

TRẦN KHÁNH HÀ - NGUYỄN HỒNG THANH

THIẾT KẾ MÁY ĐIỆN



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

TRẦN KHÁNH HÀ – NGUYỄN HỒNG THANH

THIẾT KẾ MÁY ĐIỆN

*Sách dùng làm giáo trình cho sinh viên
đại học và cao đẳng kỹ thuật
In lần thứ 4 có sửa chữa, bổ sung*

**Sách chào mừng 50 năm thành lập
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội**



**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI - 2006**

LỜI NÓI ĐẦU

Quyển sách "THIẾT KẾ MÁY ĐIỆN" này được viết trên cơ sở các giáo trình "THIẾT KẾ MÁY ĐIỆN VÀ THIẾT KẾ NHÒ MÁY TÍNH" kết hợp với thực tiễn tính toán thiết kế trong nhiều năm của bộ môn Thiết bị điện Trường đại học Bách khoa Hà Nội.

Dựa trên lý thuyết cơ bản của máy điện, tác giả đã phân tích những vấn đề thực tiễn trong thiết kế máy điện, đi sâu vào những phân trọng điểm, có liên hệ thực tế sản xuất để bạn đọc nắm được những quy luật cơ bản trong thiết kế máy điện, đồng thời có thể nâng cao năng lực tư duy, phân tích và tích lũy kiến thức. Vì vậy, ở phần cuối cuốn sách có nêu lên cách dùng máy tính để tính toán máy điện, đề ra các phương pháp tính toán tự động và tối ưu.

Sách được bố cục theo trình tự giảng dạy gồm mười bảy chương, trong đó chín chương đầu nói về các vấn đề chung cho các loại máy điện như cách xác định kích thước chủ yếu, dây quấn, tính mạch từ, tham số, tổn hao, thông gió và phát nhiệt, tính toán cơ khí cho các kết cấu cơ bản. Bốn chương tiếp theo đi sâu vào tính toán thiết kế bốn loại máy điện cơ bản là máy điện không đồng bộ, máy điện đồng bộ, máy điện một chiều và máy biến áp, có kèm theo thí dụ tính toán. Bốn chương cuối nêu cách sử dụng máy tính để thiết kế máy điện, các mô hình toán và các phương pháp lập trình tính toán tự động và tối ưu, đồng thời có xét đến sai số công nghệ của các đầu ra. Cuối cùng là phần phụ lục đầy đủ dùng cho tính toán. Bốn chương cuối do PTS Nguyễn Hồng Thanh biên soạn, phần còn lại do PGS Trần Khánh Hà biên soạn.

Trong quá trình biên soạn lại lần này, chúng tôi đã cố gắng sửa hết những sai sót của lần trước, cải tiến phần tình mạch từ của máy điện không đồng bộ và thêm u du về động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn, cũng như thêm chương tính toán máy biến áp để hoàn thiện việc thiết kế các loại máy điện tĩnh và quay Về phân thiết kế bằng máy tính có thêm chương "Tác động của sai số cấu trúc công nghệ đến chất lượng của máy điện".

Các tác giả đã nhận được sự chân thành góp ý của các bạn đồng nghiệp. Xin chân thành cảm ơn tất cả.

Sách "THIẾT KẾ MÁY ĐIỆN" này được dùng để giảng dạy hay tham khảo trong các trường đại học, cao đẳng, trung học chuyên nghiệp có chuyên ngành về thiết bị điện, nó cũng có ích cho các kỹ sư, kỹ thuật viên ở các nhà máy và các viện nghiên cứu khi cần tra cứu.

Vì trình độ, thời gian và tài liệu có hạn, nên sách không tránh khỏi có sơ suất, