ

trường stato cảm ứng trong dây quấn stato sức điện động tần số cơ bản, còn trong dây quấn rôto quay thì cảm ứng sức điện động tần số cao do đó trên thực tế không tham gia vào việc truyền năng lượng từ stato sang rôto. Vì vậy từ thông móc vòng sóng bậc cao có thể coi như từ thông móc vòng tần của dây quấn này.

Người ta thường dùng từ tản giữa các đỉnh răng để thay từ tản tạp. Loại từ tản này có khi gọi là từ tản trong khe hở không khí vì từ trường tương ứng chủ yếu phụ thuộc vào sự dẫn từ của các đường sức từ trong khe hở không khí.

Tính toán chính xác từ tản tạp là một việc khó khăn, nhất là khi tính toán các tham số của máy điện xoay chiều.



Hình 4-3. Đường cong $F = f(l_r/l_s)$ theo hệ số răng nghiêng β_n .

Ở động cơ điện nhỏ, do các bố trí dây của dây quấn rải một pha có hình dạng và kích thước không giống nhau, số răng của mỗi pha dưới mỗi cực q và Q tương đối ít nên tính toán càng phức tạp.

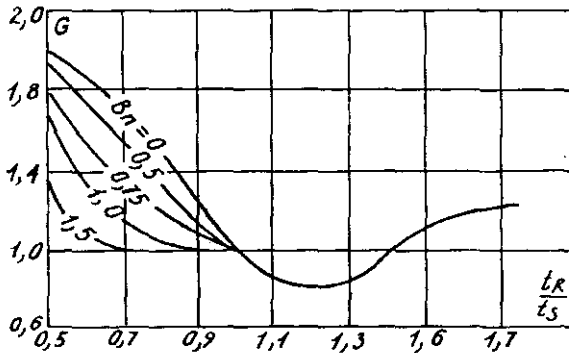
Hệ số λ_1 phụ thuộc vào kích thước máy điện (bước răng,

khe hở không khí) và số liệu dây quấn. Bề rộng miệng rãnh stato và rôto cũng có ảnh hưởng nhất định đến từ tản tạp (hệ số khe hở không khí k_δ phụ thuộc vào bề rộng miệng rãnh). Khi số rãnh mỗi pha dưới mỗi cực q và Q tương đối ít (trong động cơ điện công suất nhỏ thường như vậy) thì từ tản tạp là phần chủ yếu của tổng từ tản.

Hệ số từ dẫn của từ tản tạp tính như sau:

$$\lambda_t = \frac{t_s}{11,9 \delta \cdot k_\delta} \xi_s \quad (4-7)$$

trong đó t_s là bước răng stato; δ là khe hở không khí.



Hình 4-4. Đường cong $G = f(t_R/t_S)$ của các hệ số rãnh nghiêng.
 Khi $\beta_n > 0,5$, $t_R/t_S > 1$ thì $G = 1$.

Hệ số khe hở không khí:

$$k_\delta = k_{\delta S} k_{\delta R}$$

trong đó $k_{\delta S}$, $k_{\delta R}$ là hệ số khe hở không khí của stato và rôto.

$$k_{\delta S} = \frac{5 + \frac{h_{4S}}{\delta}}{5 + \frac{h_{4S}}{\delta} \cdot \frac{(t_s - h_{4S})}{t_s}} \quad (4-8)$$

$$k_{\delta R} = \frac{5 + \frac{b_{4R}}{\delta}}{5 + \frac{b_{4R}}{\delta} \cdot \frac{(t_R - b_{4R})}{t_R}} \quad (4-9)$$

trong đó t_R và b_{4R} là bước răng và bề rộng miệng rãnh rôto;

ξ_s là hệ số liên quan đến q , β , t_R/t_s , β_n ,

$\beta_n = b_n/t_R$ là độ nghiêng của rãnh tính theo tỷ số bước răng rôto;

b_n là độ nghiêng của rãnh tính theo cung rôto.

Hệ số ξ_s có thể xác định theo công thức trong bảng 4-3 và đường cong ở các hình từ 4-3 đến 4-7.

Nếu pha chính của động cơ điện một pha chiếm 2/3 số rãnh stato thì hệ số đó cũng có thể tra theo đường cong ở hình 4-8. Khi mỗi pha chiếm một nửa số rãnh stato thì tra theo đường cong ở hình 4-9.

Đối với động cơ điện có vòng ngắn mạch, hệ số từ dẫn của từ tản tạp stato có thể xác định theo công thức sau:

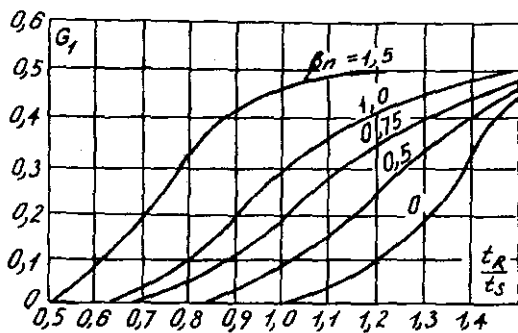
$$\lambda_{tS} = \frac{0,0468 \tau}{k_\delta \cdot 100}$$

c/ Hệ số từ dẫn của từ tản đầu nối

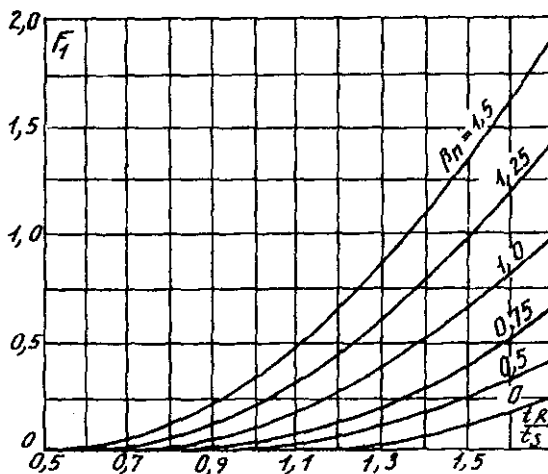
Từ tản đầu nối cũng rất phức tạp, phụ thuộc vào loại dây quấn (dây quấn hai lớp đồng khuôn, dây quấn đồng tâm, dây quấn phân tán hay không phân tán (hình 4-10) và góc độ nghiêng của phân đầu nối (ba mặt phẳng, hai mặt phẳng) như ở hình 4-11.

Từ thông móc vòng ở đầu nối và chiều dài phân đầu nối l_d tỷ lệ thuận với bình phương số rãnh của một pha dưới một cực q^2 hoặc Q^2 . Từ thông tản phân đầu nối đối với dây quấn không phân tán bao lấy tất cả q rãnh; trong dây quấn phân tán thì bao lấy $q/2$ rãnh. Từ thông này khác với từ tản

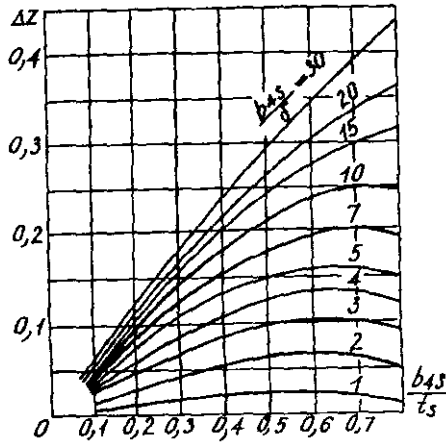
rãnh vì từ tần rãnh không liên quan với $q-1$ rãnh kề bên của cùng một pha.



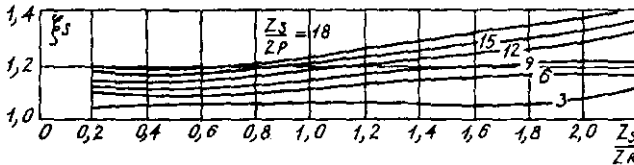
Hình 4-5. Đường cong $G_1 = f(t_R/t_S)$ của hệ số rãnh nghiêng.
 Khi $t_R/t_S > 1.5$; $G_1 = 0.5$.



Hình 4-6. Đường cong $F_1 = f(t_R/t_S)$ của hệ số rãnh nghiêng.



Hình 4-7. Đường cong $\Delta Z = f(b_{4S}/t_s)$ của các tỷ số b_{4S}/δ (ở rôto cũng dùng đường cong này với b_{4R}/t_R và b_{4R}/δ để tìm ra ΔZ).



Hình 4-8. Đường cong dùng để tính từ tần tạt động cơ một pha khi số rãnh của các pha chiếm $23Z_S/3$ và $Z_S/3$.

Công thức tính điện kháng tản phân đầu nối như sau:

$$x_d = 4\pi f \cdot \mu_o \frac{W_S^2}{p \cdot q} l_d q \cdot c_d = 4\pi f \cdot \mu_S \frac{W_S^2}{p \cdot q} l \cdot \lambda_d \quad (4-10)$$

trong đó l_d là chiều dài phần đầu nối của dây quấn;

c_d là hệ số kinh nghiệm liên quan đến kiểu dây quấn;

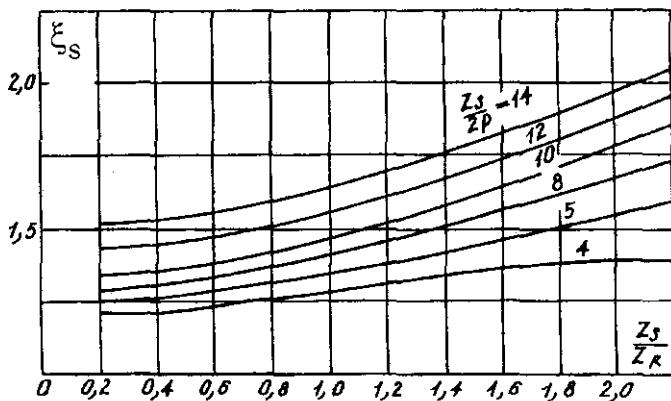
$\lambda_d = \frac{l_d}{l} q \cdot c_d$ là hệ số từ dẫn của từ tản đầu nối.

Bảng 4-3. Hệ số ξ_s

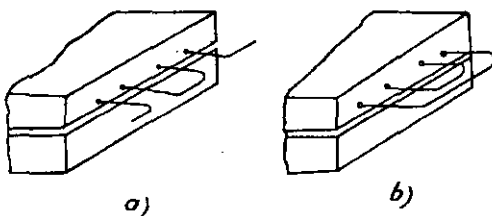
1	2	3	4
<p>Dây quấn ba pha có răng nghiêng (đải pha 60°)</p>	$\xi_s = 2 \left(F \cdot k_{\beta_1} - \frac{F_1 N}{4q} \right) -$ $- \Delta Z \left(G \cdot k_{\beta_1} - \frac{G_1 N}{4q} \right) -$ $- k_{dS}^2 \left(\frac{I_R}{I_S} \right)^2 \cdot (1 + \beta^2)$ <p>k_{β_1} - xem bảng 4-2</p>		$N = -\{1 - y - q \} +$ $+ \frac{1}{2} \{1 - y - 2q \} +$ $+ \{1 - y - 3q \}$
<p>Dây quấn hai pha (đải pha 90°)</p>	$\xi_s = 2 \left(F \cdot k_{\beta_1} - \frac{F_1 N}{2q} \right) -$ $- \Delta Z \left(G \cdot k_{\beta_1} - \frac{G_1 N}{2q} \right) -$ $- k_{dS}^2 \left(\frac{I_R}{I_S} \right)^2 \cdot (1 + \beta^2)$ <p>khi $\beta \leq 1$ thì $k_{\beta_1} = \beta$</p>	<p>Hệ số F, G, F_1, G_1 tra theo đường cong trong hình 4-3 ÷ 4-6</p> <p>ΔZ theo đường cong ở hình 4-7.</p>	$N = 1 + \{1 - y - 2q \}$ <p>Khi bước đủ $N = 1$</p>

Bảng 3-4 (tiếp theo)

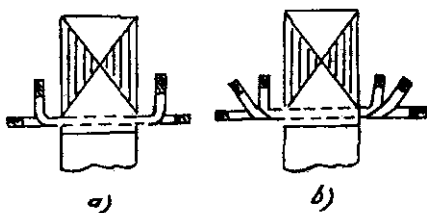
1	2	3	4
<p>Dây quấn một pha khí $\frac{Z_S}{2p} \geq 2$</p>	$\xi_S = 2 \left(F \cdot k_{\beta_1} - \frac{F_1 N}{2Q} \right) -$ $- \Delta Z \left(G \cdot k_{\beta_1} - \frac{G_1 N}{2Q} \right) -$ $- \frac{Qp}{Z_S} k_{dS}^2 \left(\frac{t_R}{t_S} \right)^2 \cdot (1 + \beta_n^2 k_n^2)$ $k_n = \frac{\sin \frac{\pi p}{Z_R}}{\frac{\pi p}{Z_R}}$ $k_{\beta_1} = 1 - \frac{(Z_S / 2p) - y}{2Q}$	<p>Hệ số F, G, F_1, G_1 tra theo đường cong trong hình 4-3 ÷ 4-6 ΔZ theo đường cong ở hình 4-7.</p>	<p>a/ $Q < \frac{Z_S}{2p}$, bước đủ $N = 1$ bước ngắn: $Q \neq y \quad Q + y \neq \frac{Z_S}{2p} \quad N = 1$ $Q \neq y \quad Q + y = \frac{Z_S}{2p} \quad N = 1/2$ $Q = y \quad Q + y \neq \frac{Z_S}{2p} \quad N = 1^{1/2}$ $Q = y = \frac{Z_S}{4p} \quad N = 1$ b/ $Q = \frac{Z_S}{2p}$ Bước đủ $N = 1$ Bước ngắn $N = 2$</p>



Hình 4-9. Đường cong dùng để tính từ tần tạp động cơ điện một pha khi số rãnh của hai pha bằng nhau.



Hình 4-10. Phân đầu nối của dây quấn đồng tâm
a) phân tán. b) không phân tán



Hình 4-11. Độ nghiêng của phần đầu nối dây quấn.
a) dây quấn hai mặt phẳng; b) dây quấn ba mặt phẳng.

Với dây quấn có bố trí dây phân tán, hệ số từ dẫn λ_d nhỏ hơn. Rút ngắn bước dây quấn cũng làm giảm λ_d .

Hệ số từ dẫn của từ tản đầu nối có thể tính theo công thức sau:

- Đối với dây quấn một lớp móc xích và hai lớp ba pha:

$$\lambda_d = 0,39 \frac{q}{l} (l_d - 0,64 \beta \cdot \tau) \quad (4-11)$$

trong đó $\beta = \frac{y}{3q}$.

- Đối với dây quấn một lớp đồng tâm ba pha:

a) Dây quấn ba mặt phẳng:

$$\lambda_d = 0,47 \frac{q}{l} (l_d - 0,64 \tau) \quad (4-12)$$

b) Dây quấn hai mặt phẳng:

$$\lambda_d = 0,67 \frac{q}{l} (l_d - 0,64 \tau) \quad (4-13)$$

- Đối với dây quấn hai lớp hai pha:

$$\lambda_d = 0,19 \frac{q}{l} (l_d - 0,64 \beta \cdot \tau) \quad (4-14)$$

- Đối với dây quấn đồng tâm hai pha:

a) Số tổ bố trí dây của mỗi pha là $2p$ (dây quấn phân tán):

$$\lambda_d = 0,27 \frac{q}{l} (l_d - 0,64 \tau) \quad (4-15)$$

b) Số tổ bố trí của mỗi pha là p :

$$\lambda_d = 0,47 \frac{q}{l} (l_d - 0,64 \tau) \quad (4-16)$$

- Đối với dây quấn hai lớp một pha:

$$\lambda_d = 0,28 \left(1 - 0,6 \frac{2p \cdot \Omega}{Z_S} \right) \frac{Q}{l} (l_d - 0,64 \beta \cdot \tau) \quad (4-17)$$

trong đó $\beta = \frac{y}{Z_s} \cdot 2p$.

Với dây quấn đồng tâm một pha:

a) Số tổ bối dây là $2p$ (dây quấn phân tán):

$$\lambda_d = 0,39 \left(1 - 0,6 \frac{2p \cdot Q}{Z_s} \right) \frac{Q}{l} (l_d - 0,64\tau) \quad (4-18)$$

b) Số tổ bối dây là p :

$$\lambda_d = 0,67 \left(1 - 0,6 \frac{2p \cdot Q}{Z_s} \right) \frac{Q}{l} (l_d - 0,64\tau) \quad (4-19)$$

Khi $Q \geq 2$ và $\frac{2p \cdot Q}{Z_s} > \frac{1}{3}$ có thể dùng công thức (4-17), (4-18) và (4-19) để tính;

Khi $Q = 1$ và $\frac{2p \cdot Q}{Z_s} \geq \frac{1}{3}$, giá trị $(1 - 0,6 \frac{2p \cdot Q}{Z_s})$ được thay bằng 0,8.

4.2. Trở kháng rôto

1. Điện trở tác dụng của rôto

Điện trở tác dụng của dây quấn lồng sóc rôto:

$$r_R = \frac{4mW_S^2 k_{dS}^2}{Z_R k_{dR}^2} \left(r_t + \frac{r_v}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{Z_R}} \right) = k_{12} r_{pt} \quad (4-20)$$

Trong công thức trên, điện trở của phần tử lồng sóc rôto bằng:

$$r_{pt} = r_1 + \frac{r_v}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{Z_R}}$$

trong đó r_1 là điện trở thanh dẫn rôto; r_v là điện trở vành ngắn mạch; Z_R là số rãnh của rôto.

Trong công thức (4-20), k_{12} là hệ số quy đổi điện trở rôto sang dây quấn stato; k_{12} tính theo công thức sau:

$$k_{12} = \frac{4mW_S^2 k_{dS}^2}{Z_R k_{dR}^2} \quad (4-21)$$

trong đó k_{dS} là hệ số dây quấn stato; $k_{dR} = k_n$ là hệ số dây quấn rôto lồng sóc khi làm rãnh nghiêng.

Đối với động cơ một pha có phân từ khởi động, trong công thức tính k_{12} phải thay số 4 bằng số 8.

Khi $\frac{Z_R}{2p} > 6$, trong công thức (4-20) $\sin \frac{\pi p}{Z_R}$ có thể thay

bằng dây cung $\frac{\pi p}{Z_R}$.

Điện trở tác dụng của thanh dẫn rôto:

$$r_t = \rho \frac{l_R}{s_t}, \quad \Omega$$

trong đó s_t là tiết diện thanh dẫn rôto, mm²; l_R là chiều dài thanh dẫn rôto, m;

Khi rôto đúc nhôm, tiết diện thanh dẫn bằng tiết diện rãnh.

Điện trở tác dụng của phần vành ngắn mạch giữa các thanh dẫn bằng:

$$r_v = \rho \frac{\pi D_v \cdot 10^{-2}}{Z_R a \cdot b}, \quad \Omega \quad (4-23)$$

trong đó D , là đường kính bình quân của vành ngắn mạch, cm; a và b là kích thước tiết diện vành ngắn mạch, mm; ρ là điện trở suất của vật liệu ở nhiệt độ làm việc tính toán (bảng 4-1). Với cách điện cấp A, E, B nhiệt độ đó là 75°C và cấp F, H là 115°C .

Tiết diện thanh dẫn và vành ngắn mạch của rôto được chọn theo mật độ dòng điện cho phép (xem mục 3.1).

2. Điện kháng rôto

Điện kháng tản dây quấn rôto đã quy đổi sang dây quấn stato bằng:

$$x_R = x_S \frac{\Sigma \lambda'_R}{\Sigma \lambda_S} \quad (4-24)$$

trong đó $\Sigma \lambda'_R$ là tổng từ dẫn tản của rôto:

$$\Sigma \lambda'_R = \lambda_R \frac{l_R}{l_S} \cdot \frac{Z_S}{Z_R} \cdot \left(\frac{k_{dS}}{k_{dR}} \right)^2 \quad (4-25)$$

a) Với động cơ điện nhiều pha:

$$\lambda_R = \lambda_{rR} + \lambda_{tR} \left(1 + \frac{\beta_n}{k_\mu} \right) + \lambda_{tR} \frac{l_S}{l_R} + \lambda_{dR} \quad (4-26)$$

b) Với động cơ điện một pha:

$$\lambda_R = \lambda_{rR} + \lambda_{tR} + \lambda_{dR} \quad (4-27)$$

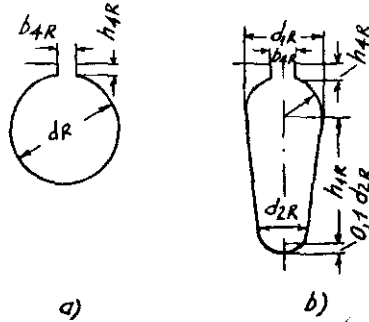
trong đó λ_{rR} , λ_{tR} , λ_{dR} là hệ số từ dẫn tản rãnh, tạp và đầu nối của rôto; β_n là hệ số rãnh nghiêng; k_μ là hệ số cản (đối với động cơ điện nhỏ $k_\mu = 1$); l_R , l_S là chiều dài lõi sắt rôto và stato.

Hệ số từ dẫn tản rãnh tiết diện tròn (hình 4-12a) bằng:

$$\lambda_{tR} = \left(0,785 - \frac{b_{4R}}{2d_R} \right) k_\mu + \frac{h_{4R}}{b_{4R}} \quad (4-28)$$

Khi rãnh hình quả lê (hình 4-12b) có:

$$\lambda_{1R} = \left[\frac{h_{1R}}{3d_{1R}} \cdot \left(1 - \frac{\pi d_{1R}^2}{8S_t} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_{4R}}{2d_{1R}} \right] \cdot k_{\mu} + \frac{h_{4R}}{b_{4R}} \quad (4-29)$$



Hình 4-12. Kích thước để tính từ tần rôto.

Đối với rãnh miệng kín ($b_{4R} = 0$), tỷ số b_{4R}/h_{4R} được thay bằng đẳng thức sau:

$$0,3 + 1,12 \cdot \frac{h_{4R}}{I_R''} \cdot 10^3$$

trong đó I_R'' là dòng điện thực tế trong thanh dẫn rôto; h_{4R} là chiều cao miệng rãnh.

Nếu $I_R \geq 5d_{1R}$ thì dùng công thức (4-29).

Hệ số từ dẫn của từ tản tạp:

$$\lambda_{1R} = \frac{t_R}{11,9 \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi_R \quad (4-30)$$

trong đó $\xi_R = f(Z_R; \frac{h_{4R}}{t_R}, \frac{b_{4R}}{\delta})$

- khi $\frac{Z_R}{p} < 5$:

$$\xi_R = 1 + \frac{1}{5} \cdot \frac{\pi p}{Z_R} - \frac{\Delta Z}{1 - (p/Z_R)^2} \quad (\text{theo hình 4-7})$$

• khi $\frac{Z_R}{2p} \geq 5$:

$$\xi_R = 1 - \Delta Z = f\left(\frac{b_{4R}}{t_R}, \frac{b_{4R}}{\delta}\right)$$

Đối với động cơ điện có vành ngắn mạch, hệ số từ dẫn của từ tản tạp rôto có thể xác định theo công thức sau:

$$\lambda_{tR} = 0,165 \cdot \frac{p \cdot \tau}{Z_R \delta \cdot k_\delta} \cdot k_{dR}^2$$

ở đây k_{dR} là hệ số dây quấn rôto, thường lấy bằng hệ số rãnh nghiêng.

Hệ số từ dẫn phần đầu nối:

$$\lambda_{dR} = \frac{2,9D_v}{Z_R l \left(2 \sin \frac{\pi p}{Z_R}\right)^2} \cdot \lg \frac{4,7D_v}{2(a+b)} \quad (4-31)$$

trong đó a là chiều dày (hướng trục) của vành ngắn mạch; b là chiều rộng (hướng tâm) của vành ngắn mạch.

Nếu vành ngắn mạch áp sát lõi sắt rôto (rôto đúc nhôm) thì a được thay bằng $a/2$.

4.3. Điện kháng tản do rãnh nghiêng ở rôto sinh ra

Do ở rôto có rãnh nghiêng nên điện kháng tản tăng lên. Trong động cơ nhỏ, điện kháng tản do rãnh nghiêng sinh ra được tính gộp vào điện kháng tản tạp.

Ở động cơ một pha có vòng ngắn mạch thì xét riêng và được tính theo công thức sau:

$$x_{ng} = 2\sigma_n x_m \quad (4-32)$$

trong đó:

x_m - điện kháng hồ cảm;

σ_n - hệ số xét đến rãnh nghiêng:

$$\sigma_n = 1,64 \left(\frac{p}{Z_R} \cdot \frac{h_n}{t_R} \right)^2$$

ở đây h_n là độ nghiêng rãnh; t_R là bước rãnh rôto; p là số đôi cực; Z_R là số rãnh rôto.

Chương 5. TÍNH TOÁN MẠCH TỪ

Tính toán mạch từ bao gồm tính dòng điện từ hoá I_{μ} , thành phần phản kháng của dòng điện không tải và điện kháng tương ứng với khe hở không khí x_m .

Dòng điện từ hoá của động cơ không đồng bộ nhiều pha có thể tính theo công thức sau:

$$F = \frac{m}{2} \cdot \frac{0,9 I_{\mu m} W_S k_{dS}}{p} \quad (5-1)$$

trong đó: F là sức từ động của mỗi cực động cơ;

$I_{\mu m}$ là dòng điện từ hóa của động cơ.

Nếu tính theo sức từ động một đôi cực $F_m = 2F$ thì dòng điện từ hóa bằng:

$$I_{\mu m} = \frac{F_{\mu m} p}{0,9 W_S k_{dS}} \quad (5-2)$$

Thành phần phản kháng của dòng điện không tải bằng dòng từ hóa:

$$I_{ox} = I_{\mu m}$$

Đối với động cơ một pha có phân tử khởi động ($m = 1$), dòng từ hóa được tính theo sức từ động pha chính, tức là:

$$F = 0,9 \cdot \frac{I_{\mu m} W_S k_{dS}}{p}$$

Dòng điện từ hóa của động cơ điện một pha có phân tử khởi động:

$$I_{\mu m} = \frac{F \cdot p}{0,9 W_S k_{dS}} = \frac{F_m p}{1,8 W_S k_{dS}} \quad (5-3)$$

Do động cơ điện một pha có dòng điện thứ tự nghịch nên thành phần phản kháng của dòng điện không tải lớn hơn nhiều so với dòng từ hóa, ước tính bằng:

$$I_{ox} \approx 1,95I_{\mu} \quad (5-4)$$

Sức từ động mỗi đôi cực của động cơ điện không đồng bộ bằng:

$$F_m = F_{\delta} + F_{ZS} + F_{ZR} + F_{gS} + F_{gR} \quad (5-5)$$

trong đó sức từ động khe hở không khí bằng: .

$$F_{\delta} = 1,6k_{\delta}\delta.B_{\delta}.10^4 \quad (5-6)$$

ở đây B_{δ} là mật độ từ thông khe hở không khí, Tesla;

δ là khe hở không khí, cm;

k_{δ} là hệ số khe hở không khí:

$$k_{\delta} = k_{\delta S} \cdot k_{\delta R}$$

trong đó: $k_{\delta S} = \frac{t_S}{t_S - \gamma_S \delta}$ và $k_{\delta R} = \frac{t_R}{t_R - \gamma_R \delta}$

$$\gamma_S = \frac{(b_{4S} / \delta)^2}{5 + (b_{4S} / \delta)} ; \quad \gamma_R = \frac{(b_{4R} / \delta)^2}{5 + (b_{4R} / \delta)}$$

t_S và t_R là bước răng stato và rôto;

b_{4S} , b_{4R} là bề rộng miệng rãnh stato và rôto.

Sức từ động răng stato:

$$F_{ZS} = 2H_{ZS}.h_{ZS} \quad (5-7)$$

Cường độ từ trường H_{ZS} tùy thuộc vào loại thép kỹ thuật điện và B_{ZS} của răng (tra theo phụ lục 1). Động cơ công suất nhỏ hiện đại có $B_{ZS} \leq 2$ Tesla. Mật độ từ thông trong răng được tính theo công thức:

$$B_{ZS} = B_{\delta} \frac{t_s}{h_{ZS} \cdot k_c} \quad (5-8)$$

trong đó $t_s = \frac{\pi D}{Z_s}$ là bước răng stato; h_{ZS} là chiều rộng răng;

k_c là hệ số ép chặt lõi sắt (xem bảng 5-1).

Bảng 5-1. Hệ số k_c

Chiều dày lá thép kỹ thuật điện, mm	Oxy hoá bề mặt		Phủ sơn cách điện	
	thép cán nóng	thép cán nguội	thép cán nóng	thép cán nguội
0,35	0,93	0,96	0,91	0,95
0,50	0,95	0,97	0,93	0,96

Trong động cơ điện công suất nhỏ, lá thép kỹ thuật điện thường được oxy hóa bề mặt hoặc phủ sơn cách điện.

Đối với rãnh đáy bằng thì chiều cao tính toán răng bằng chiều cao rãnh $h_{ZS} = h_{rS}$ (xem hình 2-18b và c);

Đối với rãnh hình quả lê (hình 2-18a):

$$h_{ZS} = h_{rS} - 0,1d_2$$

Sức từ động răng rôto:

$$F_{ZR} = 2h_{ZS} h_{ZR}$$

Cường độ từ trường H_{ZR} tra theo đường cong từ hóa của thép kỹ thuật điện trong phụ lục 1 theo B_{ZR} :

$$B_{ZR} = B_{\delta} \cdot \frac{t_R}{h_{ZR} k_c} \quad (5-10)$$

Với rãnh tròn (hình 3-6a và b) chiều rộng răng tính toán bằng:

$$h_{ZR} = t_{R1/3} - 0,94d_R \quad (5-11)$$

trong đó $t_{R/3} = \frac{\pi}{Z_R} \left(D_{tb} + \frac{d_R}{3} \right)$ là bước răng tính toán; D_{tb} là đường kính vòng tròn qua tâm của rãnh tròn.

Đối với rãnh hình quả lê (hình 3-6c và d):

$$h_{ZR} = h_{rR} - 0,1d_R \quad (5-12)$$

Mật độ từ thông ở răng rôto B_{ZR} không nên lớn hơn 2 Tesla.

Sức từ động gông stato:

$$F_{gS} = H_{gS} \frac{\pi(D_n - h_{gS})}{2p} \quad (5-13)$$

trong đó D_n là đường kính ngoài stato; h_{gS} là chiều cao gông stato.

Cường độ từ trường H_{gS} được xác định theo mật độ từ thông gông stato B_{gS} và tra ở đường cong từ hoá dùng cho gông:

$$B_{gS} = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2h_{gS}l_S k_c}, \text{ Tesla} \quad (5-14)$$

trong đó Φ là từ thông, Webe; l_S là chiều dài lõi sắt stato, cm;

Mật độ từ thông của gông stato trong động cơ điện công suất nhỏ hiện đại lấy trong khoảng $B_{gS} = 1,2 \dots 1,9$ Tesla. Số cực càng ít thì mật độ từ thông ở gông càng cao.

Do mật độ từ thông phân bố không đều nên đường từ hoá đã được hiệu chỉnh lại như ở Phụ lục 1-2.

Sức từ động gông rôto:

$$F_{gR} = H_{gR} \frac{\pi(d_1 + h_{gR})}{2p} \quad (5-15)$$

Cường độ từ trường H_{gR} được xác định theo B_{gR} :

$$B_{gR} = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2h_{gR} l_R k_c}, \text{ Tesla} \quad (5-16)$$

trong đó l_R là chiều dài lõi sắt rôto;

h_{gR} là chiều dài gông rôto:

$$h_{gR} = \frac{D - 2\delta - \frac{5}{6}d_t}{2} \cdot h_{ZR}, \text{ Tesla} \quad (5-17)$$

trong các công thức trên d_t là đường kính trục; h_{ZR} là chiều cao tính toán của răng rôto.

Mật độ từ thông gông rôto thường trong khoảng 1 đến 1,9 Tesla.

Cần chú ý rằng trong bảng đặc tính từ hóa $H = f(B)$ của thép kỹ thuật điện, người ta đã chia làm hai bảng tính riêng cho phần răng và phần gông.

Hệ số bão hòa răng:

$$k_Z = \frac{F_\delta + F_{ZS} + F_{ZR}}{F_\delta} \quad (5-18)$$

Hệ số bão hòa tính được $k_Z \leq 1,5$ là đạt yêu cầu.

Cần chú ý là đối với động cơ ít tiếng ồn, mật độ từ thông răng và gông stato và rôto không nên vượt quá các trị số sau: $B_Z \leq 1,3$ Tesla và $B_g \leq 1$ Tesla.

Theo tính toán mạch từ, thành phần phản kháng của dòng không tải (xem công thức 5-2 và 5-4) tính theo dòng từ hóa phải nhỏ hơn dòng định mức tính theo công thức 2-17 hay 2-18 (khoảng $I_{ox} = (0,6 \dots 0,8 I_{dm})$). Nếu $I_{ox} > I_{dm}$ thì phải giảm mật độ từ thông ở khe hở không khí B_δ . Có khi phải thay đổi kích thước vài đoạn mạch từ và tính lại mạch từ.

Điện kháng hồ cảm (còn gọi là từ hóa) bằng:

$$x_m = \frac{E_{dm}}{I_\mu} = \frac{k_E U_{dm}}{I_\mu} \quad (5-19)$$

hệ số k_E xác định như ở mục 2.3.

Điện kháng hồ cảm cũng có thể được xác định theo công thức:

$$x_m = 1,6m \frac{f}{100} \left(\frac{W_S k_{dS}}{100} \right)^2 \frac{\tau \cdot l}{100 k_\delta \delta \cdot k_\mu p} \quad (5-20)$$

Chương 6. TÍNH TOÁN TỔN HAO

Động cơ không đồng bộ công suất nhỏ cũng giống như máy điện thường, khi làm việc có các loại tổn hao sau:

- 1) Tổn hao sắt ở lõi sắt và rôto;
- 2) Tổn hao đồng trong dây quấn;
- 3) Tổn hao cơ;
- 4) Tổn hao phụ.

Phương pháp cơ bản để tính các tổn hao của động cơ nhỏ cũng không khác nhiều cách tính tổn hao của máy điện thường, điểm đặc biệt khi tính tổn hao của máy điện nhỏ là:

1) Khi tính tổn hao sắt phải xét đến từ trường thuận và nghịch trong máy điện một pha.

2) Công nghệ gia công và chất lượng lắp ráp các chi tiết máy điện nhỏ có ảnh hưởng rất lớn đến các tổn hao. Khi tính tổn hao, yếu tố công nghệ được xét bằng một hệ số gia công mà hệ số này thay đổi trong phạm vi khá lớn.

Do còn thiếu nhiều các số liệu kinh nghiệm liên quan đến tổn hao trong các máy điện nhỏ của các nước cho nên đến nay cách tính toán tổn hao cũng chưa được chính xác. Những công thức liên quan đến yếu tố công nghệ cần được nghiệm thêm.

6.1. Tổn hao sắt

Tổn hao sắt bao gồm tổn hao sắt trong phần răng và gông của stato và rôto:

$$P'_T = P'_{TS} + P'_{TR} = P'_{TgS} + P'_{TZS} + P'_{TgR} + P'_{TZR} \quad (6-1)$$

trong đó $P'_T = P'_{TgS} + P'_{TZS}$ là tổn hao sắt stato, W;

$P'_T = P'_{TgR} + P'_{TZR}$ là tổn hao sắt rôto, W.

Tổn hao sắt phụ thuộc vào mật độ từ thông và tần số mà hai đại lượng này lại liên quan đến điều kiện làm việc của máy điện.

Trước tiên phải xác định tổn hao tính toán theo mật độ từ thông và tần số đã cho. Lúc tính toán lấy k_E đã dùng ở trên và tần số nguồn điện f , còn mật độ từ thông thì theo tính toán mạch từ.

Tổn hao tính toán của gông stato và rôto:

$$P'_{Tg} = 1,6p_{1,0/50} B_g^2 G_g \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3}, \quad W \quad (6-2)$$

trong đó $p_{1,0/50}$ - suất tổn hao của thép, W/kg, tra theo bảng 6-1;

B_g - mật độ từ thông tính toán của gông stato hoặc rôto; Tesla;

f - tần số từ hóa xoay chiều;

G_g - trọng lượng tính toán phần gông, kg;

Trọng lượng gông stato tính theo công thức:

$$G_{gS} = 7,8\pi(D_n - h_{gS})h_{gS}l_S k_c \cdot 10^{-3}, \quad \text{kg} \quad (6-3)$$

Trọng lượng gông rôto tính theo công thức:

$$G_{gR} = 7,8\pi(d_i + h_{gR})h_{gR}l_R k_c \cdot 10^{-3}, \quad \text{kg} \quad (6-4)$$

trong đó D_n là đường kính ngoài stato;

h_{gS} , h_{gR} là chiều cao tính toán gông stato và rôto;

k_c là hệ số ép chặt lõi sắt;

l_s, l_R là chiều dài lõi sắt stato và rôto;

d_i là đường kính trong rôto, cũng là đường kính trục.

Bảng 6-1. Suất tổn hao thép kỹ thuật điện $p_{1,0/50}$ với biên độ mật độ từ thông $B = 1$ Tesla, tần số $f = 50$ Hz và chiều dày lá thép bằng 0,5 mm.

Ký hiệu thép silic	1211	1212	1213	2011	2013	2111	2211
Suất tổn hao $p_{1,0/50}$, W/kg	3,3	3,1	2,8	3,5	2,5	3,5	2,6

Tổn hao tính toán phần răng stato và rôto:

$$P_{tz} = 1,8p_{1,0/50} B_Z^2 G_Z \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} k_{gc}, \text{ W} \quad (6-5)$$

$p_{1,0/50}$ là suất tổn hao của thép tra theo bảng 6-1, W/kg;

B_Z là mật độ từ thông tính toán phần răng stato hay rôto, Tesla;

G_Z là trọng lượng tính toán phần răng:

$$G_Z = 7,8b_z h_z l k_c \cdot 10^{-3}, \text{ kg} \quad (6-6)$$

trong đó Z là số răng stato hay rôto;

b_z là chiều rộng tính toán của răng;

h_z là chiều cao tính toán của răng;

k_{gc} là hệ số gia công (xem bảng 6-2).

Bảng 6-2. Hệ số gia công k_{gc}

Cách gia công stato	Lá thép không cách điện, không ủ	Lá thép có cách điện nhưng không ủ	Lá thép có cách điện (oxy hoá) và có ủ
Không gia công	1,1	0,9	0,8
Mài	1,2	1,0	0,9
Tiện	1,5	1,2	1,1

Khi tính toán đặc tính làm việc của động cơ điện và tổn hao sắt ở mỗi điểm đều phải xét đến mật độ từ thông thực tế và tần số dòng điện rôto ($f_R = s.f$).

Tổn hao sắt thực tế trong stato và rôto động cơ điện một pha là tổng của tổn hao sắt do từ trường thuận P_{TS1} (P_{TR1}) và từ trường nghịch P_{TS2} (P_{TR2}) gây nên.

$$\text{Đối với stato: } P_{TS} = P_{TS1} + P_{TS2}. \quad (6-7)$$

$$\text{Đối với rôto: } P_{TR} = P_{TR1} + P_{TR2} \quad (6-8)$$

Ở bất cứ trạng thái làm việc nào, thành phần tổn hao sắt của từ trường thuận và nghịch của động cơ điện có thể tính theo quan hệ sau:

Tổn hao sắt stato do từ trường thuận gây nên:

$$P_{TS1} = P'_{TS} \left(\frac{E_1}{k_E U_{dm}} \right)^2 \quad (6-9)$$

trong đó P'_{TS} - tổn hao tính theo (6-2) và (6-6);

$E_1 = I_{A1} Z_{RA1}$ là sức điện động thứ tự thuận ở trạng thái quy định;

I_{A1} - dòng điện thứ tự thuận tính theo (7-1);

Z_{RA1} - tổng trở mạch điện thứ tự thuận tính theo (7-2).

Tổn hao sắt stato do từ trường nghịch sinh ra:

$$P_{TS2} = P'_{TS} \left(\frac{E_2}{k_E U_{dm}} \right)^2 \quad (6-10)$$

trong đó $E_2 = I_{A2} Z'_{RA2}$ là sức điện động thứ tự nghịch ở trạng thái quy định;

I_{A2} - dòng điện thứ tự nghịch theo (7-2);

Z'_{RA2} - tổng trở mạch điện thứ tự nghịch tính theo (7-8).

Tổn hao sắt rôto của từ trường thứ tự thuận:

$$P_{TR1} = P'_{TR} \left(\frac{E_1}{k_E U_{dm}} \right)^2 \cdot s^{1,3} \quad (6-11)$$

Tổn hao sắt rôto của từ trường thứ tự nghịch:

$$P_{TR2} = P'_{TR} \left(\frac{E_2}{k_E U_{dm}} \right)^2 \cdot (2-s)^{1,3} \quad (6-12)$$

trong đó P'_{TR} là tổn hao sắt tính toán của rôto tính theo công thức (6-2) đến (6-6); s là hệ số trượt ở trạng thái quy định; E_1 và E_2 là sức điện động thứ tự thuận và nghịch.

6.2. Tính toán ảnh hưởng của tổn hao sắt đến trị số của dòng điện stato

Có thể xét ảnh hưởng của tổn hao sắt đến đặc tính của động cơ điện bằng cách dùng dòng điện phụ do những tổn hao này gây nên. Dòng điện này sẽ được cộng thêm vào thành phần tác dụng của dòng điện stato. Căn cứ vào trị số của dòng điện có kể cả tổn hao sắt để tính ra tổn hao đồng stato và tổn hao trong phần tử khởi động, từ đó tính điện áp phần tử khởi động và quyết định $\cos\varphi$. Tất cả các trị số khác khi tính toán đều không xét đến tổn hao sắt.

Dòng điện phụ do tổn hao sắt gây nên với từ trường quay tròn bằng:

$$I'_{AT} = \frac{P_{TS}}{mE} \quad (6-13)$$

Dòng điện phụ do tổn hao sắt của từ trường thuận pha chính gây nên với từ trường elip:

$$I'_{A1T} = \frac{P_{TS1} + P_{TR1}}{E_1} \quad (6-14)$$

Dòng điện phụ do tổn hao sắt của từ trường thuận của pha phụ gây nên:

$$I'_{B1T} = \frac{I'_{A1T}}{k} \quad (6-15)$$

Dòng điện phụ do tổn hao sắt của từ trường nghịch của pha chính gây nên:

$$I'_{A2T} = \frac{P_{TS2} + P_{TR2}}{E_2} \quad (6-16)$$

Dòng điện phụ do tổn hao sắt của từ trường nghịch của pha phụ gây nên:

$$I'_{B2T} = \frac{I'_{A2T}}{k} \quad (6-17)$$

Dòng điện phụ do tổn hao sắt của từ trường chính gây nên khi từ trường đập mạch:

$$I'_{A1T} = \frac{P_{TS1} + P_{TR1}}{E_1} \quad (6-18)$$

Dòng điện phụ do tổn hao sắt của từ trường nghịch gây nên:

$$I'_{A2T} = \frac{P_{TS2} + P_{TR2}}{E_2} \quad (6-19)$$

6.3. Tổn hao cơ

Tính toán chính xác tổn hao cơ của động cơ nhỏ rất khó.

Trong chế tạo, khi tính loại tổn hao này thường dùng các số liệu rút ra theo kinh nghiệm, vì vậy công thức tính tổn hao cơ đều là những công thức kinh nghiệm. So với những động cơ thông thường, động cơ công suất nhỏ về số lượng còn quá ít để đúc kết thành số liệu giáo khoa. Vì vậy việc tính toán tổn hao cơ càng thêm khó khăn.

Với những động cơ không đồng bộ công suất lớn hơn 100 W, khi tính tổn hao cơ có thể dùng những công thức kinh nghiệm của máy điện cỡ vừa sẽ nêu sau đây.

Tổn hao cơ của máy điện thông gió hướng kính (không có rãnh thông gió hướng kính, ở đầu rôto có lắp cánh quạt):

$$P_{\text{cơ}} = k \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \cdot \left(\frac{D_n}{100} \right)^3 \quad (6-20)$$

trong đó D_n là đường kính stato, mm;

khi $2p = 2$, $k = 5$; khi $2p \geq 2$, $k = 6$.

Tổn hao cơ của máy điện thông gió hướng trục (quạt ly tâm):

$$P_{\text{cơ}} = 0,65 \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \cdot \left(\frac{D_n}{100} \right)^4 \quad (6-21)$$

Tổn hao cơ của máy điện làm nguội bằng quạt gió thổi ngoài (quạt ly tâm):

$$P_{\text{cơ}} = k \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \cdot \left(\frac{D_n}{100} \right)^4 \quad (6-22)$$

trong đó: khi $2p = 2$, $k = 1,3 \cdot \left(1 - \frac{D_n}{1000} \right)$;

khi $2p > 2$, $k = 1$ (với $D_n > 100$ mm).

Có thể ước tính tổn hao cơ như sau:

$$P_{c\sigma} = 0,1P_{dm} \quad \text{khi } P_{dm} \leq 60 \text{ W};$$

$$P_{c\sigma} = 0,05P_{dm} \quad \text{khi } P_{dm} > 60 \text{ W}.$$

6.4. Tổn hao điện

Tổn hao điện bao gồm tổn hao đồng trên dây quấn stato, rôto và tổn hao trong phần tử khởi động.

Tùy theo tính chất của từ trường trong máy điện (tròn, elip, đập mạch) mà sử dụng những công thức khác nhau để tính tổn hao điện. Động cơ điện dung và động cơ một pha có phần tử khởi động có từ trường elip khi khởi động. Động cơ ba pha và nói chung động cơ điện dung ở trạng thái định mức có từ trường quay tròn. Động cơ một pha có phần tử khởi động khi làm việc có từ trường đập mạch.

Trong trường hợp chung, tổn hao đồng trong stato của động cơ một pha trên stato có hai dây quấn với từ trường elip bằng:

$$P_D = I_{SA}^2 r_{SA} + I_{SB}^2 r_{SB} \quad (6-23)$$

trong đó I_{SA} và I_{SB} là dòng điện dây quấn chính và phụ có kể đến tổn hao sắt;

r_{SA} và r_{SB} là điện trở tác dụng của dây quấn chính và phụ.

Trong trường hợp đặc biệt, tổn hao điện của dây quấn stato bằng:

1) Khi từ trường quay tròn:

$$P_{DS} = mI_{SA}^2 r_{SA} \quad (6-24)$$

2) Khi từ trường đập mạch:

$$P_{DS} = I_{SA}^2 r_{SA} \quad (6-25)$$

Trong trường hợp chung, khi dòng điện thứ tự thuận và nghịch của từ trường elip không bằng nhau, tổn hao điện của dây quấn rôto bằng:

$$P_{DR} = 2(I_{RA1}^2 + I_{RA2}^2) r_{RA} \quad (6-26)$$

trong đó I_{RA1} và I_{RA2} là dòng điện thứ tự thuận và nghịch của rôto; r_{RA} là điện trở rôto.

Khi tính tổn hao dây quấn rôto, dùng dòng điện stato để tính sẽ thuận tiện hơn, vì vậy theo mạch điện thay thế ở hình 7-1 ta có:

$$\begin{aligned} I_{RA1}^2 r_{RA} &= I_{A1}^2 \cdot r'_{RA1} \cdot s \\ I_{RA2}^2 r_{RA} &= I_{A2}^2 \cdot r'_{RA2} \cdot (2-s) \end{aligned}$$

Cho nên tổn hao điện ở rôto bằng:

$$P_{DR} = 2I_{A1}^2 \cdot r'_{RA1} \cdot s + 2I_{A2}^2 \cdot r'_{RA2} \cdot (2-s) \quad (6-27)$$

trong đó I_{A1} và I_{A2} - dòng điện thứ tự thuận và nghịch của stato;

r'_{RA1} và r'_{RA2} - điện trở tác dụng của mạch điện thứ tự thuận và nghịch [xem (7-3) và (7-8)].

Tổn hao điện của dây quấn rôto khi từ trường quay tròn:

$$P_{DR} = m \cdot I_A^2 \cdot r_{RA} \cdot s \quad (6-28)$$

Khi từ trường đập mạch $I_{A1} = I_{A2} = I_A/2$ tổn hao trong dây quấn rôto bằng:

$$P_{DR} = 0,5 I_A^2 [r'_{RA1} \cdot s + r'_{RA2} \cdot (2-s)] \quad (6-29)$$

Tổn hao trên điện trở khởi động:

$$P_r = I_{SB}^2 \cdot r_K \quad (6-30)$$

trong đó r_K là điện trở khởi động.

Tổn hao trên điện dung:

$$P_c = I_{SB}^2 \cdot r_c \quad (6-31)$$

trong đó r_c là điện trở tương đương do tổn hao điện môi của tụ điện.

6.5. Tổn hao phụ

Tổn hao phụ của động cơ không đồng bộ công suất nhỏ rất khó xác định chính xác. Để tính toán gần đúng tổn hao này có thể dùng những công thức của máy điện thường:

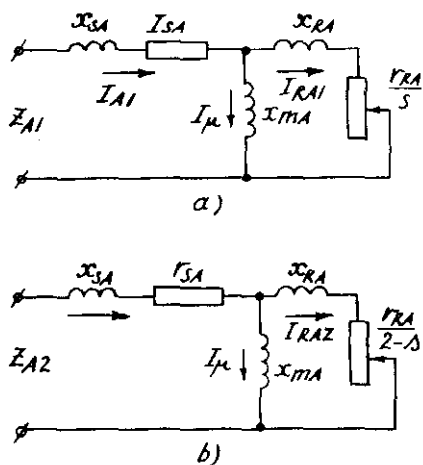
$$P_p = 0,005 \frac{P_{dm}}{\eta} \quad (6-32)$$

trong đó η là hiệu suất của động cơ.

Chương 7. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ CỦA PHA CHÍNH

Tính toán đặc tính động cơ không đồng bộ một pha công suất nhỏ dựa vào phương pháp thành phần đối xứng của hệ thống hai pha.

Theo phương pháp này, với động cơ một pha người ta sử dụng mạch điện thay thế như ở hình 7-1 và 7-2.



Hình 7-1. Mạch điện thay thế pha chính.
a) với dòng thứ tự thuận; b) với dòng thứ tự nghịch.

Mạch điện thay thế pha chính (hình 7-1) do hai mạch điện độc lập ứng với hai dòng điện thứ tự thuận và nghịch hợp lại.

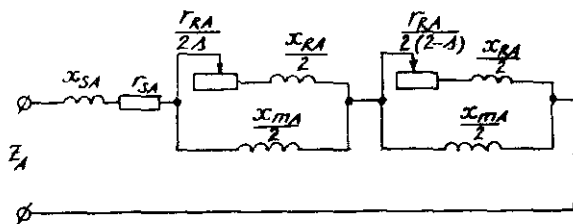
Mạch điện trong hình 7-1 có thể dùng cho động cơ một pha có phần tử khởi động cũng như cho động cơ điện dung.

Mạch điện thay thế ở hình 7-2 dùng cho động cơ điện một pha mà dây quấn phụ đã bị cắt ra. Đó là hai mạch điện nối lại mà tham số ứng với từ trường thuận và nghịch được chia đôi, vì lúc đó dòng điện chung I_A gấp đôi dòng điện thứ tự thuận và nghịch (hai dòng điện bằng nhau).

Đối với động cơ điện ba pha chỉ dùng mạch điện thay thế của dòng điện thuận. Trong mạch điện thay thế đang thảo luận (hình 7-1 và 7-2), ta có $Z_{SA} = r_{SA} + jx_{SA}$ là tổng trở dây quấn stato; r_{SA} là điện trở tác dụng tính theo (4-1); x_{SA} là điện kháng tính theo công thức (4-4).

Mạch nhánh từ hóa trong mạch điện thay thế chỉ bao gồm điện kháng từ hóa. Điện kháng này tính theo công thức (5-26).

Tổn hao sắt tính theo dòng điện phụ (xem mục 6.2) .



Hình 7-2. Mạch điện thay thế pha chính (khi đã cắt dây quấn khởi động).

Mạch điện rôto bao gồm điện kháng tản của rôto x_{RA} và điện trở tác dụng của rôto tương ứng với dòng điện thứ tự thuận và nghịch $\frac{r_{RA}}{s}$ và $\frac{r_{RA}}{2-s}$, (s là hệ số trượt). Điện trở r_{RA} và điện kháng x_{RA} tính theo các công thức (4-20) đến (4-31).

Trở kháng x_{mA} , x_{RA} , r_{RA} đã quy đổi vào dây quấn pha chính A.

Tổng trở thứ tự thuận của pha A (xem hình 7-1) bằng:

$$Z_{A1} = Z_{SA} + Z'_{RA1} = r_{A1} + jx_{A1} \quad (7-1)$$

trong đó bao gồm tổng trở dây quấn stato Z_{SA} và tổng trở mạch phân nhánh, tức là tổng trở của mạch điện do mạch từ hóa và mạch rôto ghép song song với nhau.

Tổng trở mạch phân nhánh từ trường thuận:

$$Z'_{RA1} = r'_{RA1} + jx'_{RA1} \quad (7-2)$$

trong đó điện trở tác dụng của mạch điện phân nhánh:

$$r'_{RA1} = \frac{x_{mA}^2 \frac{r_{RA}}{s}}{\left(\frac{r_{RA}}{s}\right)^2 + (x_{mA} + x_{RA})^2} \quad (7-3)$$

Điện kháng mạch điện phân nhánh:

$$x'_{RA1} = \frac{x_{mA} \left(\frac{r_{RA}}{s}\right)^2 + x_{mA} \cdot x_{RA} (x_{mA} + x_{RA})}{\left(\frac{r_{RA}}{s}\right)^2 + (x_{mA} + x_{RA})^2} \quad (7-4)$$

Để đơn giản tính toán, có thể dẫn ra các tham số α , β và đổi công thức (7-3), (7-4) thành:

$$r'_{RA1} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{mA} s}{\alpha^2 + \beta^2} \quad (7-5)$$

$$x'_{RA1} = \frac{\frac{r_{RA}}{\alpha} \alpha + s^2}{\alpha^2 + \beta^2} \cdot \beta \cdot x_{RA} \quad (7-6)$$

trong đó $\alpha = \frac{r_{RA}}{x_{mA} + x_{RA}}$; $\beta = \frac{x_{mA}}{x_{mA} + x_{RA}}$

Tổng trở thứ tự nghịch của pha A:

$$Z_{A2} = Z_{SA} + Z'_{RA2} = r_{A2} + jx_{A2} \quad (7-7)$$

trong đó tổng trở mạch phân nhánh từ trường nghịch:

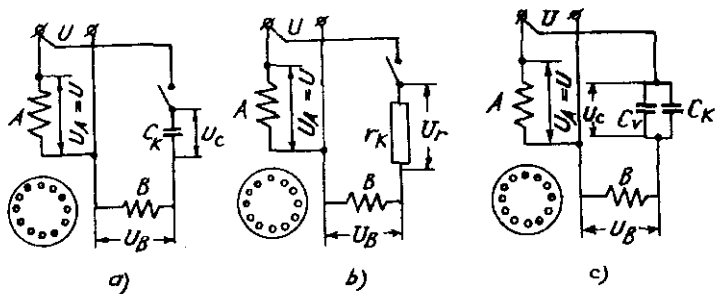
$$Z'_{RA2} = r'_{RA2} + jx_{RA2}$$

Điện trở tác dụng của mạch phân nhánh từ trường nghịch r'_{RA2} và điện kháng x'_{RA2} tính theo các công thức (7-3) đến (7-6) nhưng trong những công thức ấy thay hệ số trượt s bằng $(2 - s)$.

Chương 8. TÍNH TOÁN PHA PHỤ

8.1. Đại cương

Tham số của pha phụ động cơ không đồng bộ công suất nhỏ một pha quyết định đặc tính khởi động của động cơ và đối với động cơ điện dung còn quyết định cả tính năng làm việc.



Hình 8-1. Sơ đồ nguyên lý của động cơ điện một pha.

- a) dùng điện dung khởi động; b) dùng điện trở khởi động;
 c) dùng điện dung để khởi động và làm việc.

Nội dung tính toán pha phụ là xác định tham số của pha phụ và chọn phần tử phụ (điện trở, điện dung).

Trong động cơ một pha có phần tử khởi động ngắt ra (hình 8-1a và b), phần tử phụ chỉ dùng cho mục đích khởi động, nhưng phần tử phụ cũng có thể dùng để cải thiện đặc tính làm việc như ở động cơ điện dung (hình 8-1c).

Tính toán pha phụ đối với tất cả các động cơ một pha là tính toán những số liệu sau:

1) Tỷ số biến áp của số vòng dây tác dụng của dây quấn phụ và chính:

$$k = \frac{k_{dB} W_B}{k_{dA} W_A} \quad (8-1)$$

trong đó W_A , W_B là số vòng dây quấn chính và phụ; k_{dA} , k_{dB} là hệ số dây quấn.

2) Trị số của phần tử phụ lý tưởng nhất:

a) Đối với động cơ điện dung: điện dung C_v của tụ điện làm việc (hoặc điện dung C_v với điện trở phụ).

b) Với động cơ điện khởi động bằng điện dung hay động cơ điện khởi động và làm việc bằng điện dung: điện dung C_k của tụ điện khởi động.

c) Với động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở - điện trở khởi động r_k ,

Khi biết tỷ số biến áp có thể tìm ra điện trở tác dụng và điện kháng của pha phụ, số vòng dây mỗi pha, tiết diện dây dẫn và trị số của dòng điện.

Chọn chính xác tỷ số biến áp và điện dung của tụ điện làm việc có thể đảm bảo trạng thái làm việc của động cơ điện dung lý tưởng nhất, tức là trạng thái định mức hay ở tải đã cho (cho biết hệ số trượt) tạo được một từ trường quay tròn.

Đối với động cơ một pha khởi động ngắt rời ra, việc chọn hợp lý tỷ số biến áp và phần tử khởi động có thể đảm bảo đặc tính khởi động cần thiết. Khi tính toán pha phụ động cơ một pha, tham số của pha chính r_{SA} , x_{SA} , r_{RA} , x_{RA} , x_{mA} có thể coi như đã biết (xem chương 4). Những tham số này khi tính toán pha phụ lần cuối cùng sẽ được điều chỉnh lại.

8.2. Trở kháng của dây quấn phụ

Điện trở tác dụng r_{SB} và điện kháng x_{SB} của dây quấn phụ có thể biểu thị thông qua trở kháng dây quấn chính và một hệ số quy đổi. Trong động cơ điện một pha đối xứng (như động cơ điện điện dung), số rãnh mỗi pha, sự phân bố dây quấn các pha, dạng và kích thước rãnh đều như nhau.

Lúc đó do từ dẫn của từ tản λ_A và λ_B bằng nhau nên điện kháng tản dây quấn stato tỷ lệ với bình phương của số vòng dây và ta có:

$$\frac{x_{SB}}{x_{SA}} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A} \left(\frac{W_B}{W_A} \right)^2 \quad (8-2)$$

như vậy điện kháng dây quấn phụ:

$$x_{SB} = k^2 x_{SA} \quad (8-3)$$

Trong máy điện đối xứng, nếu tổng tiết diện dây đồng trong rãnh như nhau, tức là tiết diện dây dẫn của dây quấn tỷ lệ với số vòng dây, thì điện trở tác dụng của pha phụ được xác định thông qua điện trở pha chính và bình phương của tỷ số biến áp:

$$r_{SB} = \rho \frac{l_w W_B}{S_B} = \rho \frac{l_w W_B k}{S_A} = \rho k^2 \frac{l_w W_A}{S_A} = k^2 r_{SA} \quad (8-4)$$

trong đó l_w là chiều dài bình quân một vòng dây.

Tiết diện dây dẫn của dây quấn B và A có thể không chênh nhau k lần mà là t lần. Trong trường hợp đó điện trở tác dụng của pha B là:

$$r_{SB} = \rho \frac{l_w W_A k}{S_A / t} = k \cdot t \cdot r_{SA} \quad (8-5)$$

Trong trường hợp chung số rãnh dành cho dây quấn chính và phụ có thể không bằng nhau, tức là $Q_A = a \cdot Q_B$.

Ví dụ trong động cơ có phân tử khởi động, tỷ số $Q_A/Q_B = 2$. Trong trường hợp này từ dẫn các pha tỷ lệ nghịch với số rãnh dành cho pha đó:

$$\frac{\lambda_B}{\lambda_A} = \frac{Q_A}{Q_B}$$

Như vậy điện kháng tản pha B bằng:

$$x_{SB} = k^2 a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 x_{SA} \quad (8-6)$$

Có thể coi tỷ số tiết diện dây dẫn của các dây quấn bằng:

$$S_A : S_B = \frac{S'_r Z_A}{W_A} : \frac{S'_r Z_B}{W_B} = \frac{S'_r Q_A 2p}{W_A} : \frac{S'_r Q_B 2p}{W_B} = \frac{k_{dA}}{k_{dB}} k \cdot a$$

trong đó S'_A là tiết diện rãnh không kể cách điện; Z_A và Z_B là số rãnh dành cho dây quấn pha A và B.

Trong trường hợp này điện trở tác dụng pha B bằng:

$$r_{SB} = \frac{l_w W_A}{S_B k_{dS}} = \frac{l_w W_A k}{\frac{S_A}{k_A} \cdot \frac{k_{dB}^2}{k_{dA}^2}} = k^2 a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 r_{SA} \quad (8-7)$$

Do ở dây quấn phụ của động cơ điện có phân tử khởi động C_K và r_K , mật độ dòng điện cho phép tương đối lớn nên tiết diện dây dẫn dây quấn phụ thường chọn nhỏ hơn tiết diện dây dẫn dây quấn chính.

Khi $Q_A = a \cdot Q_B$, tiết diện dây dẫn pha B sẽ sai lệch

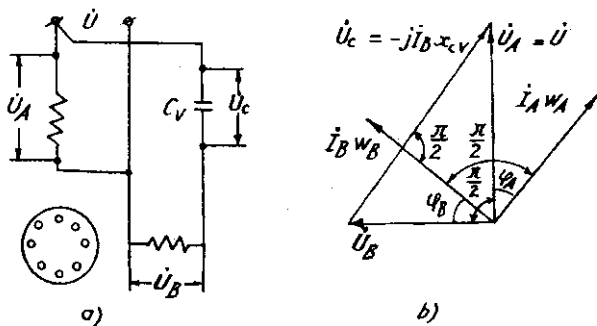
t.a. $\frac{k_{dA}}{k_{dB}}$ lần, nên điện trở tác dụng dây quấn phụ bằng:

$$r_{SB} \equiv k.t.a. \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 r_{SA} \quad (8-8)$$

8.3. Tính toán tỷ số biến đổi và phân tử dịch pha của động cơ điện dung

Do hai dây quấn của động cơ điện dung đều tham gia quá trình khởi động và làm việc nên đây là loại động cơ điện một pha lợi dụng triệt để các dây quấn nhất.

Điện dung nối vào dây quấn phụ của stato có thể làm giảm tiếng ồn của động cơ điện.



Hình 8-2. Động cơ điện dung có điện dung làm việc.
a) sơ đồ nguyên lý; b) đồ thị vectơ khi từ trường quay tròn.

Động cơ điện dung gồm các loại:

- Động cơ có một điện dung làm việc C_V (hình 8-2a);
- Động cơ có điện dung làm việc C_V và điện dung khởi động C_K .

Nếu điều kiện sử dụng động cơ không đòi hỏi có mômen khởi động lớn thì có thể dùng động cơ điện dung có điện dung làm việc mà không cần thêm thiết bị khởi động để cắt điện dung khởi động.

Tỷ số biến áp của động cơ điện dung được xác định theo điều kiện tạo ra một từ trường quay tròn khi tải định mức (thường cho sẵn).

Trong trường hợp chung, dây quấn động cơ điện dung trong không gian có thể xê dịch bất cứ góc độ nào và có thể lợi dụng việc thêm tụ điện hoặc tụ điện với điện trở tác dụng vào dây quấn phụ để đạt được từ trường quay tròn. Trường hợp phổ biến nhất là dây quấn đặt lệch 90° trong không gian, đồng thời dùng tụ điện làm phần tử dịch pha. Trường hợp này sẽ được nghiên cứu kỹ thêm. Đối với những trường hợp khác như: 1) dây quấn xê dịch một góc tùy ý trong không gian, dùng tụ điện làm phần tử dịch pha và 2) dây quấn xê dịch một góc 90° trong không gian, dùng tụ điện và điện trở phụ làm phần tử dịch pha thì dưới đây chỉ dẫn ra những công thức mà không chứng minh.

Đối với động cơ dây quấn xê dịch 90° trong không gian. điều kiện để đạt được từ trường quay tròn là:

$$jI_A k_{dA} W_A = I_B k_{dB} W_B \quad (8-9)$$

$$jU_A = U_B \frac{k_{dA} W_A}{k_{dB} W_B} \quad (8-10)$$

Có thể dùng đồ thị vectơ ở hình 8-2b để thuyết minh điều kiện đạt được từ trường quay tròn. Công thức (8-9) chỉ rõ, sức từ động hai pha phải bằng nhau về trị số và lệch nhau 90° về thời gian. Từ công thức (8-10) thấy rằng trị số điện áp quy đổi của một pha và pha kia phải bằng nhau và lệch

nhau 90° về thời gian.

Nếu làm cho dòng điện thứ tự nghịch của động cơ điện một pha bằng không:

$$I_{A2} = U_A \frac{Z_{B1} + jk.Z_{A1}}{Z_{A1}Z_{B2} + Z_{A2}Z_{B1}} = 0$$

thì ta được: $Z_{B1} + jk.Z_{A1} = 0$ (8-11)

trong đó:

$$Z_{B1} = k^2 Z_{A1} + Z_c = (k^2 r_{A1} + r_c) + j(k^2 x_{A1} - x_c)$$

r_c và x_c là điện trở và điện kháng của tụ điện.

Thế Z_{B1} vào công thức (8-11) được:

$$k^2 Z_{A1} + Z_c + jk.Z_{A1} = (k^2 r_{A1} + r_c - k.x_{A1}) + j(k^2 x_{A1} - x_c + k.r_{A1}) = 0 \quad (8-12)$$

Nếu số rãnh dành cho pha chính và phụ như nhau và hệ số lấp đầy rãnh bằng nhau (căn cứ vào tình hình thực tế của động cơ điện dung) thì công thức này là chính xác.

Viết công thức (8-12) thành phần thực và phần ảo ta được:

$$k^2 r_{A1} + r_c - k.x_{A1} = 0 \quad (8-13)$$

$$k^2 x_{A1} - x_c + k.r_{A1} = 0 \quad (8-14)$$

Căn cứ vào công thức (8-13) tính ra tỷ số biến áp của động cơ điện dung:

$$k = \frac{x_{A1} + \sqrt{x_{A1}^2 - 4r_{A1}r_c}}{2r_{A1}} \quad (8-15)$$

trong đó r_{A1} và x_{A1} là điện trở tác dụng và điện kháng của mạch điện đẳng trị thứ tự thuận của pha chính khi $s = s_{dm}$, (hay bất kỳ một s nào cho trước).

Điện trở tác dụng của tụ điện nên định trước. Sau khi tính toán, tụ điện làm việc sẽ được hiệu chỉnh lại theo mục lục sản phẩm. Khi trị số r_c theo mục lục sản phẩm và trị số định trước khác nhau quá xa ta phải tính lại. Nếu lấy $r_c = 0$ thì công thức (8-15) có thể đơn giản đi rất nhiều:

$$k = \frac{x_{A1}}{r_{A1}} = \operatorname{tg} \varphi_A \quad (8-16)$$

trong đó φ_A là góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp pha chính.

Trong điều kiện từ trường quay tròn, điện kháng của tụ điện làm việc có thể tính theo công thức:

$$x_{cv} = k^2 x_{A1} + k \cdot r_{A1} = (k^2 + 1) \cdot x_{A1}, \Omega \quad (8-17)$$

Từ công thức (8-17) thấy rằng, khi từ trường quay tròn, điện kháng của tụ điện phải bằng tổng điện kháng của hai dây quấn:

$$x_{cv} = k^2 x_{A1} + x_{A1} = x_{B1} + x_{A1}, \Omega \quad (8-18)$$

Điện dung của tụ điện làm việc:

$$C_v = \frac{10^8}{2\pi f \cdot x_{cv}}; \mu\text{F}$$

trong đó x_{cv} là điện kháng của tụ điện, Ω .

Điện dung của tụ điện tính ra phải được chọn lại theo trị số gần nhất của tụ trong mục lục sản phẩm và từ đó xác định điện trở tác dụng của tụ điện.

Nếu số rãnh dành cho pha chính và pha phụ bằng nhau nhưng tỷ số tiết diện dây đồng của pha chính và phụ $S_A/S_B \neq k$ thì tỷ số biến áp (khi $r_c \approx 0$) có thể tính theo công thức gần giống như công thức (8-13) như sau:

$$k = \frac{x_{A1} - t.r_{SA}}{r'_{RA1}} \quad (8-19)$$

trong đó $t = S_A/S_B$ là tỷ số tiết diện dây dẫn dây quấn chính và phụ.

Trong trường hợp này điện kháng của tụ điện được tính theo công thức (8-17), còn tỷ số biến áp thì tính theo công thức (8-19).

Trường hợp thông thường nhất, nếu số rãnh pha chính và phụ không giống nhau thì tỷ số biến áp (khi $r_c \approx 0$) bằng:

$$k = \frac{x_{A1} - t.a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 r_{SA}}{r'_{RA1}} \quad (8-20)$$

trong đó:

$$a = \frac{Q_A}{Q_B}; \quad \frac{S_A}{S_B} = t.a \frac{k_{dA}}{k_{dB}}$$

lúc đó điện kháng của tụ điện bằng:

$$x_{cv} = k^2(a.x_{SA} + x'_{RA1}) + k.r_{A1} \quad (8-21)$$

trong đó tỷ số biến áp được tính theo (8-20).

Khi sử dụng công thức (8-15), (8-20) để chọn chính xác tỷ số biến áp thì việc dùng tụ điện để được từ trường quay tròn không hẳn là kinh tế nhất.

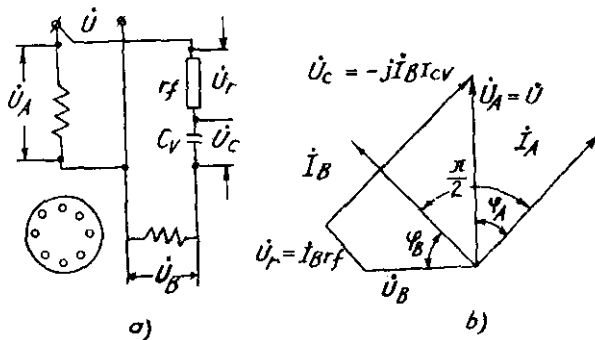
Qua phân tích thấy rằng góc $\varphi_B = 45^\circ$ tương đối tốt, vì khi $\cos\varphi_B$ quá nhỏ thì số vòng dây dây quấn phụ sẽ tăng lên nhiều làm cho điện áp trên dây quấn và trên tụ điện tăng lên; nếu $\cos\varphi_B$ lớn thì số vòng dây giảm, trị số điện dung tăng lên. Nếu số vòng dây dây quấn phụ tăng lên thì có lợi khi vận hành liên tục (động cơ điện dung) nhưng

không có lợi khi khởi động. Giảm số vòng dây quấn phụ xuống thì mômen cực đại sẽ tăng lên chút ít.

Nếu điều kiện làm việc yêu cầu đạt từ trường quay tròn (ví dụ động cơ điện ghi âm yêu cầu quay đều và không rung) thì có thể dùng phương pháp điện dung thêm điện trở phụ.

Khi dùng điện dung và điện trở phụ để tạo ra từ trường quay tròn (hình 8-3) ta có thể căn cứ vào công thức (8-13) và (8-14) tìm ra tỷ số biến áp, điện dung và điện trở phụ, lúc đó trong công thức (8-13) phải thêm tham số điện trở phụ r_f :

$$k^2 r_{A1} - k \cdot X_{A1} + r_c + r_f = 0 \quad (8-22)$$



Hình 8-3. Động cơ điện điện dung có điện dung làm việc và điện trở phụ.

a) sơ đồ nguyên lý; b) đồ thị vectơ khi từ trường quay tròn.

Nếu dây quấn hai pha lệch nhau trong không gian một góc bất kỳ θ_1 và trong pha phụ có nối điện dung làm việc (hình 8-4) thì để tạo ra từ trường quay tròn, sức từ động của hai dây quấn phải bằng nhau về trị số, còn về thời gian

lệch pha nhau một góc $\varphi = 180^\circ - \theta$. Lúc đó tỷ số biến áp bằng:

$$k = \frac{\cos(\theta + \varphi_A)}{\cos \varphi_A} \quad (8-23)$$

Điện kháng của tụ điện:

$$x_{cv} = -k^2 r_{A1} \operatorname{tg}(\theta + \varphi_A) + k^2 x_{A1} \quad (8-24)$$

trong đó
$$\operatorname{tg} \varphi_A = \frac{x_{A1}}{r_{A1}}$$

Với động cơ điện dung có điện dung khởi động và làm việc, cách tính điện dung khởi động xem ở mục sau.

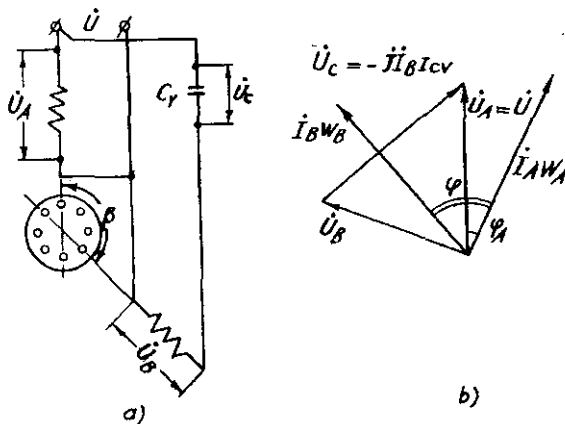
8.4. Chọn tỷ số biến áp của động cơ điện một pha và tính phân tử khởi động

Trong động cơ một pha có phân tử khởi động (động cơ điện có dây quấn khởi động bị cắt ra ở hình 8-1a và b), tỷ số biến áp k và trị số của phân tử khởi động (điện dung c_K hoặc điện trở r_K) phải trước hết thỏa mãn điều kiện đã cho (khi $s = 1$); đạt được mômen khởi động lớn nhất $M_{K,\max}$ hệ số phẩm chất cao nhất $(M_K/I_K)_{\max}$, bội số mômen khởi động đã cho $m_K = M_K/M_{dm}$, bội số dòng điện khởi động đã cho $i_K = I_K/I_{dm}$

Khi mômen cực đại nhỏ hơn mômen khởi động, có thể đạt được hệ số phẩm chất lớn nhất và lúc đó dòng điện khởi động sẽ giảm đi rõ rệt.

Hai điều kiện đạt được mômen khởi động lớn nhất và dòng điện khởi động nhỏ nhất thường mâu thuẫn nhau. Nên xác định đặc tính khởi động của động cơ điện theo chỉ tiêu khởi động nào quan trọng nhất.

Trên thực tế, thường yêu cầu đạt mômen khởi động càng lớn càng tốt với dòng điện khởi động không lớn lắm.



Hình 8-4. Động cơ điện dung có dây quấn lệch nhau một góc bất kỳ trong không gian.

a) sơ đồ nguyên lý; b) đồ thị vectơ khi từ trường quay tròn.

Muốn thiết kế hợp lý pha phụ phải chú ý hai điểm sau:

1) Với dòng điện khởi động đã cho phải đạt được mômen khởi động lớn nhất.

2) Với dòng điện khởi động đã cho phải đạt được hệ số phẩm chất lớn nhất, tức là có tỷ số M_K/I_K lớn nhất.

Mômen khởi động động cơ một pha bằng:

$$M_K = \frac{97,4}{n_{db}} \cdot 2(I_{A1K}^2 - I_{A2K}^2)r'_{RAK} \quad (8-25)$$

trong đó I_{A1K} và I_{A2K} là dòng điện thứ tự thuận và nghịch khi khởi động;

r'_{RAK} là điện trở mạch chính của pha A khi khởi động ($s = 1$);

n_{db} là tốc độ đồng bộ.

Công thức trên có thể chuyển thành hàm số của các tham số trong mạch điện thay thế:

$$\begin{aligned} M_K &= \frac{97,4 \cdot 2k \cdot U_A^2 r_{\text{RAK}}}{n_{\text{db}} (r_{\text{AK}}^2 + x_{\text{AK}}^2)} \cdot \frac{r'_{\text{BK}} x_{\text{AK}} - x'_{\text{BK}} r_{\text{AK}}}{r_{\text{AK}}'^2 + x_{\text{BK}}'^2} = \\ &= \frac{2A(r'_{\text{BK}} x_{\text{AK}} - x'_{\text{BK}} r_{\text{AK}})}{r_{\text{BK}}'^2 + x_{\text{BK}}'^2} \end{aligned} \quad (8-26)$$

trong đó $A = \frac{97,4 k \cdot U_A^2 r'_{\text{RAK}}}{n_{\text{db}} (r_{\text{AK}}^2 + x_{\text{AK}}^2)}$ và $U_A = U$.

- Dòng điện khởi động khi đặt các tham số mạch điện thay thế pha chính và phụ thành quan hệ hàm số:

$$i_K = I_{\text{AK}} \sqrt{\frac{(r_{\text{AK}} + r'_{\text{BK}})^2 + (x_{\text{AK}} + x'_{\text{BK}})^2}{r_{\text{BK}}'^2 + x_{\text{BK}}'^2}} \quad (8-27)$$

trong đó $I_{\text{AK}} = \frac{U}{\sqrt{r_{\text{AK}}^2 + x_{\text{AK}}^2}}$ là dòng điện khởi động pha A.

Trong công thức (8-26) và (8-27), r'_{BK} và x'_{BK} là điện trở tác dụng và điện kháng của pha phụ đã bao hàm trở kháng của phần tử khởi động r_K và x_K .

Đối với động cơ có nối tụ điện trong pha phụ, điện kháng x'_{BK} có trị số âm nên thế vào công thức trên phải có dấu trừ.

Trong những công thức trên các tham số có chỉ số AK ở phía dưới là tham số của mạch điện thay thế của pha chính khi khởi động ($s = 1$) (xem chương 7).

$$r_{A1} = r_{A2} = r_{AK};$$

$$r_{A1} = r_{A2} = r_{AK};$$

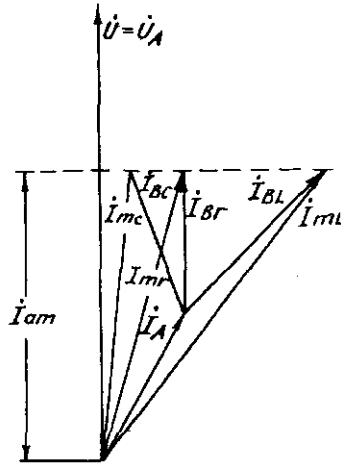
$$r'_{RA1} = r'_{RA2} = r'_{RAK}.$$

Hình 8-5 là đồ thị vectơ thể hiện quan hệ giữa dòng khởi động với đặc tính của phần tử khởi động. Đối với động cơ một pha, khi mômen khởi động đã cho M_K tỷ lệ thuận với I_{AK} và bằng hằng số thì dùng điện dung làm phần tử khởi động sẽ được dòng khởi động nhỏ. Nếu dùng điện cảm làm phần tử dịch pha thì dòng điện khởi động sẽ lớn nhất. Vì vậy để đạt được mục đích trên nói chung không dùng điện cảm.

Để tiết kiệm dây đồng, mật độ dòng điện cho phép của dây quấn phụ có thể lớn hơn dây quấn chính 2 đến 3 lần, có khi đến 5 lần. Lúc đó tỷ số tiết diện dây dẫn của dây quấn chính và phụ không phải là $k.a \frac{k_{dA}}{k_{dB}}$ mà là

$$t.a \frac{k_{dA}}{k_{dB}}, \text{ trong đó } t > k.$$

Tăng mật độ dòng điện có thể chế tạo dây quấn dễ dàng hơn và hạ giá thành vì dù trị số của k tương đối lớn, hệ số lấp đầy rãnh cũng sẽ không tăng lên.



Hình 8-5. Dòng điện khởi động của động cơ một pha có phần tử khởi động khác nhau (điện cảm L_K , điện trở r_K và điện dung C_K) khi mômen khởi động không đổi ($M_K \equiv I_{AK}$)

Trị số của t có thể chọn bằng $(1,2 \dots 1,5)k$. Đối với động cơ có số lần khởi động không nhiều có thể chọn đến $1,8k$.

Trong trường hợp chung (xem mục 8.2) nếu số rãnh dây quấn chính và phụ không bằng nhau ($Q_A \neq Q_B$), đồng thời tỷ số tiết diện dây dẫn của dây quấn $\frac{S_A}{S_B} = t.a. \frac{k_{dA}}{k_{dB}}$, thì khi

khởi động trở kháng của pha phụ có thể biểu thị bằng trở kháng của pha chính.

Điện trở tác dụng:

$$r'_{BK} = k.t.a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 r_{SA} + k^2 r'_{RAK} + r_f = r_{BK} + r_f \quad (8-28)$$

trong đó r_f là điện trở pha phụ hay điện trở tác dụng của tụ điện r_c :

$$a = \frac{Q_A}{Q_B}$$

r_{BK} - điện trở tác dụng của pha phụ lúc khởi động.

Điện kháng:

$$x'_{BK} = k^2 a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 x_{SA} - k^2 x_{RAK} - x_c = x_{BK} - x_c \quad (8-29)$$

trong đó x_c là điện kháng của tụ điện (chỉ dùng cho động cơ điện có điện dung trong pha phụ); x_{BK} - điện kháng pha phụ lúc khởi động.

Đối với những trường hợp đặc biệt, khi $t = k$ và $a = 1$ công thức (8-24) và (8-28) có thể đơn giản hóa như sau:

$$r'_{BK} = k^2 r_{SA} + k^2 r'_{RAK} + r_f = k^2 r_{AK} + r_f = r_{BK} + r_f \quad (8-30)$$

$$x'_{BK} = k^2 x_{SA} + k^2 x_{RAK} - x_c = k^2 x_{AK} - x_c = x_{BK} - x_c \quad (8-31)$$

Đối với động cơ khởi động bằng điện trở hay điện dung, trong những điều kiện khởi động khác nhau, có thể dùng công thức (8-26) và (8-27) để dẫn ra công thức tính phần tử khởi động.

Để tìm ra trị số của phần tử khởi động bảo đảm mômen cực đại, phải vi phân x'_{BK} hay r'_{BK} trong công thức (8-26) và lấy đạo hàm bằng 0.

Công thức dùng để tính trị số của phần tử khởi động bảo đảm hệ số phẩm chất lớn nhất có thể dẫn ra từ đồ thị vòng tròn của dòng khởi động của động cơ điện một pha.

Sau khi đã cho bội số dòng điện khởi động và mômen khởi động, trị số của phần tử khởi động có thể tính theo công thức (8-26) và (8-27).

Lúc khởi động, khi tính tham số pha phụ phải xét đến loại động cơ điện. Mômen khởi động cực đại có thể tính theo (8-26), tức là dùng các tham số pha phụ thỏa mãn điều kiện M_{Kmax} (bảng 8-1) thế vào công thức chung về mômen khởi động để tính.

Lúc đó mômen khởi động bằng:

$$M_{Kmax} = A \frac{\sqrt{r_{AK}^2 + x_{AK}^2} + x_{AK}}{r'_{BK}} = A \frac{Z_{AK} + x_{AK}}{r'_{BK}} \quad (8-32)$$

Nếu lấy điều kiện đạt hệ số phẩm chất lớn nhất hay dòng điện khởi động đã cho sẵn thì có thể tính mômen khởi động theo công thức chung (8-26).

Dòng điện khởi động trong tất cả các điều kiện khởi động (ngoài trường hợp dòng điện khởi động đã cho sẵn) có thể tính theo (8-27).

Trong điều kiện khởi động đã cho, điện kháng của tụ điện được xác định theo điện kháng x'_{BK} của pha phụ (bảng 8-1).

$$x_{CA} = x'_{BK} + |x_{BK}| \quad (8-33)$$

trong đó x_{BK} là điện kháng pha phụ không có phần tử khởi động.

Điện dung của phần tử khởi động:

$$C_K = \frac{10^6}{2\pi f \cdot x_{CK}} \quad , \quad \mu F$$

trong đó x_{CK} là điện kháng của tụ điện khởi động.

$$\text{Điện áp trên tụ điện:} \quad U_C = I_B Z_{CK} \quad (8-34)$$

trong đó Z_{CK} là tổng trở trên tụ điện.

Việc chọn tỷ số biến áp của động cơ khởi động bằng điện dung không phải là một công việc riêng biệt vì điện dung, điện áp trên tụ điện, hệ số lấp đầy rãnh và một loạt các trị số khác đều phụ thuộc vào trị số của tỷ số biến áp.

Cần chỉ ra rằng, đối với động cơ một pha khởi động bằng điện dung, nếu yêu cầu đạt được mômen khởi động cực đại thì tỷ số biến áp có thể tính trước theo (8-18) và (8-20). Đối với động cơ điện dung thì xác định theo điều kiện từ trường quay tròn ở trạng thái định mức.

Để đạt được mômen khởi động đã cho sẵn (tất nhiên mômen này nhỏ hơn mômen cực đại) thì tỷ số biến áp k phải lớn hơn động cơ điện dung, như vậy có thể giảm bớt điện dung cần thiết nhưng phải chú ý rằng hệ số lấp đầy rãnh cho phép sẽ hạn chế việc tăng k lên.

Nếu đã cho bội số dòng điện khởi động, khi tính pha phụ động cơ khởi động bằng điện dung với điều kiện đạt mômen và hệ số phẩm chất cực đại, tỷ số biến áp sẽ xác định theo điện trở tác dụng của pha phụ (xem bảng 8-1).

Việc tính toán cuối cùng pha phụ động cơ điện dung

thoả mãn yêu cầu khởi động lý tưởng nhất chỉ có thể thực hiện bằng phương pháp lập một loạt phương án với những trị số khác nhau của các tham số sau: tỷ số biến áp k , điện kháng tụ điện x_{CK} (C_K), hệ số lấp đầy rãnh, số vòng dây của pha chính và phụ. Quan hệ giữa tất cả các tham số trên không thể gộp lại trong một công thức được.

Nếu chỉ xét đến ảnh hưởng đối với riêng chỉ tiêu khởi động thì có thể áp dụng những phương pháp sau:

Nếu mômen khởi động quá nhỏ, có thể dùng phương pháp sau để nâng lên:

- 1) Tăng điện dung,
- 2) Tăng điện trở rôto,
- 3) Tăng số vòng dây quấn phụ, nghĩa là tăng tỷ số biến áp.

Nếu điện áp tụ điện quá lớn thì phải tăng:

- 1) Điện dung,
- 2) Điện trở dây quấn phụ;
- 3) Điện trở rôto.

Nếu dòng điện khởi động quá lớn thì phải:

- 1) Tăng điện trở rôto,
- 2) Tăng số vòng dây quấn phụ đồng thời giảm điện dung của tụ điện khởi động.

Tính toán động cơ điện có điện trở khởi động r_K

Trong tất cả các điều kiện khởi động, tham số pha phụ động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở có thể tính theo công thức trong bảng 8-2. Mômen khởi động cực đại có thể tính theo (8-26), tức là căn cứ vào tham số pha phụ thỏa mãn điều kiện $M_{K_{max}}$ (bảng 8-2) thế vào công thức chung về mômen khởi động để tính:

$$M_{K_{\max}} = A \frac{\sqrt{r_{AK}^2 + x_{AK}^2} - r_{AK}}{x_{BK}} = A \frac{Z_{Am} - r_{AK}}{x_{BK}} \quad (8-35)$$

Nếu điều kiện cân có là đạt được hệ số phẩm chất cực đại hoặc dòng điện khởi động đã cho thì mômen khởi động được tính theo công thức chung (8-26).

Dòng điện khởi động với tất cả các điều kiện khởi động (trường hợp đã cho dòng điện khởi động) tính theo công thức (8-27).

Điện trở phụ của pha phụ:

$$r_K = r'_{BK} - r_{BK} \quad (8-36)$$

trong đó r_{BK} là điện trở tác dụng pha phụ khi không có phân tử khởi động.

Khi thiết kế động cơ khởi động bằng điện trở, giảm nhỏ tỷ số biến áp k là có lợi vì như vậy sẽ nâng cao được mômen khởi động cực đại. Trị số k có thể nhỏ hơn hoặc bằng 1. Như vậy bội số mômen cực đại có thể đến 1,8 ÷ 2,2, tất nhiên lúc đó dòng điện khởi động sẽ tăng.

Mật độ dòng điện pha phụ có thể cao hơn pha chính.

Giảm tiết diện dây dẫn của dây quấn pha phụ ($t > k$) có thể giảm trị số điện trở khởi động phụ đặt ngoài, có khi bằng 0. Một động cơ như vậy gọi là động cơ điện làm tăng điện trở trong pha khởi động.

Giống như cách tính pha phụ của động cơ điện khởi động bằng điện dung, cần phải so sánh nhiều phương án với nhiều trị số khác nhau của các tham số: tỷ số biến áp, tỷ số tiết diện t , số vòng dây của hai pha... và chọn lấy kết quả có chỉ tiêu khởi động tốt nhất.

Bảng 8-1. Tính toán tham số pha phụ động cơ điện một pha khởi động bằng điện dung.

Điều kiện khởi động	Điện trở tác dụng pha	Điện kháng pha
Mômen khởi động cực đại, M_{Kmax}	—	$x'_{BK \max} = \frac{r_{BK}}{r_{AK}} (x_K - Z_{AK})$
Mômen khởi động cực đại M_{Kmax} với bội số dòng điện khởi động $i_K = \frac{I_K}{I_{dm}}$ đã cho	$r_{BK} = \frac{r_{AK}}{2(i_K^2 - 1)} \pm \frac{\sqrt{r_K^2 + 2(i_K^2 - 1)(Z_{AK}^2 + Z_{AK}x_{AK})}}{2(i_K^2 - 1)}$	$x'_{BK} = \frac{r_{BK}}{r_{AK}} (x_{AK} - Z_{AK})$
Hệ số phẩm chất cực đại $\left(\frac{M_K}{I_K}\right)_{max}$		$x'_{BK} = \frac{x_{AK}r_{BK} - Z_{AK}\sqrt{r_{BK}(r_{AK} + r_{BK})}}{r_{AK}}$
Hệ số phẩm chất cực đại $\left(\frac{M_K}{I_K}\right)_{max}$ với bội số dòng điện khởi động đã cho	$r_{BK2} = \frac{r_{AK}}{i_{AK}^2 - 1}$	$x'_{BK} = \frac{x_{AK} - Z_{AK}i_K}{i_K^2 - 1}$

Bảng 8-1 (tiếp theo)

Bội số mômen khởi động đã cho $m_K = \frac{M_K}{M_{dm}}$	—	$x'_{BK} = \frac{-A r_{AK} - \sqrt{A^2 r_{AK}^2 - M_K (M_K r_{BK}^2 - 2A r_{AK} x_{AK})}}{M_m}$
Bội số dòng điện khởi động đã cho $i_K = \frac{I_K}{I_{dm}}$	—	$x_{Bm} = \frac{c_i^2 x_{AK}}{i_K^2 - c_i^2} + \frac{\sqrt{(i_K^2 - c_i^2) [c_i^2 (r_{BK}^2 + r_{BK}) - i_K^2 r_{BK}] + i_K^2 c_i x_{AK}^2}}{i_m^2 - c_i^2}$ <p>trong đó $c_i = \frac{I_{AK}}{I_{dm}}$</p>

Bảng 8-2. Tính toán tham số phụ động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở.

Điều kiện khởi động	Điện trở tác dụng pha	Điện kháng pha
Mômen khởi động cực đại M_{Kmax}	$r'_{BKmax} = \frac{x_{BK}}{x_{AK}} (Z_{AK} + r_{AK})$	—
Mômen khởi động cực đại M_{Kmax} với $i_K = \frac{I_K}{I_{dm}}$ đã cho	$r'_{BK} = \frac{x'_{BK} i}{x_{AK}} (Z_{AK} + r_{AK})$	$x_{BK} = \frac{Z_{AK} (Z_{AK} + r_{AK}) \pm \sqrt{Z_{AK}^2 (Z_{AK} - r_{AK})^2 + 2(i_K^2 - 1) (Z_{AK} + r_{AK}) Z_{AK} \cdot x_{BK}}}{2(i_m - i) x}$ <p style="text-align: center;">$(Z_{AK} + r_{AK})$</p>

Bảng 8-2 (tiếp)

<p>Hệ số phẩm chất cực đại $\left(\frac{M_K}{I_K}\right)_{\max}$</p>	$r'_{BK} = \frac{r_{AK} x_{BK} + Z_{AK} \sqrt{x_{BK}(x_{AK} + x_{BK})}}{x_{AK}}$	
<p>Hệ số phẩm chất cực đại $\left(\frac{M_K}{I_K}\right)_{\max}$ với $i_K = \frac{I_K}{I_{dm}}$ đã cho</p>	$r'_{BK} = \frac{r_{AK} - Z_{AK} i_K}{i_K^2 - 1}$	$x_{BK} = \frac{x_{AK}}{i_K^2 - 1}$
<p>Bội số mômen khởi động đã cho, $m_K = \frac{M_K}{M_{dm}}$</p>	$r_{BK} = \frac{A x_A \pm \sqrt{A^2 x_{AK} - M_K (M_K x_{BK}^2 + 2 A x_{AK} r_{AK})}}{M_K}$	
<p>Bội số dòng điện khởi động đã cho $i_K = \frac{I_K}{I_{dm}}$</p>	$r_{BK} = \frac{c_i^2 r_{AK}}{i_K^2 - c_i^2} + \frac{\sqrt{(i_K^2 - c_i^2) [c_i^2 (x_{AK} + x_{BK})^2 - i_K^2 x_{BK}^2] + i_K^2 c_i^2 r_{AK}^2}}{i_K^2 - c_i^2}$ <p>trong đó $c_i = \frac{I_{AK}}{I_{dm}}$</p>	

8.5. Đồ thị vòng tròn của dòng điện khởi động động cơ một pha có phân tử khởi động

Chỉ tiêu khởi động của động cơ điện không đồng bộ một pha: mômen khởi động M_K , dòng điện khởi động I_K và các tham số dây quấn phụ bao gồm các trị số của phân tử khởi động đều có thể tính ra từ đồ thị vòng tròn của dòng điện khởi động.

Dùng đồ thị vòng tròn có thể nghiên cứu pha khởi động về bản chất, có thể tìm ra ảnh hưởng của tham số pha chính, pha phụ và tỷ số biến áp đến dòng điện khởi động và mômen khởi động.

Dương nhiên, dùng phương pháp đồ thị để chọn pha phụ là không chính xác nhưng có thể một cách trực quan và có kết quả chọn các tham số pha phụ lý tưởng nhất. Đồ thị vòng tròn có thể giải quyết tương đối dễ dàng những vấn đề quan trọng của thiết kế pha phụ, tức là bảo đảm có hệ số phẩm chất cực đại.

Sau đây sẽ nghiên cứu riêng biệt đồ thị vòng tròn dòng điện khởi động của động cơ điện một pha khởi động bằng điện dung hay điện trở.

1. Động cơ điện một pha khởi động bằng điện dung

Đồ thị vòng tròn của động cơ một pha khởi động bằng điện dung như ở hình 8-6.

Đồ thị vòng tròn được vẽ theo tỷ lệ xích của dòng điện.

Vectơ điện áp theo hướng trục tung. Đường kính vòng tròn bằng đoạn AB trên đường AM song song với trục tung, tương đương với dòng điện cực đại của dây quấn phụ khi khởi động, tức là dòng điện khi điện kháng của pha bằng điện kháng của tụ khởi động $|x_{BK}| = |x_c|$. Trong trường hợp đó, tổng trở pha phụ bằng điện trở tác dụng:

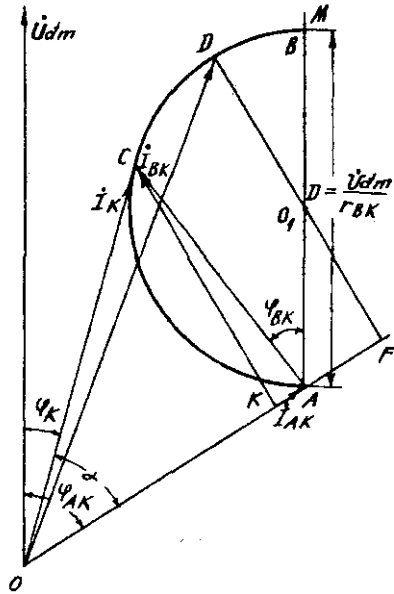
$$D_{\text{ogh}} = \overline{AB} = I_{BK \text{ max}} = \frac{U_{\text{dm}}}{r_{BK}} \quad (8-37)$$

Khi tỷ số biến áp và tiết diện dây dẫn của dây quấn phụ đã được chọn thì điện trở tác dụng của pha ấy r_{BK} có thể xác định theo (8-28) và (8-30).

Khi điện kháng pha phụ (bằng $x_{BK} - x_{CK}$) thay đổi quỹ tích của đầu mút vectơ dòng điện khởi động dây quấn phụ I_{BK} sẽ là cung tròn AB . Vì điện trở tác dụng của tụ điện có thể coi là bằng 0 ($r_c = 0$) nên điện trở pha phụ trên thực tế là không đổi.

Trong hình 8-6 vectơ dòng điện khởi động pha chính I_{AK} (đoạn OA) chậm sau vectơ điện áp một góc $\varphi_{AK} = \arctg \frac{x_{AK}}{r_{AK}}$.

Dòng điện khởi động I_K là tổng vectơ dòng pha chính (I_{AK}) và dòng pha phụ (I_{BK}) tức là bằng vectơ nối từ gốc (điểm O) đến bất kỳ một điểm nào trên vòng tròn. Ví dụ nối với điểm C :



Hình 8-6. Đồ thị vòng tròn dòng điện khởi động động cơ điện một pha khởi động bằng điện dung.

OA - dòng điện pha chính; AC - dòng điện pha phụ; OC - dòng điện khởi động.

Trong hình vẽ, chiều cao của tam giác dòng điện khởi động OCA (đoạn CK) là mômen khởi động ban đầu.

Trên thực tế mômen khởi động tỷ lệ với tích dòng điện pha chính, pha phụ và sin của góc giữa hai dòng điện và điện áp ấy:

$$M_K = I_{AK} \cdot I_{BK} \cdot \sin(\varphi_{AK} - \varphi_{BK}) \equiv \overline{CK}$$

Mômen khởi động cực đại của động cơ là đường \overline{DF} thẳng góc với vectơ dòng điện I_K kéo dài và đi qua tâm của vòng tròn O_1 . Tỷ lệ xích của mômen có thể xác định theo trị số mômen khởi động cực đại tính theo công thức (8-32). Hệ số phẩm chất M_K/I_K có thể dùng tỷ số hai đoạn trên vòng tròn $\frac{\overline{CK}}{OC} = \sin\alpha$ để xác định. Khi $\sin\alpha$ cực đại,

nghĩa là \overline{OC} thành đường tiếp tuyến với vòng tròn thì tỷ số đó sẽ lớn nhất. Như vậy hệ số phẩm chất lớn nhất tương ứng với điểm C trên vòng tròn. Dựa vào đồ thị vòng tròn có thể tìm ra điện kháng pha phụ bao gồm điện kháng tụ khởi động. Điện kháng này thích ứng với một trong những điều

kiện khởi động sau: $M_{K\max} \left(\frac{M_K}{I_K} \right)_{\max}$ và M_K hoặc I_K cho trước:

$$x'_{BK} = \sqrt{Z_{BK}^2 - r_{BK}^2}$$

trong đó r_{BK} là điện trở tác dụng của pha phụ; $Z'_{BK} = \frac{U_{dm}}{I_{dm}}$;

I_{BK} là dòng khởi động của pha phụ tính theo phương pháp đồ thị vòng tròn theo điều kiện khởi động cho trước.

Điện kháng tụ điện khởi động:

$$|x_{CK}| = |x'_{BK}| + |x_{BK}| \quad (8-39)$$

trong đó x_{BK} là điện kháng pha phụ.

Với động cơ khởi động bằng điện dung, tính toán pha phụ một cách lý tưởng nhất là điều hết sức phức tạp, vì trong điều kiện đó yêu cầu phải hiểu rõ sự ảnh hưởng lẫn nhau của nhiều yếu tố như điện dung của tụ điện khởi động trong điều kiện khởi động đã cho, điện áp tụ điện, tỷ số biến áp và hệ số lấp đầy rãnh v.v... Ngoài ra còn phải xét đến sự ảnh hưởng lẫn nhau của các tham số dây quấn chính và phụ cũng như từ góc độ của chỉ tiêu khởi động để chọn số vòng dây pha chính lý tưởng nhất.

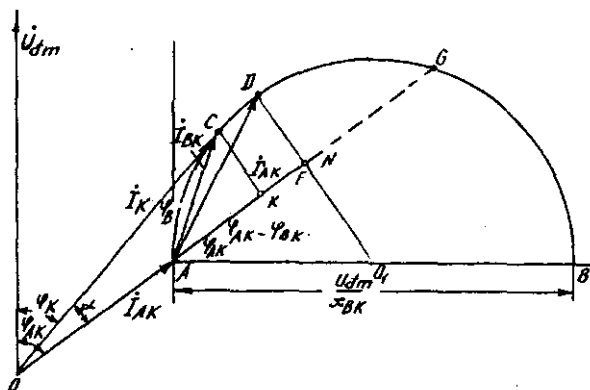
Trong mục 8.4 có nêu lên cách thiết kế pha phụ có điện dung khởi động. Việc thiết kế pha phụ lý tưởng nhất là dùng cách vẽ đồ thị vòng tròn với số vòng dây pha chính khác nhau và các tỷ số biến áp khác nhau để xác định các tham số. Lúc đó có thể thấy rõ ảnh hưởng của các yếu tố trên đến điện dung khởi động và điện áp của tụ điện khi đã cho điều kiện khởi động và hệ số lấp đầy rãnh.

2. Động cơ một pha khởi động bằng điện trở

Đồ thị vòng tròn động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở như ở hình 8-7. Lấy hướng của vectơ điện áp làm trục tung. Đường kính của đồ thị vòng tròn bằng đoạn \overline{AB} trên hướng nằm ngang tức là bằng dòng điện cực đại của pha phụ với điều kiện khi khởi động điện trở tác dụng bằng không. Lúc đó tổng trở của pha phụ bằng điện kháng x_{BK} .

$$D_{ogh} = \overline{AB} = I_{BKmax} = \frac{U_{dm}}{x_{BK}} \quad (8-40)$$

Khi đã chọn tỷ số biến áp, điện kháng x_{BK} sẽ được tính theo công thức (8-29) và (8-31).



Hình 8-7. Đồ thị vòng tròn dòng điện khởi động động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở.

Khi điện trở tác dụng pha phụ r'_{BK} từ 0 đến vô cùng lớn, điểm mút vectơ dòng điện khởi động pha phụ sẽ di chuyển theo cung AB . Điện kháng pha phụ x_{BK} không đổi.

Trong hình vẽ vectơ dòng điện khởi động pha chính I_{AK} (đoạn $\overline{OA} = \overline{AN}$) chậm sau vectơ điện áp một góc

$$\varphi_{AK} = \arctg \frac{x_{AK}}{r_{AK}}$$

Dòng điện khởi động I_K là tổng vectơ dòng điện pha chính I_{AK} và dòng điện pha phụ I_{BK} . Trên đồ thị vòng tròn: \overline{OA} - dòng điện pha chính; \overline{AC} - dòng điện pha phụ; \overline{OC} - dòng điện khởi động.

Như đã nói, trong đồ thị vòng tròn động cơ một pha khởi động bằng điện dung, có thể dùng đường thẳng góc hạ từ đầu mút của vectơ dòng điện pha phụ xuống vectơ dòng điện khởi động pha chính để biểu thị mômen khởi động ban đầu.

Mômen khởi động lớn nhất vẫn là đoạn \overline{DF} thẳng góc xuống vectơ I_{AK} đi qua tâm vòng tròn O_1 .

Tỷ lệ xích của mômen có thể xác định theo trị số mômen cực đại tính theo công thức (8-35).

Hệ số phẩm chất cao nhất tương đương với điểm C khi vẽ đường tiếp tuyến \overline{OC} (hình 8-7). Dựa vào số liệu của đồ thị vòng tròn và điều kiện khởi động M_{Kmax} , $(M_K/I_K)_{max}$ và M_K , I_K đã cho, có thể tính được điện trở phụ khi khởi động bao gồm cả điện trở khởi động:

$$r'_{BK} = \sqrt{Z'_{BK}{}^2 - x_{BK}^2} \quad (8-41)$$

trong đó $Z'_{BK} = \frac{U_{dm}}{I_{BK}}$; I_{BK} - dòng điện khởi động pha phụ

đạt được trên đồ thị vòng tròn với điều kiện khởi động cho trước; x_{BK} - điện kháng pha phụ.

Điện trở khởi động tác dụng:

$$r_K = r'_{BK} - r_{BK} \quad (8-42)$$

trong đó r_{BK} là điện trở tác dụng pha phụ.

Với các tỷ số biến áp khác nhau (x_{BK} khác nhau) vẽ một loạt các đồ thị vòng tròn, như vậy có thể thấy được ảnh hưởng của tỷ số biến áp đến trị số của mômen khởi động và dòng điện khởi động với những điều kiện khác nhau về mômen khởi động cực đại, dòng điện khởi động cực tiểu, hệ số phẩm chất cao nhất.

8.6. Động cơ có vòng ngắn mạch

Loại động cơ điện này có thể coi như dây quấn phụ ngắn mạch. Bước dây của vòng ngắn mạch (pha phụ B) của động cơ có vòng ngắn mạch thường chiếm 1/3 chiều rộng của cực từ.

Loại động cơ điện này dùng ở những nơi yêu cầu mômen khởi động không cao như quạt thông gió, công suất tối đa có thể đến 70 W, hiệu suất vào khoảng 0,1 đến 0,25, $\cos\varphi = 0,6$, mômen khởi động rất nhỏ (tiêu chuẩn Tiệp Khắc cũ quy định $\frac{M_K}{M_{dm}} = 0,25$) nhưng có thể thiết kế cao hơn.

Đặc điểm loại động cơ điện này là kết cấu đơn giản, chiều quay của động cơ điện được xác định theo vị trí của vòng ngắn mạch. Khe hở không khí $\delta = 0,3 \dots 0,5$ mm. Việc tính toán mômen của loại động cơ điện này phức tạp vì sóng bậc cao có ảnh hưởng chủ yếu. Sóng bậc cao không những gây nên điện kháng tản tạp có hại mà còn gây nên sự liên hệ cảm ứng tác dụng giữa dây quấn chính và vòng ngắn mạch. Theo lý luận thấy rằng khi tăng khe hở không khí lên $\delta = 0,5$ mm thì có thể có mômen khởi động lớn nhất nhưng khi đó dòng điện từ hóa tăng lên làm hiệu suất giảm xuống. Nếu làm khe hở dưới cực từ không đều như ở dưới 1/3 cực từ lấy $\delta = 1$ mm rôto rãnh nghiêng và kín thì có thể đạt $\frac{M_K}{M_{dm}} \geq 1,5$. Do đó ta thấy rằng nên làm rôto

rãnh nghiêng, kín để khử ảnh hưởng của sóng điều hòa răng trên rôto. Rãnh của vòng ngắn mạch nên nông và hở để cho trở kháng của dây quấn phụ ngắn mạch có tính điện trở. Ngoài ra khi điện trở của dây quấn ngắn mạch và điện trở rôto lồng sóc có một tỷ lệ nhất định thì tính năng máy tốt nhất.

Đặc tính mômen của động cơ có vành ngắn mạch cũng giống như các loại thường.

Chương 9. TÍNH TOÁN ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC VÀ ĐẶC TÍNH MÔMEN $M = f(s)$

9.1. Đặc tính và giản đồ năng lượng của động cơ điện với từ trường elip, tròn và đập mạch

Đặc tính làm việc của động cơ một pha: $I_s, P_s, M, s, \eta, \cos\varphi = f(P_R)$ và đặc tính mômen $M = f(s)$ có thể tính theo các công thức dẫn ra từ phương pháp thành phần đối xứng của hệ thống hai pha và có thể dùng mạch điện thay thế của động cơ điện một pha để xác định quan hệ giữa các tham số, điện áp và dòng điện thứ tự thuận và nghịch của động cơ điện một pha (xem hình 7-1).

Stato của động cơ một pha có hai dây quấn (chính và phụ), thông thường lệch nhau 90° trong không gian. Trong trường hợp chung, sức từ động của hai pha đó không bằng nhau ($I_A W_A \neq I_B W_B$), đồng thời cũng lệch một góc bất kỳ về thời gian. Kết quả của những sức từ động đập mạch cùng tác dụng ấy là sinh ra từ trường quay hình elip. Từ trường quay tròn và từ trường đập mạch là từ trường đặc biệt của từ trường elip.

Sách này sẽ không trình bày cách dẫn ra các công thức đặc tính làm việc mà chỉ nêu lên kết quả cuối cùng.

Trong từ trường elip nói chung, dòng điện thứ tự thuận và nghịch của pha chính bằng:

$$\dot{I}_{A1} = \dot{U}_A \frac{Z_{B2} - jk.Z_{A2}}{Z_{A1}Z_{B2} + Z_{A2}Z_{B1}} = I'_{A1} + jk.I''_{A1} \quad (9-1)$$

$$\dot{I}_{A2} = \dot{U}_A \frac{Z_{B1} + jk.Z_{A1}}{Z_{A1}Z_{B2} + Z_{A2}Z_{B1}} = I'_{A2} + jk.I''_{A2} \quad (9-2)$$

trong đó \dot{U}_A là điện áp pha (đối với động cơ điện một pha U_A bằng điện áp dây U); Z_{A1} và Z_{A2} là tổng trở mạch điện thay thế thứ tự thuận và nghịch của pha A tính theo (7-1) ... (7-8); Z_{B1} và Z_{B2} - tổng trở mạch điện thay thế thứ tự thuận và nghịch của pha B.

Đối với các động cơ mà số rãnh của hai pha bằng nhau còn tiết diện dây dẫn pha B khác tiết diện dây dẫn pha A đến k lần (thường là động cơ điện dung), trở kháng của pha B trong công thức (9-1) và (9-2) bằng:

$$Z_{B1} = (k^2 r_{A1} + r_c) + j(k^2 x_{A1} - x_c); \quad (9-3)$$

$$Z_{B2} = (k^2 r_{A2} + r_c) + j(k^2 x_{A2} - x_c); \quad (9-4)$$

trong đó r_{A1} và x_{A1} là điện trở tác dụng và điện kháng thứ tự thuận của pha A; r_{A2} và x_{A2} là điện trở tác dụng và điện kháng thứ tự nghịch của pha A; r_c và x_c là điện trở tác dụng và điện kháng của tụ điện.

Đối với các động cơ điện mà số rãnh của mỗi pha không bằng nhau (động cơ điện một pha có phân tử khởi động và một vài động cơ điện dung) khi tính tổng trở Z_{B1} và Z_{B2} phải xét đến quan hệ của các trị số k , t và a (xem mục 8-1).

$$Z_{B1} = \left[k.t.a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 r_{SA} + k^2 r'_{RA1} + r_m \right] + j \left[k^2 a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 x_{SA} + k^2 x'_{RA1} - x_c \right] \quad (9-5)$$

$$Z_{B2} = \left[k.t.a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 r_{SA} + k^2 r'_{RA2} + r_m \right] + j \left[k^2 a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 x_{SA} + k^2 x_{RA2} - x_c \right] \quad (9-6)$$

Có thể tính đặc tính làm việc và đường mômen $M = f(s)$ theo công thức trong các bảng (9-1) ... (9-3). Bây giờ xét ba trường hợp sau:

- 1) Từ trường elip (trường hợp chung);
- 2) Từ trường tròn (trường hợp đặc biệt thứ nhất);
- 3) Từ trường đập mạch (trường hợp đặc biệt thứ hai).

Từ trường elip xuất hiện ở động cơ điện dung trong toàn bộ phạm vi hệ số trượt từ $s = s_0$ đến $s = 1$, trừ lúc đạt được từ trường quay tròn do chọn trước điện dung thích hợp (thường là s_{dm}); và lúc dây quấn phụ của động cơ điện một pha có phần tử khởi động r_k hoặc C_k đang nối vào mạch điện, tức là hệ số trượt từ s_m đến $s = 1$.

Từ trường quay tròn xuất hiện trong động cơ đối xứng (ba pha và hai pha), cũng xuất hiện trong động cơ điện dung ở chế độ định mức ($s = s_{dm}$), có lúc xuất hiện cả ở thời điểm khởi động $s = 1$.

Mạch điện thay thế khi từ trường quay tròn và mạch điện thay thế của dòng điện thứ tự nghịch giống nhau (xem hình 7-1a).

Từ trường đập mạch xuất hiện trong động cơ điện một pha có phần tử khởi động lúc làm việc, lúc đó động cơ điện chỉ có dây quấn chính làm việc. Hệ số trượt từ $s = s_0$ đến $s = s_m$. Mạch điện thay thế pha chính khi từ trường đập mạch như ở hình 7-2.

Với các động cơ điện cần phải tiến hành tính toán đặc tính với hệ số trượt từ $s = s_0$ đến s_m ứng với M_{max} .

Hệ số trượt không tải s_0 sẽ được tính như ở mục 9-2.

Nếu công suất tác dụng P_R tính theo hệ số trượt định mức chọn trước không bằng công suất định mức ($P_R \neq P_{dm}$) thì cần phải tính lại hệ số trượt định mức (xem mục 9.2).

Lúc $s = 1$, khi thiết kế pha phụ thì mômen và dòng điện khởi động ban đầu của động cơ điện một pha được tính theo công thức ở chương 8.

Các công thức dùng để tính dòng điện dây quấn stato và rôto được ghi trong bảng 9-1. Khi tính dòng điện pha chính và phụ có thể trước hết không xét đến tổn hao sắt, sau đó trong vectơ tác dụng của dòng điện pha cộng thêm dòng điện I_{AT} do tổn hao sắt gây nên (xem mục 6.2). Như vậy có thể đơn giản hóa rất nhiều và giảm nhẹ khối lượng tính toán.

Sau khi tính toán dòng điện pha stato có xét đến tổn hao sắt phải nghiệm lại mật độ dòng điện pha A và B :

$$J_A = \frac{I_{SA}}{S_{SA}}, \quad J_B = \frac{I_{SB}}{S_{SB}}.$$

Bây giờ dẫn ra công thức dòng điện rôto thực tế của từ trường thuận. Dòng điện thứ tự thuận của rôto quy đổi sang pha chính:

$$i_{RA1} = \frac{\dot{E}_{A1}}{Z_{RA1}}$$

mà sức điện động thứ tự thuận $\dot{E}_{A1} = I_{A1} Z'_{RA1}$,

trong đó Z'_{RA1} là tổng trở của mạch điện thứ tự thuận;

Z_{RA1} là tổng trở thứ tự thuận của rôto.

Có thể biểu thị dòng điện rôto thực tế của thành phần thứ tự thuận thông qua dòng điện rôto đã quy đổi và dòng điện stato cùng thứ tự pha như sau:

$$\begin{aligned} I''_{RA1} &= I_{RA1} \frac{mW_S k_{dS}}{m_R W_R k_{dR}} = I_{RA1} \frac{2mW_S k_{dS}}{Z_R k_{dB}} = \\ &= I_{A1} \frac{2mW_S k_{dS}}{Z_R k_{dR}} \cdot \frac{Z'_{RA1}}{Z_{RA1}} \end{aligned}$$

trong đó: m - số pha của stato (đối với động cơ điện một pha và hai pha $m = 2$, với động cơ điện ba pha $m = 3$);
 $m_R = Z_R$ là số pha của rôto;
 $W_R = 1/2$ là số vòng dây của một pha rôto;
 $k_{dR} = k_n$ là hệ số dây quấn của rôto tính theo (2-10), khi rãnh thẳng $k_{dB} = 1$;
 W_S - số vòng dây nối tiếp của một pha ở stato;
 k_{dS} - hệ số dây quấn của stato;
 Z'_{RA1} và Z_{RA1} - môđun của tổng trở mạch điện và tổng trở thứ tự thuận của rôto;
 I_{A1} - dòng điện thứ tự thuận của pha A.

Công thức tính dòng điện rôto thực tế thành phần thứ tự nghịch cũng có thể được dẫn ra theo phương pháp tương tự.

Căn cứ vào hiệu ứng nhiệt của dòng điện thứ tự thuận và nghịch để quyết định tổng dòng điện rôto:

$$I_{RA}'' = \sqrt{(I_{RA1}'')^2 + (I_{RA2}'')^2} = \frac{2mW_S k_{dS}}{Z_R k_{dR}} \sqrt{I_{RA1}^2 + I_{RA2}^2}$$

$$= \frac{2mW_S k_{dS}}{Z_R k_{dR}} \sqrt{\left(I_{A1} \frac{Z'_{RA1}}{Z_{RA1}}\right)^2 + \left(I_{A2} \frac{Z'_{RA2}}{Z_{RA2}}\right)^2}$$

trong đó I_{RA2} và I_{A2} - dòng điện thứ tự nghịch trong rôto đã quy đổi sang pha A và dòng điện stato.

Với từ trường quay tròn và đập mạch, dòng điện rôto thực tế được coi như là một trường hợp đặc biệt để tính.

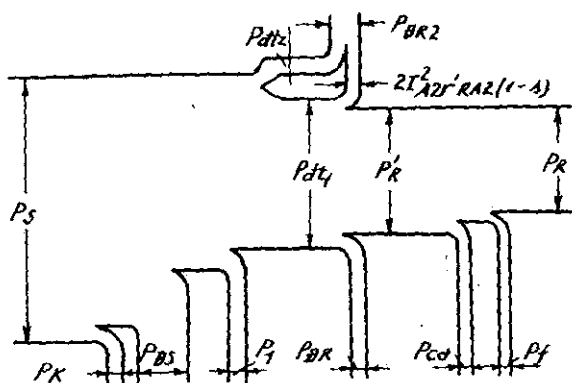
Căn cứ vào dòng điện rôto thực tế để xác định mật độ dòng điện trong thanh dẫn của rôto:

$$J_t = \frac{I_{RA}''}{S_t}$$

trong đó S_t là tiết diện thanh dẫn rôto.

Công thức tính công suất và mômen được ghi trong bảng 9-2.

Giản đồ năng lượng ở hình 9-1 cho biết quan hệ giữa các loại công suất trong trường hợp thông thường nhất của động cơ một pha khi từ trường elip.



Hình 9-1. Giản đồ năng lượng động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ một pha.

Trong giản đồ năng lượng, một phần công suất lưới đưa vào P_s tiêu hao trong stato và chuyển thành tổn hao điện P_{DS} , tổn hao sắt P_T và tổn hao trong phần tử khởi động P_K .

Công suất còn lại từ stato truyền cho rôto biến thành công suất điện từ thứ tự thuận P_{dt1} và nghịch P_{dt2} , trong đó P_{dt2} không đủ bù vào tổn hao đồng rôto P_{DR2} do dòng điện thứ tự nghịch sinh ra, phần không đủ bù đó phải do công suất điện từ thứ tự thuận P_{dt1} bù vào (hình 9-1). Từ đó, biết được trong từ trường elip, mômen điện từ và công suất trên trục động cơ điện sẽ vì sự tồn tại của từ trường nghịch mà giảm đi. Tổng công suất cơ trên trục P'_R bằng công suất

điện từ còn lại sau khi trừ đi tổn hao đồng rôto P_{DR1} do dòng điện thứ tự thuận gây nên. Nếu lấy tổng công suất cơ trên trục trừ đi tổn hao cơ P_{co} và tổn hao phụ P_f thì được công suất tác dụng đầu trục P_R . Trong tình trạng từ trường elip, do công suất tác dụng giảm đi và công suất đưa vào tăng lên, hiệu suất của động cơ sẽ thấp đi so với tình trạng từ trường quay tròn.

Bảng 9-3 cho các công thức tính hiệu suất, hệ số công suất và điện áp phân tử dịch pha.

9.2. Tính toán hệ số trượt không tải và xác định hệ số trượt định mức

Để tính trạng thái không tải thực tế, trước hết cần xác định hệ số trượt s_0 ở trạng thái này.

Xác định s_0 bằng giải tích là một việc khó khăn, nhất là đối với động cơ một pha, vì vậy nên dùng phương pháp đồ thị. Phương pháp này dựa vào công suất điện từ lúc không tải:

$$P_{dto} = P'_{dto} s_0 + P_{co} + P_f$$

hoặc
$$P_{dto} = \frac{P_{co} + P_f}{1 - s_0} \quad (9-44)$$

Do trong khoảng hệ số trượt nhỏ $P_{dt} = f(s)$ là một đường thẳng, vì vậy khi kéo dài đường thẳng này đến $s = 0$ thì hệ số trượt ứng với giao điểm của đường này với đường $\frac{P_{co} + P_f}{1 - s} = f(s)$ vẽ trên cùng đồ thị là s_0 . Khi $s = 0$ tức là khi

không tải đồng bộ, công suất điện từ là âm, về trị số bằng công suất thứ tự nghịch:

$$P_{dto} = P_{dt2} = -\frac{1}{2} I_{SA}^2 r'_{RA2} \quad (9-45)$$

Bảng 9-1. Tính toán dòng điện của dây quấn stato và rôto

Tên các dòng điện	Từ trường elip (trường hợp chung)	Từ trường tròn (trường hợp đặc biệt thứ nhất)	Từ trường đập mạch (trường hợp đặc biệt thứ hai)
1	2	3	4
Dòng điện pha chính không xét đến tổn hao sắt	$i_A = i_{A1} + i_{A2} = r_A + j I_A''$ $= I_A e^{j\varphi_A} \quad (9-7)$ <p>i_{A1} và i_{A2} xác định theo công thức (9-1) và (9-2)</p>	$i_A = \frac{U_A}{Z_{A1}} = \frac{U_A}{\sqrt{r_{A1}^2 + x_{A1}^2}}$ $= r_A + j I_A'' = I_A e^{j\varphi_A} \quad (9-8)$ <p>Z_A tính theo công thức (7-1) và (7-6)</p>	$i_{A1} = i_{A2} = \frac{1}{2} I_A \quad (9-9)$ $i_A = 2i_{A1} = \frac{U_{A1}}{Z_{A1} + Z_{A2}}$ $= I_A + j I_A'' = I_A e^{j\varphi_A}$ <p>Z_{A1} và Z_{A2} tính theo công thức (7-1) và (7-8)</p>
Dòng điện pha chính có xét đến tổn hao sắt	$I_{SA} = (I_A' + I_{AC}') + j I_{SA}'' + j I_A'' = I_{SA} e^{j\varphi_A} \quad (9-10)$		
	I_{AC}' tính theo công thức (6-14), (6-16)	I_{AC}' tính theo công thức (6-13)	I_{AC}' tính theo công thức (6-18), (6-19)
Dòng điện pha phụ không xét đến tổn hao sắt	$i_B = i_{B1} + i_{B2} = I_B' + j I_B'' =$ $= \frac{j I_{A1}}{k} - \frac{j I_{A2}}{k} = I_B e^{j\varphi_B}$	$i_B = j \frac{I_A}{k} = I_B e^{j\varphi_B}$	

Bảng 9-1 (tiếp theo)

1	2	3	4
Dòng điện pha phụ có xét đến tổn hao sắt	$i'_{SB} = (i'_B + i'_{BC}) + j i''_{SB} =$ $= i_{SB} + j i''_{SB} = i_{SB} e^{j\varphi_B} \quad (9-13)$	$i_{SB} = j \cdot \frac{i_{SA}}{k} = i_{SB} e^{j\varphi_B} \quad (9-14)$	
Dòng điện dây	$i'_S = i'_{SA} + i'_{SB} =$ $= i'_S + j i''_S = i'_S e^{j\varphi} \quad (9-15)$	$i'_S = i'_{SA} + i'_{SB} = i_{SA} \left(1 + j \cdot \frac{1}{k}\right) =$ $= i'_S + j i''_S = i'_S e^{j\varphi} \quad (9-16)$	$i'_S = i_{SA} = i_{SA} e^{j\varphi_A}$
Dòng điện thứ tự thuận thực tế của rôto	$i''_{RA1} = i_{A1} \frac{2mW_S k_{dS}}{Z_R k_{dR}} \cdot \frac{Z'_{RA1}}{Z_{RA1}} \quad (9-17)$ $Z_{RA1} = \sqrt{\left(\frac{r_{RA}}{s}\right)^2 + x_{RA}^2}$ <p>Z'_{RA1} tính theo (7-2)</p>		$i''_{RA1} = i_A \cdot \frac{2W_S k_{dS} Z'_{RA1}}{Z_R k_{dR} Z_{RA1}} \quad (9-18)$ <p>Z'_{RA1} tính theo công thức (7-2)</p>
Dòng điện thứ tự nghịch thực tế của rôto	$i''_{RA2} = i_{A2} \frac{2mW_S k_{dS} Z'_{RA2}}{Z_R k_{dR} Z_{RA2}} \quad (9-19)$ $Z_{RA2} = \sqrt{\left(\frac{r_{RA}}{2-s}\right)^2 + x_{RA}^2}$ <p>Z'_{RA1} tính theo (7-8)</p>		$i''_{RA2} = i_A \frac{2W_S k_{dS} Z'_{RA2}}{Z_R k_{dR} Z_{RA2}}$ <p>Z'_{RA2} tính theo công thức (7-8)</p>

Bảng 9-1 (tiếp theo)

1	2	3	4
Dòng điện thực tế của rôto	$I'_{RA} = \frac{2mW_S k_{dS}}{Z_R k_{dR}}$ $\sqrt{\left(I_{A1} \frac{Z'_{RA1}}{Z_{RA1}}\right)^2 + \left(I_{A2} \frac{Z'_{RA2}}{Z_{RA2}}\right)^2}$ <p style="text-align: right;">(9-21)</p>	$I'_R = \frac{2mW_S k_{dS}}{Z_R k_{dR}} I_A \frac{Z'_{RA}}{Z_{RA}}$ <p style="text-align: right;">(9-22)</p> $Z_{RA} = \sqrt{\left(\frac{r_{RA}}{s}\right)^2 + X'_{RA}}$	$I_R = \frac{2W_S k_{dS}}{Z_R k_{dR}} \times$ $\times I_{A1} \sqrt{\left(\frac{Z'_{RA1}}{Z_{RA1}}\right)^2 + \left(\frac{Z'_{RA2}}{Z_{RA2}}\right)^2}$ <p style="text-align: right;">(9-23)</p>

Bảng 9-2. Tính toán công suất và mômen

1	2	3	4
Tên	Từ trường elip (trường hợp chung)	Từ trường quay tròn (trường hợp đặc biệt thứ nhất)	Từ trường đập mạch (trường hợp đặc biệt thứ hai)
Công suất điện từ, W	$P_{dt} = P_{dt1} - P_{dt2} =$ $2I_A^2 r'_{RA1} - 2I_A^2 r'_{RA2} \quad (9-24)$ $r'_{RA1} \text{ và } r'_{RA2} \text{ tính theo (7-3)}$	$P_{dt} = mI_A^2 r'_{RA} \quad (9-25)$ $r'_{RA} \text{ tính theo (7-3)}$	$P_{dt} = P_{dt1} - P_{dt2} =$ $\frac{1}{2} I_A^2 (r'_{RA1} - r'_{RA2}) \quad (9-26)$ $r'_{RA1} \text{ và } r'_{RA2} \text{ tính theo (7-3)}$
Mômen điện từ, $G.cm$	$M_{dt} = \frac{97,4 \cdot 10^3}{n_{db}} P_{dt} \quad (9-27)$		

Bảng 9-2 (tiếp theo)

1	2	3	4
Tổng công suất cơ, W	$P'_R = P_{dt}(1-s)$		(9-28)
Công suất cơ tác dụng, W	$P_R = P'_R - P_{c\sigma} - P_I$ $P_{c\sigma}$ tính theo (6-20), (6-21), (6-22), (6-23); P_I tính theo (6-23)		(9-29)
Mômen tác dụng, $G.cm$	$M = \frac{97,4 \cdot 10^2}{n_{db}(1-s)} \cdot I'_R$		(9-30)
Tổng tổn hao, W	$\Sigma P = P_{DS} + P_{DR} + P_T + P_{c\sigma} (P) + P_{c\sigma} + P_I$ (9-31)		$\Sigma P = P_{DS} + P_{DR} + P_T + P_{c\sigma} + P_I$
	P_{DR} tính theo (6-27)	P_{DR} tính theo (6-28)	P_{DR} tính theo (6-29), (6-32)
	$P_{DS} = P'_R + P_{DS} + P_{DR} + P_T + P_c(P_r)$ (9-33) $P_c(P_r)$ tính theo (6-30) và (6-31)		$P_S = P'_R + P_{DR} + P_D + P_T$ (9-34)
Công suất đưa vào, W	P_{DS} tính theo (6-23) P_{DS} tính theo (6-28) P_T tính theo (6-9) ÷ (6-12)	P_{DS} tính theo (6-24) P_{DS} tính theo (6-29) P_T tính theo (6-9) ÷ (6-11)	P_{DS} tính theo (6-25) P_{DS} tính theo (6-29) P_T tính theo (6-9), (6-2)

Bảng 9-3. Tính toán hiệu suất, $\cos \varphi$ và điện áp phân tử dịch pha

Tên	Từ trường elip (trường hợp chung)	Từ trường quay tròn (trường hợp đặc biệt thứ nhất)	Từ trường đập mạch (trường hợp đặc biệt thứ hai)
Hiệu suất	$\eta = \frac{P_B}{P_S}$ (9-35),	nếu $\eta < 0,5$ hoặc $\eta = 1 - \frac{\Sigma P}{P_S}$	(9-39)
Hệ số công suất của pha chính	$\cos \varphi_A = \frac{I_{SA}'}{I_{SA}}$		(9-37)
Hệ số công suất của pha phụ	$\cos \varphi_B = \frac{I_{SB}'}{I_{SB}}$	(9-38)	
Hệ số công suất tổng	$\cos \varphi = \frac{I_S'}{I_S}$	(9-39)	$\cos \varphi = \cos \varphi_A$
Điện áp dây quấn phụ	$U_B = I_{SB1} Z_{B1} + I_{SB2} Z_{B2}$ $U_B = I_{SB} Z_B$	(9-40) (9-41)	
Điện áp phân tử dịch pha	Với động cơ điện dung $U_C = I_{SB} Z_C$	(9-42)	
	$U_C = U_A \sqrt{1 + k_c}$	(9-43)	

Ghi chú: Với động cơ ba pha sử dụng các công thức tính toán cho từ trường quay tròn trong đó không bao gồm các công thức tính pha phụ từ (9-12) đến (9-16).

Khi $s = 0$ tham số của mạch điện thay thế pha A có thể tính theo công thức (7-3) và (7-4) và dùng phương pháp xác định biến số để tính.

Trong trường hợp này, điện trở tác dụng của mạch nhánh thứ tự thuận $r'_{RA1} = 0$. Điện kháng mạch nhánh thứ tự thuận:

$$x'_{RA1} = x_{mA} \quad (9-46)$$

Điện trở tác dụng thứ tự nghịch:

$$r'_{RA2} = \frac{x_{mA}^2 \frac{r_{RA}}{2}}{\left(\frac{r_{RA}}{2}\right)^2 + (x_{mA} + x_{RA})^2} \quad (9-47)$$

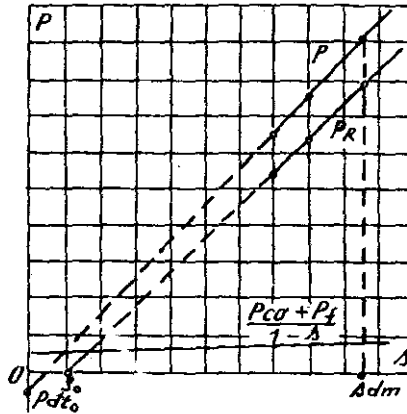
Điện kháng mạch nhánh thứ tự nghịch:

$$x_{RA2} = \frac{x_{mA} \frac{r_{RA}}{2} + x_{mA} x_{RA} (x_{mA} + x_{RA})}{\left(\frac{r_{RA}}{2}\right)^2 + (x_{mA} + x_{RA})^2} \quad (9-48)$$

Đối với động cơ điện một pha có phần tử khởi động, dòng điện I_{SA} trong công thức (9-45) có thể tính theo công thức (9-9) hay (9-10), còn đối với động cơ điện dung thì tính theo công thức (9-7) hoặc (9-10).

Để có thể dùng phương pháp đồ thị tính ra hệ số trượt s_0 , cần phải tìm ra dòng điện không tải và công suất không tải theo loại động cơ điện và đặc tính của từ trường.

Vì hệ số trượt định mức chọn ban đầu s_{dm} và công suất định mức cho P_{dm} không chắc phù hợp với nhau nên có thể dùng hệ số trượt không tải thực tế đã tìm ra s_0 để hiệu chỉnh s_{dm} .



Hình 9-2. Đồ thị dùng để xác định s_{dm} và tính hệ số trượt tải s_o .

Do quan hệ giữa công suất tác dụng với hệ số trượt $P_R = f(s)$ trong khoảng hệ số trượt từ s_o đến s_{dm} là một đường thẳng (hình 9-2) nên hệ số trượt định mức thực tế có thể tính theo công thức:

$$s'_{dm} = \frac{P_{dm}}{P'_{dm}} (s_{dm} - s_o) + s_o \quad (9-49)$$

trong đó P_{dm} là công suất tác dụng ứng với hệ số trượt định mức chọn trước s_{dm} .

Chương 10. MẠCH ĐIỆN NỐI THÀNH MỘT PHA CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN BA PHA

10.1. Đại cương

Động cơ điện không đồng bộ ba pha có thể làm việc trong lưới điện một pha mà không cần thay đổi kết cấu và số lượng dây quấn. Cách thức làm việc có thể là:

- 1) Một pha làm việc bằng điện dung;
- 2) Một pha khởi động bằng điện dung;
- 3) Một pha khởi động bằng điện trở.

Mạch điện đấu dây thường dùng nhất của các động cơ điện trên như hình 10-1. Trong các mạch điện đấu dây trên, đem dây quấn hai pha (đuôi với đuôi) nối tiếp để làm thành dây quấn pha A, còn pha thứ ba làm thành pha phụ B. Có thể thiết kế đặc biệt động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ vừa làm việc ở lưới điện ba pha vừa làm việc ở lưới điện một pha. Nhưng chỉ khi nào chọn các tham số của mạch điện thay thế và các trị số của phần tử khởi động một cách hợp lý, đồng thời những động cơ điện đặc biệt này đạt được tính năng làm việc và khởi động tốt thì tính thông dụng ấy mới kinh tế.

Do trong từ trường động cơ điện một pha có nhiều thành phần sóng bậc 3, vì vậy loại động cơ điện đặc biệt này phải có dây quấn hai lớp bước ngắn $1/3$ để tránh làm cho đường mômen giảm xuống. Hiện tượng này thể hiện rõ khi mômen khởi động rất nhỏ và dòng điện khởi động lớn (tức là mạch điện có điện trở khởi động).

Nếu lấy công suất tác dụng của động cơ điện ba pha là 100% thì với cùng một kích thước có thể thiết kế động cơ điện làm việc bằng điện dung với công suất bình quân bằng 65 đến 70%, còn với động cơ điện một pha có dây quấn khởi động ngắt ra công suất đó bằng 35 đến 45% công suất máy ba pha. Có như vậy động cơ điện mới đạt được năng lực quá tải vừa ý.

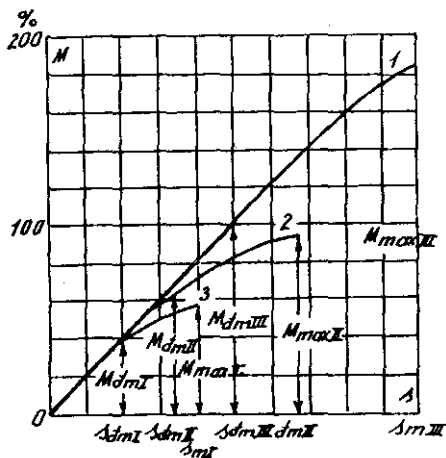
Nếu xét đến quan hệ tuyến tính của đặc tính mômen $M = f(s)$ trong phạm vi làm việc (từ $s = s_0$ đến s_m) thì mômen và hệ số trượt định mức của động cơ đều thành mạch một pha có thể có quan hệ sau:

1) Với động cơ điện làm việc bằng điện dung :

$$M_{dmII} = (0,65 \dots 0,7) M_{dmIII}$$

2) Với động cơ điện một pha có dây quấn khởi động ngắt ra:

$$M_{dmI} = (0,35 \dots 0,45) M_{dmIII}$$



Hình 10-1. Quan hệ giữa mômen (từ $s = 0$ đến $s = s_m$) với hệ số trượt động cơ điện ba pha khi đấu khác nhau.

1- mạch ba pha; 2- mạch điện dung; 3- mạch có phần tử khởi động (r_k hay C_k).

Ký hiệu ghi ở dưới (III, II, I) trong công thức tương ứng với động cơ điện ba pha, động cơ điện dung và động cơ một pha. Hình 10-1 là đường $M = f(s)$ của ba loại động cơ ba pha, một pha làm việc bằng điện dung và một pha có điện dung hay điện trở khởi động (hệ số trượt trong khoảng s_0 đến s_m).

10.2. Tham số mạch điện thay thế của động cơ điện hai pha dẫn xuất từ động cơ điện ba pha

Số liệu ban đầu chọn phần tử phụ là tham số tính toán hay tham số thực nghiệm của mạch điện thay thế động cơ điện ba pha:

r_s và x_s là điện trở và điện kháng của một pha dây quấn stato;

r_R và x_R điện trở và điện kháng dây quấn rôto đã quy đổi sang stato;

x_m là điện kháng tương ứng với từ trường khe hở không khí.

Có thể nghiên cứu mạch điện đầu thành một pha của động cơ điện ba pha bằng phương pháp thành phần đối xứng của động cơ điện hai pha.

Khi động cơ điện ba pha đầu thành hai pha thì tỷ số biến áp bằng:

$$k = \frac{W_B k_{dB}}{W_A k_{dA}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (10-1)$$

Khi đem số pha quy đổi sang động cơ điện hai pha ($m = 2$) và số vòng dây quy đổi sang dây quấn làm việc A thì hệ số quy đổi của trở kháng rôto bằng:

$$k_{12}^2 = \frac{m_{II} (W_A k_{dA})^2 A}{m_{III} (W_B k_{dB})^2} = \frac{2(W_A k_{dA})^2}{3(W_B k_{dB})^2} = 2 \quad (10-2)$$

trong đó m_{II} và m_{III} là số pha máy điện hai pha và ba pha.

Tham số mạch điện thay thế pha A:

$r_{SA} = 2r_S$ là điện trở tác dụng pha A;

$x_{SA} = 2x_S$ là điện kháng pha A;

$r_{RA} = k_{12}^2 r_R = 2r_R$ là điện trở tác dụng của rôto quy đổi sang số pha và số vòng dây của pha A;

$x_{mA} = \frac{1}{k^2} x_m = 3x_m$ là điện kháng từ hóa quy đổi sang

dây quấn pha A;

$r_{RA} = 2x_R$ là điện trở rôto quy đổi sang dây quấn stato (pha A).

Tham số mạch điện thay thế pha B:

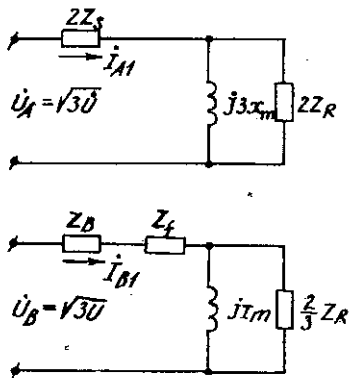
$r_{SB} = r_S$ và $x_{SB} = x_S$ - điện trở tác dụng và điện kháng pha B;

$r_{RB} = k^2 r_{RA} = \frac{1}{3} r_{RA} = \frac{2}{3} r_R$ là điện trở tác dụng rôto của pha B;

$x_{RB} = k^2 x_{RA} = \frac{1}{3} x_{RA} = \frac{2}{3} x_R$ là điện kháng rôto của pha B.

Mạch điện thay thế của động cơ điện ba pha lúc làm việc một pha như ở hình 10-2.

Giống như động cơ điện một pha, trở kháng mạch điện thứ tự thuận của một pha có thể tính theo công thức (7-3) và (7-4). Điện trở tác dụng của mạch điện thứ tự nghịch r'_{RA2} và điện kháng x'_{RA2} có thể tính



Hình 10-2. Mạch điện thay thế của dòng điện thứ tự thuận pha A và B, động cơ một pha cài tạo từ động cơ điện ba pha.

theo (7-3) và (7-4) nhưng thay s bằng $2s$, trong đó:

$$r'_{RB1} = \frac{1}{3} r'_{RA1}; \quad r'_{RB2} = \frac{1}{3} r'_{RA2};$$

$$x'_{RB1} = \frac{1}{3} x_{RA1}; \quad x'_{RB2} = \frac{1}{3} x'_{RA2}$$

Đối với động cơ điện hai pha dẫn xuất từ động cơ điện ba pha, tổng trở mạch điện thay thế thứ tự thuận và nghịch pha A và B như sau:

$$Z_{A1} = r_{A1} + jx_{A1} = (2r_s + r'_{RA1}) + j(2x_s + x'_{RA1}) \quad (10-3)$$

$$Z_{A2} = r_{A2} + jx_{A2} = (2r_s + r'_{RA2}) + j(2x_s + x'_{RA2}) \quad (10-4)$$

$$Z_{B1} = r_{B1} + jx_{B1} = (r_s + \frac{1}{3} r'_{RA1} + r_f) + j(x_s + \frac{1}{3} x'_{RA1} - x_c) \quad (10-5)$$

$$Z'_{B2} = r_{B2} + jx_{B2} = (r_s + \frac{1}{3} r'_{RA2} + r_f) + j(x_s + \frac{1}{3} x'_{RA2} - x_c) \quad (10-6)$$

Tổng trở mạch điện thay thế thứ tự thuận và nghịch của pha B tính theo công thức (10-5) và (10-6) bao gồm cả tổng trở của phần tử phụ (khởi động).

Phương pháp tính phần tử phụ và đặc tính làm việc có quan hệ đến loại động cơ điện và sẽ được nói đến ở các mục sau.

10.3. Động cơ điện điện dung

Điện dung làm việc của động cơ điện dung C_v được tính ở chế độ định mức, tức là $s_{dmII} = (0,65 \dots 0,7) s_{dmIII}$ với điều kiện đạt được từ trường quay tròn. Với điều kiện này, điện dung của động cơ điện điện dung và tỷ số biến áp có thể tính theo (8-15), (8-17) và (8-18). Nhưng với động cơ ba

pha đổi thành động cơ điện dung, tỷ số biến áp đã định là $k = 1/\sqrt{3}$. Vì vậy khi sử dụng điện dung (không có r_k) làm phần tử phụ thì ở s_{dmI} không thể đạt được từ trường quay tròn, do đó có thể theo trình tự sau đây để chọn điện dung làm việc của động cơ điện dung và tính toán đặc tính làm việc.

1. Theo các công thức sau tính điện kháng và điện dung

$$\begin{aligned} |x_{Cv}| &= k.r_{A1} + k^2 x_{A1} = \frac{1}{\sqrt{3}}(r_{SA} + r'_{RA1}) + \frac{1}{3}(x_{SA} + x_{RA1}) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}}(2r_s + r'_{RA1}) + \frac{1}{3}(2x_s + x'_{RA1}) \end{aligned} \quad (10-7)$$

$$C_v = \frac{10^6}{2\pi f . x_{Cv}} \quad (10-8)$$

2. Xét đến trong pha B thêm điện kháng x_{Cv} , theo công thức (10-3) đến (10-6) tính các tham số Z_{A1} , Z'_{A2} , Z'_{B1} và Z_{B2} với $s_{dmII} = (0,65 \text{ đến } 0,7)s_{dmIII}$. Có thể xác định s_{dmIII} theo các số liệu ghi trên nhãn máy.

3. Theo công thức (9-1) và (9-2) tính ra dòng điện thứ tự thuận và nghịch để tiện phán đoán độ elip của từ trường.

4) Nếu độ elip của từ trường rất lớn (dòng điện thứ tự nghịch I_{A2} rất lớn), phải căn cứ vào từ trường elip để tính đặc tính làm việc M , P_s , I_s , $\cos \varphi$, η , $s = f(P_R)$.

Trong trường hợp đó, mômen định mức của động cơ điện có thể tính theo (9-24) và (9-27), trong đó tham số của mạch điện thay thế theo $s_{dmII} = (0,65 \div 0,7)s_{dmIII}$.

Nếu mômen định mức tính được nhỏ hơn (0,65 ... 0,7) M_{dmIII} thì phải chọn lại điện dung, đồng thời tính toán lại các tham số mạch điện thay thế ở s_{dmII} và M_{dmII} .

Năng lực quá tải của động cơ điện dung chỉ được xác định chính xác sau khi tính xong đặc tính cơ.

Khi điện dung chọn được có thể bảo đảm động cơ có từ trường gần tròn ở bất cứ chế độ làm việc nào thì mômen được tính theo công thức sau:

$$M_{II} = \frac{97,4}{n_{db}} \cdot 2I_A^2 r'_{RA} = \frac{97,4}{n_{db}} \cdot 2(\sqrt{3}U)^2 \times \\ \times \frac{r'_{RA}}{(r_{SA} + r'_{RA}) + (x_{SA} + x'_{RA})^2} = \frac{584U^2 \cdot r'_{RA}}{n_{db}(r_A^2 + x_A^2)} \quad (10-9)$$

Vì $U_A = U_B = U_t = \sqrt{3}U$, nên trong công thức trên:

$$I_A = \frac{U_A}{\sqrt{r_A^2 + x_A^2}} = \frac{\sqrt{3}U}{\sqrt{r_A^2 + x_A^2}}$$

Đối với động cơ điện dung cải tạo từ động cơ điện ba pha, nếu trong pha phụ có nối điện dung và điện trở phụ thì khi $s_{dmII} = (0,65 \dots 0,7)s_{dmIII}$ có thể được từ trường tròn.

Đồ thị vectơ động cơ điện dung có điện dung C_v và điện trở r_f khi từ trường quay tròn như ở hình 8.3. Trong trường hợp đó, điện trở phụ tính theo công thức (8-22); do $k = 1/\sqrt{3}$ nên khi $r_o \approx 0$ điện trở phụ bằng:

$$r_f = x_{A1}k = r_{A1}k^2 = \frac{x_{A1}}{\sqrt{3}} - \frac{r_{A1}}{3} \quad (10-10)$$

Điện dung của tụ điện theo (8-17):

$$x_c = k^2 x_{A1} + k.T_{A1} = \frac{x_{A1}}{3} - \frac{r_{A1}}{\sqrt{3}} \quad (10-11)$$

Khi $s_{dmIII} = (0,65 \dots 0,7)s_{dmIII}$, chế độ định mức của động cơ được tính theo từ trường quay tròn. Dòng điện khởi

động và mômen khởi động động cơ làm việc bằng điện dung được tính theo công thức (9-15), (9-24) và (9-27) với điều kiện từ trường elip và $s = 1$.

Trong thực tế sử dụng hiện nay, có thể chọn một trị số điện dung làm việc cho động cơ ba pha cải tạo thành một pha làm việc bằng điện dung theo công thức kinh nghiệm sau:

$$C_v = k \cdot \frac{I_f}{U} \quad , \quad \mu\text{F} \quad (10-12)$$

trong đó I_f là dòng điện pha định mức của động cơ điện ba pha;
 U là điện áp lưới mà động cơ điện dung sẽ làm việc ;
 k là hệ số phụ thuộc vào sơ đồ đấu dây.

Ở tần số 50 Hz, trị số k và điện áp trên tụ U_c như sau:

Sơ đồ đấu dây theo hình	k	U_c, V
1d	2800	$1,15U$
1e	1600	$2U$
2b	2800	U
2c	4800	U

10.4. Động cơ một pha khởi động bằng điện dung

Trong mạch điện một pha, động cơ ba pha đổi thành loại khởi động bằng điện dung (xem hình 1b), do động cơ khi làm việc ngắt pha phụ nên chỉ có tham số của pha chính quyết định đặc tính làm việc của động cơ.

Trong mạch điện đang xét, công thức tính đặc tính làm việc của động cơ điện cũng giống như các công thức chuyên để tính động cơ một pha khởi động bằng điện dung

(xem công thức dùng cho từ trường đập mạch trong bảng 9-1, 9-3).

Trong trường hợp này, với $s_{dml} = (0,35 \dots 0,45) s_{dmlII}$ mà mômen định mức $M_{dml} \geq (0,35 \dots 0,45) M_{dmlII}$ thì có thể coi đặc tính làm việc của động cơ một pha cải tạo từ động cơ ba pha là tốt.

Mômen cực đại phải xấp xỉ mômen cực đại của động cơ một pha khởi động bằng điện dung thiết kế riêng. Còn đặc tính khởi động thì phụ thuộc vào phân tử phụ (điện dung). Điện dung C_k được tính theo công thức trong bảng 8-1 với yêu cầu của thiết kế.

Trong thực tế sử dụng hiện nay, đối với động cơ ba pha cải tạo thành một pha có điện dung khởi động thì tụ khởi động C_k được lấy bằng:

$$C_k = (2,5 \dots 3)C_v, \mu F \quad (10-13)$$

trong đó C_v được tính theo công thức (10-12).

Khi đó mômen khởi động gần bằng mômen định mức của động cơ ba pha.

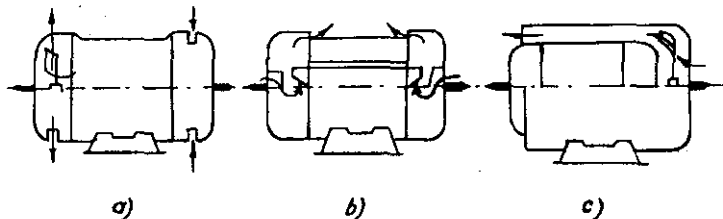
10.5. Động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở

Đặc tính làm việc của động cơ một pha khởi động bằng điện trở đầu lại từ động cơ ba pha cũng giống như đặc tính của động cơ khởi động bằng điện dung. Khi động cơ làm việc có từ trường đập mạch, đặc tính làm việc được tính theo công thức (9-1) ... (9-3), còn đặc tính khởi động được xác định theo điều kiện nêu trong mục 8-4 (xem bảng 8-2). Hiện nay trong dãy động cơ công suất nhỏ của Nga có chế tạo loại động cơ thông dụng cho cả ba pha và một điện dung kiểu YAД với công suất ba pha từ 1,2 đến 70 W và khi làm việc một pha từ 1 đến 50 W.

Chương 11. MỘT SỐ ĐẶC ĐIỂM VỀ KẾT CẤU CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ CÔNG SUẤT NHỎ

Do trang bị truyền động có ảnh hưởng rất lớn đến kết cấu máy điện nên đặc điểm của máy điện nhỏ là số kiểu, kết cấu và loại máy dẫn xuất rất nhiều.

Căn cứ vào yêu cầu kỹ thuật, động cơ không đồng bộ công suất nhỏ có thể thiết kế thành những kiểu kết cấu sau: kiểu kín, kiểu bảo vệ, kiểu hở, trong đó kiểu hở ít được dùng nhất.



Hình 11-1. Thông gió tự làm mát bằng quạt.

a) hướng trục; b) hướng kính; c) thổi ngoài vỏ máy.

Khi kết cấu động cơ cần tính đến hệ thống thông gió của máy. Với động cơ nhỏ thường dùng các kiểu thông gió sau: 1) làm mát tự nhiên (không có quạt); 2) trong máy điện có cánh quạt để tự thông gió (hình 11-1a và b); 3) thông gió nhờ quạt đặt ngoài máy (hình 11-1 c).

Căn cứ vào chiều luồng gió do kết cấu máy quyết định, hệ thống thông gió phân ra làm hai loại: hướng kính và hướng trục. Ngoài ra, dựa vào đặc điểm làm việc của quạt gió, có thể phân hệ thống thông gió thành loại quạt hút và loại quạt đẩy. Khi dùng thông gió kiểu đẩy, không khí

nguồn tiếp xúc với cánh quạt trước, do tổn hao của quạt mà không khí nóng lên trước khi qua máy. Khi dùng kiểu hút thì không khí lạnh trực tiếp qua máy trước khi đến quạt. Động cơ kiểu kín dùng phương pháp làm mát tự nhiên và thông gió nhờ quạt ngoài.

Trong kiểu bảo vệ, kiểu hở thì dùng kiểu thông gió tự nhiên hay thông gió tự làm mát.

Khi chọn kiểu kết cấu động cơ công suất nhỏ cần phải xét đến những điểm sau:

1) Điều kiện làm việc của động cơ thiết kế trong trạng bị truyền động đã cho, tức là biết rõ cần loại kết cấu nào.

2) Nếu yêu cầu động cơ ít tiếng ồn thì thường dùng kiểu kín.

3) Sự hạn chế về kích thước động cơ đối với toàn bộ truyền động cơ khí.

4) Khi khách hàng đặt yêu cầu là nhiệt độ mặt ngoài của động cơ tương đối thấp.

Tất nhiên những điểm trên cũng không phải là những yếu tố chính quyết định toàn bộ kết cấu của máy.

Thiết kế động cơ không thể đồng thời thỏa mãn hoàn toàn yêu cầu về kích thước nhỏ mà ít tiếng ồn, vì với động cơ đòi hỏi ít tiếng ồn thì phải giảm mật độ từ thông khe hở không khí B_s , đồng thời không trạng bị quạt gió (đó là nguồn chủ yếu sinh ra tiếng ồn), vì vậy kích thước của máy phải tăng lên. Trên thực tế cũng không thể thỏa mãn đồng thời cả hai yêu cầu nói trên với yêu cầu về nhiệt độ mặt ngoài thấp. Tuy vậy động cơ nhỏ kiểu kín trên thực tế ít tiếng ồn hơn các loại khác.

Yêu cầu về ít tiếng ồn ảnh hưởng đến kích thước hình học bên trong máy: quyết định sự phối hợp rãnh stato và rôto Z_s/Z_R , áp dụng rãnh nghiêng, công nghệ chế tạo (yêu

cầu ép chặt lõi sắt stato một cách chắc chắn, là thép không ba via, khe hở không khí thật đều, độ lỏng dọc trục và ngang trục của rôto giảm đến mức thấp nhất), cũng như kết cấu động cơ (dùng kiểu kín và ổ bạc đỡ). Từ trường quay tròn thì tiếng ồn cũng ít hơn.

Độ ồn trong động cơ công suất nhỏ thường phải nhỏ hơn 70 dB.

Có thể khi thỏa mãn một yêu cầu này thì không thể thỏa mãn được yêu cầu khác, vì vậy để có thể thỏa mãn đồng thời nhiều yêu cầu, khi thiết kế phải dùng phương pháp loại dần.

Kết cấu phổ biến nhất hiện nay đối với động cơ không đồng bộ công suất nhỏ loại thường dùng là kiểu kín có quạt gió và kín làm mát tự nhiên.

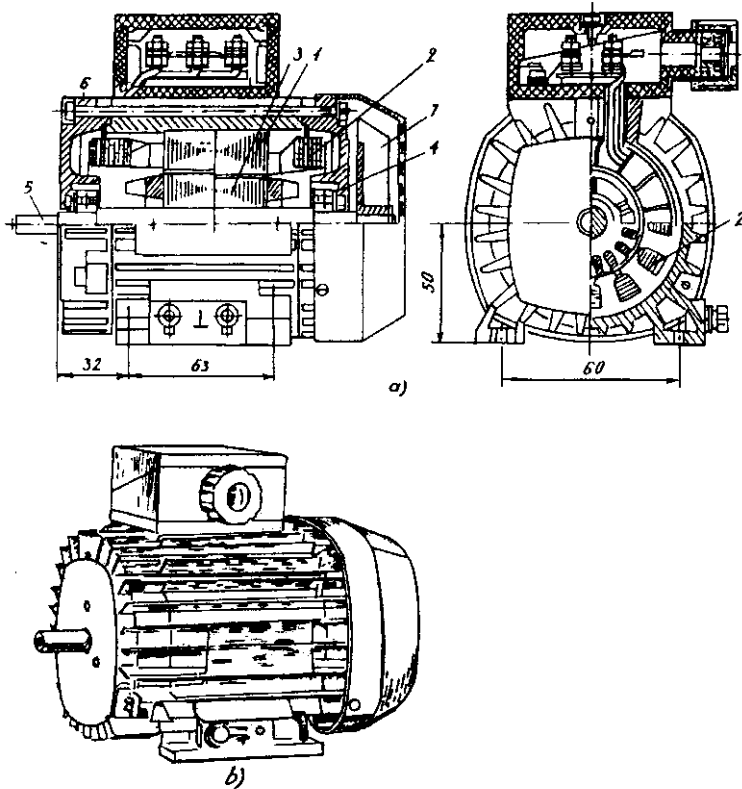
Trong nhiều trường hợp động cơ không cần có quạt riêng, ví dụ:

1) Trong chế độ làm việc ngắn hạn hay ngắn hạn lặp lại tác dụng của quạt rất hạn chế;

2) Khi động cơ điện kéo cơ cấu quay, do cơ cấu đó khi quay tạo được điều kiện phụ làm mát động cơ, tức là tạo ra điều kiện làm mát mặt ngoài vỏ máy v.v...

Sau đây sẽ giới thiệu dây động cơ điện công suất nhỏ mới của Nga là dây 4A. Dây này được chế tạo theo kiểu kín với cấp bảo vệ IP44, với các chiều cao tâm trục H là 50, 56, 63, 71 mm, kết cấu vỏ và nắp đều bằng nhôm (ký hiệu 4AA) hoặc vỏ nhôm nắp gang (ký hiệu 4AX), đối với động cơ ba pha thì dải công suất là từ 40 W đến 1100 W; với động cơ điện dung 4AAT và 4AXT và động cơ điện có điện dung làm việc và khởi động 4AAYT và 4XYT thì dải công suất là từ 120 W đến 750 W đối với tốc độ đồng bộ $n_{đb} = 3000$ vg/ph và từ 90 W đến 550 W đối với tốc độ

đồng bộ $n_{db} = 1500$ vg/ph; với động cơ điện khởi động bằng điện trở $4AAE$, $4AXE$ và khởi động bằng điện dung $4AAV$, $4AXV$ thì dải công suất đó từ 90 đến 550 W với $n_{db} = 3000$ vg/ph và $60 \div 370$ W với $n_{db} = 1500$ vg/ph.



Hình 11-2. Kết cấu (a) và hình dáng bên ngoài (b) của động cơ điện 4AA50B2 (4AA50B4).

1- lõi sắt stato; 2- dây quấn stato; 3- rô-tô, 4, 6- nắp;
5- trục; 7- cánh quạt.

Căn cứ vào yêu cầu lắp đặt các trang bị truyền động mà chế tạo thành kiểu nằm hay đứng. Động cơ điện có thể vừa có chân vừa có mặt bích hoặc chỉ có mặt bích. Động cơ điện có thể nối với các thiết bị khác bằng khớp nối hay puli kéo dây curoa.

Kết cấu của động cơ công suất nhỏ dãy 4AA như ở hình 11-2. Lõi sắt của dãy 4AA được làm bằng thép kỹ thuật điện cán nguội 2013, cách điện cấp B, cách điện rãnh là màng mỏng bằng polyetylen dán trên giấy cách điện dày 0,2 mm, dây quấn một lớp, cánh quạt, nắp quạt gió và hộp đầu dây ra làm bằng nhựa.

Chương 12. TÍNH TOÁN NHIỆT ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ CÔNG SUẤT NHỎ KIỂU KÍN

12.1. Phương pháp tính toán nhiệt

Do sự phân bố nhiệt lượng và sự tản nhiệt thực tế rất phức tạp nên tính toán nhiệt động cơ công suất nhỏ rất khó khăn. Phương pháp tính nhiệt động cơ cỡ trung không thể trực tiếp dùng cho máy nhỏ.

Đối với động cơ không đồng bộ công suất nhỏ kiểu kín làm việc ở chế độ liên tục, có thể dùng phương pháp sơ đồ nhiệt và tổn hao tương đương để tính.

Phương pháp sơ đồ nhiệt dựa trên cơ sở định luật về truyền nhiệt và tương tự như định luật Ohm trong mạch điện. Phương pháp tổn hao tương đương xét đến các phần tổn hao làm cho dây quấn phát nóng và dùng hệ số tương ứng để tính độ tăng nhiệt của dây quấn.

Để xác định độ tăng nhiệt ổn định θ của dây quấn stato, trước hết phải tìm ra nhiệt trở $R_{\theta S}$ của máy điện và tổn hao tương đương P_{td} :

$$\theta = R_{\theta S} P_{td} \quad (12-1)$$

Quan hệ giữa tổn hao tương đương với tổn hao thực tế như sau:

$$P_{td} = P_{DS} + k_{Fe} P_T + k_{Cu} P_{DR} + k_f P_f \quad (12-2)$$

trong đó k_{Fe} , k_{Cu} , k_f là các hệ số có quan hệ với tổn hao.

Khi tính toán nhiệt thường không xét đến tổn hao cơ.

Hệ số tổn hao và nhiệt trở của máy điện R_{DS} được xác định theo thực nghiệm bằng mẫu thử.

Dùng phương pháp tổn hao tương đương để tính toán nhiệt của dây máy điện càng có giá trị vì hệ số thực nghiệm có thể xác định được dựa vào kết quả thí nghiệm một số mẫu thử hữu hạn.

Phương pháp sơ đồ nhiệt tương đương có thể dùng cho những động cơ điện hiện có và cũng có thể dùng cho những động cơ điện đang thiết kế. Dùng phương pháp này có thể tính ra độ tăng nhiệt của các bộ phận máy điện vì vậy trong khi thiết kế có thể dùng để chọn một cách chính xác quan hệ giữa các mục tổn hao và trị số của nhiệt trở.

Do mạch nhiệt và mạch điện có những đặc điểm tương tự cho nên để tiện phân tích và trình bày, sau đây sẽ dẫn ra khái niệm "nguồn tổn hao". Mỗi nguồn tạo ra nhiệt thế là hàm số của tổn hao.

Công thức cơ bản của sơ đồ nhiệt thay thế như sau:

$$V = Q.R_t \quad (12-3)$$

trong đó V là nhiệt thế sinh ra dòng nhiệt tương ứng với nhiệt giáng trong phần tử đó, °C;

Q là dòng nhiệt qua phần tử, W;

R_t là nhiệt trở, °C/W.

Khi vẽ sơ đồ nhiệt tương đương, người ta giả thiết:

1. Phân đầu nối của dây quấn không truyền nhiệt vào môi trường bên trong động cơ.

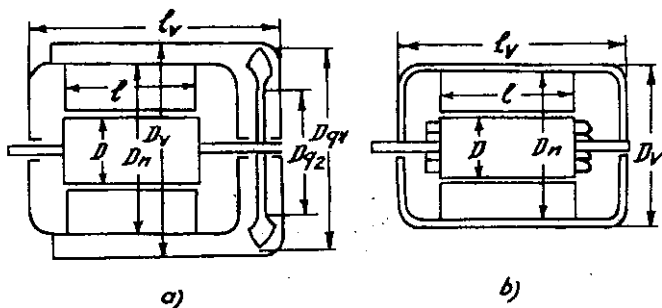
2. Toàn bộ tổn hao của rôto đều khuếch tán vào môi trường trong động cơ điện sau khi truyền cho nắp và vỏ.

3. Ngoài tổn hao quạt gió, tất cả những tổn hao ma sát đều có thể coi là tổn hao ma sát của không khí trong nội bộ máy điện và khi tính mạch điện thay thế thì cộng vào trong tổn hao rôto.

Tính toán nhiệt theo sơ đồ nhiệt thay thế là lợi dụng công thức kinh nghiệm xác định nhiệt độ của vỏ và điện trở của mạch nhiệt tương đương và dùng phương pháp tiệm cận xác định độ tăng nhiệt của các bộ phận trong máy điện. Trình tự tính toán sẽ được giới thiệu ở mục sau.

Đối với động cơ đối xứng (ba pha, hai pha) và máy điện một pha có chế độ làm việc liên tục, tính theo công thức xác định nhiệt độ vỏ máy ta có thể thu được kết quả tốt.

Đối với động cơ đối xứng có thể dùng phương pháp tính toán nhiệt trở và sơ đồ nhiệt tương đương, nhưng đối với động cơ một pha thì phương pháp này đang ở giai đoạn hiệu chỉnh.

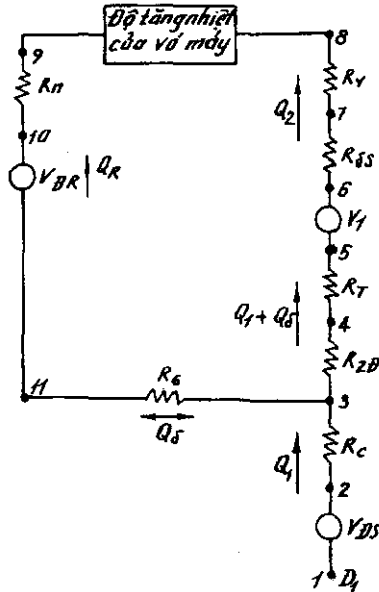


Hình 12-1. Kích thước dùng để tính nhiệt động cơ điện kiểu kín.
a) làm nguội bằng quạt; b) làm nguội tự nhiên.

Chương này nêu cách tính toán nhiệt đối với động cơ kiểu kín có quạt gió và kiểu kín tự làm nguội (hình 12-1). Sơ đồ nhiệt như ở hình 12-2.

Muốn đảm bảo cho động cơ điện có độ tăng nhiệt cho phép, cần phải chú ý chọn chính xác tải điện từ. Cách chọn tải điện từ (B_s , A , J) đã được đề cập đến ở mục 1.2. Đó là những số liệu đúc kết từ nhiều thí nghiệm máy điện đã chế

tạo. Do kết cấu máy điện nhỏ có nhiều loại, nhiều dạng nên không thể xác định được độ tăng nhiệt máy điện theo phương pháp tính toán cho mọi trường hợp mà đôi khi còn phải thông qua thí nghiệm để kiểm chứng.



Hình 12-2. Sơ đồ nhiệt thay thế. V_{DS} , V_{DR}

V_T - nhiệt thế của nguồn nhiệt do tổn hao đồng stato, rôto, tổn hao sắt stato sinh ra. R_n - nhiệt trở của nắp máy; R_δ - nhiệt trở khe hở không khí; R_v - nhiệt trở của vỏ; $R_{\delta s}$ - nhiệt trở khe hở giữa vỏ với lõi sắt stato. $R_{z\delta}$ - nhiệt trở ở phần răng vì tổn hao đồng stato; R_T - nhiệt trở ở lõi sắt stato; R_c - nhiệt trở của cách điện rãnh; Q_1 , Q_2 , Q_r , Q_δ - dòng nhiệt các bộ phận; θ_1 - độ lãngh nhiệt của dây quấn ở giữa rãnh.

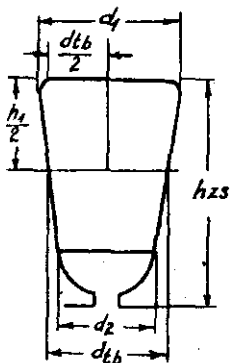
12.2. Tính toán nhiệt của động cơ không đồng bộ công suất nhỏ ba pha làm việc theo chế độ liên tục

Số liệu ban đầu để tính toán nhiệt động cơ công suất nhỏ là:

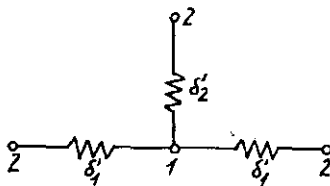
1) Kích thước động cơ (hình 12-1): D_n và D - đường kính ngoài và trong stato, cm; l - chiều dài lõi sắt stato, cm; δ - khe hở không khí, cm; D_v - đường kính ngoài vỏ máy, cm; (hình 12-3); d_1 và d_2 - chiều rộng rãnh, cm; h_{zs} - chiều cao răng stato, cm; b_{zib} - chiều rộng bình quân của răng, cm; h_{zs} - chiều cao gông stato, cm; d và d_{cd} - đường kính dây dẫn không kể cách điện và kể cả cách điện của dây quấn stato, cm; k_c - hệ số ép chặt lõi sắt; Z_s - số rãnh stato.

2) Tổn hao:

P_{DS} - tổn hao đồng stato, W; P_T - tổn hao sắt, W; P_{cd} - tổn hao cơ, W; P_{DR} - tổn hao điện rôto; P_f - tổn hao phụ; ΣP - tổng tổn hao, W.



Hình 12-3. Kích thước rãnh dùng để tính nhiệt trở cách điện dây dẫn đặt trong rãnh.



Hình 12-4. Sơ đồ nhiệt thay thế của rãnh.

Có thể tính toán nhiệt động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ ba pha ở chế độ làm việc liên tục theo các công thức sau:

1) Tính toán hằng số sơ đồ nhiệt trở và nhiệt thế của nguồn nhiệt (bảng 12-1a và b);

2) Tính toán nhiệt độ vỏ (bảng 12-2);

3) Tính toán theo sơ đồ nhiệt (bảng 12-3):

a) Sơ đồ dòng nhiệt đẳng trị khi giả thiết dòng nhiệt (hình 12-2) không qua khe hở ($Q_8 = 0$); (tính toán gần đúng lần thứ nhất);

b) Nhiệt thế (độ chênh lệch) của các phần tử trong sơ đồ nhiệt thay thế;

c) Dùng phương pháp tỷ số nhiệt thế ở hai bên khe hở để tính dòng nhiệt qua khe hở và quyết định sự phân bố mới của nhiệt lượng (tính toán gần đúng lần thứ hai);

d) Độ tăng nhiệt bình quân của dây quấn stato.

Vì trong máy điện kiểu kín nhiệt độ ở phần đầu nối cao hơn nhiệt độ dây đồng ở giữa rãnh nên độ tăng nhiệt bình quân của dây quấn stato bằng:

$$\theta_{ds} = k_3 \theta_1$$

trong đó $k_3 = 1,05 \dots 1,25$ (bình quân là 1,15); θ_1 - độ tăng nhiệt của dây đồng ở trong rãnh.

Độ tăng nhiệt bình quân của dây quấn stato không nên vượt quá giới hạn quy định theo tiêu chuẩn nhà nước.

Phương pháp tính toán nhiệt sẽ được trình bày cụ thể trong thí dụ thực tế ở mục 13.5.

Bảng 12-1a. Tính toán các hằng số trong sơ đồ thay thế (xác định nhiệt trở)

Nhiệt trở	Công thức	Chú thích
1	2	3
<p>1. Cách điện của dây dẫn đặt trong rãnh.</p>	<p>Số dây dẫn và chiều dày cách điện giả thiết ở khoảng cách $d_{tb}/2$ (theo hình 12-3)</p> $n_1 = \frac{d_{tb}}{2d_{cd}} ; \delta'_1 = \delta'(n_1 - 1) + \frac{\delta'}{2}$ <p>trong đó:</p> $d_{tb} = \frac{d_1 + d_2}{2}$ <p>δ' - chiều dày cách điện cả hai bên của dây dẫn. Số dây dẫn và chiều dày cách điện giả thiết ở trong khoảng cách: $\frac{h_{ZS}}{2}$</p> $n_2 = \frac{h_{ZS}}{2d_{cd}} ; \delta'_2 = \delta'(n_2 - 1) + \frac{\delta'}{2}$ <p>Căn cứ vào sơ đồ nhiệt thay thế của rãnh (hình 12-4) chiều dày đẳng trị của cách điện:</p>	<p>Giả thiết tổn hao đồng tập trung ở giữa rãnh, truyền sang hai bên và đáy rãnh. Dây dẫn tròn giả thiết là dây dẫn chữ nhật có cách điện và tiết diện như nhau.</p>

Tiếp bảng 12-1a

1	2	3
	$\delta_{td} = \frac{\delta_1 \delta_2'}{2\delta_2' + \delta_1}$ <p>Nhiệt trở của cách điện dây dẫn trong rãnh:</p> $R_{cd} = \frac{\delta_{td}}{Z_S I_1 C \cdot k_t'}$ <p>trong đó: $l_1 = l_s k_c$ $C = d_1 + 2h$ là chu vi rãnh, k_t' - hệ số dẫn nhiệt (đối với dây B_2, $k_t = 0,0004$)</p>	
<p>2. Lớp rãnh stato (vì tổn hao đồng stato)</p>	<p>Nhiệt trở ở lớp rãnh stato:</p> $R_Z = \frac{h_{ZS}}{S_Z k_{Fe}}$ <p>trong đó: $S_Z = Z_S b_{Ztb} l_1$; $k_{Fe} = 0,58$ - hệ số dẫn nhiệt của sắt; Nhiệt trở ở lớp rãnh vì tổn hao đồng stato:</p> $R_{ZD} = R_Z \frac{2h_{ZS}}{C}$	<p>Giả thiết việc tản nhiệt ở hai bên và đáy rãnh tỷ lệ thuận với chiều dài (trong diện tích mặt bên của rãnh)</p>
<p>3. Cách điện rãnh</p>	$R_r = \frac{\delta_r}{Z_S C \cdot l_1 k_{12}}$	

Tiếp bảng 12-1a

1	2	3
	<p>trong đó:</p> <p>δ_r - chiều dày cách điện rãnh;</p> <p>k'_{12} - hệ số dẫn nhiệt cách điện rãnh</p> <p>Đối với giấy cách điện, giấy cách điện + vải cách điện, giấy cách điện có dán màng tổng hợp, có thể lấy $k'_{12} = 0,0005$</p>	
<p>4. Gông stato</p>	$R_g = \frac{h_{gs}}{S_{gs} k_{Fe}} ;$ <p>trong đó:</p> $S_{gs} = \pi D_n l_1 ; D_{n1} = \frac{D_n + D + 2h_{zs}}{2}$	
<p>5. Khe hở giữa stato và rôto</p>	$R_\delta = \frac{\delta}{S_\delta k_{kk}}$ <p>trong đó:</p> <p>δ - khe hở giữa stato và rôto;</p> <p>k_{kk} - hệ số dẫn nhiệt của không khí</p> <p>$k_{kk} = 0,00023 ; S_\delta = \pi D \cdot l$</p>	

Tiếp bảng 12-1a

1	2	3
6. Khe hở giữa vỏ máy và lõi sắt stato	$R_{\delta S} = \frac{S_S}{S_{\delta S} k_{tk}}$ <p>trong đó:</p> $S_{\delta S} = \pi D_{nlS}$ <p>Khe hở bình quân giữa vỏ máy và lõi sắt stato có thể lấy bằng $\delta_{Sth} = 0,001$</p>	
7. Vỏ máy	$R_v = \frac{b_v}{\pi D_{vth} l'_v k_{Fe}}$ <p>trong đó:</p> <p>b_v - chiều dày của vỏ máy;</p> <p>D_{vth} - đường kính trung bình của vỏ máy;</p> <p>l'_v - chiều dày vỏ máy (không kể nắp)</p>	Nhiệt trở trong mục 1 ÷ 7 chỉ phụ thuộc vào tính dẫn nhiệt.
8. Nắp máy	$R_n = 0,001$	Nhiệt trở của nắp máy và rôto phụ thuộc vào tính chất đối lưu và dẫn nhiệt. Tính toán chúng rất phức tạp. Công thức bên là công thức kinh nghiệm.
	$R_R = 0,5 \div 0,6$	

Ghi chú: Các công thức trên dùng đơn vị kích thước là *cm*; hệ số dẫn nhiệt là *W / °C, cm*; nhiệt trở - *°C/W*. Trừ R_n và R_r , tất cả các nhiệt trở đều phụ thuộc vào tính dẫn nhiệt.

Bảng 12-1b. Xác định nhiệt thế của nguồn nhiệt

Nhiệt thế của nguồn nhiệt	Công thức	Chú thích
Tổn hao sắt stato	$V_T = 0,5 P_T R_{TS}$ trong đó: Tổng nhiệt trở của lõi sắt stato: $R_{TS} = R_T + R_Z$	Hệ số kinh nghiệm 0,5 xét đến sự phân bố của tổn hao sắt. V_T - độ tăng nhiệt của lõi sắt stato so với nhiệt độ môi trường.
Tổn hao đồng stato	$V'_{DS} = R'_{DS} R_{ot}$ trong đó: $R'_{DS} = R_{DS} + 0,5 P_I$	V'_{DS} - độ tăng nhiệt của điểm giữa rãnh so với nhiệt độ mặt ngoài dây dẫn áp sát cách điện rãnh.
Tổn hao rôto	$V_R = P_{co} R_R$ trong đó: P_{co} - tổn hao cơ không xét đến tổn hao quạt	V_R - độ tăng nhiệt của rôto so với nhiệt độ không khí bên trong động cơ điện.

Bảng 12-2. Tính toán nhiệt độ của vỏ máy

Trình tự tính toán	Công thức	Chú thích
1	2	3
1. Nhiệt độ môi trường đã cho	t_0	
2. Độ tăng nhiệt của vỏ máy (tính sơ bộ)	$\theta_T = \frac{\Sigma P}{S_v k_S k_1}$ <p>trong đó: Tổng diện tích bề mặt động cơ điện</p> $S_v = \frac{\pi D_v^2}{k_{n1}} + \pi D_v l_v$ <p>ơ điện có quạt làm nguội</p> $k_1 = 0,56 \cdot 10^{-3} D_v^{0,5}$ <p>$k_S = 1$ - đối với động cơ điện tự làm nguội</p> $k_S = \frac{7,06}{k_{n1}} \cdot 10^{-4} n (D_{B1} - D_{B2})$ <p>đối với động</p> <p>Khi $2p = 2$, $k_{n1} = 1,5$; Khi $2p = 4$, $k_{n1} = 1,25$;</p>	<p>Khi tính toán θ_V sử dụng nhiều hệ số kinh nghiệm:</p> <p>k_1, k_S, k_{n1}</p> <p>Hệ số k_1 xét đến do thông gió mà bề mặt ngoài tăng lên; xét đến ảnh hưởng của tốc độ của động cơ điện.</p>

Tiếp bảng 12-2

1	2	3
<p>3. Tính nhiệt bức xạ</p>	$P_{bx} = 1,63k_m S_v D_v \left[\left(\frac{t_2}{1000} \right)^4 - \left(\frac{t_1}{1000} \right)^4 \right]$ <p>Với máy điện sơn xanh, lục, xám, thì $k_m = 0,9$; màu bạc $k_m = 0,5$; t_1 và t_2 - nhiệt độ tuyệt đối của vỏ máy và môi trường. $t_2 = t_1 + \theta_v$; $t_1 = 273 + t_0$</p>	<p>k_m - suất bức xạ tương đối</p>
<p>4. Tính nhiệt tản ra do đối lưu</p>	$P_{dl} = \Sigma P - P_{bx}$	
<p>5. Xác định độ tăng nhiệt bình quân của vỏ máy</p>	<p>Khi $2\rho = 2$, $k_{n2} = 0,87$; Khi $2\rho = 4$, $k_{n2} = 0,94$.</p>	<p>k_{n2} là hệ số kinh nghiệm. Nếu θ_v và θ'_v không phù hợp với nhau thì phải tính lại mục 3-5 (tính gần đúng lần hai). Lúc đó lấy θ'_v bằng trị số trung gian giữa θ_v và θ_v lúc đầu.</p>

Tiếp bảng 12-2

1	2	3
6. Xác định nhiệt độ (tính toán) cao nhất của máy	$\theta_{mv} = \theta_v k_R$ <p>- Với máy điện làm nguội tự nhiên</p> $k_R = 0,89 \left(\frac{I_v}{D_v} \right)^{0,5};$ <p>- Với máy điện có quạt gió làm nguội</p> $k_R = 0,906 \left(\frac{I_v}{D_v} \right)^{0,5}$ $t_{mv} = \theta_{mv} + t_o$	k_R - hệ số kinh nghiệm

Ghi chú: Đơn vị của nhiệt độ là độ bách phân, của kích thước hình học là *cm*, công suất là *W*.

Bảng 12-3. Xác định độ tăng nhiệt của các bộ phận máy điện

Các điểm 8-9 trên sơ đồ nhiệt thay thế	Tên các bộ phận	Công thức		Chú thích
		Tính gần đúng lần thứ nhất	Tính gần đúng lần thứ hai	
8 - 9	mặt ngoài vỏ máy	$V_8 = V_9 = \theta_{mv}$	$V_8 = V_9 = \theta_{mv}; Q_\delta = \frac{t(V'_3 - V'_{11})}{R_\delta}$	

Tiếp bảng 12-3

7	mặt trong vỏ máy	$V_7 = V_8 + Q_2' R_v$ $Q_2' = Q_1 + P_s; Q_1 = R_{DS} + \frac{1}{2} P_f$	$Q_2 = Q_1 + P_T + Q_8$ $Q_1 = Q_1'$	<p>Xác định độ tăng nhiệt các bộ phận của máy điện theo sơ đồ nhiệt thay thế ở hình 12-2 bằng phương pháp tiệm cận. Khi tính toán gần đúng lần thứ ba so sánh nhiệt thế ở điểm 11 và 3 để tính dòng nhiệt qua khe hở không khí</p> <p>$\pm Q_8 = \frac{V_3 - V_{11}}{R_8}$; sau đó xác định trị số dòng nhiệt Q_2, Q_R và toàn bộ độ tăng nhiệt ở các điểm.</p>
6	mặt ngoài lõi sắt	$V_6' = V_7 + Q_2' R_{\delta S}$	$V_6 = V_7 + Q_2 R_{\delta S}$	
3	mặt ngoài của răng	$V_3' = V_6' + V_6' + Q_1 (R_T + R_{DZ})$	$V_3 = V_6 + V_6 + (Q_1 + Q_8) (R_T + R_{DZ})$ $Q_1' = Q_1$	
2	bề mặt dây dẫn trong rãnh stato	$V_2' = V_3' + Q_1 R_r$	$V_2 = V_3 + Q_1 R_r$	
1	dây dẫn ở giữa rãnh	$V_1' = V_2' + V_{DS}$	$V_1 = V_2 + V_{DS}; V_1 = \theta_1$	
10	mặt trong của nắp máy	$V_{10}' = V_9 + Q_R R_n$ $Q_R' = R_{DR} + \frac{1}{3} P_f + P_{\infty}$	$V_{10} = V_9 + Q_R R_n;$ $Q_R = Q_R' \pm Q_8$	
11	mặt ngoài rôto	$V_{11}' = V_{10}' + V_R$	$V_{11} = V_9 + Q_R R_n;$ $Q_R = Q_R' \pm Q_8$	

Chương 13. THÍ DỤ TÍNH TOÁN

13.1. Tính toán động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở

1. Nhiệm vụ thiết kế

1) Số liệu định mức:

Công suất tác dụng định mức: $P_{dm} = 30 \text{ W};$

Tốc độ quay (đồng bộ): $n_{db} = 3000 \text{ vg/ph};$

Số pha: $m = 1;$

Tần số nguồn điện: $f = 50 \text{ Hz};$

Điện áp định mức: $U_{dm} = 220 \text{ V}.$

2) Chế độ làm việc: liên tục;

3) Điều kiện làm việc: nhiệt độ môi trường $+ 40^\circ\text{C};$

4) Các điều kiện đặc biệt: ít tiếng ồn; bội số mômen cực

đại $m_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_{dm}} \geq 2,2;$ bội số mômen khởi động $m_{kd} \geq 0,75$

và bội số dòng khởi động $i_{kd} \leq 7,5;$

5) Vị trí của trục: trục đứng;

6) Công dụng: thiết bị truyền động trong thí nghiệm;

7) Kiểu máy: kín, làm nguội tự nhiên.

2. Xác định kích thước chủ yếu

Với động cơ điện một pha có phân tử mở máy $\beta_1 = 2,5.$
Công suất định mức của động cơ điện ba pha đẳng trị:

$$P_{dmIII} = \beta_1 \cdot P_{dm} = 2,5 \times 30 = 75 \text{ W}.$$

Từ đường cong trên hình 1-1 tra ra: $\eta_{III} \cos \varphi_{III} = 0,435.$

Vì vậy công suất tính toán của động cơ điện ba pha đẳng trị :

$$P_{SIII} = \frac{P_{dmIII}}{\eta_{III} \cos \varphi_{III}} = \frac{75}{0,435} = 172,5 \text{ VA}$$

Xét đến yêu cầu ít tiếng ồn, chọn $B_\delta = 0,42$ Tesla.

Chọn tải đường như sau:

$$A = 110 \text{ A/cm} ; \lambda = \frac{l}{D} = 0,73 ; k_D = 0,58.$$

Từ đó tính ra đường kính ngoài stato:

$$D_n = \frac{44}{k_D} \sqrt[3]{\frac{P'_{sIII} P}{B_\delta \cdot A \cdot \lambda \cdot n_{db}}} = \frac{44}{0,58} \sqrt[3]{\frac{172,5 \times 1}{0,42 \times 110 \times 0,73 \times 3000}} = 9,2 \text{ cm.}$$

Căn cứ vào đường kính ngoài tiêu chuẩn, chọn $D_n = 89 \text{ mm}$.

Đường kính trong stato:

$$D = k_D D_n = 0,58 \times 89 = 51,5 \text{ mm.}$$

Bước cực:

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi \cdot 51,5}{2} = 81 \text{ mm hay } 8,1 \text{ cm.}$$

Chiều dài tính toán của stato:

$$l = \lambda \cdot D = 0,73 \times 51,5 = 38 \text{ mm hay } 3,8 \text{ cm.}$$

Chọn khe hở không khí: $\delta = 0,03 \text{ cm}$.

3. Dây quấn, rãnh và gông stato

Chọn rãnh stato và rôto:

$$Z_s = 18 \text{ và } Z_r = 15.$$

Tỷ số Z_s/Z_r chọn được phù hợp với quy định trong bảng 2-1 và phù hợp rãnh stato, rôto này hiện đang được dùng

trong dây thống nhất. Tỷ số rãnh stato của dây quấn chính và phụ trong động cơ điện khởi động bằng điện trở chọn là 2 : 1, tức $Z_A = 12$, $Z_B = 6$.

Số rãnh của dây quấn chính dưới mỗi cực:

$$Q_A = \frac{\frac{2}{3} Z_S}{2p} = \frac{\frac{2}{3} \times 18}{2} = 6$$

Số rãnh của dây quấn phụ dưới mỗi cực:

$$Q_B = \frac{\frac{1}{3} Z_S}{2p} = \frac{\frac{1}{3} \times 12}{2} = 3$$

Có thể dùng dây quấn hình sin hay dây quấn hai lớp bước ngắn để triệt tiêu sóng bậc 3. Ở đây dùng dây quấn hai lớp với bước ngắn 1/3 bước cực. Bước dây quấn là:

$$y = \beta \cdot \tau = \frac{2}{3} \times 9 = 6$$

Hệ số dây quấn của dây quấn chính:

$$k_{dA} = \frac{\sin \frac{\pi p Q_A}{Z_S}}{Q_A \sin \frac{\pi p}{Z_S}} \sin \beta \frac{\pi}{2} = \frac{\sin \frac{\pi \times 1 \times 6}{18}}{6 \sin \frac{\pi \times 1}{18}} \sin \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi}{2} = 0,772$$

Lấy $\alpha_\delta = 0,64$, $k_s = 1,11$, $B_\delta = 0,42$ T được:

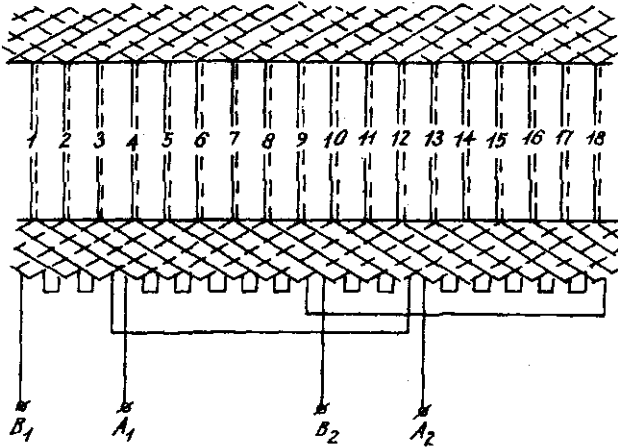
Từ thông:

$$\Phi = \alpha_\delta \cdot \tau \cdot l \cdot B_\delta \cdot 10^{-4} = 0,64 \times 8,1 \times 3,8 \times 0,42 \cdot 10^{-4} = 0,827 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

Chọn $k_E = 0,8$, số vòng dây của pha chính bằng:

$$W_{SA} = \frac{U_{dm} k_E}{4k_B f \Phi k_{dA}} = \frac{220 \times 0,8}{4 \times 1,11 \times 50 \times 0,827 \cdot 10^{-3} \times 0,722} = 1331,4 \text{ vg}$$

Lấy $W_{SA} = 1332 \text{ vg}$.



Hình 13-1. Giải đồ khai triển của dây quấn động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở với $Z_s = 18$; $2p = 2$; $Q_A = 6$; $Q_B = 3$.

4. Tiết diện dây đồng trong rãnh

Chọn số mạch nhánh $a = 1$. Số dây dẫn trong một rãnh bằng:

$$u_{rA} = \frac{2 W_{SA}}{p \cdot Q_A} = \frac{2 \times 1332}{2 \times 6} = 222 \text{ vg}$$

Căn cứ vào đường biểu diễn ở hình 1-2, khi $P_{dm} = 30 \text{ W}$, $\eta_1 \cos \varphi_1 = 0,3$. Như vậy công suất tính toán bằng:

$$P'_S = \frac{P_{dm}}{\eta_1 \cos \varphi_1} = \frac{30}{0,3} = 100 \text{ VA.}$$

Dòng điện định mức của pha chính (sơ bộ):

$$I_{dmA} = \frac{P_S}{m \cdot U_{dm}} = \frac{100}{1 \times 220} = 0,455 \text{ A}$$

Chọn mật độ dòng điện $J_{SA} = 6 \text{ A/mm}^2$, tìm ra tiết diện dây dẫn:

$$S'_{SA} = \frac{I_{dmA}}{a J_{SA}} = \frac{0,455}{1 \times 6} = 0,0758 \text{ mm}^2$$

Chọn tiết diện dây quy chuẩn: $S_{SA} = 0,0755 \text{ mm}^2$, như vậy đường kính dây không kể cách điện $d = 0,31 \text{ mm}$. Chọn dây dẫn ký hiệu ПЭВ-2 của Nga, đường kính dây kể cả cách điện $d_{cd} = 0,35 \text{ mm}$.

Tổng tiết diện dây đồng trong rãnh:

$$S_{DSA} = S_{SA} u_{rA} = 0,0755 \times 222 = 16,8 \text{ mm}^2$$

5. Rãnh và gông stato

Căn cứ vào tiết diện dây dẫn trong rãnh để chọn dạng rãnh và kích thước rãnh. Dùng rãnh hình nửa quả lê, bề rộng răng (sơ bộ):

$$b_{ZS} = \frac{B_{\delta} t_S}{B_{ZS} k_c} = \frac{0,42 \times 9}{1,25 \times 0,97} = 3,12 \text{ mm.}$$

Sơ bộ chọn $b_{ZS} = 3,2 \text{ mm}$ trong đó bước răng stato

$$t_S = \frac{\pi D}{Z_S} = \frac{3,14 \times 51,5}{18} = 9 \text{ mm, chọn mật độ từ thông răng}$$

stato $B_{ZS} = 1,25 \text{ T}$ và hệ số ép chặt $k_c = 0,97$.

Chiều cao gông (sơ bộ)

$$h_{gS} = 0,2 b_{ZS} \frac{Z_S}{p} = 0,2 \times 3,2 \times \frac{18}{1} = 11,52 \text{ mm. Sơ bộ chọn } h_{gS} =$$

11,0 mm.

Chọn kích thước rãnh:

Chiều cao của miệng rãnh: $h_{4s} = 0,5$ mm.

Chiều rộng miệng rãnh:

$$b_{4s} = d_{cd} + (1,1 \dots 1,5) = 0,36 + (1,1 \dots 1,5) = 1,46 \dots 1,86 \text{ mm}$$

Chọn $b_{4s} = 1,8$ mm.

Các kích thước rãnh khác:

$$d_1 = \frac{\pi(D + 2h_{4s}) - b \cdot Z_z}{Z_A - \pi} = \frac{\pi(51,5 + 2 \times 0,5) - 3,2 \times 18}{18 - \pi} = 7,22 \text{ mm}$$

Chọn $d_1 = 7,2$ mm.

$$b_2 = \frac{\pi(D_n - 2h_{gS})}{Z_{S1}} - b_{zS} = \frac{\pi(89 - 2 \times 11,0)}{18} - 3,2 = 8,5 \text{ mm};$$

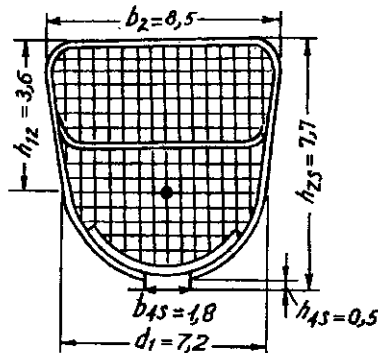
Chọn $b_2 = 8,5$ mm.

Chiều cao rãnh:

$$h_{rS} = \frac{D_n - D - 2h_{gS}}{2} = \frac{89 - 51,5 - 2 \times 11}{2} = 7,75 \text{ mm};$$

Chọn $h_{rS} = 7,7$ mm.

$$h_{12} = h_{rS} - 0,5(d_1 + 2h_{4s}) = 7,7 - 0,5(7,2 + 2 \times 0,5) = 3,6 \text{ mm}.$$



Hình 13-2a. Hình dạng rãnh stato có cách điện.

Sau khi chọn kích thước rãnh thì kích thước thực của gông và răng stato sẽ là:

$$h_{gS} = \frac{D_n - D - 2h_{rS}}{2} = \frac{89 - 51,5 - 2 \times 7,7}{2} = 11,05 \text{ mm}$$

$$b'_{ZS} = \frac{\pi(D + d_1 + 2h_{4S})}{Z_S} - d_1 = \frac{\pi(51,5 + 7,2 + 2 \times 0,5)}{18} - 7,2 = 3,219 \text{ mm}$$

$$b''_{ZS} = \frac{\pi(D_n - 2h_{gs})}{Z_S} - b_2 = \frac{\pi(89 - 2 \times 11,05)}{18} - 8,5 = 3,176 \text{ mm}$$

bình quân $b_{ZS} = \frac{b'_{ZS} + b''_{ZS}}{2} = \frac{3,219 + 3,176}{2} = 3,20 \text{ mm}$

Tiết diện rãnh:

$$S_{rS} = \frac{\pi d_1^2}{8} + 0,5h_{12}(d_1 + b_2)$$

$$= \frac{\pi(7,2)^2}{8} + 0,5 \times 3,6 \times (7,2 + 8,5) = 48,7 \text{ mm}^2$$

Kích thước rãnh xem ở hình 13-2, cách điện rãnh xem ở bảng 13-1.

Diện tích cách điện chiếm chỗ trong rãnh: $S_{cd} = 9 \text{ mm}^2$.

Hệ số lấp đầy rãnh:

$$k_d = \frac{d_{cd}^2 u_r}{S_{rS} - S_{cd}} = \frac{(0,35)^2 \times 222}{48,7 - 9} = 0,685 < 0,7$$

Bảng 13-1. Quy cách của kết cấu rãnh

Tên	Vật liệu	Kích thước, mm	Chú thích
Dây dẫn	ПЭВ-2	$d_{cd} = 0,31/0,35$	
Cách điện rãnh	Tám cách điện	0,2	một mặt của rãnh
Nêm	Tám cách điện	0,3	

6. Trở kháng của dây quấn stato và rôto, trở kháng của dây quấn chính stato

Từ bảng 4-1 tra ra hệ số k_1 và B , từ đó tính ra chiều dài bình quân của phần đầu nối dây quấn chính:

$$l_d = k_1 \tau_y + 2B = k_1 \frac{\pi(D + h_{rs})}{2p} \beta + 2B =$$

$$= 1,2 \times \frac{\pi(5,15 + 0,85)}{2} \times \frac{2}{3} + 2 \times 1 = 9,48 \text{ cm.}$$

Chiều dài bình quân của nửa vòng dây:

$$l_{tb} = l + l_d = 3,8 + 9,48 = 13,28 \text{ cm.}$$

Tổng chiều dài dây dẫn của một pha:

$$L_{SA} = 2l_{tb} W_{SA} \cdot 10^{-2} = 2 \times 13,28 \times 1332 \cdot 10^{-2} = 353,8 \text{ m}$$

Điện trở tác dụng của dây quấn chính stato:

$$r_{AS} = \rho \frac{L_{SA}}{S_{SA} \cdot a} = \frac{1}{46} \times \frac{353,8}{0,0755 \times 1} = 101,86 \ \Omega$$

Hệ số từ tản phân rãnh:

$$\lambda_r = \left[\frac{h_1}{3d_1} k_\beta + \left(0,785 - \frac{h_{4S}}{2d_1} + \frac{h_2}{d_1} + \frac{h_{4S}}{b_{4S}} \right) k_{\beta 1} \right]$$

$$= \frac{7}{3 \times 7,2} \times 0,813 + \left(0,785 - \frac{1,8}{2 \times 7,2} - \frac{3,4}{7,2} + \frac{0,5}{1,8} \right) \times 0,75$$

$$= 0,612.$$

trong đó $h_1 = 7 \text{ mm}$, $h_2 = -3,4 \text{ mm}$.

$$k_\beta = \frac{7 + 9\beta}{16} = \frac{7 + 9(2/3)}{16} = 0,813;$$

$$k_{\beta 1} = \frac{1 + 3\beta}{4} = \frac{1 + 3(2/3)}{4} = 0,75.$$

Bước răng stato:

$$t_S = \frac{\pi D}{Z_S} = \frac{\pi \times 51,5}{18} = 9 \text{ mm}$$

Bước răng rôto:

$$t_R = \frac{\pi(D - 2\delta)}{Z_R} = \frac{\pi \times (51,5 - 2 \times 0,3)}{15} = 10,6 \text{ mm}$$

Làm nghiêng rãnh ở stato, nghiêng một bước răng rôto:

$$h_n = t_R = 10,6 \text{ mm} = 1,06 \text{ cm}$$

$$\alpha_n = \frac{2p \cdot h_n}{D - 2\delta} = \frac{2 \times 10,6}{51,5 - 2 \times 0,3} = 0,417 \text{ rad.}$$

Hệ số rãnh nghiêng:

$$k_n = \frac{2 \sin \frac{\alpha_n}{2}}{\alpha_n} = \frac{2 \sin 11^\circ 57'}{0,417} = 0,99$$

$$k_{dR} = k_n = 0,99.$$

Với các hệ số sau:

$$\frac{t_R}{t_S} = \frac{10,6}{9} = 1,18 \text{ và } \beta_r = \frac{h_n}{t_R} = \frac{10,6}{10,6} = 1.$$

Sử dụng đường cong ở các hình 4-3 đến 4-6 tra ra các hệ số F , F_1 , G và G_1 :

$$F = 1,9; F_1 = 0,26; G = 1; G_1 = 0,41.$$

Với các hệ số sau:

$$\frac{b_{4S}}{\delta} = \frac{1,5}{0,3} = 5 \text{ và } \frac{b_{4S}}{t_s} = \frac{1,5}{9} = 0,167.$$

Từ đường cong ở hình 4-7 tra ra hệ số $\Delta_z = 0,06$

Khi $Q_A = y$; $Q_A + y \neq \frac{Z_{4S}}{t_p}$ thì hệ số $N = 1,5$.

Theo công thức ở bảng 4-3 thì hệ số:

$$\begin{aligned} \xi_S &= 2 \left(F \cdot k_{\beta 1} - \frac{F_1}{2Q_A} \right) - 4Z \left(G \cdot k_{\beta 1} - \frac{G \cdot N}{2Q_A} \right) - \frac{4Q_A P}{Z_S} k_{dA}^2 \left(\frac{t_R}{t_S} \right)^2 \times \\ &\times \left(1 + \beta_n^2 k_{dR}^2 \right) = 2 \left(1,9 \times 0,75 - \frac{0,26 \times 1,5}{2 \times 6} \right) - 0,06 \left(1 \times 0,75 - \right. \\ &\left. - \frac{0,41 \times 1,5}{2 \times 6} \right) - \frac{4 \times 6 \times 1}{18} \times (0,722)^2 \left(\frac{10,6}{9} \right)^2 \times (1 + 1 \times 0,99^2) = \\ &= 0,82 \end{aligned}$$

Miếng rãnh rôto lấy bằng $b_{4R} = 1,0$ mm.

Hệ số khe hở không khí:

$$k_{\delta S} = \frac{5 + \frac{b_{4S}}{\delta}}{5 + \frac{b_{4S}}{\delta} \cdot \frac{t_S - b_{4S}}{t_S}} = \frac{5 + \frac{1,8}{0,3}}{5 + \frac{1,8}{0,3} \times \frac{9 - 1,8}{9}} = 1,122$$

$$k_{\delta R} = \frac{5 + \frac{b_{4R}}{\delta}}{5 + \frac{b_{4R}}{\delta} \cdot \frac{t_R - b_{4R}}{t_R}} = \frac{5 + \frac{1,0}{0,3}}{5 + \frac{1,0}{0,3} \times \frac{10,6 - 1,0}{10,6}} = 1,039$$

$$k_{\delta} = k_{\delta S} k_{\delta R} = 1,122 \times 1,039 = 1,166.$$

Hệ số từ tản tạp:

$$\lambda_t = \frac{t_S}{11,9\delta \cdot k_{\delta}} \xi_S = \frac{9}{11,9 \times 0,3 \times 1,166} \times 0,82 = 1,77.$$

Hệ số từ tản đầu nối:

$$\begin{aligned} \lambda_d &= 0,28 \left(1 - 0,6 \frac{2P \cdot Q_A}{Z_S} \right) \frac{Q_A}{l} (l_d - 0,64\beta \cdot \tau) = \\ &= 0,28 \left(1 - 0,6 \frac{2 \times 6}{18} \right) \frac{6}{3,8} \left(9,48 - 0,64 \cdot \frac{2}{3} \cdot 8,1 \right) = 1,6 \end{aligned}$$

Tổng hệ số từ tản stato:

$$\Sigma \lambda_s = \lambda_{rs} + \lambda_{ls} + \lambda_{ds} = 0,612 + 1,77 + 1,6 = 3,982.$$

Điện kháng tản dây quấn chính stato:

$$\begin{aligned} x_{SA} &= 0,158 \frac{f}{100} \left(\frac{W_{SA}}{100} \right)^2 \frac{l}{p \cdot q} \Sigma \lambda_s = \\ &= 0,158 \times \frac{50}{100} \times \left(\frac{1332}{100} \right)^2 \times \frac{3,8}{1 \times 6} \times 3,982 = 35,5 \Omega. \end{aligned}$$

Sử dụng đồ thị vectơ ở hình 2-14 để nghiệm lại k_E . Khi $\cos \varphi_{dm} = 0,68$ (xem hình 2-16) và $I_{dm} = 0,455$ vẽ đồ thị vectơ được $k_E = 0,8$. Trị số này phù hợp với trị số giả thiết ban đầu.

7. Chọn kích thước rãnh rôto

Chọn hệ số trượt định mức $s_{dm} = 0,04$.

Khi bội số mômen cực đại $m_m = 2,35$, từ hình 3-4 tra được $s_m = 0,2$. Có $s_m = 0,2$, từ hình 3-5 được $\frac{r_R}{x_m} = 0,623$.

Lấy $x_m = 2x_{SA} = 2 \times 35,5 = 71 \Omega$. Sơ bộ tính ra:

$$r_R = 0,623 \times 71 = 44,2 \Omega.$$

Căn cứ vào trị số trên, tính điện trở thực của rôto:

$$r'_R = \frac{Z_R k_{dR}^2}{8W_{SA}^2 k_{dA}^2} r_R = \frac{15 \times 0,99^2 \times 44,2}{8 \times 1332^2 \times 0,722^2} = 0,8788 \cdot 10^{-4} \Omega.$$

Dùng nhôm đúc làm thanh dẫn và vòng ngắn mạch rôto.

Sơ bộ tính bề rộng răng rôto:

$$h_{ZR} = \frac{B_\delta t_R}{B_{ZR} k_c} = \frac{0,42 \times 10,6}{1,25 \times 0,97} = 3,67 \text{ mm}$$

trong đó: lấy $B_{ZR} = 1,25 T$; $k_c = 0,97$.

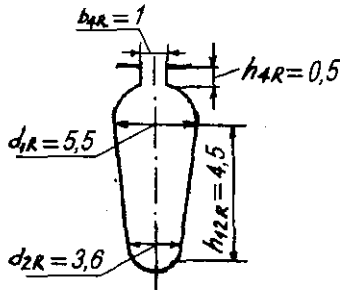
Lấy $b_{ZR} = 3,8$ mm.

Sơ bộ tính tiết diện thanh dẫn rôto:

$$S_{1R} = 1,6 S_{DS} \frac{Z_S}{Z_R} = 1,6 \times 16,8 \times \frac{18}{15} = 32,25 \text{ mm}^2$$

Sơ bộ tính tiết diện vành ngăn mạch:

$$S'_v = (2,5 \dots 3,5) S_{1R} = (2,5 \dots 3,5) \times 32,25 = 80,6 \dots 113 \text{ mm}^2$$



Hình 13-2b. Hình dạng và kích thước rãnh rôto.

Chọn rãnh rôto hình quả lê như ở hình 13-2b, kích thước rãnh rôto như sau:

$$\begin{aligned} d_{1R} &= \frac{\pi[D - 2(\delta + h_{4R})] - b_{ZR}Z_R}{Z_R + \pi} \\ &= \frac{\pi \times [51,5 - 2(0,3 + 0,5)] - 3,8 \times 15}{15 + \pi} = 5,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lấy $d_{2R} = 3,6$ mm, ta có:

$$\begin{aligned} h_{12R} &= 0,5 \left[D - 2\delta - d_{1R} - 2h_{4R} - \frac{Z_R(b_{ZR} + d_{2R})}{\pi} \right] = \\ &= 0,5 \times \left[51,5 - 2 \times 0,3 - 5,5 - 2 \times 0,5 - \frac{15 \times (3,8 + 3,6)}{\pi} \right] = 4,51 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lấy $h_{12} = 4,5$ mm.

Chiều cao rãnh rôto:

$$\begin{aligned}h_{rR} &= 0,5(d_{1R} + d_{2R}) + h_{12R} + h_{4R} = \\ &= 0,5 \times (5,5 + 3,6) + 4,5 + 0,5 = 9,55 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tiết diện rãnh rôto:

$$\begin{aligned}S_{rR} &= \frac{\pi(d_{1R}^2 + d_{2R}^2)}{8} + h_{12} \frac{d_{1R} + d_{2R}}{2} \\ &= \frac{(5,5^2 + 3,6^2)}{8} + 4,5 \times \frac{5,5 + 3,6}{2} = 37,44 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tiết diện vành ngắn mạch:

$$S_v = a \times b = 7,8 \times 12 = 93,6 \text{ mm}^2$$

trong đó lấy $a = 7,8$ mm, $b = 12$ mm.

Điện trở của thanh dẫn:

$$r_{175} = \rho_{75} \frac{l_R 10^{-2}}{S_t} = \frac{1}{23} \cdot \frac{3,8 \cdot 10^{-2}}{37,44} = 0,441 \cdot 10^{-4} \Omega$$

trong đó chiều dài thanh dẫn rôto $l_R = l_s = 3,8$ mm.

Điện trở của phần tử vành ngắn mạch:

$$r_{v75} = \rho_{75} \frac{\pi D_v 10^{-2}}{Z_R (a \times b)} = \frac{\pi \cdot 3,89 \cdot 10^{-2}}{23 \times 15 \times (7,8 \times 12)} = 0,378 \cdot 10^{-5} \Omega$$

trong đó $D_v = D - (2\delta - b) =$

$$= 51,5 - (2 \times 0,3 - 12) = 38,9 \text{ mm}$$

Điện trở đẳng trị của rôto:

$$r'_R = r_t + \frac{r_v}{2 \sin^2 \frac{\eta}{Z_R}} = 0,441 \cdot 10^{-4} + \frac{0,378 \cdot 10^{-5}}{2 \sin^2 \frac{180^\circ \cdot 1}{15}} = 0,879 \cdot 10^{-4} \Omega$$

Như vậy r'_R gần giống với trị số giả thiết ban đầu.

Khi tính điện kháng tản của rôto, chọn $b_{4R} = 1,0$ mm và $h_{4R} = 0,5$ mm.

Khi $k_\mu = 1$, hệ số từ tản rãnh rôto bằng:

$$\lambda_{r\mu} = \left[\frac{h_{1R}}{3d_{1R}} \left(1 - \frac{\pi d_{1R}^2}{8S_t} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_{4R}}{2d_{1R}} \right] k_\mu + \frac{h_{4R}}{b_{4R}} =$$

$$= \frac{5,94}{3 \times 5,5} \times \left(1 - \frac{\pi \times 5,5^2}{8 \times 37,44} \right)^2 + 0,66 - \frac{1}{2 \times 5,5} + \frac{0,5}{1} = 0,1237.$$

Với $h_{1R} = h_{12} + \frac{d_{2R}}{2} - 0,1d_{2R} = 4,5 + \frac{3,6}{2} - 0,1 \times 3,6 = 5,94$ mm

Với $\frac{b_{4R}}{t_R} = \frac{1}{10,6} = 0,094$ và $\frac{b_{4R}}{\delta} = \frac{1}{0,3} = 3,33$

Theo hình 4-7 tra ra hệ số:

$$\Delta_Z = 0,025;$$

$$\xi_R = 1 - \Delta_Z = 1 - 0,025 = 0,975.$$

Hệ số từ tản tạp:

$$\lambda_{tR} = \frac{t_R}{11,9\delta \cdot k_\delta} \xi_R = \frac{10,6}{11,9 \times 0,3 \times 1,17} \cdot 0,975 = 2,48.$$

Hệ số từ tản đầu nối:

$$\lambda_{dR} = \frac{2,9D_v}{Z_R l \left(2 \sin \frac{\pi p}{Z_R} \right)^2} \lg \frac{4,7D_v}{2 \left(\frac{a}{2} + b \right)} =$$

$$= \frac{2,9 \times 38,92}{15 \times 38 \left(2 \sin \frac{180^\circ \cdot 1}{15} \right)^2} \lg \frac{4,7 \times 38,92}{2 \times \left(\frac{7,8}{2} + 12 \right)} = 1,522$$

Tổng hệ số từ tản:

$$\Sigma \lambda_R = \lambda_{rR} + \lambda_{iR} + \lambda_{sR} = 1,237 + 2,48 + 1,522 = 5,239;$$

$$\Sigma \lambda'_R = \Sigma \lambda_R \frac{l_R Z_S \left(\frac{k_{dA}}{k_{dE}} \right)^2}{l_S Z_R} = 5,239 \frac{18 \left(\frac{0,722}{0,99} \right)^2}{15} = 3,4$$

Điện kháng rôto:

$$x_R = x_S \frac{\Sigma \lambda'_R}{\Sigma \lambda_S} = 3,55 \times \frac{3,4}{3,982} = 30,3 \Omega.$$

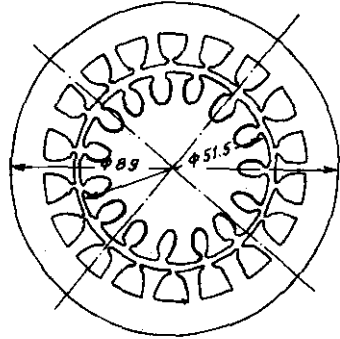
8. Dòng điện từ hoá

Sau khi tính toán mạch từ sẽ tính được dòng điện từ hoá. Hình 13-3 là bản vẽ tấm dập lõi sắt stato và rôto.

Sức từ động khe hở không khí:

$$\begin{aligned} F_\delta &= 1,6k_\delta B_\delta \delta \cdot 10^4 = \\ &= 1,6 \times 1,167 \times 0,42 \times 0,03 \cdot 10^4 \\ &= 235,3 \text{ A.} \end{aligned}$$

Stato và rôto đều dùng thép lá kỹ thuật điện dày 0,5 mm ký hiệu 2211 không quét sơn cách điện ở bề mặt lá thép. Khi tính toán sức từ động ở các bộ phận của mạch từ, sử dụng bảng $H = f(B)$ ở phụ lục 1.



Hình 13-3. Lá thép stato và rôto.

Khi $k_c = 0,97$, mật độ từ thông ở răng stato bằng:

$$B_{ZS} = B_\delta \frac{t_s}{b_{ZS} k_c} = 0,42 \frac{9}{3,2 \times 0,97} = 1,22 \text{ Tesla}$$

Sức từ động ở răng stato:

$$F_{ZS} = H_{ZS} 2h_{ZS} = 6,13 \times 2 \times 0,77 = 9,5 \text{ A.}$$

Mật độ từ thông ở gông stato:

$$B_{gS} = \frac{\Phi \cdot 10^{-4}}{2h_{gS}l.k_c} = \frac{0,827 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4}{2 \times 1,025 \times 3,8 \times 0,97} = 1,02 \text{ Tesla}$$

Sức từ động ở gông stato:

$$F_{gS} = H_{gS} \frac{\pi(D_n - h_{gS})}{2p} = 2,84 \cdot \frac{3,14(8,9 - 1,105)}{2} = 34,8 \text{ A}$$

Mật độ từ thông ở răng rôto:

$$B_{ZR} = B_{\delta} \frac{t_R}{b_{ZR}k_c} = 0,42 \cdot \frac{10,6}{3,8 \times 0,97} = 1,21 \text{ Tesla}$$

Sức từ động ở răng rôto:

$$F_{ZR} = H_{ZR} 2h_{ZR} = 6,02 \times 2 \times 0,92 = 11 \text{ A.}$$

Mật độ từ thông ở gông rôto:

$$B_{gR} = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2h_{gR}l.k_c} = \frac{8,27 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4}{2 \times 1,36 \times 4 \times 0,93} = 1,13 \text{ Tesla.}$$

Lấy đường kính trục $d_t = 1,6$ cm. Chiều cao gông rôto theo công thức (5-17) được $h_{gR} = 9,9$ mm. Sức từ động gông rôto bằng:

$$F_{gR} = H_{gR} \frac{\pi(d_t + h_{gR})}{2p} = 3,51 \cdot \frac{3,14(1,6 + 0,99)}{2} = 14,2 \text{ A}$$

Tổng sức từ động:

$$\begin{aligned} F_m &= F_{\delta} + F_{ZS} + F_{ZR} + F_{gS} + F_{gR} = \\ &= 235,3 + 9,5 + 11 + 34,8 + 14,2 = 304,8 \text{ A.} \end{aligned}$$

Dòng điện từ hóa:

$$I_{\mu l} = \frac{F_m p}{1,8W_{SA}k_{dA}} = \frac{304,8 \times 1}{1,8 \times 1332 \times 0,722} = 0,176 \text{ A.}$$

Thành phần phản kháng của dòng điện không tải:

$$I_{ox} \approx 2I_{\mu I} = 2 \times 0,176 = 0,352 \text{ A.}$$

Tỷ lệ thành phần phản kháng so với dòng định mức:

$$\frac{I_{ox}}{I_{dm}} = \frac{0,352}{0,455} \times 100 = 77,4\%.$$

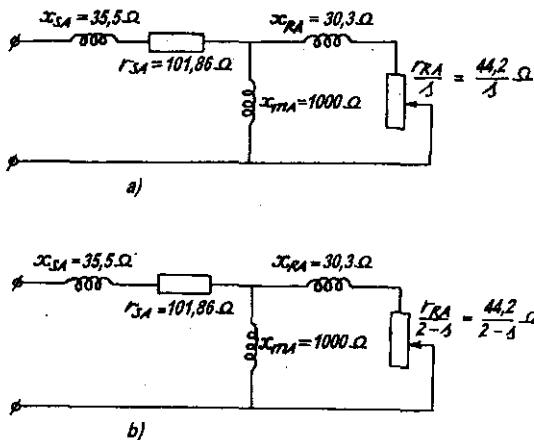
Hệ số bão hòa răng:

$$k_{Zbh} = \frac{F_{\delta} + F_{ZS} + F_{ZR}}{F_{\delta}} = \frac{235,3 + 9,5 + 11}{235,3} = 1,09$$

Điện kháng ứng với từ thông khe hở không khí:

$$x_{mA} = \frac{E}{I_{\mu I}} = \frac{k_E U_{dm}}{I_{\mu I}} = \frac{0,8 \times 220}{0,176} = 1000 \Omega.$$

Các tham số tính được được thể hiện ở mạch điện thay thế pha chính (hình 13-4).



Hình 13-4. Mạch điện thay thế pha chính động cơ điện một pha.

$$P_{dm} = 30 \text{ W}; U_{dm} = 220 \text{ V}; n_{dm} = 3000 \text{ vg/ph.}$$

a) dùng cho dòng điện thứ tự thuận; b) dùng cho dòng điện thứ tự nghịch.

9. Tính toán dây quấn phụ

Động cơ điện này dùng dây quấn phụ có điện trở lớn. Khi:

$$Q_B = \frac{\frac{1}{3} Z_S}{2p} = \frac{\frac{1}{3} \times 18}{2 \times 1} = 3,0$$

hệ số dây quấn của dây quấn phụ bằng:

$$k_{dB} = k_r k_y = \frac{\sin \frac{\pi p \cdot Q_B}{Z_S}}{3 \sin \frac{\pi p}{Z_S}} \sin \beta \frac{\pi}{2} =$$

$$= \frac{\sin \frac{3,14 \times 3}{18}}{3 \sin \frac{3,1}{18}} \sin \left(\frac{2}{4} \times \frac{3,14}{3 \times 2} \right) = 0,833.$$

Để có thể chọn tỉ số biến áp lợi nhất, ta tính đặc tính khởi động với $k = 0,4; 0,5; 0,6$ và $0,7$ theo điều kiện đạt được mômen khởi động lớn nhất. Kết quả tính toán ghi trong bảng 13-2. Để tính bội số mômen khởi động và dòng điện khởi động phải sử dụng các trị số định mức của dòng điện và mômen. Những trị số đó được tính từ đặc tính làm việc trong bảng 13-2.

Bảng 13-2. Phương án tính toán

k	0,4	0,5	0,6	0,7
M_k (kG.cm)	1,60	1,056	0,75	0,539
i_k (A)	4,77	3,62	3,0	2,52
m_k	1,6	1,05	0,75	0,54
i_k	11,4	8,6	7,0	6,0

Theo bảng 13-2, với $m_K = \frac{M_K}{M_{dm}} = \frac{733}{1000} = 0,73$ và bội số dòng điện khởi động $i_K = \frac{I_K}{I_{dm}} = \frac{2,93}{0,42} = 7$, chọn phương án $k = 0,6$. Mômen định mức và dòng định mức lấy theo đặc tính làm việc.

Số vòng dây của dây quấn phụ:

$$W_{SB} = k \cdot W_{SA} \cdot \frac{k_{dA}}{k_{dB}} = 0,6 \times 1332 \times \frac{0,722}{0,833} = 692,7$$

Lấy $W_{SB} = 693$ vòng.

Số thanh dẫn trong một rãnh:

$$u_{rB} = \frac{W_{SB} \alpha}{p \cdot Q_B} = \frac{693 \times 1}{1 \times 3} = 231.$$

Tỷ số biến áp bằng:

$$k = \frac{W_{SB}}{W_{SA}} \cdot \frac{k_{dB}}{k_{dA}} = \frac{693}{1332} \times \frac{0,833}{0,722} = 0,6.$$

Khi khởi động tham số của mạch điện pha chính như sau:

$$\alpha = \frac{r_{RA}}{x_{mA} + x_{RA}} = \frac{44,2}{1000 + 30,3} = 0,0429.$$

$$\beta = \frac{x_{mA}}{x_{mA} + x_{RA}} = \frac{1000}{1000 + 30,3} = 0,97.$$

$$r'_{RAK} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{mA} s}{\alpha^2 + s^2} = \frac{0,0429 \times 0,97 \times 1000 \times 1}{0,0429^2 + 1} = 41,54 \Omega$$

$$x'_{RAK} = \beta \cdot x_{RA} \frac{\frac{r_{RA}}{\alpha} \alpha + s^2}{\alpha^2 + s^2} = 0,97 \times 30,3 \times \frac{\frac{44,2}{0,0429} \times 0,0429 + 1}{0,0429^2 + 1} = 31,17 \Omega$$

$$r_{AK} = r_{SA} + r'_{RAK} = 143,4 \, \Omega; \quad x_{AK} = x_{SA} + x'_{RAK} = 66,67 \, \Omega.$$

Khi phân phối rãnh trong hai pha:

$$a = \frac{Q_A}{Q_B} = \frac{12}{6} = 2$$

thì lúc khởi động điện kháng mạch điện thay thế pha phụ bằng:

$$\begin{aligned} x_{BK} &= x_{SB} + x'_{RBK} = k^2 a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 x_{SA} + k^2 x'_{RAK} = \\ &= 0,6^2 \times 2 \cdot \left(\frac{0,722}{0,833} \right)^2 \cdot 35,5 + 0,6^2 \times 31,17 = 30,42 \, \Omega. \end{aligned}$$

Theo điều kiện đạt được mômen lớn nhất, điện trở tác dụng trong mạch điện thay thế pha phụ lúc khởi động bằng:

$$\begin{aligned} r'_{BKmax} &= \frac{x_{BK}}{x_{AK}} \left(r_{AK} + \sqrt{r_{AK}^2 + x_{AK}^2} \right) = \\ &= \frac{30,42}{66,67} \cdot \left(143,4 + \sqrt{143,4^2 + 66,67^2} \right) = 137,5 \, \Omega. \end{aligned}$$

Hệ số tính toán:

$$A = \frac{97,4}{n_{db}} \cdot \frac{r'_{RAK} U_{dm}^2 k}{r_{AK}^2 + x_{AK}^2} = \frac{97,4}{3000} \cdot \frac{41,54 \times 220^2 \times 0,6}{143,4^2 + 66,67^2} = 1,567.$$

Tính ra mômen khởi động:

$$\begin{aligned} M_{Kmax} &= A \frac{\sqrt{r_{AK}^2 + x_{AK}^2} - r_{AK}}{x_{BK}} = 1,567 \cdot \frac{158 - 143,4}{30,42} = \\ &= 0,757 \, \text{kG.cm} = 757 \, \text{G.cm}. \end{aligned}$$

Dòng điện khởi động pha chính:

$$I_{AK} = \frac{U_{dm}}{r_{AK} + jx_{AK}} = \frac{220}{143,4 + j66,67} =$$

$$= 1,26 - j0,58 = 1,39 \angle -25^\circ \text{ A}$$

Hệ số công suất của pha chính:

$$\cos \varphi_{AK} = \cos(-25^\circ) = 0,91$$

Mật độ dòng điện dây quấn chính lúc khởi động:

$$J_{AK} = \frac{I_{AK}}{S_A} = \frac{1,39}{0,0755} = 18,4 \text{ A/mm}^2.$$

Dòng điện dây khởi động của động cơ lấy từ lưới vào:

$$I_K = I_{AK} \sqrt{\frac{(r_{AK} + r'_{BK})^2 + (x_{AK} + x_{BK})^2}{r_{BK}^2 + x_{BK}^2}} =$$

$$= 1,39 \sqrt{\frac{(143,4 + 137,5)^2 + (66,67 + 30,42)^2}{137,5^2 + 30,42^2}} = 3 \text{ A.}$$

Bội số dòng khởi động:

$$i_K = \frac{I_K}{I_{dm}} = \frac{3,0}{0,42} = 7.$$

(Dòng định mức lấy trong phần đặc tính làm việc).

Điện trở tác dụng của dây quấn phụ:

$$r_{SB} = r_{BK} = r'_{BK} - k^2 r'_{RAK} = 137,5 - 0,6^2 \times 41,54 = 122,94 \Omega$$

Chiều dài của dây quấn phụ:

$$L_{SB} = L_{SA} \frac{W_{SB}}{W_{SA}} = 353,8 \cdot \frac{693}{1332} = 184 \text{ m.}$$

Tiết diện dây dẫn:

$$S'_{SB} = \frac{1}{46} \cdot \frac{L_{SB}}{r_{SB}} = \frac{1}{46} \cdot \frac{184}{122,94} = 0,0325 \text{ mm}^2.$$

Chọn tiết diện tiêu chuẩn $S_{SB} = 0,0353 \text{ mm}^2$. Dây dẫn ПЭВ-2,

$$\frac{d}{d_{cd}} = \frac{0,212}{0,253}$$

Tỷ số:

$$t = \frac{S_A}{S_B} \cdot \frac{1}{a} \cdot \frac{k_{dB}}{k_{dA}} = \frac{0,0755}{0,0383} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{0,833}{0,722} = 1,234.$$

Hệ số lấp đầy rãnh của dây quấn phụ:

$$k_d = \frac{d_{cd}^2 u_r}{S_{rS} - S_{cd}} = \frac{0,253^2 \times 231}{48,67 - 9} = 0,375$$

Điện trở tác dụng thực tế của dây quấn phụ:

$$r_{SB} = r_{BK} \cdot \frac{S'_{SB}}{S_{SB}} = 122,94 \cdot \frac{0,0325}{0,0353} = 113,2 \Omega.$$

Điện trở tác dụng thực tế của dây quấn phụ lúc khởi động:

$$r'_{Bm} = r_{SB} + k^2 r'_{RAK} = 113,2 + 0,6^2 \times 41,54 = 128,15 \Omega.$$

Dòng điện pha phụ:

$$I_{BK} = \frac{U_{dm}}{r'_{BK} + x_{BK}} = \frac{220}{128,15 + 30,42} =$$

$$= 1,625 - j0,385 = 1,67 \angle -13,4^\circ$$

Hệ số công suất của pha phụ:

$$\cos \varphi_{BK} = \cos(-13,4^\circ) = 0,973.$$

Mật độ dòng điện của dây quấn phụ:

$$J_{BK} = \frac{I_{BK}}{S_B} = \frac{1,67}{0,0353} = 47,3 \text{ A/mm}^2.$$

Hình 13-5 là đồ thị vectơ chỉ rõ quan hệ giữa dòng điện pha chính và dòng điện pha phụ lúc khởi động. Trên đồ thị còn có dòng điện định mức của pha chính.

Khi $x_{BK} = 21,2 \Omega$, đồ thị vòng tròn của dòng điện khởi động với tỉ số biến áp đã chọn như ở hình 13-6. Đường kính của vòng tròn bằng:

$$D = \frac{U_{dm}}{x_{BK}} = \frac{220}{30,42} = 7,2 \text{ A.}$$

Theo điều kiện mômen khởi động lớn nhất (điểm D trên đồ thị vòng tròn), xác định điện trở của pha phụ:

$$r'_{BK} = \sqrt{\left(\frac{U_{dm}}{I_{BK}}\right)^2 - x_{BK}^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{220}{1,67}\right)^2 - 30,42^2} = 128,2 \Omega$$

Trị số của điện trở này trên thực tế phù hợp với trị số tìm được theo cách phân tích.

10. Tính toán tổn hao sắt

Lõi sắt stato và rôto dùng lá thép kỹ thuật điện Nga ký hiệu 2211 dày 0,5 mm, không quét sơn cách điện.

Trọng lượng gông stato:

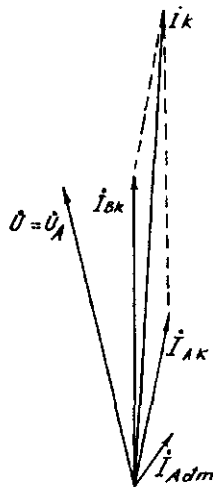
$$G_{gS} = 7,8\pi(D_n - h_{gS}) h_{gS} l_{Sk_c} =$$

$$= 7,8 \times 3,14 \cdot (8,9 - 1,105) \cdot 1,105 \times 3,8 \times 0,97 \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,778 \text{ kG.}$$

Tổn hao tính toán phân gông stato:

$$P'_{TgS} = 1,6p_{1,0/50} B_{gS}^2 G_{gS} \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} =$$



Hình 13-5. Đồ thị vectơ dòng điện tổng của động cơ điện khởi động bằng điện trở.

$$= 1,6 \times 2,6 \times 1,04^2 \times 0,778 \times 1 = 3,5 \text{ W.}$$

Trọng lượng gông rôto:

$$G_{gR} = 7,8 \cdot \pi (d_i + h_{gR}) h_{gR} l_R k_c = 7,8 \times 3,14 \cdot (1,6 + 0,958) \times \\ \times 1,36 \times 3,8 \times 0,97 \cdot 10^{-3} = 0,22 \text{ kG.}$$

Tổn hao tính toán phần gông rôto:

$$P'_{TgR} = 1,6 p_{1,0/50} (B_{gR})^2 G_{gR} \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3} = \\ = 1,6 \times 2,6 \times 1,17^2 \times 0,22 \times 1 = 1,25 \text{ W.}$$

Trọng lượng răng stato:

$$G_{ZS} = 7,8 Z_S b_{ZS} h_{ZS} l_S k_{gc} \cdot 10^{-3} = \\ = 7,8 \times 18 \times 0,319 \times 0,77 \times 3,8 \times 0,97 \cdot 10^{-3} = 0,127 \text{ kG.}$$

Theo bảng 6-2 với lá thép kỹ thuật điện không ủ và quét sơn cách điện, hệ số gia công lõi sắt stato $k_{gc} = 1$.

Tổn hao tính toán phần răng stato:

$$P'_{TZS} = 1,8 p_{1,0/50} B_{BZ}^2 G_{ZS} \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3} k_{gc} = \\ = 1,8 \times 1,6 \times 1,24^2 \times 0,127 \times 1 \times 1 = 0,916 \text{ W.}$$

Trọng lượng răng rôto:

$$G_{ZR} = 7,8 Z_R b_{ZR} h_{ZR} l_R k_c \cdot 10^{-3} = \\ = 7,8 \times 15 \times 0,38 \times 0,931 \times 3,8 \times 0,97 \cdot 10^{-3} = 0,152 \text{ kG.}$$

Tổn hao tính toán phần răng rôto:

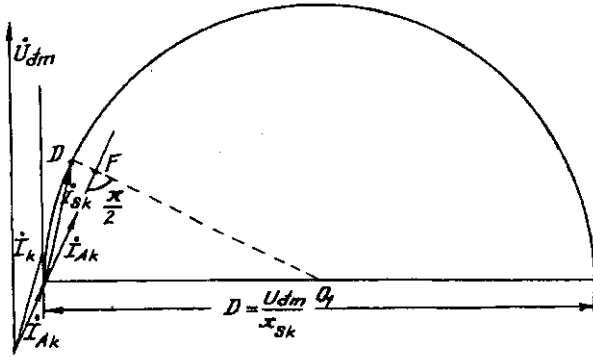
$$P'_{TZR} = 1,8 p_{1,0/50} B_{ZR}^2 G_{ZR} \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3} k_{gc} = \\ = 1,8 \times 2,6 \times 1,38^2 \times 0,152 \times 1 \times 1 = 1,35 \text{ W.}$$

Tổn hao sắt tính toán của stato:

$$P'_{TS} = P'_{TgS} + P'_{TZS} = 3,5 + 0,916 = 4,41 \text{ W.}$$

Tổng hao sắt tính toán của rôto:

$$P'_{TR} = P'_{TgR} + P'_{TZR} = 1,25 + 1,35 = 2,6 \text{ W.}$$



Hình 13-6. Đồ thị vòng tròn dòng điện khởi động động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở.

11. Tính toán đặc tính của động cơ điện

Đặc tính làm việc, trị số định mức, năng lực quá tải, được tính lúc chỉ có dây quấn chính làm việc, tức là hệ số trượt trong khoảng từ s_0 đến s_m với từ trường elip.

Khi $s = 0,026$, tham số của mạch điện thay thế như sau:

Trở kháng của mạch điện pha chính:

$$r'_{RA1} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{mA} s}{\alpha^2 + s^2} = \frac{0,0429 \times 0,97 \times 1000 \times 0,026}{0,0429^2 + 0,026^2} = 429,3 \Omega;$$

$$\begin{aligned} r'_{RA2} &= \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{mA} (2-s)}{\alpha^2 + (2-s)^2} = \frac{41,61 \times (2-s)}{0,0429^2 + (2-s)^2} = \\ &= \frac{41,61 \times 1,974}{0,0429^2 + 1,974^2} = 21,07 \Omega; \end{aligned}$$

$$x_{RA1} = \beta \cdot x_{RA} \frac{\frac{r_{RA}}{\alpha + s^2} \frac{x_{RA}}{\alpha^2 + s^2}}{\alpha^2 + s^2} =$$

$$= 0,97 \times 30,3 \times \frac{44,2}{30,3} \times \frac{0,0429 + 0,026^2}{0,0429^2 + 0,026^2} = 739,1 \Omega;$$

$$x'_{RA2} = \beta \cdot x_{RA} \frac{\frac{r_{RA}}{\alpha + (2-s)^2} \frac{x_{RA}}{\alpha^2 + (2-s)^2}}{\alpha^2 + (2-s)^2} =$$

$$= 0,97 \times 30,3 \times \frac{44,2}{30,3} \times \frac{0,0429 + (2 - 0,026)^2}{0,0429^2 + (2 - 0,026)^2} = 29,85 \Omega.$$

$$Z'_{RA1} = r'_{RA1} + jx'_{RA1} = 429,3 + j739,1 = 854 \angle 60^\circ \Omega.$$

$$Z'_{RA2} = r'_{RA2} + jx'_{RA2} = 21,07 + j29,85 = 36,5 \angle 54^\circ 7' \Omega.$$

Trở kháng rôto sau khi quy đổi:

$$Z_{RA1} = \frac{r_{RA}}{s} + jx_{RA} = \frac{44,2}{0,026} + j30,3 = 1700 + j30,3 = 1700 \angle 1^\circ \Omega.$$

$$Z_{RA2} = \frac{r_{RA}}{2-s} + jx_{RA} = \frac{44,2}{2-0,026} + j30,3 = 22,4 + j30,3 =$$

$$= 37,7 \angle 53^\circ 5' \Omega.$$

Trở kháng mạch điện thay thế thứ tự thuận và nghịch của pha chính:

$$Z_{A1} = (r_{SA} + r'_{RA1}) + j(x_{SA} + x'_{RA1}) =$$

$$= (101,86 + 429,3) + j(35,5 + 739,1) = 531,16 + j774,6 \Omega$$

$$Z_{A2} = (r_{SA} + r'_{RA2}) + j(x_{SA} + x'_{RA2}) =$$

$$= (101,86 + 21,07) + j(35,5 + 29,85) = 122,9 + j65,35 \Omega$$

$$Z_{A1} + Z_{A2} = 531,16 + j774,6 + 122,9 + j63,35 = \\ = 694 + j840 \Omega.$$

Thành phần thứ tự thuận và nghịch trong pha chính của dòng điện stato:

$$\dot{I}_{A1} = \dot{I}_{A2} = \frac{\dot{U}_{dm}}{Z_{A1} + Z_{A2}} = \frac{220}{694 + j840} = 0,202 \angle -50^\circ 4.$$

$$I_{A1} = 0,202 \text{ A}; 2I_{A1} = 2 \times 0,202 = 0,404 \text{ A}.$$

Dòng điện stato pha chính khi không xét đến tổn hao sắt:

$$\dot{I}_A = 2\dot{I}_{A1} = \dot{I}'_A + j\dot{I}''_A = 0,257 - j0,31.$$

Khi sức điện động thứ tự thuận bằng:

$$E_1 = I_{A1} Z'_{RA1} = 0,202 \times 854,7 = 173 \text{ V},$$

thì tổn hao sắt stato do từ trường thuận gây nên bằng:

$$P_{TS1} = P'_{TS} \left(\frac{E_1}{U_{dm} k_E} \right)^2 = 4,41 \cdot \left(\frac{173}{220 \times 0,8} \right)^2 = 4,3 \text{ W}$$

Khi sức điện động thứ tự nghịch bằng:

$$E_2 = I_{A2} Z'_{RA2} = 0,202 \times 36,5 = 7,3 \text{ V}.$$

thì tổn hao sắt stato do từ trường nghịch gây nên bằng:

$$P_{TS2} = P'_{TS} \left(\frac{E_2}{U_{dm} k_E} \right)^2 = 4,41 \cdot \left(\frac{7,3}{220 \times 0,8} \right)^2 = 0,0076 \text{ W}$$

Khi hệ số trượt $s = 0,026$, tổn hao sắt rôto do từ trường thuận gây nên bằng:

$$P_{TR1} = P'_{TR} \left(\frac{E_1}{U_{dm} k_E} \right)^2 s^{1,3} = 2,6 \cdot \left(\frac{173}{220 \times 0,8} \right)^2 0,026^{1,3} = \\ = 0,022 \text{ W}$$

Khi hệ số trượt $s = 0,026$, tổn hao sắt rôto do từ trường nghịch gây nên bằng:

$$P_{TR2} = P'_{TR} \left(\frac{E_2}{U_{dm} k_E} \right)^2 (2-s)^{1,3} =$$

$$= 2,6 \cdot \left(\frac{7,3}{220 \times 0,8} \right)^2 (2-0,026)^{1,3} = 0,011 \text{ W}$$

Dòng điện phụ pha chính thứ tự thuận do tổn hao sắt gây nên bằng:

$$I'_{A1T} = \frac{P_{TS1} + P_{TR1}}{E_1} = \frac{4,3 + 0,022}{173} = 0,025 \text{ A.}$$

Dòng điện phụ pha chính thứ tự nghịch do tổn hao sắt gây nên bằng:

$$I'_{A2T} = \frac{P_{TS2} + P_{TR2}}{E_2} = \frac{0,0076 + 0,011}{7,3} = 0,0025 \text{ A.}$$

Dòng điện dây quấn chính stato khi xét đến tổn hao sắt:

$$I_{SA} = (I'_A + I'_{A1T} + I'_{A2T}) + jI''_A = I'_{RA} + jI''_{RA} =$$

$$= (0,257 + 0,025 + 0,0025) - j0,31 =$$

$$= 0,2845 - j0,31 = 0,42 \angle -47^\circ 5'.$$

Mật độ dòng điện dây quấn chính của stato:

$$J_A = \frac{I_{SA}}{S_{SA}} = \frac{0,42}{0,0755} = 5,6 \text{ A/mm}^2.$$

Hệ số công suất:

$$\cos \varphi_A = \frac{I'_{SA}}{I_{SA}} = \frac{0,2845}{0,42} = 0,676$$

Dòng điện thứ tự thuận thực tế của rôto:

$$I''_{RA1} = 2I_{A1} \frac{2W_{SA} k_{dA}}{Z_R k_{dR}} \cdot \frac{Z'_{RA1}}{Z_{RA1}} =$$

$$= 0,404 \cdot \frac{2 \times 1332 \times 0,722}{15 \times 0,99} \times \frac{854,7}{1700,2} = 26,3 \text{ A.}$$

Dòng điện thứ tự nghịch thực tế của rôto:

$$I''_{RA2} = 2I_{A2} \frac{2W_{SA} k_{dA}}{Z_R k_{dR}^2} \cdot \frac{Z'_{RA2}}{Z_{RA2}} =$$

$$= 0,404 \cdot \frac{2 \times 1332 \times 0,722}{15 \times 0,99} \times \frac{36,5}{37,7} = 50,6 \text{ A.}$$

Dòng điện thực tế của rôto:

$$I''_{RA} = \sqrt{I''_{RA1}^2 + I''_{RA2}^2} = \sqrt{26,3^2 + 50,6^2} = 57 \text{ A.}$$

Mật độ dòng điện thanh dẫn rôto:

$$J_{td} = \frac{I''_{RA}}{S_c} = \frac{57}{37,44} = 1,52 \text{ A/mm}^2.$$

Công suất điện từ:

$$P_{dt} = \frac{1}{2} I_A^2 (r'_{RA1} - r'_{RA2}) = \frac{1}{2} \cdot 0,404^2 \cdot (429,3 - 21,07) = 34,9 \text{ W}$$

Mômen điện từ:

$$M_{dt} = \frac{97,4 \cdot 10^3}{n_{db}} P_{dt} = \frac{97,4 \cdot 10^3}{3000} \cdot 34,9 = 1132,8 \text{ G.cm.}$$

Lấy tổn hao cơ $P_{cơ} = 3 \text{ W}$.

Tổn hao điện trong dây quấn chính stato:

$$P_{DS} = I_{SA}^2 r_{SA} = 0,42^2 \times 101,86 = 18,8 \text{ W}$$

Tổn hao điện trong rôto:

$$P_{DR} = \frac{1}{2} I_{SA}^2 [r'_{RA1}s + r'_{RA2}(2 - s)] =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 0,42^2 \cdot [429,3 \times 0,026 + 21,07 \cdot (2 - 0,026)] = 4,9 \text{ W.}$$

Để xác định tổn hao phụ, trước tiên tính theo hiệu suất không xét đến tổn hao này. Hiệu suất đó sau này sẽ hiệu chỉnh sau.

Tổn hao phụ:

$$P_f = 0,005 \cdot \frac{P_{dm}}{\eta} = 0,005 \cdot \frac{30}{0,402} = 0,31 \text{ W.}$$

Tổng công suất cơ:

$$P'_R = P_{dt}(1 - s) = 34,9 \cdot (1 - 0,026) = 34 \text{ W.}$$

Công suất tác dụng:

$$P_R = P'_R - P_{co} - P_f = 34 - 3 - 0,31 = 30,7 \text{ W.}$$

Tổng tổn hao sắt:

$$\begin{aligned} P_T &= P_{TS1} + P_{TS2} + P_{TR1} + P_{TR2} = \\ &= 4,3 + 0,0076 + 0,022 + 0,011 = 4,34 \text{ W.} \end{aligned}$$

Công suất đưa vào:

$$\begin{aligned} P_S &= P'_R + P_{DS} + P_{DR} + P_T = \\ &= 34 + 18,8 + 4,9 + 4,34 = 62 \text{ W.} \end{aligned}$$

Tổng tổn hao:

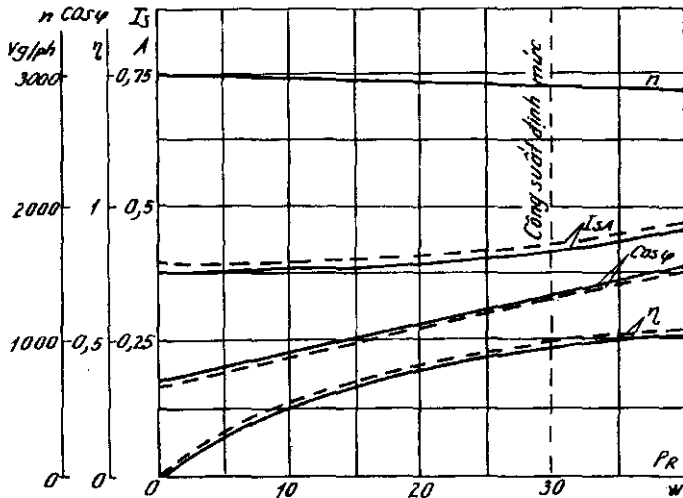
$$\begin{aligned} \Sigma P &= P_T + P_{DS} + P_{DR} + P_{co} + P_f = \\ &= 4,34 + 18,8 + 4,9 + 3 + 0,31 = 31,35 \text{ W} \end{aligned}$$

Hiệu suất:

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} = 1 - \frac{\Sigma P}{P_S} = 1 - \frac{31,35}{62} = 0,505.$$

Khi trong động cơ điện chỉ có một dây quấn làm việc (từ trường đập mạch) thì kết quả tính toán đặc tính làm việc khi hệ số trượt thay đổi từ s_0 đến s_m được ghi trong bảng 13-3.

Các quan hệ n , I_{SA} , $\cos \varphi$ và $\eta = f(P_R)$ như ở hình 13-7, còn $M = f(s)$ như ở hình 13-8 (đường 1).



Hình 13-7. Đặc tính làm việc của động cơ điện có
 $P_{dm} = 30 \text{ W}$; $n_{dm} = 2920 \text{ vg/ph}$.

Mômen cực đại $M_{max} = 2552 \text{ G.cm}$. Bội số mômen cực đại bằng:

$$m_{max} = \frac{M_{max}}{M_{dm}} = \frac{2552}{1000} = 2,55.$$

Hệ số trượt ứng với mômen cực đại $s_m = 0,15$.

Hệ số trượt không tải được tính theo phương pháp đã nói ở mục 9-2.

Khi không tải đồng bộ $s = 0$, tham số mạch điện thay thế xác định như sau:

Bảng 13-3. Tính toán đặc tính làm việc

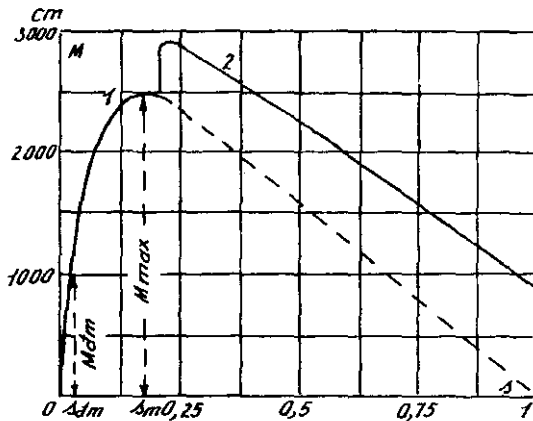
Tham số	Đơn vị	Hệ số trượt								
		0,033	0,01	0,02	0,026	0,05	0,10	0,15	0,18	0,20
r'_{RA1}	Ω	67,5	214,5	371,5	429,3	479,4	352,7	256,9	2,18	199,1
x'_{RA1}	Ω	996,8	951,4	827,9	739,1	441,5	182	103	81,7	72,2
r'_{RA2}	Ω	20,8	20,9	21	21,07	21,3	21,9	22,5	22,8	23,1
x'_{RA2}	Ω	29,8	29,8	29,85	29,85	29,86	29,88	29,92	29,93	29,94
Z_{A1}	Ω	169,4+	316,4+	473,4+	531,2	581,3+	494,5+	358,8+	320,9+	301+
		+j1032,3	+j986,9	+j863,4	+j774,6	+j477	+j216,6	+j138,5	+j117,2	+j107,7
Z_{A2}	Ω	122,6+	122,7+	122,8+	122,9+	123,2+	123,7+	124,3+	124,7+	124,9+
		+j65,3	+j65,3	+j65,3	+j65,35	+j65,35	+j65,4	+j65,4	+j65,4	+j65,4
k_A	A	0,39	0,38	0,398	0,41	0,495	0,65	0,84	0,91	0,96
P_{dt}	W	3,62	14	27,1	34,9	61	69,4	82,5	81,75	80,6
M_{dt}	G.cm	117,6	453,8	904,2	1132,8	1981	2254,4	2678,4	2654	2616,4
P'_R	W	3,61	13,84	27,3	34	58	62,5	70,1	67	64,5
P_R	W	0,31	10,54	24	30,7	54,7	59,2	66,8	63,7	61,2
n	vg/ph	2991	2970	2940	2922	2850	2700	2550	2460	2400
M_R	G.cm	10,1	345	795	1021	1869,4	2135,5	2551,5	2522	2482
P_{T1}	W	5,0	4,9	4,67	4,32	3,8	2,41	2,0	1,72	1,56
P_{T2}	W	0,016	0,0165	0,0182	0,0185	0,0274	0,047	0,081	0,094	0,105
k_{SA}	A	0,39	0,408	0,414	0,42	0,516	0,667	0,863	0,932	0,975
P_{DS}	W	15,5	16,9	17,4	18,8	27,1	45,3	75,8	88,5	96,8
P_{DR}	W	3,2	3,6	4,2	4,9	8,7	17,1	29,8	35,1	38,7
ΣP	W	28,7	30,8	31,8	31,35	46,1	72,7	116	133,8	145,8
P_S	W	29,1	41,4	55,8	62	101	131,9	182,8	197,6	207
η	%	1,0	25,4	43	50,5	54,2	-	-	-	-
$\cos\varphi$	-	0,18	0,484	0,587	0,65	0,82	-	-	-	-

$$r'_{RA1} = 0; x'_{RA1} = x_{mA} = 1000 \Omega$$

$$r'_{RA2} = \frac{x_{mA}^2 \frac{r_{RA}}{2}}{\left(\frac{r_{RA}}{2}\right)^2 + (x_{mA} + x_{RA})^2} = \frac{1000^2 \cdot \frac{44,2}{2}}{\left(\frac{44,2}{2}\right)^2 + (1000 + 30,3)^2} = 20,8 \Omega$$

$$x'_{RA2} = \frac{x_{mA} \frac{r_{RA}}{2} + x_{mA} x_{RA} (x_{mA} + x_{RA})}{\left(\frac{r_{RA}}{2}\right)^2 + (x_{mA} + x_{RA})^2} =$$

$$= \frac{1000 \cdot \frac{44,2}{2} + 1000 \times 30,3 \cdot (1000 + 30,3)}{\left(\frac{44,2}{2}\right)^2 + (1000 + 30,3)^2} = 29,4 \Omega$$



Hình 13-8. Đặc tính $M = f(s)$ của động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở với $P_{dm} = 30 \text{ W}$.

Khi $s = 0$, tổng trở thứ tự thuận và nghịch pha chính của mạch điện thay thế bằng:

$$Z_{A1} = (r_{SA} + r'_{RA1}) + j(x_{SA} + x'_{RA1}) =$$

$$= 101,86 + j(35,5 + 1000) = 101,86 + j1035,5 \Omega$$

$$Z_{A2} = (r_{SA} + r'_{RA2}) + j(x_{SA} + x'_{RA2}) =$$

$$= (101,86 + 20,8) + j(35,5 + 29,4) = 122,7 + j64,9 \Omega$$

Khi $s = 0$, dòng điện pha chính bằng:

$$I_A = \frac{2U_{dm}}{Z_{A1} + Z_{A2}} = \frac{2 \times 220}{224,5 + j1100} = 0,076 - j0,384$$

$$I_A = 0,392 \text{ A.}$$

Khi $s = 0$, công suất điện từ:

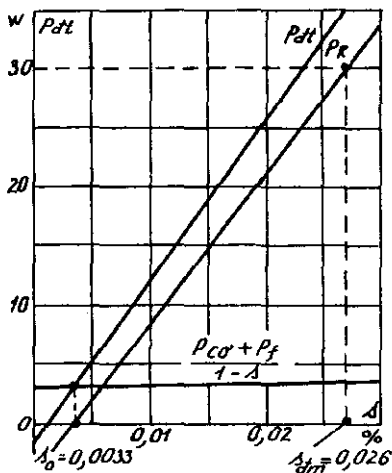
$$P_{dt} = -\frac{1}{2} I_A^2 r'_{RA2} = -\frac{1}{2} \cdot 0,392^2 \times 20,8 = -1,6 \text{ W.}$$

Từ hình 13-9 tìm ra $s_0 = 0,003$, $n_0 = 2990$ vg/ph.

Ở hình 13-9, đường biểu diễn $P_R = f(s)$ dùng để hiệu chỉnh hệ số trượt định mức. Theo đặc tính làm việc (hình 13-7), khi công suất tác dụng trên đầu trục $P_{Rdm} = 30 \text{ W}$, $s_{dm} = 0,026$, $n_{dm} = 2920$ vg/ph, $\cos \varphi = 0,65$, hiệu suất $\eta = 0,5$. Dòng điện định mức $I_{SA_{dm}} = I_{dm} = 0,42 \text{ A}$.

$$\text{Mômen định mức } M_{dm} = \frac{97,4 P_{Rdm} \cdot 10^3}{n_{dm}} = \frac{97,4 \times 30 \cdot 10^3}{2920} =$$

$$= 1000 \text{ G.cm.}$$



Hình 13-9. Xác định s_0 và s_{dm} .

Trên hình 13-7 đường nét rời là đường đặc tính làm việc thí nghiệm của một máy đã chế tạo. Từ hình vẽ ta thấy, sự khác biệt giữa trị số tính toán và thí nghiệm nhiều nhất là ở dòng điện stato, sự khác biệt đó không quá 5%. Nguyên nhân chính là do công thức dùng để tính tổn hao sắt không đủ chính xác. Đường $n = f(P_R)$ thí nghiệm và tính toán thực tế là phù hợp.

12. Đặc tính khởi động $M = f(s)$

Đặc tính khởi động được tính trong điều kiện hai dây quấn đều thông điện, tham số ở chế độ định mức, với từ trường elip, hệ số trượt trong khoảng $s = s_m$ đến $s = 1$. Từ chế độ định mức đến chế độ ngắn mạch, tính toán cho thấy điện kháng ứng với khe hở không khí x_{mA} thay đổi không nhiều (tăng 7,5%), vì vậy trên thực tế không ảnh hưởng đến trị số mômen khởi động và dòng điện ban đầu.

Sau đây sẽ tính toàn bộ với $s = 0,25$ vì thường cắt cuộn khởi động ở hệ số trượt này.

Khi $s = 0,25$, tham số của mạch điện thay thế pha chính như sau:

Trở kháng của mạch điện:

$$r'_{RA1} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{mA} s}{\alpha^2 + s^2} = \frac{0,0429 \times 0,97 \times 1000 \times 0,25}{0,0429^2 + 0,25^2} = 161,67 \Omega$$

$$r'_{RA2} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{mA} (2-s)}{\alpha^2 + (2-s)^2} = \frac{46 \times 1,75}{0,0429^2 + 1,75^2} = 23,76 \Omega$$

$$x'_{RA1} = \beta x_{RA} \frac{\frac{r'_{RA}}{\alpha + s^2} \cdot x_{RA}}{\alpha^2 + s^2} = 0,97 \times 30,3 \cdot \frac{44,2}{30,3} \times \frac{0,0429 + 0,25^2}{0,0429^2 + 0,25^2}$$

$$= 57,1 \Omega$$

$$x'_{RA2} = \beta \cdot x_{RA} \frac{r_{RA}}{\alpha^2 + (2-s)^2} =$$

$$= 0,97 \times 30,3 \cdot \frac{44,2}{30,3} \cdot \frac{0,0429 + 1,75^2}{0,0429^2 + 1,75^2} = 30 \Omega.$$

Tổng trở thứ tự thuận và nghịch pha chính của mạch điện thay thế.

$$Z_{A1} = (r_{SA} + r'_{RA1}) + j(x_{SA} + x'_{RA1}) = (101,86 + 161,67) +$$

$$+ j(35,5 + 57,1) = 263,5 + j92,6 \Omega$$

$$Z_{A2} = (r_{SA} + r'_{RA2}) + j(x_{SA} + x'_{RA2}) =$$

$$= (101,86 + 23,76) + j(35,5 + 30) = 125,62 + j65,5 \Omega$$

Tổng trở thứ tự thuận và nghịch pha phụ của mạch điện thay thế:

$$Z_{B1} = \left[k \cdot t \cdot a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 r_{SA} + k^2 r'_{RA1} \right] +$$

$$+ j \left[k^2 a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 x_{SA} + k^2 x'_{RA1} \right] =$$

$$= \left[0,6 \times 1,234 \times 2 \cdot \left(\frac{0,722}{0,833} \right)^2 \cdot 101,86 + 0,6^2 \times 161,67 \right] +$$

$$+ j \left[0,6^2 \times 2 \cdot \left(\frac{0,722}{0,833} \right)^2 \cdot 35,5 + 0,6^2 \times 57,1 \right] = 171,5 + j39,72 \Omega$$

$$Z_{B2} = \left[k \cdot t \cdot a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 r_{SA} + k^2 r_{RA2} \right] +$$

$$\begin{aligned}
& + j \left[k^2 a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 x_{SA} + k^2 x'_{RA2} \right] = \\
& = \left[0,6 \times 1,234 \times 2 \cdot \left(\frac{0,722}{0,833} \right)^2 \cdot 101,86 + 0,6^2 \times 23,76 \right] + \\
& + j \left[0,6^2 \times 2 \cdot \left(\frac{0,722}{0,833} \right)^2 \times 35,5 + 0,6^2 \times 30 \right] = 121,85 + j30 \Omega
\end{aligned}$$

Dòng điện thứ tự thuận của pha chính:

$$\begin{aligned}
\dot{I}_{A1} &= \dot{U}_{dm} \frac{Z_{B2} - jk \cdot Z_{A2}}{Z_{A1} Z_{B2} + Z_{A2} Z_{B1}} = 220 \times \\
& \frac{(121,85 + j30) - j0,6(125,62 + j65,5)}{(263,5 + j92,6)(121,85 + j30) + (125,62 + j65,5)(171,5 + j39,72)} \\
& = 0,379 - j0,48;
\end{aligned}$$

$$I_{A1} = 0,615 \text{ A.}$$

Dòng điện thứ nghịch của pha chính:

$$\begin{aligned}
\dot{I}_{A2} &= \dot{U}_{dm} \frac{Z_{B1} + jk \cdot Z_{A1}}{Z_{A1} Z_{B2} + Z_{A2} Z_{B1}} = 220 \times \\
& \frac{(171,5 + j39,72) + j0,6(263,5 + j92,6)}{(263,5 + j92,6)(121,85 + j30) + (125,62 + j65,5)(171,5 + j39,72)} \\
& = 0,773 - j0,334
\end{aligned}$$

$$I_{A2} = 0,842 \text{ A.}$$

Dòng điện tổng của pha chính khi không xét đến tổn hao sắt:

$$\begin{aligned}
\dot{I}_A &= I_{A1} + I_{A2} = (0,379 - j0,48) + (0,773 + j0,334) = \\
& = 1,152 - j0,146
\end{aligned}$$

$$I_A = 1,161 \text{ A.}$$

Dòng điện pha phụ khi không xét đến tổn hao sắt:

$$\begin{aligned} \dot{I}_B &= \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} = j \frac{I_{A1}}{k} - j \frac{I_{A2}}{k} = \\ &= j \frac{0,379 - j0,48}{0,6} - j \frac{0,773 - j0,334}{0,6} = 1,356 - j0,656 \end{aligned}$$

$$I_B = 1,506 \text{ A}$$

Dòng điện dây:

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \dot{I}_A + \dot{I}_B = (1,152 - j0,146) + (1,356 - j0,656) = \\ &= 2,508 - j0,802. \end{aligned}$$

$$I = 2,633 \text{ A.}$$

Khi tính $M = f(s)$ với hệ số trượt từ s_m đến 1, ta sử dụng trị số dòng điện không xét đến tổn hao sắt.

Công suất điện từ:

$$\begin{aligned} P_{dt} &= 2I_{A1}^2 r'_{RA1} - 2I_{A2}^2 r'_{RA2} = \\ &= 2 \times 0,615^2 \times 161,67 - 2 \times 0,842^2 \times 23,76 = 88,6 \text{ W} \end{aligned}$$

Mômen điện từ:

$$M_{dt} = \frac{97,4 \cdot 10^3}{n_{db}} P_{dt} = \frac{97,4 \cdot 10^3}{3000} \cdot 88,6 = 2876 \text{ G.cm.}$$

Tổng công suất cơ:

$$P'_R = P_{dt} (1 - s) = 88,6 \cdot (1 - 0,25) = 66,45 \text{ W}$$

Công suất tác dụng:

$$P_R = P'_R - P_{cv} - P_f = 66,45 - 3 - 0,31 = 63,14 \text{ W.}$$

Mômen tác dụng:

$$M = \frac{97,4 P_R \cdot 10^3}{n_{db}(1-s)} = \frac{97,4 \times 63,14 \cdot 10^3}{3000 \cdot (1-0,25)} = 2734 \text{ G.cm.}$$

Khi hệ số trượt trong khoảng $s = 0,20 \dots 1$, kết quả tính toán đặc tính khởi động $M = f(s)$ với từ trường elip được ghi trong bảng 13-4 và hình 13-8.

Khi $s = 1$, bội số mômen khởi động ban đầu bằng:

$$m_K = \frac{M_K}{M_{dm}} = \frac{754}{1000} = 0,75.$$

Bội số dòng điện khởi động:

$$i_K = \frac{I_K}{I_{dm}} = \frac{3}{0,42} = 7,0.$$

Động cơ điện kiểu kín tự làm mát có thể làm việc bình thường khi lắp đứng hay nằm ngang. Để đảm bảo ít tiếng ồn nên dùng ổ đỡ trượt.

13.2. Tính toán động cơ điện một pha khởi động bằng điện dung

Động cơ điện một pha xét ở đây có đặc tính làm việc, điều kiện làm việc và đặc điểm về kết cấu giống như động cơ điện khởi động bằng điện trở nói trên.

Số liệu kỹ thuật của động cơ điện:

$$P_{dm} = 30 \text{ W}; n_{db} = 3000 \text{ vg/ph}; f = 50 \text{ Hz}; U_{dm} = 220 \text{ V}.$$

Đặc tính khởi động của động cơ này khác với trước, yêu cầu có bội số mômen khởi động $m_K = 2,2$.

Để có thể thiết kế động cơ điện phù hợp với yêu cầu trên, phải tính toán lại pha phụ, tức là tính toán điện dung khởi động (xem sơ đồ đấu dây ở hình 8-1a).

Tham số mạch điện thay thế khi khởi động (mục 13-1) như sau:

$$\begin{aligned} r_{SA} &= 101,86 \Omega & r'_{RAK} &= 41,54 \Omega \\ x_{SA} &= 35,5 \Omega & x'_{RAK} &= 31,17 \Omega \end{aligned}$$

Bảng 13-4. Tính toán đặc tính khởi động

Tham số	Đơn vị	$s = 0,2$	0,25	0,5	1,0
I_{RA1}	Ω	198,85	161,67	82,6	41,5
I_{RA2}	Ω	23,1	23,76	27,7	41,5
X_{RA1}	Ω	72	57,1	36,47	31,17
X_{RA2}	Ω	29,94	30	30,18	31,17
Z_{A1}	Ω	$300,7 + j107,5$	$263,5 + j92,6$	$184,5 + j72$	$143,36 + j66,67$
Z_{A2}	Ω	$125 + j65,4$	$126,62 + j65,5$	$129,6 + j65,7$	$143,36 + j66,67$
Z_{B1}	Ω	$184,9 + j45,1$	$171,5 + j39,7$	$143,04 + j32,3$	$128,24 + j30,38$
Z_{B2}	Ω	$121,6 + j30$	$121,85 + j30$	$123,27 + j30$	$128,24 + j30,38$
I_{A1}	A	0,55	0,615	0,804	0,935
I_{A2}	A	0,84	0,842	0,827	0,771
I_A	A	1,1	1,16	1,325	1,39
I_B	A	1,5	1,5	1,584	1,67
I	A	2,51	2,63	2,91	3
P_{dl}	W	87,47	88,6	69	23,2
M_{dl}	G.cm	2840	2876	2240	754
P_R	W	66,7	63,15	31,2	
n	vg/ph	2400	2250	2026	
M	G.cm	2706	2734		

$$r_{AK} = r_{SA} + r'_{RAK} = 101,86 + 41,54 = 143,4 \Omega$$

$$x_{AK} = x_{SA} + x'_{RAK} = 35,5 + 31,17 = 66,67 \Omega.$$

Để có thể chọn tỷ số biến áp có lợi nhất, chọn $k = 0,6; 0,7; 0,8$ và 1 với t bằng hai trị số sau đây để tính đặc tính khởi động:

$$t = 1,5k \text{ và } t = k.$$

Theo bội số $m_K = 2,2$ đã cho, kết quả tính toán đặc tính khởi động được ghi vào bảng 13-5. Trong bảng có mômen khởi động M_K , dòng điện khởi động I_K , bội số dòng điện khởi động i_K , điện dung của tụ điện khởi động C_K và điện áp trên tụ điện U_c .

Từ bảng 13-5 thấy được phương án $t = k$ có trị số điện dung nhỏ hơn phương án $t > k$, ($t = 1,5k$).

Bảng 13-5. Phương án tính toán

Các đại lượng	Đơn vị	$t = 1,5k$				$t = k$				
		0,6	0,7	0,8	1	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2
k	—	0,6	0,7	0,8	1	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2
M_K	kg.cm	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
i_K	A	1,7	1,7	1,7	1,7	1,587	1,582	1,585	1,59	1,59
i_K		4	4	4	4	3,77	3,77	3,77	3,79	3,79
C_K	μF	14	12	11	10	13	10	9	7,5	7
U_K	V	227	229	223	203	240	240	240	235	235

Khi tỷ số biến áp tăng lên, dòng điện khởi động trên thực tế không đổi, chỉ tăng một ít khi trị số của k rất lớn. Khi k tăng thì trị số lấp đầy rãnh cũng tăng. Trong phạm vi hệ số lấp đầy rãnh cho phép ($k_d \leq 0,75$), chọn phương án có điện dung nhỏ nhất và bội số dòng điện đã cho (ở đây $i_K < 4$).

$$t = k = 0,9.$$

Theo mục 13-1, hệ số dây quấn của dây quấn phụ bằng $k_{dB} = 0,833$. Với tỉ số biến áp đã chọn, số vòng dây của dây quấn phụ bằng:

$$W_B = k \cdot W_A \frac{k_{dA}}{k_{dB}} = 0,9 \times 1332 \cdot \frac{0,722}{0,833} = 1039.$$

Lấy $W_B = 1041$

Số dây dẫn trong một rãnh:

$$u_r = \frac{W_B}{Q_B} = \frac{1041}{3} = 347.$$

Điện trở tác dụng của mạch điện thay thế pha phụ lúc khởi động:

$$\begin{aligned} r'_{BK} = r_{BK} &= k \cdot t \cdot a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 r_{SA} + k^2 r'_{AK} = \\ &= 0,9 \times 0,9 \times 2 \cdot \left(\frac{0,722}{0,833} \right)^2 \cdot 101,86 + 0,9^2 \times 41,54 = 157,7 \Omega. \end{aligned}$$

Điện trở tác dụng của dây quấn phụ lúc khởi động:

$$r'_{SB75} = r_{BK} - k^2 r'_{AK} = 157,7 - 0,9^2 \times 41,54 = 124 \Omega$$

Chiều dài dây quấn phụ:

$$L_{SB} = L_{SA} \frac{W_{SB}}{W_{SA}} = 353,8 \cdot \frac{1041}{1332} = 276,5 \text{ m.}$$

Tiết diện dây dẫn của dây quấn phụ:

$$S'_{SB} = \rho_{75} \frac{L_{SB}}{r'_{SB75}} = \frac{1}{46} \cdot \frac{276,5}{124} = 0,0485 \text{ mm}^2.$$

Chọn tiết diện tiêu chuẩn $S_{SB} = 0,0491 \text{ mm}^2$. Chọn dây

$$\text{ПЭВ-2 có đường kính } \frac{d}{d_{cd}} = \frac{0,25}{0,285}.$$

Hệ số lấp đầy rãnh:

$$k_d = \frac{d_{cd}^2 u_r}{S_r - S_{cd}} = \frac{0,285^2 \times 347}{39,7} = 0,71.$$

Theo tiết diện tiêu chuẩn, hiệu chỉnh lại điện trở tác dụng của dây quấn phụ:

$$r_{SB} = r'_{SB75} \frac{S'_{SB}}{S_{SB}} = 124 \cdot \frac{0,0485}{0,0491} = 122,5 \Omega.$$

Điện trở tác dụng của mạch điện thay thế pha phụ lúc khởi động:

$$r_{BK} = r_{SB} + k^2 r'_{RAK} = 122,5 + 0,9^2 \times 41,54 = 156,15 \Omega.$$

Khi không có phần tử khởi động, điện kháng của mạch điện thay thế pha phụ lúc khởi động bằng:

$$\begin{aligned} x_{BK} &= k^2 a \left(\frac{k_{dA}}{k_{dB}} \right)^2 x_{SA} + k^2 x'_{RAK} = \\ &= 0,9^2 \times 2 \cdot \left(\frac{0,722}{0,833} \right)^2 \cdot 35,5 + 0,9^2 \times 31,17 = 68,5 \Omega. \end{aligned}$$

Mômen khởi động khi đã cho $m_K = 2,2$:

$$M_K = 2,2 M_{dm} = 2,2 \times 1 = 2,2 \text{ kG.cm.}$$

Điện kháng pha phụ khi khởi động có phần tử khởi động có thể tính theo điều kiện $m_K = 2,2$ đã cho.

Hệ số A và điện kháng x'_{BK} :

$$A = \frac{97,4k \cdot U_{dm}^2 r'_{RAK}}{n_{db} (r_{AK}^2 + x_{AK}^2)} = \frac{97,4 \times 0,9 \times 220^2 \times 41,54}{3000 \times (143,4^2 + 66,67^2)} = 2,35.$$

$$x'_{BK} = \frac{-A \cdot r_{AK} - \sqrt{A^2 r_{AK}^2 - M_K (M_K r_{BK}'^2 - 2A \cdot r'_{BK} x_{AK})}}{M_K} =$$

$$= \frac{-2,35.143,4 - \sqrt{(2,35.143,4)^2 - 2,2(2,2.157,7^2 \cdot 2,2,35.157,7.66,67)}}{2,2}$$

$$= -298 \Omega; |x'_{BK}| = 298 \Omega$$

Dung kháng:

$$|x_{cv}| = |x'_{BK}| + x_{BK} = 298 + 68,5 = 366,5 \Omega.$$

Điện dung của tụ điện khởi động:

$$C_v = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot x_{cv}} = \frac{10^6}{2 \times 3,14 \times 50 \times 366,5} = 8,7 \mu\text{F}.$$

Chọn $C_v = 9 \mu\text{F}$. Lúc đó điện kháng khởi động bằng:

$$x_{cv} = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot C_v} = \frac{10^6}{2 \times 3,14 \times 50 \times 9} = 353,7 \Omega.$$

$$|x'_{BK}| = |x_{cv}| - x_{BK} = 353,7 - 68,5 = 285,2 \Omega.$$

Dòng điện khởi động (dòng điện dây quấn chính I_{AK} và dòng điện dây I_K):

$$I_{AK} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{r_{AK}^2 + x_{AK}^2}} = \frac{220}{\sqrt{143,4^2 + 66,67^2}} = 1,39 \text{ A}.$$

$$I_K = I_{AK} \sqrt{\frac{(r_{AK} + r_{BK})^2 + (x_{AK} + x'_{BK})^2}{r_{BK}^2 + x'_{BK}^2}}$$

$$= 1,39 \times \sqrt{\frac{(143,4 + 156,15)^2 + (66,67 + 285,2)^2}{156,15^2 + 285,2^2}} = 1,585 \text{ A}.$$

Bội số dòng điện khởi động:

$$i_K = \frac{I_K}{I_{dm}} = \frac{1,585}{0,42} = 3,77.$$

Hệ số công suất của pha chính lúc khởi động:

$$\cos \varphi_{AK} = \frac{r_{AK}}{\sqrt{r_{AK}^2 + x_{AK}^2}} = \frac{143,4}{\sqrt{143,4^2 + 66,67^2}} = 0,91.$$

Dòng điện của pha phụ lúc khởi động:

$$I_{BK} = \frac{U_{dm}}{r'_{BK} + jx'_{BK}} = \frac{220}{156,16 + j285,2} = 0,325 - j0,593$$

$$I_{BK} = 0,676 \text{ A}$$

Hệ số công suất của pha phụ lúc khởi động:

$$\cos \varphi_{BK} = \frac{r_{BK}}{\sqrt{r_{BK}^2 + x_{BK}^2}} = \frac{156,16}{\sqrt{156,16^2 + 285,2^2}} = 0,48.$$

Mật độ dòng điện của dây quấn chính lúc khởi động:

$$J_{AK} = \frac{I_{AK}}{S_{SA}} = \frac{1,36}{0,075} = 18,5 \text{ A/mm}^2.$$

Mật độ dòng điện của dây quấn phụ lúc khởi động:

$$J_{BK} = \frac{I_{BK}}{S_{SB}} = \frac{0,676}{0,0491} = 13,76 \text{ A/mm}^2.$$

Khi chọn trị số điện dung là số nguyên, mômen khởi động trên thực tế không khác với trị số cho sẵn.

$$\begin{aligned} M_K &= 2A \frac{r'_{BK} x_{AK} + x'_{BK} r_{AK}}{r_{BK}^2 + x_{BK}^2} = \\ &= 2 \times 2,35 \cdot \frac{156,15 \times 66,67 + 285,2 \times 143,4}{156,15^2 + 285,2^2} = 2,28 \text{ kG.cm.} \end{aligned}$$

Điện áp trên dây quấn phụ lúc khởi động:

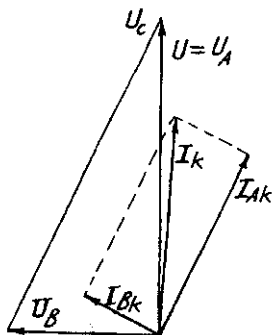
$$\begin{aligned} \dot{U}_B &= I_{BK} Z_{BK} = (0,325 + j0,593)(156,15 + j68,5) = \\ &= 10,14 + j114,85 \end{aligned}$$

$$\dot{U}_B = 115,3 \text{ V}$$

Điện áp trên tụ điện:

$$\begin{aligned} \dot{U}_C &= I_{BK} Z_c = I_{BK}(-jx_c) = -(0,325 + j0,593)j353,7 = -209,7 + j114,6 \\ \dot{U}_C &= 240 \text{ V.} \end{aligned}$$

Chọn tụ điện khởi động kiểu K50 của Nga.



Hình 13-10. Đồ thị vector của động cơ điện một pha khởi động bằng điện dung.

Đồ thị vector của dòng điện động cơ điện khởi động bằng điện dung khi hệ số trượt $s = 1$ như ở hình 13-10. So với động cơ điện khởi động bằng điện trở thì ưu điểm của loại động cơ này là với một bội số mômen khởi động tương đối lớn ($m_k = 2,2$ chứ không phải là $0,93$), bội số dòng điện khởi động lại tương đối thấp ($i_k = 3,63$ chứ không phải là $8,36$).

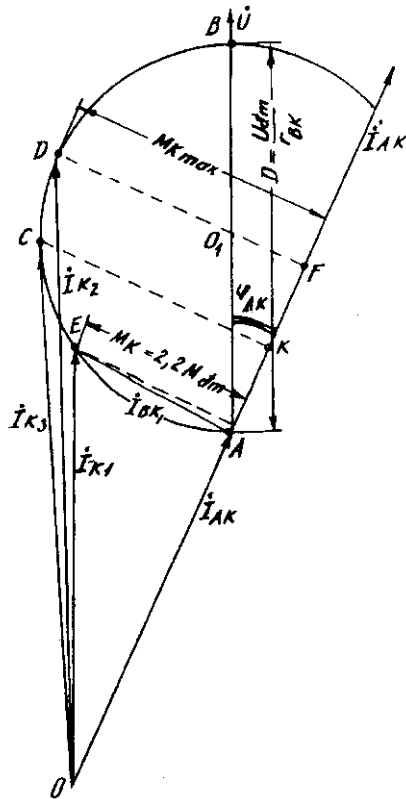
Hình 13-11 là đồ thị vòng tròn dòng điện khởi động với $r_{BK} = 156,15 \Omega$, với tỷ số biến áp và tiết diện dây quấn phụ đã chọn. Đường kính vòng tròn:

$$D = \frac{U_{dm}}{r_{BK}} = \frac{220}{156,15} = 1,4 \text{ A.}$$

Để xác định tỷ lệ xích của mômen, cần tìm mômen khởi động lớn nhất.

$$M_{\max} = A \cdot \frac{\sqrt{r_{AK}^2 + x_{AK}^2} + x_{AK}}{r_{BK}} =$$

$$= 2,36 \cdot \frac{\sqrt{143,4^2 + 66,67^2} + 66,67}{156,15} = 3,36 \text{ kG.cm.}$$



Hình 13-11. Đồ thị vòng tròn dòng điện khởi động của động cơ điện một pha khởi động bằng điện dung.

Tỷ lệ xích của mômen:

$$\mu_M \equiv \frac{M_{Kmax}}{DF} = \frac{3,36}{39} = 0,865 \text{ kG.cm/mm}$$

Pha phụ được thiết kế theo điều kiện $m_K = 2,2$ đã cho. Với điều kiện đó (điểm E trên vòng tròn), điện kháng của pha phụ bằng:

$$|x_{cv}| = |x'_{BK}| + x_{BK} = 298 + 68,5 = 366,5 \Omega.$$

$$C_v = \frac{10^6}{2\pi f \cdot x_{cv}} = \frac{10^6}{2 \times 3,14 \times 50 \times 366,5} = 8,7 \mu F.$$

Trị số điện dung của tụ điện khởi động trên thực tế cũng gần giống như cách phân tích bằng giải tích.

Dòng điện dây khởi động:

$$I_K = 1,585 \text{ A}; (i_K = 3,77).$$

Từ đồ thị vòng tròn có thể thấy động cơ điện này đạt được mômen lớn nhất (điểm D) $M_{K_{\max}} = 3,37 \text{ kG.cm}$; ứng với dòng điện dây khởi động $I_{K2} = 2,21 \text{ A}$; ($i_K = 5,3$).

Khi hệ số phẩm chất cao nhất (điểm C), mômen khởi động $M_K = 3,14 \text{ kG.cm}$, dòng điện dây khởi động $I_{K3} = 1,9 \text{ A}$; ($i_K = 4,52$).

13.3. Tính toán động cơ điện điện dung làm việc

Ví dụ tính toán này chủ yếu dùng để nói lên đặc điểm của động cơ điện điện dung.

Số liệu định mức của động cơ điện điện dung như sau:

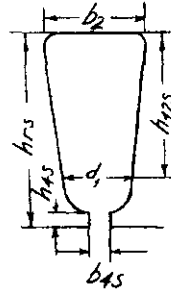
Công suất tác dụng định mức $P_{dm} = 25 \text{ W}$.

Tốc độ đồng bộ $n_{db} = 1500 \text{ vg/ph}$ ứng với số cực $2p = 4$.

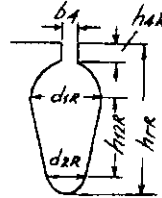
Điện áp định mức $U_{dm} = 220 \text{ V}$.

Động cơ điện dung dùng làm quạt gió nên có những yêu cầu riêng: Mômen định mức của động cơ gần bằng mômen cực đại do đó hệ số trượt định mức tương đối lớn. Thường hệ số trượt đó vào khoảng $s_{dm} = 0,17$, ứng với tốc độ quay 1245 vg/ph . Hệ số trượt đó khá lớn so với động cơ điện dung thông thường, do đó có những hệ số sử dụng trong ví dụ này không hoàn toàn khớp với những số liệu tra cứu trong các bảng của sách này.

$$\begin{aligned}
 h_{1S} &= 11,5 \text{ mm} \\
 h_{12S} &= 7,5 \\
 h_{4S} &= 0,8 \\
 b_2 &= 10,1 \\
 d_1 &= 7,4 \\
 b_{4S} &= 2,2
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 h_{1R} &= 9 \text{ mm} \\
 h_{12R} &= 4,9 \\
 h_{4R} &= 0,5 \\
 d_{1R} &= 4,2 \\
 d_{2R} &= 2,4 \\
 b_{4R} &= 1
 \end{aligned}$$



Hình 13-12. Kích thước rãnh stato, rôto.

Việc xác định kích thước chủ yếu và thiết kế răng rãnh của loại động cơ điện này cũng không khác gì các loại trước, nên trong ví dụ này không lặp lại việc thiết kế đó mà chủ yếu nêu lên cách tính toán dây quấn stato và các đặc tính ở chế độ định mức và khởi động.

1. Các kích thước kết cấu như sau:

Đường kính ngoài lõi sắt stato $D_n = 7,9$ cm.

Đường kính trong lõi sắt stato $D = 4,6$ cm.

Khe hở không khí $\delta = 0,03$ cm (do dùng bạc đỡ nên lấy lớn lên một ít).

Đường kính ngoài lõi sắt rôto:

$$D' = D - 2\delta = 4,6 - 2 \times 0,03 = 4,54 \text{ cm.}$$

Đường kính trong lõi sắt rôto: $d_1 = 1,2$ cm.

Chiều dài lõi sắt stato và rôto: $l = l_s = l_r = 2,3$ cm.

Số rãnh stato và rôto: $Z_S = 16$; $Z_R = 17$.

Kích thước rãnh stato, rôto như ở hình 13-12.

$$\text{Bước cực: } \tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi \times 4,6}{4} = 3,61 \text{ cm.}$$

$$\text{Bước răng stato: } t_s = \frac{\pi D}{Z_S} = \frac{\pi \times 4,6}{16} = 0,903 \text{ cm.}$$

$$\text{Bước răng rôto: } t_R = \frac{\pi D'}{Z_R} = \frac{\pi \times 4,54}{17} = 0,839 \text{ cm.}$$

Làm nghiêng rãnh ở rôto và nghiêng $1/16$ của vòng tròn, nghĩa là một bước rãnh stato. Như vậy $b_n = t_s = 0,903 \text{ cm}$

$$\text{và độ nghiêng rãnh } \beta_n = \frac{b_n}{t_R} = \frac{0,903}{0,839} = 1,0625.$$

Góc nghiêng rãnh:

$$\alpha_n = \frac{2\pi p}{Z_R} \beta_n = \frac{\pi \cdot 4}{17} \cdot 1,0625 = 0,785 \text{ rad.}$$

Hệ số rãnh nghiêng đồng thời là hệ số dây quấn rôto:

$$k_n = k_{dR} = \frac{2 \sin \frac{\alpha_n}{2}}{\alpha_n} = \frac{2 \sin \frac{0,785}{2}}{0,785} = 0,974.$$

Hệ số khe hở không khí:

$$k_{\delta S} = \frac{t_s}{t_s - \gamma_S \delta} = \frac{0,903}{0,903 - 4,36 \times 0,03} = 1,169,$$

$$\text{trong đó: } \gamma_S = \frac{(b_{4S} / \delta)^2}{5 + (b_{4S} / \delta)} = \frac{(2,2 / 0,3)^2}{5 + (2,2 / 0,3)} = 4,36.$$

$$k_{\delta R} = \frac{t_R}{t_R - \gamma_R \delta} = \frac{0,839}{0,839 - 1,333 \times 0,3} = 1,05,$$

trong đó: $\gamma_R = \frac{(b_{4R}/\delta)^2}{5 + (b_{4R}/\delta)} = \frac{(1/0,3)^2}{5 + (1/0,3)} = 1,333.$

$$k_\delta = k_{\delta S}. k_{\delta R} = 1,169 \times 1,05 = 1,2275.$$

2. Dây quấn stato

Trong động cơ điện diện dung, thường lấy số rãnh của hai pha dưới mỗi cực bằng nhau, do đó $q = Q_A = Q_B = 2.$

Dùng dây quấn một lớp phân tán hai mặt phẳng, như vậy dây quấn bước đủ:

$$y = \tau = \frac{Z_S}{2p} = \frac{16}{4} = 4.$$

Hệ số dây quấn stato:

$$k_d = \frac{0,707}{q \sin \frac{45^\circ}{q}} = \frac{0,707}{2 \sin \frac{45^\circ}{2}} = 0,924.$$

Lấy $\alpha_\delta = 0,64$; $k_S = 1,11$; $k_E = 0,68$; $B_\delta = 0,49$ Tesla,

Từ thông khe hở không khí:

$$\begin{aligned} \Phi &= \alpha_\delta \tau \cdot l \cdot B_\delta \cdot 10^{-4} = 0,64 \times 3,61 \times 2,3 \times 0,49 \cdot 10^{-4} = \\ &= 2,604 \cdot 10^{-4} \text{ Wb.} \end{aligned}$$

Số vòng dây của dây quấn chính:

$$W_{SA} = \frac{k_E U_{dm}}{4 k_S f \cdot \Phi \cdot k_{dA}} = \frac{0,68 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 50 \cdot 0,924 \cdot 2,604 \cdot 10^{-4}} = 2801 \text{ vg}$$

Lấy $W_{SA} = 2800$ vòng.

Số thanh dẫn trong một rãnh:

$$u_{rA} = \frac{W_{SA} a}{p \cdot q} = \frac{2800 \times 1}{2 \times 2} = 700 \text{ vg,}$$

trong đó lấy số mạch song song $a = 1.$

Do số vòng dây hiệu chỉnh không khác nhiều so với số vòng dây tính toán nên không cần hiệu chỉnh lại B_s và Φ .

Từ đường biểu diễn trên hình 1-3 tra ra $\eta_{II} \cos \varphi_{II} = 0,42$ với $P_{dm} = 25 \text{ W}$, do đó sơ bộ xác định dòng điện định mức của dây quấn chính:

$$I_{dmA} = \frac{P_{dm}}{\eta_{II} \cos \varphi_{II} \sqrt{2} U_{dm}} = \frac{25}{0,42 \times \sqrt{2} \times 220} = 0,191 \text{ A.}$$

Chọn mật độ dòng điện $J_{SA} = 6 \text{ A/mm}^2$. Tiết diện dây dẫn của dây quấn chính stato bằng:

$$S'_{SA} = \frac{I_{dmA}}{n J_{SA}} = \frac{0,191}{1 \times 6} = 0,0318 \text{ mm}^2$$

trong đó số sợi ghép song song $n = 1$.

Chọn dây men ПЭВ-2 có tiết diện tiêu chuẩn $S_{SA} = 0,0314 \text{ mm}^2$.

Đường kính dây dẫn là $d/d_{cd} = 0,2/0,23 \text{ mm}^2$.

Diện tích rãnh trừ nôm:

$$\begin{aligned} S'_r &= \frac{b_2 + d_1}{2} (h_{rS} - h_{4S} - h_n) = \frac{10,1 + 7,4}{2} (11,5 - 0,8 - 2) = \\ &= 76,12 \text{ mm}^2, \end{aligned}$$

trong đó chiều cao nôm $h_n = 2 \text{ mm}$.

Diện tích cách điện rãnh:

$$S_{cd} = c (b_2 + 2h_{rS}) = 0,3(10,1 + 2 \times 11,5) = 9,93 \text{ mm}^2,$$

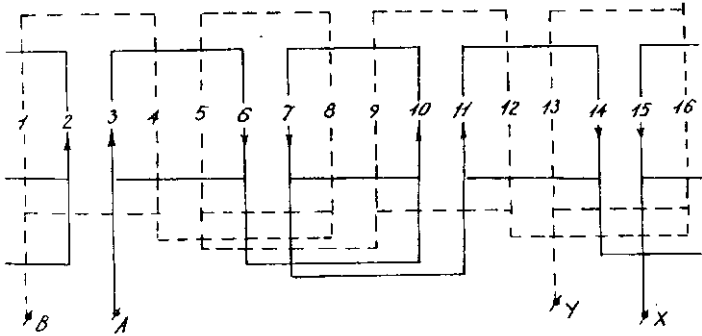
trong đó chiều dày cách điện $c = 0,3 \text{ mm}$.

Diện tích rãnh có ích: $S_r = S'_r - S_{cd} = 70,12 - 9,93 = 66,20 \text{ mm}^2$.

Hệ số lấp đầy rãnh:

$$k_d = \frac{u_{rA} d_{cd}^2}{S_r} = \frac{700 \times 0,23^2}{66,20} = 0,56.$$

Giản đồ khai triển của dây quấn stato như ở hình 13-13.



Hình 13-13. Giản đồ khai triển dây quấn với $Z_s = 16$, $Q_A = Q_B = 2$.

3. Trở kháng của dây quấn stato và rôto

Dùng dây quấn đồng tâm phân tán, bước dây bình quân $y = 3$. Chiều dài bình quân phần đầu nối:

$$\begin{aligned} l_d &= k_1 \tau_y \beta + 2B = k_1 \frac{\pi(D + h_{rS})}{2p} \cdot \frac{y}{\tau} + 2B \\ &= 1,3 \frac{\pi(4,6 + 1,15)}{4} \cdot \frac{3}{4} + 2 \times 1 = 6,4 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Chiều dài bình quân nửa vòng dây:

$$l_{ib} = l + l_d = 2,3 + 6,4 = 8,7 \text{ cm.}$$

Tổng chiều dài dây dẫn của dây quấn chính:

$$L_{SA} = 2l_{ib} W_{SA} \cdot 10^{-2} = 2 \times 8,7 \times 2800 \cdot 10^{-2} = 487,2 \text{ m.}$$

Điện trở tác dụng của dây quấn chính:

$$r_{SA} = \rho_{75} \frac{L_{SA}}{S_{SA}} = 0,0213 \frac{487,2}{0,0314} = 330,7 \Omega.$$

Hệ số từ tản rãnh (dây quấn một lớp hình nửa quả lê) stato:

$$\lambda_{rs} = \left[\frac{h_1}{3d_2} k_{\beta} + \left(0,785 - \frac{h_{4S}}{2d_2} + \frac{h_2}{d_2} + \frac{h_{4S}}{h_{4S}} \right) k_{\beta 1} \right] =$$

$$\left[\frac{10,4}{3 \times 7,4} \times 1 + \left(0,785 - \frac{2,2}{2 \times 7,4} - \frac{3,4}{7,4} + \frac{0,8}{2,2} \right) \times 1 \right] = 1,01.$$

ở đây $k_{\beta} = k_{\beta 1} = 1$, $h_1 = 10,4$ mm, $h_2 = -3,4$ mm

Với $Z_s/Z_R = 16/17 = 0,941$ và $Z_s/2p = 16/4 = 4$, theo hình 4-9 tra ra $\xi_s = 1,27$.

Hệ số từ tản tạp stato:

$$\lambda_{is} = \frac{t_s}{11,9k_s \delta} \xi_s = \frac{0,903 \times 1,27}{11,9 \times 1,2275 \times 0,03} = 2,616.$$

Hệ số từ tản phân đầu nối dây quấn phân tán hai mặt phẳng:

$$\lambda_{ds} = 0,27 \frac{q}{l} (l_d - 0,64\tau) = 0,27 \cdot \frac{2}{2,3} (6,4 - 0,64 \times 3,61) = 0,96$$

Tổng hệ số từ dẫn:

$$\Sigma \lambda_s = \lambda_{rs} + \lambda_{is} + \lambda_{ds} = 1,01 + 2,616 + 0,96 = 4,586.$$

Điện kháng tản dây quấn chính stato:

$$x_{SA} = 0,158 \frac{f}{100} \left(\frac{W_{SA}}{100} \right)^2 \cdot \frac{l}{p \cdot q} \Sigma \lambda_s =$$

$$= 0,158 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{2800}{100} \right)^2 \cdot \frac{2,3}{2 \times 2} \cdot 4,586 = 163,32 \Omega.$$

Rôto của động cơ điện được đúc bằng nhôm. Điện trở của thanh dẫn rôto:

$$r_1 = \rho_{75} \frac{l_k \cdot 10^{-2}}{S_1} = 0,0465 \cdot \frac{2,3 \cdot 10^{-2}}{25,36} = 0,422 \cdot 10^{-4} \Omega,$$

trong đó diện tích thanh dẫn (cũng là diện tích rãnh rôto) bằng:

$$S_1 = \frac{\pi}{8} (d_1^2 + d_2^2) + \frac{d_1 + d_2}{2} h_{12} = \frac{\pi}{8} (4,2^2 + 2,4^2) + \\ + \frac{4,2 + 2,4}{2} \cdot 4,9 = 25,36 \text{ mm}^2.$$

Điện trở vành ngắn mạch của rôto:

$$r_v = \rho_{75} \frac{\pi D_v}{Z_R (a \times b)} \cdot 10^{-2} = \frac{1}{23} \cdot \frac{\pi \cdot 3,4 \cdot 10^{-2}}{17 \cdot 10 \cdot 5} = 0,058 \cdot 10^{-4} \Omega.$$

trong đó đường kính $D_v = 3,4$ cm, kích thước vành ngắn mạch $a \times b = 10 \times 5 \text{ mm}^2$.

Điện trở của phần tử lồng sóc rôto bằng:

$$r_{pt} = r_1 + \frac{r_v}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{Z_R}} = 0,422 \cdot 10^{-4} + \frac{0,058 \cdot 10^{-4}}{2 \sin^2 \left(\frac{180^\circ \times 2}{17} \right)} = \\ = 0,644 \cdot 10^{-4} \Omega.$$

Hệ số quy đổi điện trở rôto sang stato:

$$k_{12} = \frac{4m(W_S k_{dS})^2}{Z_R k_{dR}^2} = \frac{4 \cdot 2(2800 \cdot 0,924)^2}{17 \cdot 0,974^2} = 332,75 \cdot 10^4.$$

Điện trở rôto đã quy đổi sang stato: .

$$r_R = k_{12} \cdot r_{pt} = 332,75 \cdot 10^4 \times 0,644 \cdot 10^{-4} = 214,3 \Omega.$$

Hệ số từ tản rãnh rôto:

$$\lambda_{rR} = \left[\frac{h_{1R}}{3d_{1R}} \left(1 - \frac{\pi d_{1R}^2}{8S_t} \right)^2 + 0,66 - \frac{h_{4R}}{2d_{1R}} \right] k_\mu + \frac{h_{4R}}{h_{4R}} =$$

$$= \left[\frac{5,86}{3 \cdot 4,2} \cdot \left(1 - \frac{\pi 4,2^2}{8 \cdot 25,36} \right)^2 + 0,66 - \frac{1}{2 \cdot 4,2} \right] \cdot 1 + \frac{0,5}{1} = 1,287$$

Với $\frac{h_{4R}}{t_R} = \frac{1}{8,39} = 0,119$ và $\frac{h_{4R}}{\delta} = \frac{1}{0,3} = 3,33$, theo hình

4-7 tra được hệ số $\Delta_Z = 0,02$. Vì $\frac{Z_R}{2p} = \frac{17}{4} < 5$ nên:

$$\xi_R = 1 + \frac{1}{5} \left(\frac{\pi p}{Z_R} \right) - \frac{\Delta_Z}{1 - (p/Z_R)^2} =$$

$$= 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{2\pi}{17} \right) - \frac{0,02}{1 - (2/17)^2} = 1,0536.$$

Hệ số từ tản tạp:

$$\lambda_{tR} = \frac{t_R \cdot \xi_R}{11,9 \cdot \delta \cdot k_\delta} = \frac{0,839 \times 1,0536}{11,9 \times 0,03 \times 1,2275} = 2,017.$$

Hệ số từ tản đầu nối:

$$\lambda_{dR} = \frac{2,9D_v}{Z_R l (2 \sin \frac{\pi p}{Z_R})^2} \lg \frac{4,7D_v}{2(\frac{b}{2} + a)}$$

$$= \frac{2,9 \cdot 3,4}{17 \cdot 2,3 (2 \sin \frac{180^\circ \cdot 2}{17})^2} \lg \frac{4,7 \cdot 3,4}{2(\frac{1}{2} + 0,5)} = 0,436.$$

Tổng hệ số từ tản rôto:

$$\Sigma \lambda_R = \lambda_{rR} + \lambda_{tR} + \lambda_{dR} = 1,287 + 2,017 + 0,436 = 3,74.$$

$$\Sigma \lambda'_R = \Sigma \lambda_R \frac{l_R Z_S}{l_S Z_R} \left(\frac{k_{dS}}{k_{dR}} \right)^2 = 0,74 \cdot \frac{16}{17} \left(\frac{0,924}{0,974} \right)^2 = 3,17$$

Điện kháng rôto quy đổi sang stato:

$$x_R = x_S \frac{\Sigma \lambda'_R}{\Sigma \lambda_S} = 163,32 \cdot \frac{3,17}{4,586} = 112,9 \Omega$$

4. Tính toán mạch từ

Lõi sắt động cơ điện này dùng thép kỹ thuật điện cán nguội ký hiệu 2211. Hệ số ép chặt lấy là $k_c = 0,97$. Bề mặt lá tôn không phủ sơn cách điện.

Kết quả tính toán mạch từ được ghi trong bảng 13-6.

Bảng 13-6. Bảng tính toán mạch từ

Các phần mạch từ	Mật độ từ thông, Tesla	Sức từ động, A
Khe hở không khí	$B_\delta = 0,49$	289
Rãnh stato	$B_{ZS} = 1,4$	20,6
Rãnh rôto	$B_{ZR} = 1,315$	12,9
Gông stato	$B_{gS} = 1,16$	21,3
Gông rôto	$B_{gR} = 0,68$	2,5

Hệ số bão hòa:

$$k_Z = \frac{F_\delta + F_{ZS} + F_{ZR}}{F_\delta} = \frac{289 + 20,6 + 12,9}{289} = 1,104.$$

Sức từ động của mạch từ:

$$\begin{aligned} F &= F_\delta + F_{ZS} + F_{ZR} + F_{gS} + F_{gR} \\ &= 289 + 20,6 + 12,9 + 21,3 + 2,5 = 346 \text{ A.} \end{aligned}$$

Dòng điện từ hóa:

$$I_\mu = \frac{p \cdot F}{0,9 m \cdot W_S k_{dS}} = \frac{2 \times 346}{0,9 \times 2 \times 2800 \times 0,924} = 0,149 \text{ A.}$$

Điện kháng ứng với từ trường khe hở không khí:

$$\bullet \quad x_{mA} = \frac{k_E U_{dm}}{I_\mu} = \frac{0,68 \times 220}{0,149} = 1004 \Omega.$$

5. Tính toán chế độ định mức

Tham số ban đầu của mạch điện thay thế pha chính:

$$r_{SA} = 330,7 \Omega \quad x_{SA} = 163,32 \Omega \quad x_{mA} = 1004 \Omega$$

$$r_{RA} = 214,3 \Omega \quad x_{RA} = 112,9 \Omega$$

Hệ số trượt định mức lấy $s_{dm} = 0,17$, ứng với tốc độ định mức:

$$n_{dm} = n_{db}(1 - s_{dm}) = 1500(1 - 0,17) = 1245 \text{ vg/ph.}$$

Tính hệ số trở kháng của mạch điện:

$$\alpha = \frac{r_{RA}}{x_{mA} + x_{RA}} = \frac{214,3}{1004 + 112,9} = 0,191.$$

$$\beta = \frac{x_{mA}}{x_{mA} + x_{RA}} = \frac{1004}{1004 + 112,9} = 0,90.$$

Điện trở tác dụng thứ tự thuận của mạch điện:

$$r'_{RAI} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{mA} s}{\alpha^2 + s^2} = \frac{0,191 \cdot 0,90 \cdot 1004 \cdot 0,17}{0,191^2 + 0,17^2} = 448,75 \Omega.$$

Điện kháng thứ tự thuận của mạch điện:

$$\begin{aligned} x'_{RAI} &= \beta \cdot x_{RA} \frac{(r_{RA} / x_{RA}) \alpha + s^2}{\alpha^2 + s^2} \\ &= 0,90 \cdot 112,9 \cdot \frac{(214,3 / 112,9) 0,191 + 0,17^2}{0,191^2 + 0,17^2} = 608,35 \Omega. \end{aligned}$$

Tổng trở thứ tự thuận pha chính:

$$\begin{aligned} Z_{AI} &= r_{AI} + jx_{AI} = (r_{SA} + r'_{RAI}) + j(x_{SA} + x'_{RAI}) \\ &= (330,7 + 448,75) + j(163,32 + 608,35) = 779,45 + j771,67 \Omega. \end{aligned}$$

6. Tính toán dây quấn phụ

Tính toán dây quấn phụ theo điều kiện đặt được từ trường quay tròn ở chế độ định mức.

Tỷ số biến áp theo (8-16):

$$k = \frac{x_{A1}}{r_{A1}} = \frac{771,67}{779,45} = 0,990$$

Dung kháng trong dây quấn phụ theo (8-17):

$$x_c = k^2 x_{A1} + k \cdot r_{A1} = 0,990^2 \times 771,67 + 0,990 \times 779,45 = 1528 \Omega.$$

Điện dung cần thiết:

$$C'_v = \frac{10^6}{2\pi f \cdot x_c} = \frac{10^6}{2\pi \times 50 \times 1528} = 2,08 \mu\text{F}.$$

Chọn tụ $C_v = 2 \mu\text{F}$.

Dung kháng bằng:

$$x_c = \frac{10^6}{2\pi f \cdot C_v} = \frac{10^6}{2\pi \times 50 \times 2} = 1591,5 \Omega.$$

Để đảm bảo điều kiện thứ hai của từ trường quay tròn theo 8-13b, tỷ số biến áp phải là:

$$\begin{aligned} k &= \frac{-r_{A1} + \sqrt{r_{A1}^2 + 4x_{A1}x_c}}{2x_{A1}} = \\ &= \frac{-779,45 + \sqrt{779,45^2 + 4 \times 771,67 \times 1591,5}}{2 \times 771,67} = 1,017 \end{aligned}$$

Số thanh dẫn trong một rãnh của dây quấn phụ:

$$u'_{rB} = k \cdot u_{rA} = 1,017 \times 700 = 712,1.$$

Lấy u_{rB} là số nguyên, $u_{rB} = 712$ thanh dẫn, như vậy số vòng dây của dây quấn phụ bằng:

$$W_{SB} = u_{rB} p \cdot q = 712 \times 2 \times 2 = 2848 \text{ vòng.}$$

và tỷ số biến áp là:

$$k = \frac{W_{SB}}{W_{SA}} = \frac{2848}{2800} = 1,017.$$

Sơ bộ tính tiết diện dây dẫn pha phụ. Chọn $t = k$:

$$S'_B = S'_B = \frac{S_{SA}}{t} = \frac{0,0314}{1,017} = 0,0308 \text{ mm}^2.$$

Chọn dây men ЛЭВ-2, tiết diện tiêu chuẩn $S_B = 0,0314 \text{ mm}^2$, đường kính dây $d/d_{cd} = 0,2/0,23 \text{ mm}$. Như vậy:

$$t = \frac{S_{SA}}{S_{SB}} = 1.$$

Điện trở tác dụng pha phụ B:

$$r_{SB} = k \cdot t \cdot r_{SA} = 1,017 \times 1 \times 330,7 = 336,32 \text{ } \Omega.$$

Tổng trở thứ tự thuận pha phụ:

$$\begin{aligned} Z_{B1} &= (r_{SB} + k^2 r'_{RA1}) + j(k^2 x_A - x_c) = (336,32 + 1,017^2 \times \\ &448,75) \\ &+ j(1,017^2 \times 771,67 - 1591,5) = 800,45 - j793,37. \end{aligned}$$

Do điện dung chọn là số nguyên nên điều kiện đạt từ trường tròn không được thỏa mãn, vì vậy phải dùng công thức chung cho từ trường elip để tính các tham số ở chế độ định mức.

Trở kháng thứ tự nghịch pha chính:

$$\begin{aligned} r'_{RA2} &= \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{mA} (2-s)}{\alpha^2 + (2-s)^2} = \frac{0,191 \times 0,90 \times 1004 \times (2-0,17)}{0,191^2 + (2-0,17)^2} = \\ &= 93,3 \text{ } \Omega. \end{aligned}$$

$$x'_{RA2} = \beta \cdot x_{RA} \frac{(r_{RA} / x_{RA}) \alpha + (2-s)^2}{\alpha^2 + (2-s)^2} =$$

$$= 0,90 \times 112,9 \frac{(214,3/112,9) \times 0,191 + (2 - 0,17)^2}{0,191^2 + (2 - 0,17)^2} = 111,4 \Omega$$

$$\begin{aligned} Z_{A2} &= r_{A2} + jx_{A2} = (r_{SA} + r'_{RA2}) + j(x_{SA} + x'_{RA2}) = \\ &= (330,7 + 93,3) + j(163,32 + 111,4) = 424 + j274,72 \end{aligned}$$

Tổng trở thứ tự nghịch pha phụ:

$$\begin{aligned} Z_{B2} &= (r_{SB} + k^2 r'_{RA2}) + j(k^2 x_{A2} - x_0) = \\ &= (336,32 + 1,017^2 \times 93,3) + j(1,017^2 \times 274,72 - 1591,5) \\ &= 432,8 - j1312,1 \Omega. \end{aligned}$$

Thành phần thứ tự thuận và nghịch của dòng điện stato pha chính:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{A1} &= U_{dm} \frac{Z_{B2} - jkZ_{A2}}{Z_{A1}Z_{B2} - Z_{A2}Z_{B1}} \\ &= 220 \cdot \frac{432,8 - j1312,1 - j1,017 \times (424 + j274,72)}{(779,45 + j771,67)(432,8 - j1312,1) + (424 + j274,72)(800,45 - j793,37)} \\ &= 0,1418 - j0,141 = 0,2 \angle -44,9^\circ \text{ A}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{A2} &= U_{dm} \frac{Z_{B1} - jkZ_{A1}}{Z_{A1}Z_{B2} - Z_{A2}Z_{B1}} = \\ &= 220 \cdot \frac{800,45 - j793,37 + j1,017 \times (779,45 + j771,67)}{(779,45 + j771,67)(432,8 - j1312,1) + (424 + j274,72)(800,45 - j793,37)} \\ &= 0,00155 - j0,00059 = 0,00165 \angle 20,7^\circ \text{ A}. \end{aligned}$$

Sức điện động thứ tự thuận:

$$\begin{aligned} \dot{E}_1 &= \dot{I}_{A1} Z_{RA1} = (0,1418 - j0,141)(448,75 + j608,75) = \\ &= 149,4 + j23 = 151 \text{ V}. \end{aligned}$$

$$\text{Hệ số } k_E = \frac{E_1}{U_{dm}} = \frac{151}{220} = 0,687.$$

Sai số so với giả thiết ban đầu (0,68) không nhiều, do đó có thể chấp nhận được.

7. Tính tổn hao sắt và dòng điện phụ

Trọng lượng răng stato: $'$

$$G_{ZS} = 7,8 Z_S b_{ZS} h_{ZS} l_S k_c \cdot 10^{-3} = \\ = 7,8 \times 16 \times 0,34 \times 1,15 \times 2,3 \times 0,97 \cdot 10^{-3} = 0,109 \text{ kg.}$$

Trọng lượng răng rôto:

$$G_{ZR} = 7,8 Z_R b_{ZR} h_{ZR} l_R k_c \cdot 10^{-3} = \\ = 7,8 \times 17,0 \times 0,323 \times 0,78 \times 2,3 \times 0,97 \cdot 10^{-3} = 0,074 \text{ kg}$$

Trọng lượng gông stato:

$$G_{gS} = 7,8 \pi (D_n - h_{gS}) h_{gS} l_S k_c \cdot 10^{-3} \\ = 7,8 \pi (7,9 - 0,5) 0,5 \times 2,3 \times 0,97 \cdot 10^{-3} = 0,202 \text{ kg.}$$

Trọng lượng gông rôto: .

$$G_{gR} = 7,8 \pi (d_1 + h_{gR}) h_{gR} l_R k_c \cdot 10^{-3} = \\ = 7,8 \pi (1,2 + 0,83) 0,83 \times 2,3 \times 0,97 \cdot 10^{-3} = 0,092 \text{ kg}$$

Tổn hao sắt trên răng stato:

$$P'_{TZS} = 1,8 / p_{1,0/50} B_{ZS}^2 G_{ZS} \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3} k_{gc} = \\ = 1,8 \times 2,6 \times 1,4^2 \times 0,109 \times 1 \times 1,1 = 1,01 \text{ W}$$

trong đó $k_{gc} = 1,1$ (theo bảng 6-2).

Tổn hao sắt trên răng rôto:

$$P'_{TZR} = 1,8 p_{1,0/50} B_{ZR}^2 G_{ZR} \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3} k_{gc} = \\ = 1,8 \times 2,6 \times 1,315^2 \times 0,074 \times 1 \times 1,5 = 0,898 \text{ W.}$$

Tổn hao sắt trên gông stato:

$$P'_{TgS} = 1,6p_{1,0/50} B_{gS}^2 G_{gS} \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3} =$$
$$= 1,6 \times 2,6 \times 1,16^2 \times 0,202 \times 1 = 1,21 \text{ W.}$$

Tổn hao sắt trên gông rôto:

$$P'_{TgR} = 1,6p_{1,0/50} B_{gR}^2 G_{gR} \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3} =$$
$$= 1,6 \times 2,6 \times 0,68^2 \times 0,092 \times 1 = 0,198 \text{ W.}$$

Tổn hao sắt tính toán của stato:

$$P'_{TS} = P'_{Tzs} + P'_{TgS} = 1,01 + 1,21 = 2,22 \text{ W.}$$

Tổn hao sắt tính toán của rôto:

$$P'_{TR} = P'_{TzR} + P'_{TgR} = 0,898 + 0,198 = 1,096 \text{ W.}$$

Khi $E_1 = 151 \text{ V}$ thì tổn hao sắt do từ trường thuận gây nên bằng:

$$P_{TS1} = P'_{TS} \left(\frac{E_1}{k_E U_{dm}} \right)^2 = 2,22 \left(\frac{151}{0,687 \times 220} \right)^2 = 2,18 \text{ W.}$$

$$P_{TR1} = P'_{TR} \left(\frac{E_1}{k_E U_{dm}} \right)^2 s^{1,3} = 1,096 \left(\frac{151}{0,687 \times 220} \right)^2 0,17^{1,3}$$
$$= 0,108 \text{ W.}$$

$$P_{T1} = P_{TS1} + P_{TR1} = 2,18 + 0,108 = 2,288 \text{ W.}$$

Dòng điện phụ thứ tự thuận do tổn hao sắt gây nên:

$$I_{T1} = \frac{P_{T1}}{2E_1} = \frac{2,288}{2 \times 151} = 0,0076 \text{ A.}$$

Sức điện động thứ tự nghịch:

$$E_2 = I_{A2} Z_{RA2} = (0,00155 + j0,00059)(93,3 - j111,4) =$$
$$= 0,0778 + j0,2277 = 0,24 \angle 70,9^\circ.$$

Vì sức điện động này quá nhỏ so với E_1 cho nên có thể bỏ qua tổn hao sắt và dòng điện phụ do thành phần thứ tự nghịch sinh ra.

Dòng điện stato có xét đến tổn hao sắt ở cuộn dây chính:

$$I_{SA1} = (I'_{A1} + I_{T1}) + jI''_{A1} = (0,1418 + 0,0076) - j0,141 \\ = 0,1494 - j0,141.$$

$$I_{SA2} = (I'_{A2} + I_{T2}) + jI''_{A2} = 0,00155 + j0,00059.$$

Ở đây I'_{A1} , I'_{A2} là phần thực, I''_{A1} , I''_{A2} là phần ảo của dòng điện I_{A1} và I_{A2} .

$$I_{SA} = I_{SA1} + I_{SA2} = (0,1494 + 0,00155) - j(0,141 - 0,00059) \\ = 0,151 - j0,1404 = 0,206 \angle -43^\circ.$$

Dòng điện trong cuộn dây phụ:

$$I_{SB1} = j \frac{I_{A1}}{k} + \frac{I_{T1}}{k} = j \frac{(0,1418 - j0,141)}{1,017} + \frac{0,0076}{1,017} = \\ = 0,146 + j0,1394.$$

$$I_{SB2} = -j \frac{I_{A2}}{k} + \frac{I_{T2}}{k} = -j \frac{(0,00155 + j0,00059)}{1,017} = \\ = 0,00058 - j0,00152.$$

$$I_{SB} = I_{SB1} + I_{SB2} = (0,146 + 0,00058) + j(0,1394 - 0,00152) \\ = 0,1465 + j0,1379 = 0,201 \angle 43,3^\circ.$$

Mật độ dòng điện của dây quấn chính và dây quấn phụ:

$$J_{SA} = \frac{I_{SA}}{S_A} = \frac{0,206}{0,0314} = 6,43 \text{ A/mm}^2,$$

$$J_{SB} = \frac{I_{SB}}{S_B} = \frac{0,201}{0,0314} = 6,37 \text{ A/mm}^2,$$

Dòng điện tổng stato lấy từ lưới:

$$I_S = I_{SA} + I_{SB} = (0,151 + 0,1465) - j(0,1404 - 0,1379) = \\ = 0,2975 - j0,0025 = 0,2975 \angle 0^\circ.$$

Công suất điện từ:

$$P_{dt} = 2I_{A1}^2 \cdot r'_{A1} - 2I_{A2}^2 \cdot r'_{RA2} = \\ = 2 \times 0,2^2 \times 448,75 - 2 \times 0,001657^2 \times 93,3 = 35,8 \text{ W}$$

Tổn hao cơ:

$$P_{cơ} = k \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \left(\frac{D_n}{100} \right)^3 = 6 \left(\frac{1245}{1000} \right)^2 \left(\frac{79}{100} \right)^3 \approx 4,3 \text{ W.}$$

Tổn hao phụ:

$$P_f = 0,005 \frac{P_{dm}}{\eta} = 0,005 \frac{25}{0,4} = 0,3 \text{ W}$$

trong đó sơ bộ lấy hiệu suất $\eta = 0,4$.

Tổng công suất cơ trên trục:

$$P'_R = P_{dt} (1 - s) = 35,8 (1 - 0,17) = 29,6 \text{ W.}$$

Công suất cơ tác dụng trên trục:

$$P_R = P'_R - P_{cơ} - P_f = 29,6 - 4,3 - 0,3 = 25 \text{ W.}$$

Mômen tác dụng:

$$M = \frac{P_R \cdot 10^5}{1,028n} = \frac{25 \cdot 10^5}{1,028 \times 1245} = 1953 \text{ G.cm.}$$

Tổn hao đồng stato:

$$P_{DS} = I_{SA}^2 r_{SA} + I_{SB}^2 r_{SB} \\ = 0,206^2 \times 330,7 + 0,201^2 \times 336,32 = 27,6 \text{ W}$$

Tổn hao đồng rôto:

$$P_{DR} = 2I_{A1}^2 r'_{RA1} s + 2I_{A2}^2 r'_{RA2} (2 - s) \\ = 2 \times 0,2^2 \times 448,75 \times 0,17 + 2 \times 0,001657^2 \times 93,3 (2 - 0,17) \\ = 6,6 \text{ W}$$

Tổng tổn hao:

$$\Sigma P = P_{DS} + P_{DR} + P_T + P_{cơ} + P_f = \\ = 27,6 + 6,6 + 2,3 + 4,3 + 0,3 = 41,1 \text{ W.}$$

Công suất tiêu thụ:

$$P_S = P_R + \Sigma P = 25 + 41,1 = 66,1 \text{ W}.$$

Hiệu suất:

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma P}{P_S} = 1 - \frac{41,1}{66,1} = 0,38.$$

Hệ số công suất:

$$\cos \varphi = \frac{I'_S}{I_S} = \frac{0,2975}{0,2975} = 1.$$

Điện áp trên dây quấn phụ:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{B1} = I_{SB1}(Z_{B1} - Z_c) &= (0,146 - j0,1394) \times (800,45 - \\ &\quad - j793,37 + j1591,5) = 5,6 + j228,1. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{B2} = I_{SB2}(Z_{B2} - Z_c) &= (0,00058 - j0,00152) \times \\ &\quad \times (432,8 - j1312,1 + j1591,5) = 0,67 - j0,495. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_B = U_{B1} + U_{B2} &= (5,6 + 0,67) + j(228,1 - 0,495) = \\ &= 6,27 + j227,6 = 227,6 \angle 88,4^\circ \text{ V}. \end{aligned}$$

Điện áp trên tụ điện:

$$\begin{aligned} \dot{U}_c = I_{SB} Z_c &= -(0,1465 + j0,1379) j1591,5 = 219,5 - j233 \approx \\ &\approx 320,2 \angle -46,7^\circ \end{aligned}$$

Chọn tụ điện có điện áp làm việc 400 V.

8. Tính toán chế độ khởi động

Tham số của mạch điện thay thế dây quấn chính:

$$r'_{\text{RAK}} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{\text{mA}}}{\alpha^2 + 1} = \frac{0,191 \times 0,90 \times 1004}{0,191^2 + 1} = 166,5 \Omega$$

$$x'_{\text{RAK}} = \beta \cdot x_{\text{RA}} \frac{(r_{\text{RA}}/x_{\text{RA}})\alpha + 1}{\alpha^2 + 1} =$$

$$= 0,90 \times 112,9 \cdot \frac{(214,3/112,9) \times 0,191 + 1}{0,191^2 + 1} = 133,5 \Omega$$

$$Z_{AK} = (r'_{SA} + r'_{RAK}) + j(x_{SA} + x'_{RAK}) = (330,7 + 166,5) + j(163,32 + 133,5) = 497,2 + j296,82 \Omega$$

$$Z_{BK} = (r'_{SB} + k^2 r'_{RAK}) + j(k^2 x_{AK} - x_c) = (336,32 + 1,017^2 \times 166,5) + j(1,017^2 \times 296,82 - 1591,5) = 505,66 - j1251 \Omega.$$

Dòng điện thứ tự thuận của dây quấn chính:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{AK1} &= \frac{U_{dm}}{2} \left(\frac{1}{Z_{AK}} - j \frac{k}{Z_{BK}} \right) = \\ &= \frac{220}{2} \left(\frac{1}{497,2 + j296,82} - j \frac{1,017}{505,66 - j1257} \right) = \\ &= 0,240 - j0,1283 = 0,272 \angle -28,1^\circ \text{ A.} \end{aligned}$$

Dòng điện thứ tự nghịch của dây quấn chính:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{AK2} &= \frac{U_{dm}}{2} \left(\frac{1}{Z_{AK}} + j \frac{k}{Z_{BK}} \right) = \\ &= \frac{220}{2} \left(\frac{1}{497,2 + j296,82} + j \frac{1,017}{505,66 - j1257} \right) = \\ &= 0,086 - j0,0663 = 0,1086 \angle -37,6^\circ \text{ A.} \end{aligned}$$

Dòng điện tổng của dây quấn chính:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{AK} &= \dot{I}_{AK1} + \dot{I}_{AK2} = (0,24 + 0,086) - j(0,1283 + 0,0663) \\ &= 0,326 - j0,1946 = 0,380 \angle -30,8^\circ \text{ A.} \end{aligned}$$

Dòng điện tổng của pha phụ:

$$\dot{I}_{BK} = \dot{I}'_{BK} + j \dot{I}_{BK} = j \frac{\dot{I}_{AK1}}{k} - j \frac{\dot{I}_{AK2}}{k} =$$

$$\begin{aligned}
 &= j \frac{0,24 - j0,1283}{1,017} - j \frac{0,086 - j0,0663}{1,017} \\
 &= -0,061 + j0,1514 = 0,163 \angle 68^\circ \text{ A.}
 \end{aligned}$$

Mật độ dòng khởi động dây quấn chính:

$$J_{AK} = \frac{I_{AK}}{S_A} = \frac{0,38}{0,0314} = 12,1 \text{ A/mm}^2.$$

Mật độ dòng khởi động dây quấn phụ:

$$J_{BK} = \frac{I_{BK}}{S_B} = \frac{0,163}{0,0314} = 5,19 \text{ A/mm}^2.$$

Dòng điện khởi động tổng:

$$\begin{aligned}
 \dot{I}_K &= \dot{I}_{AK} + \dot{I}_{BK} = (0,326 + 0,061) - j(0,1946 - 0,1514) = \\
 &= 0,387 - j0,0432
 \end{aligned}$$

$$\dot{I}_K = 0,389 \angle -6,4^\circ \text{ A.}$$

Bội số dòng khởi động:

$$i_K = \frac{I_K}{I_{dm}} = \frac{0,389}{0,2975} = 1,3075.$$

Hệ số công suất tổng lúc khởi động:

$$\cos \varphi_K = \frac{I'_K}{I_K} = \frac{0,387}{0,389} = 0,995.$$

Công suất điện từ lúc khởi động:

$$\begin{aligned}
 P_{dtK} &= m \cdot s'_{RAK} (I_{AK1}^2 - I_{AK2}^2) = \\
 &= 2 \times 166,5 (0,272^2 \times 0,1086^2) = 20,71 \text{ W.}
 \end{aligned}$$

Mômen khởi động:

$$M_K = \frac{P_{dtK} \cdot 10^5}{1,028 n_{db}} = \frac{20,71 \cdot 10^5}{1,028 \times 1500} = 1343 \text{ G.cm.}$$

Bội số mômen khởi động:

$$m_K = \frac{M_K}{M_{dm}} = \frac{1343}{1953} = 0,67$$

Công suất tiêu thụ lúc khởi động :

$$P_{SK} = U_{dm} I_K \cos \varphi_K = 220 \times 0,389 \times 0,995 = 85 \text{ W.}$$

Điện áp trên dây quấn phụ lúc khởi động:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{BK} &= \dot{I}_{BK} (Z_{BK} - Z_c) = (0,061 + j0,1514) (505,06 - \\ &- j1251 + j1591,5) = -20,7 + j97,3 = -99,5 \angle -12^\circ \text{ V.} \end{aligned}$$

Điện áp trên tụ lúc khởi động:

$$\begin{aligned} \dot{U}_c &= \dot{I}_{BK} Z_c = -(0,061 + j0,1514) \cdot j1591,5 \\ &= 240,9 - j97 = 259,7 \angle -21,9^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Từ thí dụ có thể thấy mômen khởi động của động cơ điện dung không lớn lắm: $m_K = 0,67$.

13.4. Tính toán dây quấn “sin”

Khi tính toán dây quấn “sin”, vấn đề phức tạp nhất là xác định phân bố của dây dẫn trong các rãnh để đảm bảo triệt tiêu được sóng bậc 3 của đường cong sức từ động và giảm đến mức tối thiểu sóng bậc 5 và 7. Trong mục này sẽ nêu lên hai ví dụ để minh họa phương pháp giải quyết vấn đề. Khi sắp xếp lại phân bố của dây dẫn trong các rãnh, sử dụng đơn vị tương đối, nghĩa là lấy số vòng dây nhiều nhất của một rãnh và sức từ động do số vòng dây đó sinh ra làm đơn vị ($u_m = 1$) hoặc số vòng dây dưới một đôi cực làm đơn vị $W_s/p = 1$.

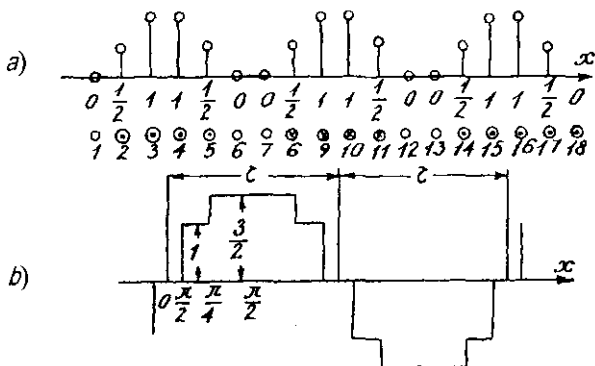
Ví dụ 1: Thiết kế dây quấn “sin” của pha chính stato có bước cực $\tau_z = Z_s/Z_p = 6$ rãnh.

Ta có $\tau_z/3$ là số nguyên chẵn. Như vậy có thể có một sự phân bố dây dẫn hình thang lợi nhất có đáy trên bằng $\tau_z/3$.

Tuy vậy tùy theo sự phân bố dây dẫn trong rãnh mà sóng bậc 3 của đường cong sức từ động có thể bị triệt tiêu hoặc không.

Trường hợp 1. Sóng bậc 3 không bị triệt tiêu. Sự phân bố của dây quấn chính $\frac{u_{ri}}{u_{im}} = \varphi_x$ như ở hình 13-14a.

Theo lý thuyết và từ hình vẽ thấy trong $\tau_z/3$ rãnh (nghĩa là 2 rãnh) có số dây dẫn nhiều nhất. Theo sự phân bố của dây quấn này, trong $\tau_z/3$ rãnh (2 rãnh) không đặt dây dẫn.



Hình 13-14. Đồ thị dùng để tính dây quấn sin với $\tau_z = 6$.

a) sự phân bố của dây dẫn trong các rãnh $\frac{u_{ri}}{u_{im}} = \varphi(x)$;

b) đường cong sức từ động $F_{xi} = f(x)$.

Vẽ đường cong sức từ động (hình 13-14b). Do $\tau_z/3$ là số nguyên chẵn nên ở điểm gốc tính toán của đường cong sức từ động x_0 ta có $f(x_0) = 0$.

Căn cứ vào đường cong sức từ động tính toán theo bảng 2-4, ta tìm được các trị số sau:

$$x_1 = \frac{\pi p}{Z_S} = \frac{\pi}{12} \quad \text{chọn } u_{r1} = \Delta f_1\left(\frac{\pi}{12}\right) = 1$$

$$x_2 = \frac{3\pi p}{Z_S} = \frac{\pi}{4} \quad u_{r2} = \Delta f_2\left(\frac{\pi}{4}\right) = 0,5$$

$$x_3 = \frac{5\pi p}{Z_S} = \frac{5\pi}{12} \quad u_{r3} = \Delta f_3\left(\frac{5\pi}{12}\right) = 0$$

Vì $f(x_0) + \sum \Delta f(x_i) \cos 3x_i \neq 0$ khi $0 < x < \frac{\pi}{2}$

$$(0 + 1 \cos \frac{3\pi}{12} + 0,5 \cos \frac{3\pi}{4} = 0,353),$$

cho nên sóng bậc 3 không hoàn toàn bị triệt tiêu.

Hệ số dây quấn sóng bậc ν :

$$k_{d\nu} = \frac{f(x_0) + \sum \Delta f(x_i) \cos \nu x_i}{f_c(x)} = \frac{0 + 1 \cos \nu \frac{\pi}{12} + 0,5 \cos \nu \frac{\pi}{4}}{3/2}$$

$$= \frac{2}{3} \cos \nu \frac{\pi}{12} + \frac{1}{3} \cos \nu \frac{\pi}{4}$$

trong đó $f_c(x)$ là trị số tương đối của biên độ cực đại của đường cong sức từ động $f_c(x) = \sum \Delta f(x_i) = \sum u_{ri}$

Trường hợp 2. Sóng bậc 3 bị triệt tiêu, nếu chọn phương án phân bố dây dẫn trong các rãnh một cách lý tưởng như ở hình 13-15, nghĩa là $u_{r1} = 1$, $u_{r2} = 0,75$ và $u_{r3} = 0,25$ thì căn cứ vào đường cong sức từ động tìm được:

Hệ số dây quấn sóng bậc ν :

$$k_{dv} = \frac{f(x_0) + \sum \Delta f(x_i) \cos \nu x_i}{f_c(x)}$$

$$= \frac{0 + 1 \cos \nu \frac{\pi}{12} + 0,75 \cos \nu \frac{\pi}{4} + 0,25 \cos \nu \frac{\pi}{12}}{2}$$

$$= \frac{3}{8} \cos \nu \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \cos \nu \frac{\pi}{12} + \frac{1}{8} \cos \nu \frac{5\pi}{12}$$

Ví dụ 2. Thiết kế dây quấn "sin" của pha chính stato có bước cực $\tau_z = \frac{Z_S}{2p} = 9$ rãnh.

Trong ví dụ này bước cực chia chẵn cho 3 và là số nguyên lẻ. Trong trường hợp này có thể phân bố dây dẫn trong một rãnh một cách lý tưởng. Sau đây sẽ thảo luận hai cách phân bố dây dẫn trong các rãnh. Ở hai trường hợp này sóng bậc 3 hoàn toàn bị triệt tiêu nhưng ở trường hợp một sóng bậc 5 và 7 lớn hơn nhiều so với trường hợp hai.

1. Quy luật phân bố dây dẫn trong các rãnh của dây quấn chính như ở hình 13-16a.

Vẽ đường cong sức từ động: ở điểm gốc x_0 ; $f(x_0) = 0,5$.

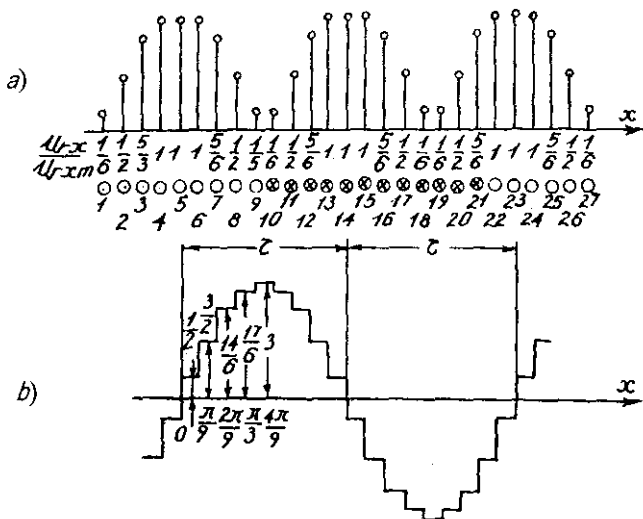
Khi $x_1 = \frac{\pi}{9}$	$u_{r1} = \Delta f_1(x_1) = 1$
$x_2 = \frac{2\pi}{9}$	$u_{r2} = \Delta f_2(x_2) = \frac{3}{4}$
$x_3 = \frac{\pi}{4}$	$u_{r3} = \Delta f_3(x_3) = \frac{1}{2}$
$x_4 = \frac{4\pi}{9}$	$u_{r4} = \Delta f_4(x_4) = \frac{1}{4}$

$$\begin{aligned} & \text{Vì } f(x_0) + \sum \Delta f(x_i) \cos 3x_i = \\ & = \frac{1}{2} + 1 \cos \frac{3\pi}{9} + \frac{3}{4} \cos 3 \frac{2\pi}{9} + \frac{1}{2} \cos 3 \frac{\pi}{3} + \frac{1}{4} \cos 3 \frac{4\pi}{9} = 0 \end{aligned}$$

nên thỏa mãn điều kiện triệt tiêu sóng bậc 3.

Hệ số dây quấn sóng bậc ν :

$$k_{d\nu} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} \cos \nu \frac{\pi}{9} + \frac{1}{4} \cos \nu \frac{2\pi}{9} + \frac{1}{6} \cos \nu \frac{\pi}{3} + \frac{1}{12} \cos \nu \frac{4\pi}{9}$$



Hình 13-16. Đồ thị dùng để tính dây quấn sin $\tau_z = 9$.

a) phân bố dây dẫn trong rãnh $u_n / u_m = \varphi(x)$

b) đường cong sức từ động $F_{xi} = f(x)$.

2. Quy luật phân bố dây dẫn trong các rãnh của dây quấn chính như hình 13-17b.

Khi $x_0 = 0$

$$f(x_0) = \frac{1}{2}$$

Hệ số dây quấn sóng bậc ν :

$$k_{d\nu} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \cos \nu \frac{\pi}{9} + \frac{5}{18} \cos \nu \frac{2\pi}{9} + \frac{1}{6} \cos \nu \frac{\pi}{3} + \frac{1}{18} \cos \nu \frac{4\pi}{9}.$$

Có khi người ta lấy tổng số vòng dây của một pha dưới một đôi cực W_s/p làm đơn vị để tính trị số tương đối của số thanh dẫn trong một rãnh. Như vậy khi tính được số vòng dây W_s ta có thể dễ dàng định được số thanh dẫn trong các rãnh $\frac{u_n}{W_s/p}$. Nếu dùng cách tính này thì trị số tương đối

của các thanh dẫn trong các rãnh của các ví dụ trên được biểu thị trong bảng 13-7. Trong bảng này nêu lên hệ số dây quấn của các sóng bậc 1, 3, 5, 7 của các ví dụ trên. Theo bảng này ta thấy trong thí dụ 1 phương án 1b) là lợi nhất vì triệt tiêu được sóng bậc 3, còn trong ví dụ 2 phương án 2b) là tốt hơn vì sóng bậc 5, 7 bị suy giảm rất nhiều.

Qua hai ví dụ trên có thể rút ra kết luận sau: Mặc dù thỏa mãn điều kiện bước cực τ_z là bội số của 3, đồng thời trong $\tau_z/3$ rãnh của pha chính đặt số dây dẫn nhiều nhất nhưng làm như vậy không phải lúc nào cũng có thể hoàn toàn triệt tiêu sóng bậc 3 (ví dụ 1-1). Để triệt tiêu sóng bậc 3 và giảm đến mức thấp nhất sóng bậc 5 và 7, đồng thời không làm giảm nhiều hệ số dây quấn sóng cơ bản, phải chọn thích đáng phân bố của dây dẫn trong các rãnh và qua tính toán một loạt phương án để chọn phương án hợp lý nhất. Có thể chọn sự phân bố trong rãnh theo bảng phân bố dây dẫn của Veinott ở phụ lục 4.

Bảng 13-7. Phân bố và hệ số dây quấn của dây quấn "sin"

Phương án	Bước cực τ_z	Quy luật phân bố dây dẫn trong rãnh $u_i/(W_s/p)$					Hệ số dây quấn				
		Hình vẽ	1	2	3	4	5	k_{01}	k_{03}	k_{05}	k_{07}
1-a	6	13-14a	0,667	0,333				0,88	0,235	0,063	0,063
1-b	6	13-15a	0,5	0,375	0,125			0,78	0	0,0145	0,0145
2-a	9	13-16a	0,167	0,333	0,25	0,167	0,083	0,77	0	0,021	0,0382
2-b	9	13-17a	0,167	0,333	0,278	0,167	0,055	0,785	0	0,025	0,0094

13.5. Tính toán động cơ có vành ngắn mạch

Cách thiết kế lõi sắt stator và rôto của loại động cơ điện này về nguyên tắc cũng giống như đối với các động cơ điện một pha khác. Sự khác biệt là ở chỗ trên răng (cực từ) có đặt vành ngắn mạch.

Việc tính toán chính xác loại động cơ điện này có khó khăn vì sóng điều hòa bậc cao có ảnh hưởng rất lớn.

Sau đây sẽ trình bày một ví dụ tính kiểm nghiệm tính năng của một động cơ điện có vành ngắn mạch với các kích thước như ở hình 13-18. Các kích thước gồm: chiều dài lõi sắt $l = 4$ cm, khe hở không khí $\delta = 0,03$ cm. Đường kính trong lõi sắt stator $D = 4$ cm. Số rãnh stator và rôto $Z_s = 8$,

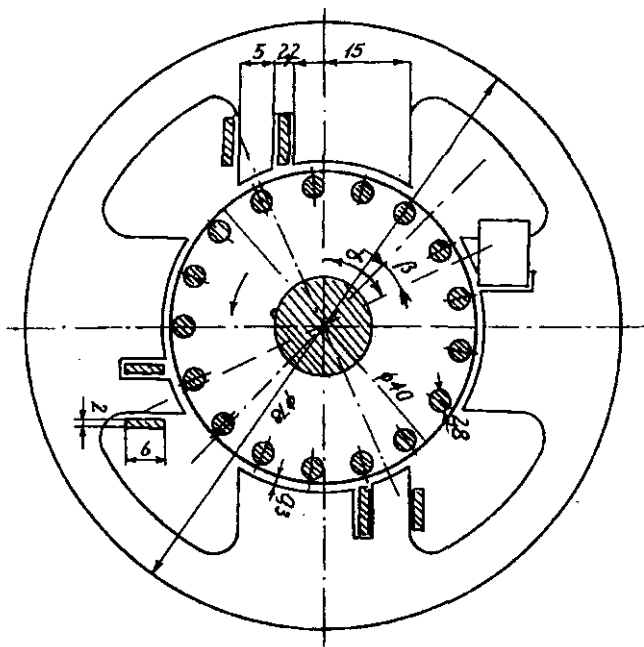
$$Z_r = 17. \text{ Bước cực } \tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi 4}{4} = 3,14 \text{ cm.}$$

Hệ số khe hở không khí $k_\delta = 1,3$ (tính theo chương 5) do đó $\delta' = k_\delta \cdot \delta = 1,3 \times 0,03 = 0,04$ cm.

Chọn mật độ từ thông khe hở không khí $B_\delta = 0,45$ Tesla thì từ thông bằng:

$$\Phi = \alpha_\delta \tau \cdot l \cdot B_\delta \cdot 10^{-4} = \frac{2}{\pi} \cdot 3,14 \times 4 \times 0,45 = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ Wb (Vêbe),}$$

ở đây chọn $\alpha_\delta = \frac{2}{\pi} = 0,64$.



Hình 13-18. Kích thước động cơ điện có vành ngắn mạch.

Chọn $k_E = 0,65$ thì với điện áp lưới $U_{dm} = 127$ V ta có số vòng dây của dây quấn chính stato:

$$W_S = \frac{k_E U}{4,44 f_1 k_{dA} \Phi} = \frac{0,65 \times 127}{4,44 \times 50 \times 1 \times 3,6 \cdot 10^{-4}} = 1000 \text{ vòng.}$$

Điện kháng từ hóa:

$$x_m = 1,6m \frac{f}{100} \left(\frac{W_S k_{dA}}{100^2} \right)^2 \cdot \frac{\tau}{100\delta'} \cdot \frac{l}{p} =$$

$$= 1,6 \times 1 \cdot \frac{50}{100} \cdot \frac{W_S^2}{100} \cdot \frac{3,14}{100 \times 0,04} \cdot \frac{4}{2} = 1,2 W_S^2 \cdot 10^{-1} = 125 \Omega.$$

Điện trở dây quấn stato:

$$r_S = \rho \frac{2W_S l_{tb}}{S_A} = \frac{1}{46} \cdot \frac{2W_S \cdot 0,09}{0,113} = 0,032W_S = 32 \Omega.$$

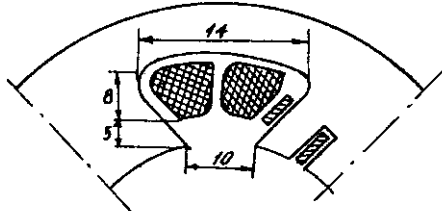
Ở đây chiều dài trung bình nửa vòng dây $l_{tb} = 9 \text{ cm} = 0,09 \text{ m}$, tiết diện dây dẫn $S_A = 0,113 \text{ mm}^2$ ứng với đường kính $d = 0,38 \text{ mm}$.

Điện kháng tản của dây quấn chính stato:

$$x_{SA} = 0,158 \cdot \frac{f}{50} \cdot \left(\frac{W_S}{100} \right)^2 \cdot \frac{l}{p} \cdot \frac{\sum \lambda_A}{q} =$$

$$= 0,158 \cdot \frac{50}{100} \times \left(\frac{W_S}{100} \right)^2 \cdot \frac{4}{2} \cdot \frac{4,52}{1} =$$

$$= 0,713 \cdot W_S^2 \cdot 10^{-4} = 71,3 \Omega$$



Hình 13-19. Kích thước rãnh dây quấn chính.

trong đó $\Sigma \lambda_A = \lambda_{rA} + \lambda_{dA} + \lambda_{tA} = 0,7 + 0,15 + 3,67 = 4,52$,
 ở đây $\lambda_{rA} = \frac{h_1}{3b} + \frac{h_3}{b_4} = \frac{8}{3 \times 14} + \frac{5}{10} = 0,7$. Kích thước như ở
 hình 13-19.

$\lambda_{dA} = 0,11 \dots 0,16$. Chọn $\lambda_{dA} = 0,15$.

$$\lambda_{tA} = \frac{0,0468\tau}{\delta'} = \frac{0,0468 \times 3,14}{0,04} = 3,67.$$

Điện kháng tản do rãnh chéo của rôto gây nên:

$$x_{An} = 2\sigma_n x_m = 2 \times 0,023 \times 1,25 W_S^2 \cdot 10^{-4} = 0,57 W_S^2 \cdot 10^{-4} = 5,7 \Omega,$$

$$\text{trong đó } \sigma_n = 1,64 \cdot \left(\frac{p}{Z_R} \cdot \frac{b_n}{t_2} \right)^2 = 1,64 \cdot \left(\frac{2}{17} \times 1 \right)^2 = 0,023,$$

ở đây lấy độ chéo rãnh bằng một bước rãnh rôto t_2 .

Tổng điện kháng tản của stato:

$$\begin{aligned} x_{SA_n} = x_{SA} + x_{An} &= (0,713 + 0,057) W_S^2 \cdot 10^{-4} = \\ &= 0,77 W_S^2 \cdot 10^{-4} = 77 \Omega. \end{aligned}$$

Điện trở tương đương của tất cả các vành ngắn mạch
 trên 4 cực đã quy đổi sang dây quấn chính stato:

$$\begin{aligned} r_B &= \rho \frac{2W_B l_{tb}}{S_B} \cdot \left(\frac{W_S k_{dA}}{W_B k_{dB}} \right)^2 = \frac{1}{46} \cdot \frac{2 \times 4 \times 0,06}{12} \cdot \left(\frac{W_S \times 1}{4 \times 0,25} \right)^2 \\ &= 8,5 W_S^2 \cdot 10^{-4} = 850 \Omega. \end{aligned}$$

Ở đây tiết diện vành ngắn mạch $S_B = 2 \times 6 = 12 \text{ mm}^2$,
 chiều dài trung bình nửa vòng dây $l_{tb} = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$; hệ
 số bước ngắn của vòng ngắn mạch $k_{dB} = 0,25$ (do vòng
 ngắn mạch có bước ngắn là $0,16\tau$ tức là 5 mm).

Điện kháng tản của các vành ngắn mạch trong rãnh và ở
 đầu nối của vành ngắn mạch đã quy đổi sang stato:

$$\begin{aligned}
 x'_{SB} &= 4 \times 0,158 \frac{f_1}{100} \cdot \left(\frac{W_B}{100} \right)^2 \cdot \frac{l}{p \cdot q} \cdot \sum \lambda'_B \left(\frac{W_S k_{dA}}{2p \cdot W_B k_{dS}} \right)^2 = \\
 &= 4 \times 0,158 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{1}{100} \right)^2 \cdot \frac{4}{2} \cdot 1,8 \cdot \left(\frac{W_S}{4 \times 0,25} \right)^2 = \\
 &= 1,1 W_S^2 \cdot 10^{-4} = 110 \Omega,
 \end{aligned}$$

ở đây $\lambda'_B = \lambda_{rB} + \frac{l_d}{l} \lambda_d = 1,35 + \frac{1,2}{4} \cdot 0,15 = 1,8$;

trong đó hệ số từ dẫn của từ tản rãnh:

$$\lambda_{rB} = \frac{h_1}{3b} + \frac{h_2}{b} = \frac{6}{3 \times 2,2} + \frac{1}{2,2} = 1,35$$

Các kích thước xem ở hình 13-20.

Điện kháng tản tạp của vòng ngắn mạch coi như bằng điện kháng tản tạp của dây quấn chính stato, nghĩa là:

$$\begin{aligned}
 x_{SBt} = x_{SAt} &= 0,158 \frac{f}{100} \left(\frac{W_S}{100} \right)^2 \cdot \frac{l}{p} \cdot \frac{\lambda_{tA}}{q} = \\
 &= 0,158 \frac{50}{100} \left(\frac{W_S}{100} \right)^2 \cdot \frac{4}{2} \cdot \frac{3,67}{1} = 0,58 W_S^2 \cdot 10^{-4} = 58 \Omega.
 \end{aligned}$$

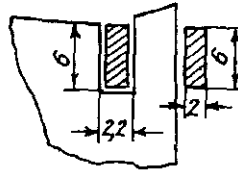
Điện kháng tản do rãnh chéo gây nên cũng coi như bằng điện kháng tản của dây quấn chính, do đó tổng điện kháng tản dây quấn ngắn mạch đã quy đổi sang dây quấn chính bằng:

$$\begin{aligned}
 x_{SB} &= x'_{SB} + x_{SBt} + x_{SAR} = \\
 &= (1,1 + 0,58 + 0,057) W_S^2 \cdot 10^{-4} \\
 &= 1,78 W_B^2 \cdot 10^{-4} = 178 \Omega.
 \end{aligned}$$

Tham số của rôto

Số rãnh rôto $Z_R = 17$.

Thanh dẫn bằng đồng đỏ có đường kính $d_R = 2,8 \text{ mm}$.



Hình 13-20. Kích thước rãnh vành ngắn mạch.

Vành ngắn mạch có tiết diện $S_v = a \cdot b = 2 \times 6 = 12 \text{ mm}^2$.

Điện trở thanh dẫn:

$$r_t = \rho \frac{l}{S_t} = \frac{1}{46} \cdot \frac{0,04}{6,1} = 1,4 \cdot 10^{-4} \Omega.$$

Điện trở vành ngắn mạch:

$$r_v = \rho \frac{\pi D_v}{Z_R \rho_v} = \frac{1}{46} \cdot \frac{\pi \cdot (-0,032)}{17 \times 12} = 1,06 \cdot 10^{-4} \Omega.$$

trong đó $D_v = 3,2 \text{ cm}$ là đường trung bình của vành ngắn mạch.

Điện trở rôto quy đổi sang stato:

$$\begin{aligned} r'_R &= \left(r_t + \frac{r_v}{2 \sin^2 \frac{\pi p}{Z_R}} \right) \cdot \frac{4m(W_S k_{dA})^2}{Z_R k_{dB}^2} = \\ &= \left(1,4 + \frac{1,06}{2 \sin^2 \frac{2\pi}{17}} \right) \cdot 10^{-4} \cdot \frac{4 \times 1 \times W_S^2}{17 \times 0,97^2} \\ &= 0,45 W_S^2 \cdot 10^{-4} = 45 \Omega \end{aligned}$$

Điện kháng tản rôto quy đổi sang stato:

$$\begin{aligned} x'_R &= 0,316 \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{W_S k_{dA}}{100 k_{dR}} \right)^2 \cdot \text{Im} \frac{\Sigma \lambda_R}{Z_2} = \\ &= 0,316 \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{W_S}{100 \times 0,97} \right)^2 \cdot 4 \times 1 \frac{3,3}{17} \\ &= 0,125 W_S^2 \cdot 10^{-4} = 12,5 \Omega \end{aligned}$$

ở đây $k_{dR} = 0,97$ là hệ số dây quấn rôto (cũng là hệ số rãnh nghiêng).

trong đó $\Sigma \lambda_R = \lambda_{tR} + \lambda_{dR} + \lambda_{lR} = 1,6 + 0,25 + 1,43 = 3,3$;

$$\text{ở đây } \lambda_{rR} = \left(0,785 - \frac{b_{4R}}{Z_{dR}}\right) + \frac{k_{4R}}{b_{4R}} = 0,795 - \frac{1}{2 \times 2,8} + \frac{1}{1} = 1,62.$$

Kích thước xem ở hình 13-21.

$$\begin{aligned} \lambda_{dR} &= \frac{2,9D_v}{Z_R \left(2 \sin \frac{\pi p}{Z_R}\right)^2} \lg \frac{4,7D_v}{2(a \cdot b)} = \\ &= \frac{2,9 \times 3,2}{17 \times 4 \left(2 \sin \frac{2\pi}{17}\right)^2} \lg \frac{4,7 \times 3,2}{2(0,2 \times 0,6)} = 0,25. \end{aligned}$$

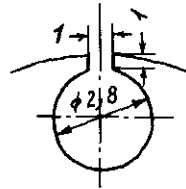
$$\lambda_{rR} = 0,165 \left(\frac{p}{Z_R}\right) \cdot \frac{\tau}{\delta} \cdot k_{dR}^2 = 0,165 \cdot \frac{2}{17} \cdot \frac{3,14}{0,04} \cdot 0,97^2 = 1,43.$$

Xét đến điện kháng tản do rãnh nghiêng, coi giống như stato: $Z_{Rn} = x_{An}$.

Tổng điện kháng rôto:

$$\begin{aligned} x_R &= x'_R + x_{Rn} = \\ &= (0,125 + 0,057) W_s^2 \cdot 10^{-4} = \\ &= 0,182 W_s^2 \cdot 10^{-4} = 18,2 \Omega. \end{aligned}$$

Hình 13-21. Kích thước rãnh rôto



Tóm lại các tham số có trị số sau:

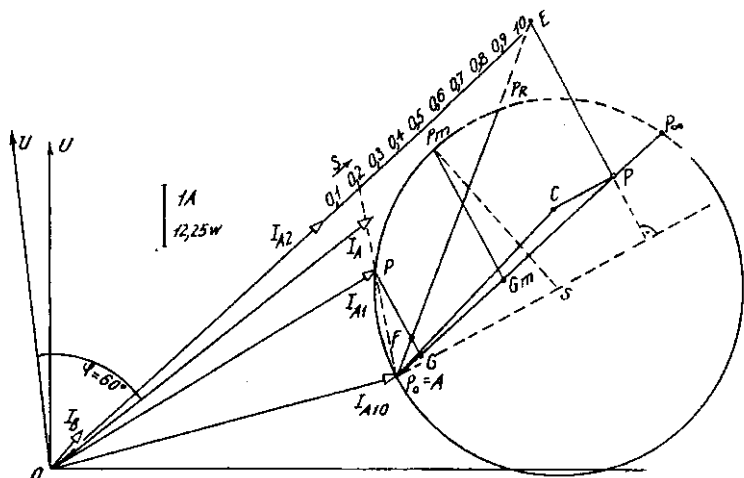
$$\begin{aligned} r_s &= 32 \Omega & x_{SA} &= 77 \Omega \\ r_B &= 850 \Omega & x_{SB} &= 174 \Omega \\ r_R &= 45 \Omega & x_R &= 18,2 \Omega & x_m &= 125 \Omega \end{aligned}$$

Vẽ đồ thị vòng tròn theo phương pháp thông thường (hình 13-22).

Điểm làm việc của động cơ được xác định theo hệ số trượt. Trong quạt thường chọn điểm làm việc tốt nhất ở hệ

số trượt $s = 0,2$ (gần bằng hệ số trượt s_m ứng với M_{max}).

Đồ thị vòng tròn xây dựng theo mạch điện thay thế. Tuy vậy do vành ngắn mạch đặt lệch một góc β nên có sự hỗ cảm giữa hai cuộn dây chính và phụ, do đó điện áp đặt lên mạch thay thế không phải là U mà là $U' = k'_U U$.



Hình 13-22. Đồ thị vòng tròn của động cơ điện có cuộn ngắn mạch ở thí dụ 13-5.

Các tổng trở của mạch điện thay thế như sau:

$$Z_{RAI} = \frac{jx\left(\frac{r_R}{S} + jx_R\right)}{jx_m + \frac{r_R}{S} + jx_R} = \frac{j125\left(\frac{45}{0,2} + j18,2\right)}{j125 + \frac{45}{0,2} + j18,2} =$$

$$= 49,6 + j93,6 = 106 / \underline{62,1^\circ}.$$

$$Z_{RA2} = \frac{jx_m \left(\frac{r_R}{2-s} + jx_R \right)}{jx_m + \frac{r_R}{2-s} + jx_R} = \frac{j125 \left(\frac{45}{1,8} + j18,2 \right)}{j125 + \frac{45}{1,8} + j18,2} =$$

$$= 17,4 + j19 = 26,5 \angle 46^\circ.$$

$$Z_{SA} = r_{SA} + jx_{SA} = 32 + j77 = 83,5 \angle 67,7^\circ$$

$$Z_{SB} = r_{SB} + jx_{SB} = 850 + j174 = 868 \angle 11,5^\circ$$

Ngoài ra khi $\beta = 42^\circ$ ($\alpha = 132^\circ$) tính ra:

$$\frac{Z_{SA}}{2 \cos \beta} = \frac{32 + j77}{2 \times 0,743} = 21,4 + j52 = 56,2 \angle 67,7^\circ$$

$$\frac{Z_{SB}}{2 \cos \beta} = \frac{850 + j174}{2 \times 0,743} = 572 + j116 = 584 \angle 11,5^\circ$$

$$k_U = \frac{(Z_{SB} / 2 \cos \beta) + Z'_{RA2} / \beta}{(Z_{SB} / 2 \cos \beta) + Z'_{RA2} / -\beta + (Z_{SA} / 2 \cos \beta) + Z'_{RA2} / +\beta}$$

$$= \frac{584 \angle 11,5^\circ + 26,5 \angle 46^\circ - 42^\circ}{584 \angle 11,5^\circ + 26,5 \angle 16^\circ - 42^\circ + 56,2 \angle 67,7^\circ + 26,5 \angle 46^\circ + 42^\circ}$$

$$= 0,94 \angle -6,7^\circ$$

Tìm ra $U' = k_U U = 0,94 \times 127 = 120 \text{ V}$.

$$Z_{SAB} = k_U \frac{Z_{SA} / \beta}{2 \cos \beta} + (1 - k_U) \frac{Z_{SB} / -\beta}{2 \cos \beta} =$$

$$= 0,94 \angle -6,7^\circ \times 56,2 \angle 67,7^\circ + 42^\circ +$$

$$+ (1 - 0,94 \angle -6,7^\circ) (58 \angle 11,5^\circ - 42^\circ)$$

$$= 101 \angle 58,3^\circ = 53,07 + j85,93.$$

$$\begin{aligned} \text{Hệ số } C_1 &= \frac{Z_{SAB} + jx_m}{jx_m} = \frac{53,07 + j85,93 + j125}{j125} = \\ &= 1,68 - j0,427 = 1,74 \angle -14,2^\circ. \end{aligned}$$

$$|C_1|Z_{SAB} = 1,74 \times 101 = 176 \text{ (đoạn AC trên đồ thị);}$$

$$|C_1|^2 x_R = 1,74^2 \times 18,2 = 54,5 \text{ (đoạn CD);}$$

$$|C_1|^2 r_R = 1,74^2 \times 45 = 136 \text{ (đoạn DE).}$$

Khi hệ số trượt $s = 0$, dòng điện thứ tự thuận bằng:

$$\begin{aligned} I_{A10} &= \frac{U'}{Z_{SAB} + jx_m} = \frac{120}{53,07 + j85,93 + j125} = \\ &= 0,138 - j0,547 = 0,564 \angle -75,8^\circ. \end{aligned}$$

Vẽ đồ thị vòng tròn. Đặt điện áp U' ở trên tung độ. Vẽ dòng điện không tải thứ tự thuận I_{A10} , được điểm A. Sau đó vẽ vòng tròn theo kiểu thông thường. Khi động cơ điện làm việc $s = 0,2$ (điểm P) được dòng điện thứ tự thuận $I_{A1} = 0,592 \angle -53^\circ$.

Lúc đó thành phần thứ tự nghịch của dòng điện bằng:

$$\begin{aligned} i_{A2} &= \frac{(Z_{SB} \cdot 2\cos\beta) + Z'_{RA1} \angle \beta}{(Z_{SB} \cdot 2\cos\beta) + Z'_{RA2} \angle -\beta} I_{A1} = \\ &= \frac{584 \angle 11,5^\circ + 106 \angle 62,1^\circ + 42^\circ}{584 \angle 11,5^\circ + 26,5 \angle 46^\circ - 42^\circ} \cdot 0,592 \angle -53^\circ \\ &= 0,567 \angle -12,3^\circ = 0,419 - j0,381. \end{aligned}$$

Dòng điện trong dây quấn chính và phụ đã quy đổi của stato bằng:

$$\begin{aligned} i_{SA} &= \frac{I_{A1} - I_{A2} \angle 2\alpha}{1 - \angle -2\alpha} = \\ &= \frac{0,592 \angle -50^\circ - 0,567 \angle 42,3^\circ - (2 \times 132^\circ)}{1 - \angle (2 \times 132^\circ)} = 0,632 \angle -54^\circ \end{aligned}$$

$$i_{SB} = \frac{j}{2} \cdot \frac{I_{A1} - I_{A2}}{\sin \alpha} = \frac{j}{2} \cdot \frac{0,592 \angle -53^\circ - 0,567 \angle 42,3^\circ}{\sin 132^\circ} =$$

$$= 0,076 \angle -25,2^\circ.$$

Được: $I_{SA} = 0,632 \text{ A}$; $I_{SB} = 0,076 \text{ A}$.

Tổn hao trong dây quấn chính stato:

$$P_{DA} = r_{SA} I_{SA}^2 = 32 \times 0,632^2 = 12,8 \text{ W}.$$

Tổn hao trong dây quấn ngắn mạch:

$$P_{DB} = r_{SB} I_{SB}^2 = 850 \times 0,076^2 = 4,92 \text{ W}.$$

Công suất điện từ thứ tự thuận và nghịch:

$$P_{dt1} = I_{S1}^2 r_{RA1} = 0,592^2 \times 49,6 = 17,4 \text{ W}.$$

$$P_{dt2} = I_{S2}^2 r_{RA2} = 0,567^2 \times 17,4 = 5,9 \text{ W}.$$

Tổn hao đồng rôto do dòng điện thứ tự thuận sinh ra:

$$P_{DR1} = P_{dt1} \cdot s = 17,4 \times 0,2 = 3,5 \text{ W}.$$

Công suất trên trục do thành phần thứ tự thuận sinh ra:

$$P'_{R1} = P_{dt1} (1 - s) = 17,4 \times (1 - 0,2) = 13,9 \text{ W}.$$

Công suất hãm trên trục do thành phần thứ tự nghịch sinh ra:

$$P'_{R2} = P_{dt2} - P_{DR2} = (1 - s)P_{dt2} = (1 - 0,2) 5,9 = 4,7 \text{ W}.$$

Tổn hao cơ: Lấy $P_{cs} = 1,2 \text{ W}$.

Công suất cơ ở đầu trục:

$$P_R = P'_{R1} - P'_{R2} - P_{cs} = 13,9 - 4,7 - 1,2 = 8 \text{ W}.$$

Công suất đưa vào:

$$P_S = UI \cos \varphi = 127 \times 0,632 \times 0,5 = 41 \text{ W}.$$

ở đây $\cos \varphi = 0,5$ được xác định trên đồ thị vòng tròn.

Công suất đưa vào có thể tính theo công thức:

$$P_S = P_R + \sum P = P_R + P_{DA} + P_{DB} + P_{DR1} + P_{dt2} + P'_{R2} + P_{c\sigma} = \\ = 8 + 12,8 + 4,91 + 3,5 + 5,9 + 4,7 + 1,2 \approx 41 \text{ W.}$$

Hiệu suất:

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} = \frac{8}{41} = 0,195$$

Trong loại động cơ điện này tổn hao sắt nhỏ so với tổn hao đồng, có thể không tính. Hiệu suất thực tế cao hơn tính toán vì sóng bậc 3 và 5 sẽ làm cho tác dụng ngẫu lực giữa dây quấn chính và vòng ngắn mạch tăng lên.

Phân tích tổn hao thấy rằng tổn hao lớn nhất là tổn hao đồng trong stato và trong rôto do thành phần thứ tự nghịch sinh ra ($5,9 + 4,7 = 10,6 \text{ W}$).

Ngoài ra trong cuộn ngắn mạch tổn hao do tác dụng của sóng bậc cao sẽ lớn hơn trị số tính toán, do đó cuộn ngắn mạch sẽ nóng lên để làm cho cách điện của dây quấn chính bị hỏng, nghĩa là tổn hao trong cuộn ngắn mạch ảnh hưởng rất nhiều và rõ rệt đến hiệu suất của máy.

Từ đồ thị vòng tròn được dòng điện thứ tự thuận lúc khởi động:

$$I'_{S1K} = OP_K = 0,89 \text{ A.}$$

Dòng điện thứ tự nghịch lúc khởi động:

$$I_{S2K} = \frac{(Z_{SB} / 2 \cos \beta) + Z'_n \angle \beta}{(Z_{SB} / 2 \cos \beta) + Z'_n \angle -\beta} \cdot I_{S1K} = \\ = \frac{584 \angle 11,5^\circ + 40,3 \angle 39,2^\circ + 42^\circ}{584 \angle 11,5^\circ + 40,3 \angle 39,2^\circ - 42^\circ} \times 0,89 = 0,84 \text{ A,}$$

$$\begin{aligned} \text{trong đó: } Z'_n &= \frac{jx_m(r_R + jx_R)}{jx_m + r_R + jx_R} = \frac{j125 \times (45 + j18,2)}{j125 + 45 + j18,2} = \\ &= 40,3 \angle 39,2^\circ = 31,6 + j25,5 \end{aligned}$$

Công suất thứ tự thuận lúc khởi động:

$$P_{dt1K} = P_{S1m}^2 r'_n = 0,89^2 \times 31,6 = 24,8 \text{ W}$$

Công suất thứ tự nghịch lúc khởi động:

$$P_{dt2K} = I_{S2K}^2 r'_n = 0,84^2 \times 31,6 = 22 \text{ W}$$

Bội số mômen khởi động:

$$m_K = \frac{P_{dt1K} - P_{dt2K}}{P_R / (1 - s)} = \frac{24,8 - 22}{8 / (1 - 0,2)} = 0,28$$

Từ ví dụ tính toán trên thấy rằng động cơ có vành ngắn mạch và loại động cơ điện không có dây quấn phụ căn bản giống nhau vì vậy ngắn mạch ảnh hưởng ít đến sóng cơ bản. Dòng điện từ hóa lớn làm cho tổn hao trên stato và rôto lớn, hiệu suất giảm nhưng khe hở không khí không thể giảm nhỏ để đảm bảo mômen khởi động.

Ví dụ tính toán trên vạch cho ta một phương pháp tính toán loại động cơ điện có vành ngắn mạch. Mức độ chính xác của phương pháp tính này cần được khảo nghiệm thêm vì trong cách tính đã bỏ qua ảnh hưởng của những lá tôn liên cực và của tổn hao sắt.

13.6. Tính toán nhiệt của động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ kiểu kín có quạt ngoài vỏ

Tính toán nhiệt theo sơ đồ nhiệt thay thế đối với động cơ không đồng bộ ba pha АОЛ 11-1. Công suất $P_{dm} = 180 \text{ W}$, tốc độ quay $n_{dm} = 2800 \text{ vg/ph}$. Động cơ điện kiểu kín có quạt gió thổi ngoài vỏ.

Số liệu ban đầu (kích thước hình học lấy đơn vị là cm):

$D_u = 10,2$; $l_s = 4,6$; $D = 6$; $\delta = 0,025$, $D_o = 12,37$; $l_v = 19,6$; $D_{B1} = 11,6$; $D_{B2} = 5,6$; $d_1 = 0,75$; $d_2 = 0,53$; $h_z = 1,2$; $\delta' = 0,005$. Chiều rộng bình quân của răng stato $h_{z1b} = 0,35$; chiều cao của gông stato $h_{gs} = 0,9$. Đường kính dây dẫn stato $d = 0,31$ mm kể cả cách điện dày 0,36 mm. Lá thép kỹ thuật điện có quét sơn cách điện với hệ số ép chặt $k_c = 0,93$. Số rãnh stato $Z_s = 24$. Tổn hao đồng stato $P_{DS} = 42$ W ; tổn hao sắt $P_T = 20,2$ W, tổn hao cơ (không bao gồm tổn hao cánh quạt) $P_{cơ} = 5,5$ W; tổn hao dây quấn rôto $P_{DR} = 1,75$ W; tổn hao phụ $P_f = 0,9$ W; tổng tổn hao $\Sigma P = 91,5$ W.

Tính toán nhiệt trở theo bảng 12-1a.

Nhiệt trở của cách điện dây dẫn trong rãnh:

$$n_1 = \frac{d_1 + d_2}{4d_{cd}} = \frac{0,75 + 0,53}{4 \times 0,036} = 8,9.$$

$$n_2 = \frac{h_{zs}}{2d_{cd}} = \frac{1,2}{2 \times 0,036} = 17.$$

$$\delta'_1 = \delta'(n_1 - 1) + \frac{\delta'}{2} = 0,005 \times (8,9 - 1) + \frac{0,0005}{2} = 0,042 \text{ cm.}$$

$$\delta'_2 = \delta'(n_2 - 1) + \frac{\delta'}{2} = 0,005 \times (17 - 1) + \frac{0,0005}{2} = 0,0825 \text{ cm.}$$

$$\delta_{cd} = \frac{\delta'_1 \delta'_2}{2\delta'_2 + \delta'_1} = \frac{0,042 \times 0,0825}{2 \times 0,0825 + 0,042} = 0,0167 \text{ cm.}$$

$$l_1 = k_c l = 4,6 \times 0,93 = 4,28 \text{ cm.}$$

$$C = d_1 + Z.h_1 = 0,75 + 2 \times 1,2 = 3,15 \text{ cm.}$$

$$R_{cd} = \frac{\delta_{tk}}{Z_S l_1 c \cdot k_{Zc}} = \frac{0,0167}{24 \times 4,28 \times 3,15 \times 0,0004} = 0,129 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Nhiệt trở của cách điện rãnh:

$$R_r = \frac{\delta_c}{Z_S C \cdot l_1 k'_{tS}} = \frac{0,03}{24 \times 4,28 \times 3,15 \times 0,0005} = 0,185 \text{ } ^\circ\text{C/W.}$$

Nhiệt trở của gông stato:

$$R_T = \frac{k_{gS}}{S_{gS} k_T} = \frac{0,6}{125 \times 0,58} = 0,0124 \text{ } ^\circ\text{C/W.}$$

trong đó: $S_{gS} = \pi D_{nl} l_1 = \pi \times 9,3 \times 4,28 = 125 \text{ cm}^2$

$$D_{nl} = \frac{D_n + D + 2h_{ZS}}{2} = \frac{10,2 + 6 + 2 \times 1,2}{2} = 9,3 \text{ cm.}$$

Nhiệt trở của lớp rãnh stato:

$$R_Z = \frac{h_{ZS}}{S_{ZS} k_T} = \frac{1,2}{35,9 \times 0,58} \approx 0,0577 \text{ } ^\circ\text{C/W.}$$

trong đó:

$$S_{ZS} = Z_S h_{tb} l_1 = 24 \times 0,35 \times 4,28 = 35,9 \text{ cm}^2.$$

Nhiệt trở của lớp rãnh do tổn hao đồng stato:

$$S_{ZD} = R_Z \frac{2h_{ZS}}{C} = 0,0577 \times \frac{2 \times 1,2}{3,15} \approx 0,044 \text{ } ^\circ\text{C/W.}$$

Nhiệt trở của khe hở không khí:

$$R_\delta = \frac{\delta}{S_\delta k_{tb}} = \frac{0,025}{86,7 \times 0,00023} = 1,25 \text{ } ^\circ\text{C/W.}$$

trong đó:

$$S_\delta = \pi D l = \pi \times 6 \times 4,6 = 86,7 \text{ cm}^2.$$

Lấy nhiệt trở của rôto: $R_R = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$,

Nhiệt trở của nắp máy: $R_n = 0,001 \text{ } ^\circ\text{C/W}$.

Cách xác định nhiệt thế của nguồn nhiệt theo bảng 12-1b.

Nguồn thế của nguồn nhiệt do tổn hao sắt stato sinh ra:

$$V_T = 0,5P_T(R_T + R_Z) = 0,5 \times 20,2 \times (0,0124 + 0,0577) = 0,71 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Nhiệt thế của nguồn nhiệt do tổn hao đồng stato sinh ra:

$$V_{DS} = (P_{DS} + 0,5P_f) R_{cd} = (42 + 0,5 \times 0,9) \cdot 0,129 = 5,5^\circ\text{C}.$$

Nhiệt thế của nguồn nhiệt do tổn hao đồng rôto sinh ra:

$$V_R = (P_{DR} + P_{c\sigma} + 0,5P_f) P_R = (17,5 + 5,5 + 0,5 \times 0,9) \times 0,5 = 11,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Cách tính nhiệt độ của vỏ như trong bảng 12-2.

Nhiệt độ môi trường $t_o = 25^\circ\text{C}$.

Nhiệt độ gần đúng của vỏ máy:

$$\theta'_V = \frac{\Sigma P}{S_V k_s k_1} = \frac{91,5}{1000 \times 7,9 \times 1,97 \cdot 10^{-3}} \approx 6^\circ\text{C},$$

trong đó:

$$S_V = \frac{\pi D^2}{2} + \pi D_V l_V = \frac{\pi \cdot 12,37^2}{2} + \pi \times 12,37 \times 19,6 = 1000 \text{ cm}^2$$

$$k_1 = 0,56 \cdot 10^{-3} D_V^{0,5} = 0,56 \cdot 10^{-3} \times 12,37^{0,5} = 1,97 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$k_S = \frac{7,06}{k_{r1}} \cdot 10^{-4} n(D_{B1} - D_{B2}) = \frac{7,06}{1,5} \cdot 10^{-4} \times 2800 \times (11,6 - 5,6) = 7,9.$$

trong đó $k_{r1} = 1,5$ khi $2p = 2$.

Nhiệt lượng bức xạ:

$$P_{\text{bx}} = 1,6k'S_V D_V^{0,5} \left[\left(\frac{t_2}{1000} \right)^4 - \left(\frac{t_1}{1000} \right)^4 \right] =$$
$$= 1,63 \times 0,9 \times 1000 \times 12,37^{0,5} \left[\left(\frac{304}{1000} \right)^4 - \left(\frac{298}{1000} \right)^4 \right] = 3,41 \text{ W}$$

trong đó: $K = 0,9$ (màu xám)

$$t_1 = 273 + t_0 = 273 + 25 = 298^\circ\text{K}$$

$$t_2 = t_1 + \theta'_v = 298 + 6 = 304^\circ\text{K}.$$

Nhiệt lượng tản ra do đối lưu:

$$P_{\text{dt}} = \Sigma P - P_{\text{bx}} = 91,5 - 3,41 = 88,09 \text{ W}.$$

Độ tăng nhiệt bình quân của vỏ:

$$\theta_v = \left(\frac{5360k_{r2}P_{\text{dt}}}{S_V k_S D_V^{0,5}} \right)^{0,8} = \left(\frac{5360 \times 0,87 \times 88,09}{1000 \times 7,9 \times 12,37^{0,5}} \right)^{0,8} = 8,65^\circ\text{C}.$$

Vì $\theta = 8,65^\circ\text{C}$ và lúc đầu giả thiết là 6°C khác nhau khá nhiều, do vậy phải tính lại lần hai. Chọn $\theta'_v = 8,4^\circ\text{C}$, như vậy $t_1 = 298^\circ\text{K}$ và $t_2 = t_1 + \theta''_v = 298 + 8,4 = 306,4^\circ\text{K}$, lúc đó nhiệt lượng bức xạ bằng:

$$P_{\text{bx}} = 1,63 \times 0,9 \times 1000 \times 12,37^{0,5} \left[\left(\frac{306,4}{1000} \right)^4 - \left(\frac{298}{1000} \right)^4 \right] = 4,65 \text{ W}$$

Nhiệt lượng tản ra do đối lưu:

$$P_{\text{dt}} = 91,5 - 4,65 = 86,85 \text{ W},$$

và độ tăng nhiệt bình quân của vỏ máy bằng:

$$\theta_v = \left(\frac{5360 \times 0,87 \times 86,85}{1000 \times 7,9 \times 12,37^{0,5}} \right)^{0,8} = 8,6^\circ\text{C}.$$

Nhiệt độ bình quân của vỏ máy:

$$t_v = t_o + \theta_o = 25 + 8,6 = 33,6^\circ\text{C}.$$

Nhiệt độ tính toán của vỏ máy:

$$t_{iv} = t_o + \theta_{iv} = 25 + 9,8 = 34,8^\circ\text{C}.$$

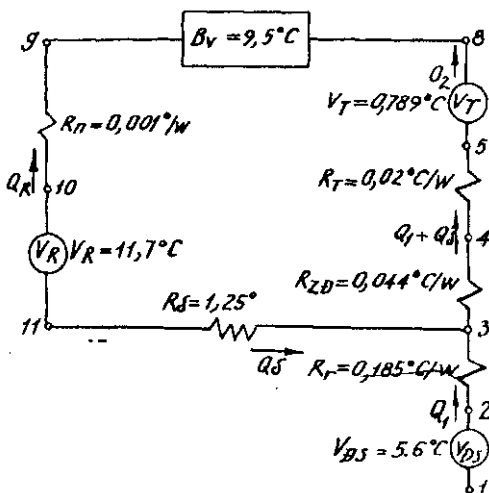
trong đó: $\theta_{iv} = \theta_v k_r = 8,6 \times 1,142 = 9,8^\circ\text{C}.$

$$k_p = 0,906 \cdot \left(\frac{l_v}{D_v} \right)^{0,5} = 0,906 \cdot \left(\frac{19,6}{12,37} \right)^{0,5} = 1,142.$$

Tính toán độ tăng nhiệt:

Tính toán độ tăng nhiệt các bộ phận của máy điện theo sơ đồ nhiệt thay thế ở hình 13-23.

Kết quả tính toán ghi trong bảng 13-8. Bảng này tính theo bảng 12-3 (mục 12-2). Vì động cơ điện này có quạt tự làm nguội nên phải bỏ điểm 6 và 7.



Hình 13-23. Sơ đồ nhiệt thay thế của động cơ điện kiểu АОЛ 11/2.

Sơ bộ tính nhiệt lượng của các phần trong sơ đồ nhiệt thay thế:

$$Q'_1 = Q_1 = P_{\text{ĐS}} + 0,5P_f = 42 + 0,5 \times 0,9 = 42,45 \text{ W},$$

$$Q'_2 = Q'_1 + P_T = 42,45 + 20,2 = 62,65 \text{ W},$$

$$Q'_R = P_{\text{ĐR}} + 0,5P_f + P_{\text{cơ}} = 17,5 + 0,5 \times 0,9 + 5,5 = 23,45 \text{ W}$$

Dựa vào độ tăng nhiệt bình quân của dây quấn tính ra nhiệt độ bình quân của dây quấn:

$$t_{\text{dq}} = \theta_{\text{TS}} + t_o = 29,8 + 25 = 54,8^\circ\text{C}$$

trong đó:

$$\theta_{\text{TS}} = 1,1\theta_1 = 1,1 \times 27,05 = 29,8^\circ\text{C}.$$

Theo số liệu thí nghiệm, nhiệt độ bình quân của dây quấn động cơ điện АОЛ 11/2 là $t_{\text{dq}} = 56,4^\circ\text{C}$.

Bảng 13-8. Tính toán độ tăng nhiệt của động cơ điện АОП 11/2.

Các điểm trên sơ đồ nhiệt thế	Tên các phần	Tính toán gần đúng lần 1	Tính toán gần đúng lần 2
8 và 9	Mặt ngoài vỏ máy	$V_8 = V_9 = \theta_{mv} = 9,5^\circ\text{C}$	$V_3 = V_9' = \theta_{mv} = 9,5^\circ\text{C}$ $Q_\delta = \frac{-(V_3' - V_{11}')}{R_\delta} = \frac{-(13 - 21,2)}{1,25} = 9,35$
3	Mặt ngoài của răng	$V_3' = V_8 + V_c + Q_1'(R_T + R_{\theta 2})$ $= 9,5 + 0,784 + 42,45(0,02 + 0,044) = 13^\circ\text{C}$	$V_3 = V_8 + V_c + (Q_1 + Q_\delta)(R_T + R_{\theta 2}) =$ $= 9,5 + 0,784 + (42,45 + 9,35)(0,02 + 0,044) = 13,6^\circ\text{C}$
2	Bề mặt dây dẫn trong rãnh stato	$V_2' = V_3' + Q_1'R_1 = 13 + 42,45 \times 0,185 =$ $= 20,85^\circ\text{C}$	$V_2 = V_3 + Q_1Q_1 = 13,6 + 42,45 \times 0,185 =$ $= 21,45^\circ\text{C}$
1	Dây dẫn ở giữa rãnh	$V_1' = V_2' + V_{\theta S} = 20,85 + 5,6 = 26,45^\circ\text{C}$	$V_1 = V_2 + V_{\theta S} = 21,45 + 5,6 = 27,05^\circ\text{C}$ $\theta_A = V_1$
10	Mặt trong của lớp máy	$V_{10}' = V_9 + Q_R'R_n = 9,5 + 23,45 \times 0,001 =$ $= 9,52^\circ\text{C}$	$Q_R = Q_R' - Q_\delta = 23,45 - 9,45 = 14,1$ $V_{10} = V_9 + Q_R R_n = 9,5 + 14,1 \times 0,001 =$ $= 9,65^\circ\text{C}$
11	Mặt ngoài rôto	$V_{11}' = V_{10}' + V_R = 9,52 + 11,7 = 21,22^\circ\text{C}$	$V_{11} = V_{10} + V_R = 9,51 + 11,7 = 21,21^\circ\text{C}$

Phụ lục 1.1

**Đường cong từ hoá $H = f(B)$ của thép kỹ thuật điện
cán nóng 1211, 1212, 1213, A/cm
ở rãnh và gông động cơ điện không đồng bộ**

B, Tesla	H, A/cm		B, Tesla	H, A/cm	
	rãnh	gông		rãnh	gông
0,05	0,20	0,18	1,20	5,93	4,10
0,10	0,40	0,37	1,25	6,51	4,55
0,15	0,60	0,48	1,30	7,24	5,09
0,20	0,80	0,57	1,35	8,04	5,72
0,25	0,86	0,65	1,40	8,97	6,56
0,30	0,92	0,72	1,45	10,00	7,63
0,35	1,00	0,80	1,50	11,20	9,05
0,40	1,40	0,89	1,55	13,70	10,90
0,45	1,55	0,98	1,60	14,50	13,70
0,50	1,74	1,08	1,65	16,50	17,20
0,55	1,90	1,20	1,70	19,00	21,80
0,60	2,04	1,31	1,75	22,20	27,20
0,65	2,24	1,44	1,80	27,00	36,60
0,70	2,45	1,59	1,85	33,30	49,00
0,75	2,67	1,76	1,90	41,60	66,00
0,80	2,92	1,94	1,95	53,30	82,00
0,85	3,16	2,12	2,00	67,50	111,00
0,90	3,42	2,31	2,05	85,20	142,00
0,95	3,72	2,52	2,10	100,00	
1,00	4,03	2,74	2,15	130,00	
1,05	4,40	3,00	2,20	159,00	
1,10	4,88	3,32	2,25	191,00	
1,15	5,37	3,67	2,30	246,00	
			2,35	310,00	

**Đường cong từ hoá $H = f(B)$ của thép kỹ thuật điện cán nguội
2211, 2312, ở gông động cơ điện không đồng bộ**

B , Tesla	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,4	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,98	1,0	1,02	1,04	1,06
0,5	1,08	1,1	1,13	1,15	1,18	1,2	1,22	1,24	1,26	1,28
0,6	1,31	1,34	1,36	1,39	1,41	1,44	1,47	1,5	1,53	1,56
0,7	1,59	1,62	1,66	1,69	1,76	1,72	1,8	1,83	1,86	1,9
0,8	1,94	1,98	2,01	2,04	2,08	2,12	2,16	2,2	2,23	2,27
0,9	2,31	2,35	2,39	2,43	2,48	2,52	2,55	2,6	2,64	2,69
1,0	2,74	2,79	2,84	2,89	2,95	3,0	3,05	3,11	3,18	3,23
1,1	3,32	3,38	3,44	3,51	3,57	3,67	3,74	3,82	3,9	3,98
1,2	4,1	4,18	4,26	4,35	4,44	4,55	4,66	4,75	4,87	4,98
1,3	5,09	5,21	5,33	5,46	5,58	5,72	5,85	6,0	6,18	6,35
1,4	6,56	6,75	6,95	7,17	7,4	7,63	7,89	8,15	8,43	8,7
1,5	9,05	9,34	9,65	10,0	10,4	10,9	11,3	11,9	12,4	12,9
1,6	13,7	14,4	15,2	15,9	16,6	17,2	18,2	19,1	20,1	21,0
1,7	21,8	23,1	24,1	25,5	26,1	27,2	28,4	29,8	31,3	32,9
1,8	34,6	36,3	38,0	39,7	41,4	43,0	44,9	46,7	48,5	50,4
1,9	52,2	56	60	64	69	74	79	85	91	97
2,0	104	111	118	125	133	141	149	158	167	176

Đường cong từ hoá $H = f(B)$ của thép kỹ thuật điện cán nguội 2211, 2312 ở rãnh động cơ điện không đồng bộ.

<i>B,</i> Tesla	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,4	1,4	1,43	1,46	1,49	1,52	1,55	1,58	1,61	1,64	1,71
0,5	1,74	1,77	1,8	1,84	1,86	1,9	1,92	1,96	1,98	2,02
0,6	2,04	2,09	2,13	2,16	1,21	2,24	2,29	2,33	2,37	2,41
0,7	2,45	2,49	2,53	2,57	2,62	2,67	2,72	2,77	2,82	2,87
0,8	2,92	2,97	3,02	3,06	3,11	3,16	3,22	3,26	3,31	3,37
0,9	3,42	3,47	3,53	3,6	3,66	3,72	3,79	3,84	3,9	3,96
1,0	4,03	4,09	4,17	4,25	4,33	4,4	4,5	4,6	4,7	4,77
1,1	4,88	4,97	5,09	5,17	5,27	5,37	5,47	5,59	5,70	5,82
1,2	5,93	6,02	6,13	6,26	6,38	6,51	6,63	6,77	6,95	7,10
1,3	7,24	7,38	7,55	7,7	7,9	8,04	8,2	8,4	8,57	8,79
1,4	8,97	9,17	9,36	9,55	9,77	10,0	10,2	10,4	10,6	10,9
1,5	11,2	11,5	11,7	12,1	12,4	12,7	13,1	13,3	13,7	14,1
1,6	14,5	14,9	15,3	15,6	16,1	16,5	16,9	17,5	17,9	18,4
1,7	19,0	19,4	20,0	20,7	21,4	22,2	23,0	23,8	25	26
1,8	27	28	29,2	30,5	32,2	33,3	34,9	36,1	37,1	40,0
1,9	41,6	43,5	46	48	50,3	53,3	54,3	57,9	61,3	64,2
2,0	67,5	71,7	74	77,9	81,5	85,2	90,0	94,0	97,5	102
2,1	106	110	115	121	126	130	135	141	147	154
2,2	159	165	173	178	185	191	196	203	211	220
2,3	231	243	255	268	281	295	309	324	329	364

**Đường kính và tiết diện dây dẫn men, ký hiệu ПЭТВ,
ПЭВ-2, ПЭТ-155**

Đường kính chuẩn của dây dẫn không cách điện, mm	Đường kính trung bình cả cách điện, mm	Tiết diện dây dẫn không cách điện, mm ²	Đường kính chuẩn của dây dẫn không cách điện, mm	Đường kính trung bình cả cách điện, mm	Tiết diện dây dẫn không cách điện, mm ²
0,08	0,10	0,00502	0,425	0,465	0,1419
0,09	0,11	0,00636	0,45	0,49	0,1590
0,10	0,122	0,00785	(0,475)	0,515	0,1772
0,112	0,134	0,00985	0,5	0,545	0,1963
0,125	0,147	0,01227	(0,53)	0,585	0,221
(0,132)	0,154	0,01368	0,56	0,615	0,246
0,14	0,162	0,01539	0,60	0,655	0,283
0,15	0,18	0,01767	0,63	0,69	0,312
0,16	0,19	0,0121	(0,67)	0,73	0,353
0,17	0,20	0,0227	0,71	0,77	0,396
0,18	0,21	0,0255	0,75	0,865	0,442
(0,19)	0,22	0,0284	0,80	0,865	0,503
0,20	0,23	0,0314	0,85	0,915	0,567
(0,212)	0,242	0,0353	0,90	0,965	0,636
0,224	0,259	0,0394	0,95	1,015	0,709
(0,236)	0,271	0,0437	1,00	1,08	0,785
0,25	0,285	0,0491	1,06	1,14	0,883
(0,265)	0,3	0,0552	1,12	1,20	0,985
0,28	0,315	0,0616	1,18	1,26	1,094
(0,30)	0,335	0,0707	1,25	1,33	1,227
0,315	0,35	0,0779	1,32	1,405	1,368
0,335	0,370	0,0881	1,40	1,485	1,539
0,345	0,395	0,099	1,50	1,585	1,767
0,375	0,415	0,1104	1,6	1,685	2,011
0,40	0,44	0,1257	1,7	1,785	2,27

Phụ lục 3

Số liệu dùng để tính tổn hao sắt rôto.

Hệ số trượt, s	$s^{1,3}$	$(2 - s)$	$(2 - s)^{1,3}$
0,01	0,00025	1,99	2,444
0,02	0,00081	1,98	2,432
0,03	0,00105	1,97	2,413
0,04	0,00151	1,96	2,399
0,05	0,00195	1,95	2,382
0,06	0,00257	1,94	2,366
0,07	0,00316	1,93	2,345
0,08	0,00376	1,92	2,333
0,09	0,004347	1,91	2,317
0,10	0,05012	1,9	2,301
0,2	0,12340	1,8	2,148
0,4	0,30386	1,6	1,845
0,6	0,51520	1,4	1,549
0,8	0,74820	1,2	1,268

Phụ lục 4

Sự phân bố dây dẫn trong các rãnh của dây quấn "sin" và hệ số dây quấn (trích bảng của Veinott).

Số thứ tự	Số rãnh dưới một cực	Cách sắp xếp dây dẫn một bởi dây dưới một cực U_n / U_m													Hệ số dây quấn sóng cơ bản k_{q1}	Tỷ số sóng bậc cao so với sóng cơ bản $k_{q\nu} / k_{q1}$		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		k_{q3}	k_{q1}	k_{q7} / k_{q1}
1	4	1	1	0	1	1									0,85355	0,0572	0,0343	0,1429
2	4	1/2	1	0	1	1/2									0,80473	0,0573	0,0243	0,1429
3	6	1	1	0	0	1	1								0,83651	0,0000	0,0536	0,0383
4	6	1/2	1	1/2	0	1/2	1	1/2							0,80801	0,0000	0,0144	0,0103
5	6	1	1	1	0	1	1	1							0,78867	0,0000	0,536	0,0385
6	9	1	1	1/2	0	0	0	1/2	1	1					0,86889	0,0664	0,0363	0,0021
7	9	1	1	1	0	0	0	1	1	1					0,83120	0,0000	0,0453	0,0664
8	9	1	1	2/3	0	0	0	2/3	1	1					0,85475	0,0422	0,0396	0,0083
9	9	1/2	1	1	1/2	0	0	1/2	1	1	1/2				0,81858	0,0000	0,0296	0,0092
10	12	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1		0,82935	0,0000	0,0429	0,0235
11	12	1	1	2/3	2/3	1/3	0	0	2/3	2/3	2/3	1	1		0,77629	0,0194	0,0179	0,0002
12	12	1/2	1	1	1	1/2	0	0	0	1/2	1	1	1	1/2	0,82226	0,0000	0,0343	0,0144

Phụ lục 5.1

Số liệu dây quấn động cơ điện không đồng bộ ba pha dây 4A có chiều cao tâm trục 50 - 71 mm

Kiểu cơ điện	Công suất, P , W	Số cực $2p$	Bước dây, y	Chiều dài trung bình 1 vòng dây, l , mm	$U = 127/220$ V				$U = 220/380$ V			
					Số thanh dẫn trong 1 rãnh u_1	Đường kính dây, d , mm	Điện trở một pha, r , Ω	Trọng lượng dây đồng, G , kg	Số thanh dẫn trong 1 rãnh u_1	Đường kính dây, d , mm	Điện trở một pha, r , Ω	Trọng lượng dây đồng, G , kg
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4AA50A2	90	2	7; 5	294	260	0,35	28,2	0,43	450	0,27	82,3	0,44
4AA50B2	120			310	228	0,41	19,1	0,54	394	0,31	57,8	0,53
4AA50A4	60	4	3	230	367	0,33	35,2	0,42	63	0,27	91,0	0,48
4AA50B4	90			250	289	0,38	22,7	0,48	500	0,31	59,1	0,55
4AA56A2	180	2	11,9	306	93	0,41	16,0	6,44	166	0,29	54,9	0,4
4AA56B2	250			324	82	0,44	12,9	0,47	143	0,33	38,6	0,46
4AA56A4	120	4	7,5	257	133	0,41	18,5	0,51	254	0,29	70,5	0,5
4AA56A2	180			275	117	0,44	15,0	0,57	203	0,33	46,5	0,55

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4AA63A2	370			330	73	0,51	8,41	0,58	126	0,38	26,2	0,55
		2	11,9									
4AA63B2	550			350	58	0,57	5,622	0,60	101	0,44	16,7	0,62
4AA63A4	250			272	98	0,49	10,1	0,59	169	0,38	29,0	0,61
		4	7; 5									
4AA63B4	370			289	79	0,53	7,1	0,59	137	0,41	21,4	0,61
4AA63A6	180			244	98	0,44	16,8	0,64	170	0,33	51,9	0,62
		6	7; 5									
4AA63B6	250			286	76	0,53	10,5	0,83	131	0,41	30,0	0,85
4A71A2	750			420					89	0,53	12,0	0,91
		2	11; 9									
4A71B2	1100			438					73	0,59	8,35	0,96
4A71A4	550			336					113	0,53	12,2	0,92
		4	7; 5									
4A71B4	75			354					94	0,57	9,45	0,94
4A71A6	370			300					114	0,47	21,2	0,97
		6	7; 5									
4A71A6	550			350					85	0,53	14,45	1,08
4A71B8	250	8	6; 3; 5*	296					148	0,41	35,6	0,95

Ghi chú: Các động cơ điện có chiều cao tâm trục $H = 50 - 63$ dùng dây men ПЭТМ cách điện cấp E còn với chiều cao tâm trục 71 mm thì dùng dây ПЭТВ cách điện cấp B.

* Có một bố trí kép với bước dây 5; 3 và một bố trí đơn với bước dây 5.

Phụ lục 5.2

**Số liệu dây quấn động cơ điện dung (4AAT và AAXT),
có điện dung khởi động và làm việc (4AAXT và 4AXYT)
dây 4A, tần số $f = 50$ Hz**

Kiểu động cơ điện	Công suất P , W	Số cực $2p$	Số vòng dây của một pha W_s	Đường kính dây, d/d_{ca} mm	Số thanh dẫn trong một rãnh u	Điện trở pha ở 20°C Ω_s, Ω	Chiều dài trung bình 1 vòng dây l_b , cm	Trọng lượng dây đồng G_b , kg
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4AXT 71 A2 4AXYT 71 A2	550	2	288	0,59/0,66	72	7,85	42,0	0,284
4AXT 71 B2 4AXYT 71 B2	750	2	248	0,64/0,72	62	6,0	43,8	0,301
4AXT 71 A4 4AXYT 71 A4	370	4	452	0,53/0,6	113	12,3	33,6	0,288
4AXT 71 B4 4AXYT 71 B4	550	4	396	0,55/0,62	99	10,5	35,4	0,286
4AAT 63 A2 4AAYT 63 A2	250	2	480	0,141/0,47	120	23,8	36,7	0,296
4AAT 63 B2 4AAYT 63 B2	370	2	356	0,49/0,55	89	13,0	38,5	0,222
4AAT 63 A4 4AAYT 63 A4	180	4	676	0,38/0,44	169	29,0	27,2	0,180

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4AAT 63 B4 4AAYT 63B4	250	4	548	0,41/0,47	137	21,4	29,0	0,180
4AAT 56 A2 4AAYT 56 A2	120	2	664	0,29/0,34	166	58,8	29,2	0,11
4AAT 56 B2 4AAYT 56 B2	180	2	512	0,35/0,41	128	32,6	31,0	0,131
4AAT 56 A4 4AAYT 56 A4	90	4	936	0,29/0,34	234	61,8	24,5	0,130
4AAT56 B4 4AAYT 56B4	120	4	812	0,33/0,38	203	44,5	28,3	0,169
4AAT 50A2 4AAYT 50 A2	60	2	782	0,29/0,35	391	60	28,2	0,41
4AAT 50 B2 4AAYT 50B2	90	2	690	0,33/0,39	345	44,8	29,8	0,531
4AAT 50 A4 4AAYT 50 A4	40	4	1270	0,27/0,33	635	91	23,0	0,485
4AAT 50B4 4AAYT 50B4	60	4	1132	0,29/0,35	566	78	25,0	0,549

Ghi chú: Động cơ điện dung dây 4A có dây quấn ba pha (kiểu dây quấn một lớp đồng tâm với $q = 4$ khi $2p = 2$ và $q = 2$ khi $2p = 4$). Dùng dây men ký hiệu ПЭТБ. Sơ đồ đấu dây vào lưới theo hình 2-c.

**Số liệu dây quấn động cơ điện một pha dây 4A khởi
bằng điện dung**

Kiểu động cơ điện	Công suất P	Số cực P	Dây quấn chính A							
			Số thanh dẫn trong rãnh u_{FA}	Số vòng dây của pha W_{SA}	Đường kính dây không cách điện d_k , mm	Đường kính dây có cách điện d_k , mm	Chiều dài trung bình một vòng dây l_{bA} , cm	Chiều dài phần đầu nối với l_{bA} , cm	Điện trở dây quấn A ở 20°C r_{SA} , Ω	Hệ số lấp đầy rãnh k_{bA}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4AXY71B4	370	4	56	448	0,77	0,86	32,4	2,72	5,6	0,75
4AXE71B4	370	4	56	448	0,77	0,86	32,4	2,72	5,6	0,75
4AXY71A4	250	4	68	544	0,67	0,75	30,6	2,72	8,5	0,71
4AXE71A4	250	4	68	544	0,67	0,75	30,6	2,72	8,5	0,71
4AXY71B2	550	2	41	328	0,77	0,86	39,2	3,03	4,8	0,68
4AXE71B2	550	2	41	328	0,77	0,86	39,2	0,03	4,8	0,68
4AXY71A2	370	2	44	352	0,74	0,83	37,4	3,03	5,5	0,68
4AXE71A2	370	2	44	352	0,74	0,83	37,4	3,03	5,5	0,68
4AA Y63B4	180	4	78	624	0,57	0,64	25,4	2,4	11,1	0,68
4AA E63B4	180	4	78	624	0,57	0,64	25,4	2,4	11,1	0,68
4AA Y63A4	120	4	99	792	0,49	0,55	23,6	2,4	17,7	0,64

động bằng điện trở (4AAE, 4AXE) và khởi động (4AAV, 4AXY)

Dây quấn phụ B											
Trọng lượng dây quấn A, G_{BA} , kg	Số thanh dẫn trong rãnh u_B	Số vòng dây của pha W_{SB}	Số thanh dẫn tác dụng trong rãnh u_B	Số vòng dây tác dụng của pha W_{SB}	Đường kính dây không cách điện d_6 , mm	Đường kính dây có cách điện d_{c6B} , mm	Chiều dài trung bình một vòng dây l_{6B} , cm	Chiều dài phần đầu nối với l_{6B} , cm	Điện trở dây quấn B ở 20°C r_{SB} , Ω	Hệ số lấp đầy rãnh k_{6B}	Trọng lượng dây quấn B G_{BB} , kg
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0,58	105	420	105	420	0,55	0,62	35,4	3,14	11,2	0,74	0,31
0,58	103	412	43	172	0,53	0,6	35,4	3,14	11,8	0,68	0,3
0,57	145	580	145	580	0,44	0,5	33,6	3,14	22,9	0,16	0,28
0,57	116	464	56	244	0,51	0,58	33,6	3,14	13,5	0,72	0,3
0,56	84	336	84	336	0,55	0,62	43,8	3,54	11	0,72	0,34
0,56	66	264	26	104	0,59	0,66	43,8	3,54	7,5	0,65	0,32
0,54	59	236	59	236	0,64	0,72	42,0	3,54	5,5	0,69	0,29
0,54	69	276	37	148	0,59	0,66	42,0	3,54	7,6	0,69	0,3
0,34	122	488	122	488	0,41	0,47	26,6	2,41	17,3	0,58	0,2
0,34	13,9	556	77	308	0,38	0,44	26,6	2,41	23,3	0,58	0,2
0,305	125	500	125	500	0,41	0,47	24,8	2,41	16,8	0,6	0,154

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4AAE63A4	120	4	99	792	0,49	0,55	23,6	2,4	17,7	0,64
4AAE63B2	250	2	53	424	0,62	0,7	31,5	2,65	7,9	0,67
4AAE63B2	250	2	53	424	0,62	0,7	31,5	2,65	7,9	0,67
4AAE63A2	180	2	71	568	0,55	0,62	29,7	2,65	12,7	0,7
4AAE63A2	180	2	71	568	0,55	0,62	29,7	2,65	12,7	0,7
4AAE56B4	90	4	109	872	0,44	0,5	22,2	1,9	22,7	0,62
4AAE56B4	90	4	109	872	0,44	0,5	22,2	1,9	22,7	0,62
4AAE56A4	60	4	146	1168	0,35	0,41	20,4	1,9	44,0	0,56
4AAE56B2	120	2	81	648	0,41	0,47	27,8	2,1	24,4	0,57
4AAE56B2	120	2	81	648	0,41	0,47	27,8	2,1	24,4	1,57
4AAE56A2	90	2	102	816	0,35	0,41	26,0	2,1	40,2	0,55
4AAE56A2	90	2	102	816	0,35	0,41	26,0	2,1	40,2	0,55
4AAE50B4	40	4	262	1048	0,44	0,51	24,3	2,9	27,2	725
4AAE50B4	40	4	262	1048	0,44	0,51	24,3	2,9	27,2	0,725
4AAE50A4	25	4	317	1268	0,38	0,45	23,7	2,9	39,5	0,633
4AAE50A4	25	4	317	1268	0,38	0,45	23,7	2,9	39,5	0,683
4AAE50B2	60	2	197	788	0,44	0,51	26,3	3,2	26,3	0,71
4AAE50B2	60	2	197	788	0,44	0,51	26,3	3,2	26,3	0,71
4AAE50A2	40	2	254	1016	0,38	0,45	24,6	3,2	35,5	0,712
4AAE50E2	40	2	254	1016	0,38	0,45	24,6	3,2	35,5	0,712

Ghi chú: Dây quấn của các động cơ điện đều là loại một lớp đồng tâm, dùng dây men ПЭТВ, số rãnh pha chính $Z_A = (2/3)Z_S$. Số rãnh pha phụ $Z_B = (1/3)Z_S$.

* Trọng lượng đồng của tất cả các dây quấn.

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
0,305	147	588	53	212	0,38	0,44	24,8	2,41	23,0	0,61	0,155
0,335	88	352	88	352	0,44	0,5	35,1	2,68	14,4	0,57	0,178
0,33	573	292	39	156	0,49	0,55	35,1	2,68	9,4	0,57	0,165
0,325	122	488	122	488	0,38	0,44	33,1	2,68	25,6	0,61	0,173
0,325	107	428	45	180	0,41	0,47	33,1	2,68	19,3	0,51	0,177
0,34	200	800	200	800	0,31	0,36	23,1	2,2	43,6	0,6	0,16
0,34	1,84	736	106	424	0,33	0,38	23,1	2,2	39,4	0,61	0,16
0,27	300	1200	300	1200	0,25	0,31	21,3	2,2	92,5	6,62	0,14
0,26	84	336	84	336	0,41	0,47	31,2	2,5	14,2	0,56	0,14
0,16	91	364	39	156	0,38	0,44	31,2	2,5	17,9	0,57	0,13
0,23	172	688	172	688	0,27	0,32	29,4	2,5	62,9	0,56	0,12
0,13	97	388	49	196	1,35	0,41	29,4	2,5	21,6	0,53	0,12
0,414*	362	736	368	736	0,33	0,39	28,7	2,9	32,6	0,596	-
0,403*	325	650	325	650	0,25	0,31	28,7	2,9	56,0	0,332	-
0,44*	390	780	390	0,31	27,1	2,9	41,3	05	67	-	-
0,286*	385	770	385	770	0,21	0,26	27,1	2,9	85,4	0,277	-
0,388*	373	746	373	716	0,29	0,35	2,	2,3	58,3	0,633	-
0,320*	224	448	224	448	0,25	0,31	29	2,3	44	0,298	-
0,356*	332	664		332	664	0,31	0,37	27,3	2,3	39,2	0,63
0,278	245	490	245	490	0,21	0,26	27,3	2,3	61,4	0,23	

CÁC KÝ HIỆU CHỦ YẾU

- A - tải đường;
 a - số đôi mạch nhánh của dây quấn;
 $a \times b$ - kích thước vành ngắn mạch;
 B_{δ} - mật độ từ thông khe hở không khí;
 B_{ZR} - mật độ từ thông ở răng stato;
 B_{gS}, B_{gR} - mật độ từ thông ở gông stato và rôto;
 b_{ZS}, b_{ZR} - bề rộng răng stato, rôto;
 b_n - rãnh nghiêng tính theo cung trên chu vi rôto;
 C_v - điện dung làm việc;
 C_K - điện dung khởi động;
 D_n, D - đường kính ngoài và trong stato;
 D' - đường kính ngoài rôto;
 D_v - đường kính trung bình của vành ngắn mạch;
 d_t - đường kính trục;
 d_{cd} - đường kính dây dẫn kể cả cách điện;
 E - sức điện động pha;
 E_1, E_2 - sức điện động thứ tự thuận và nghịch;
 F_{δ} - sức từ động khe hở không khí;
 F_{ZS}, F_{ZR} - sức từ động rãnh stato và rôto;
 F_{gS}, F_{gR} - sức từ động gông stato và rôto;
 F_m - sức từ động toàn mạch từ;
 f - tần số;

- G_{gS}, G_{gR} - trọng lượng gông stato và rôto;
 G_D - trọng lượng dây đồng;
 G_{ZS}, G_{ZR} - trọng lượng răng stato, rôto;
 H - cường độ từ trường;
 h_r - chiều cao rãnh;
 h_{gS}, h_{gR} - chiều cao gông stato và rôto;
 h_{ZS}, h_{ZR} - chiều cao răng stato và rôto;
 I_{dm} - dòng điện pha định mức;
 I_μ - dòng điện từ hóa;
 I_A, I_B - dòng điện pha A và pha B;
 I_c - dòng điện dây của động cơ điện dung;
 I_K - dòng điện khởi động;
 I_S, I_R - dòng điện stato, rôto;
 I_{A1}, I_{A2} - dòng điện thứ tự thuận và nghịch pha A;
 I_{B1}, I_{B2} - dòng điện thứ tự thuận và nghịch pha B;
 I'_A, I''_A - thành phần tác dụng và thành phần kháng của dòng điện pha A;
 I'_B, I''_B - thành phần tác dụng và thành phần kháng của dòng điện pha B.
 I_{RA} - dòng điện rôto đã quy đổi về pha A;
 I_{RA1}, I_{RA2} - dòng điện rôto thứ tự thuận và nghịch đã quy đổi về pha A;
 J_S - mật độ dòng điện của dây quấn stato;
 J_{rd} - mật độ dòng điện thanh dẫn rôto;
 J_v - mật độ dòng điện vòng ngắn mạch;
 k_D - tỷ số đường kính trong và ngoài của stato;
 k_d - hệ số lấp đầy rãnh;

$k_{\delta S}, k_{\delta R}$ - hệ số khe hở không khí của stato và rôto;
 k_{δ} - hệ số khe hở không khí;
 k_c - hệ số ép chặt lõi sắt;
 k_R - hệ số rãnh nghiêng;
 k_Z - hệ số bão hòa răng;
 k_{gc} - hệ số gia công;
 k_r - hệ số rải của dây quấn;
 k_y - hệ số bước ngắn của dây quấn;
 k_{dS}, k_{dR} - hệ số dây quấn của dây quấn stato và rôto;
 k - tỷ số biến áp;
 L_S - tổng chiều dài dây dẫn của một pha stato;
 l - chiều dài tính toán của máy điện;
 l_S, l_R - chiều dài lõi sắt stato, rôto;
 l_{tb} - chiều dài trung bình nửa vòng dây của dây quấn;
 l_d - chiều dài phần đầu nối của dây quấn;
 M - mômen điện từ;
 M_{max} - mômen cực đại;
 M_K - mômen khởi động;
 m - số pha;
 m_{max} - hệ số mômen cực đại;
 m_K - bội số mômen khởi động;
 n - tốc độ của rôto;
 n_{db} - tốc độ đồng bộ;
 $P_{đm}$ - công suất định mức;
 P_R - công suất tác dụng của động cơ điện;
 P_S - công suất tiêu thụ;
 $P_{đt}$ - công suất điện từ;

P_{ZS}, P_{ZR} - tổn hao trong dây quấn stato, rôto;
 P_{TS}, P_{TR} - tổng tổn hao sắt của stato và rôto;
 $P_{cơ}$ - tổn hao cơ;
 P_f - tổn hao phụ;
 p - số đôi cực;
 Q_A, Q_B - số rãnh dưới mỗi cực của pha A, B;
 q - số rãnh của mỗi pha dưới mỗi cực;
 r_S, r_R - điện trở tác dụng của dây quấn stato và rôto;
 r_{td} - điện trở thanh dẫn rôto;
 r_v - điện trở vành ngắn mạch;
 r_k - điện trở khởi động;
 r_c - điện trở tác dụng của tụ điện;
 r_{SA}, r_{SB} - điện trở tác dụng của dây quấn A và B của stato;
 r_{A1}, r_{A2} - điện trở tác dụng thứ tự thuận và nghịch của pha A;
 r'_{A1}, r'_{A2} - điện trở tác dụng thứ tự thuận và nghịch của mạch điện pha A;
 r_{AK}, r_{BK} - điện trở tác dụng của pha chính và phụ lúc khởi động;
 r'_{RAK}, r'_{RBK} - điện trở tác dụng của mạch điện pha A và B lúc khởi động;
 S_s - tiết diện dây dẫn;
 $S_{đm}$ - hệ số trượt định mức;
 s_o - hệ số trượt không tải thực tế;
 s_m - hệ số trượt ứng với mômen cực đại;
 t_S, t_R - bước răng stato và rôto;
 U - điện áp pha;

- U_c - điện áp trên tụ điện
- U_{dm} - điện áp định mức;
- u_R - số dây dẫn trong một rãnh;
- W_S - số vòng dây của dây quấn stato;
- x_S, x_R - điện kháng tản stato, rôto;
- x_m - điện kháng ứng với khe hở không khí;
- x_{SA}, x_{SB} - điện kháng thứ tự thuận và nghịch pha A;
- x'_{RA1}, x'_{RA2} - điện kháng thứ tự thuận và nghịch mạch điện pha A;
- x_{cv} - điện kháng của tụ điện làm việc;
- x_{cK} - điện kháng của tụ điện khởi động;
- x'_{BK} - điện kháng của pha phụ và phần tử khởi động; .
- x'_{RAK}, x'_{RBK} - điện kháng của mạch điện pha A và B lúc ngắn mạch;
- y_{ib} - bước dây trung bình tính theo rãnh;
- Z_{A1}, Z_{B1} - tổng trở thứ tự thuận của pha A và B;
- Z_{A2}, Z_{B2} - tổng trở thứ tự nghịch của pha A và B;
- Z'_{RA1}, Z'_{RA2} - tổng trở của mạch điện thứ tự thuận và nghịch pha A;
- Z_S, Z_R - số rãnh stato và rôto;
- α_8 - hệ số cung cực từ;
- α_m - góc ở tâm của rãnh nghiêng
- α - bước rãnh nghiêng theo tỷ lệ của bước cực;
- δ - khe hở không khí;
- ξ - hệ số xét đến sự phân bố không đều của từ thông trong gông;
- η - hiệu suất;

λ - tỷ số giữa chiều dài máy điện với bước cực;

λ_s - hệ số từ dẫn của từ tản stato.

λ_r - hệ số từ dẫn của từ tản rãnh;

λ_d - hệ số từ dẫn của từ tản phân đầu nối;

λ_l - hệ số từ dẫn của từ tản tạp;

λ_R - hệ số từ dẫn của từ tản rôto;

ρ - điện trở suất;

τ - bước cực;

τ_r - bước cực tính theo số rãnh;

Φ - từ thông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Е. М. ЛОПУХИНА, Г. А. СЕМЕНУКОВ.
Проектирование асинхронных
микродвигателей применением ЭВМ, 1980.
2. Я. С. ГУРИН, Б. И. КУЗНЕЦОВ –
Проектирование серий электрических машин.
3. И. П. КОПЫЛОВ. Проектирование
электрических машин, 1980.
4. П. С. СУРГЕЕВ, Н. В. ВИНОГРАДОВ, Ф. А.
ГОРЯННОВ – Проектирование электрических
машин, 1969.
5. JAROSLAV STEPINA: Jednofázové indukční motory.
Praha, 1957.
6. A.S. KÔKÔREP. Sổ tay thợ quấn dây máy điện. Phan
Đoài Bắc dịch, 1983.
7. Trần Khánh Hà. Tính toán động cơ điện không đồng bộ
ba pha và một pha công suất nhỏ. Nhà xuất bản Khoa
học và Kỹ thuật, 1993.

MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
Lời nói đầu	3
Đại cương về động cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ	5
0.1. Phân loại động cơ điện công suất nhỏ và cách chọn động cơ điện	6
0.2. Nhiệm vụ thiết kế và trình tự tính toán	15
Chương 1. Xác định kích thước chủ yếu	
1.1. Hằng số máy điện và các hệ số kết cấu	18
1.2. Tải điện từ	21
1.3. Xác định đường kính trong, ngoài, chiều dài lõi sắt stato và bước cực	24
1.4. Khe hở không khí	26
Chương 2. Dây quấn, rãnh và gông stato	
2.1. Chọn số rãnh stato và rôto	28
2.2. Chọn kiểu dây quấn	31
2.3. Tính toán dây quấn stato	41
2.4. Tính toán dây quấn "sin"	49
2.5. Rãnh và gông stato	56
Chương 3. Rãnh, gông và lồng sóc rôto	
3.1. Chọn tham số dây quấn rôto	61

3-2. Chọn dạng và tính toán rôto	66
3-3. Tính toán hệ số rãnh nghiêng	68
Chương 4. Trở kháng dây quấn stato và rôto	
4.1. Trở kháng stato	70
4.2. Trở kháng rôto	84
4.3. Điện kháng tản do rãnh nghiêng sinh ra	88
Chương 5. Tính toán mạch từ	90
Chương 6. Tính toán tổn hao	
6.1. Tổn hao sắt	96
6.2. Tính toán ảnh hưởng của tổn hao sắt đến trị số của dòng điện stato	100
6.3. Tổn hao cơ	101
6.4. Tổn hao điện	103
6.5. Tổn hao phụ	105
Chương 7. Mạch điện thay thế của pha chính	106
Chương 8. Tính toán pha phụ	
8.1. Đại cương	110
8.2. Trở kháng của dây quấn phụ	112
8.3. Tính toán tỷ số biến đổi và phần tử dịch pha của động cơ điện dung	114
8.4. Chọn tỷ số biến áp của động cơ điện một pha và tính phần tử khởi động	120

- 8.5. Đồ thị vòng tròn của dòng điện khởi động
động cơ điện một pha có phân tử khởi động 132
- 8.6. Động cơ điện có vòng ngắn mạch 137

**Chương 9. Tính toán đặc tính làm việc và đặc tính
mômen $M = f(s)$**

- 9.1. Đặc tính và giản đồ năng lượng của động cơ
điện với từ trường elip, tròn và đập mạch 139
- 9.2. Tính toán hệ số trượt không tải và xác định
hệ số trượt định mức 145

**Chương 10. Mạch điện nối thành một pha của
động cơ điện ba pha**

- 10.1. Đại cương 153
- 10.2. Tham số mạch điện thay thế của động cơ
hai pha dẫn xuất từ động cơ điện ba pha 155
- 10.3. Động cơ điện điện dung 157
- 10.4. Động cơ điện một pha khởi động bằng
điện dung 160
- 10.5. Động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở 161

**Chương 11. Một số đặc điểm về kết cấu của động
cơ điện không đồng bộ công suất nhỏ 162**

**Chương 12. Tính toán nhiệt động cơ điện không
đồng bộ công suất nhỏ kiểu kín**

- 12.1. Phương pháp tính toán nhiệt 167

12.2. Tính toán nhiệt của động cơ điện công suất nhỏ ba pha ở chế độ làm việc liên tục	171
Chương 13. Thí dụ tính toán	
13.1. Tính toán động cơ điện một pha khởi động bằng điện trở	182
13.2. Tính toán động cơ điện một pha khởi động bằng điện dung	220
13.3. Tính toán động cơ điện điện dung làm việc	229
13.4. Tính toán dây quấn “sin”	250
13.5. Tính toán động cơ điện công suất nhỏ có vành ngắn mạch	258
13.6. Tính toán nhiệt động cơ điện công suất nhỏ kiểu kín có quạt làm nguội	270
Phụ lục 1.1. Đường cong từ hóa của thép kỹ thuật điện cán nóng 1211, 1212, 1213 ở răng và gông động cơ không đồng bộ	277
Phụ lục 1.2. Đường cong từ hóa của thép điện kỹ thuật cán nguội 2211, 1212 ở gông động cơ không đồng bộ	279
Phụ lục 1.3. Đường cong từ hóa của thép điện kỹ thuật cán nguội 2211, 1212 ở răng động cơ không đồng bộ	280
Phụ lục 2. Đường kính và tiết diện của dây dẫn men, ký hiệu ПЭТВ, ПЭВ-2, ПЭТ-155	281
Phụ lục 3. Số liệu dùng để tính toán tổn hao sắt rôto	282

Phụ lục 4. Sự phân bố dây dẫn trong các rãnh của dây quấn “sin” và hệ số quấn dây (trích bảng của Veinott)	283
Phụ lục 5.1. Số liệu dây quấn động cơ không đồng bộ ba pha dây 4A có chiều cao tâm trục 50 – 71 mm	284
Phụ lục 5.2. Số liệu dây quấn động cơ điện dung (4AAT và AAXT), có điện dung khởi động và làm việc (4AAXT và 4AXYT) dây 4A, tần số $f = 50$ Hz	286
Phụ lục 5.3. Số liệu dây quấn động cơ điện một pha dây 4A khởi động bằng điện trở (4AAE, 4AXE) và khởi động bằng điện dung (4AAV, 4AXV)	288
Phụ lục 6. Các ký hiệu chủ yếu	292
Tài liệu tham khảo	298

TRẦN KHÁNH HÀ

**ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA
PHA VÀ MỘT PHA CÔNG SUẤT NHỎ
ĐẶC ĐIỂM - TÍNH TOÁN - ỨNG DỤNG**

Chịu trách nhiệm xuất bản: PGs. Ts. TÔ ĐĂNG HẢI

Biên tập: NGUYỄN NGỌC – PHẠM VĂN

Sửa bài: PHẠM VĂN

Vẽ bìa: HUƠNG LAN

Chế bản: DƯƠNG VĂN QUYẾN

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
70 TRẦN HƯNG ĐẠO - HÀ NỘI**

In 1000 cuốn, khổ 13 x 19 cm. Tại cơ sở in Cầu Giấy,
Nhà in ĐHQG Hà Nội. Giấy phép xuất bản số 1380 – 65 - 4/3/2002.
In xong và nộp lưu chiểu tháng 10 - 2002.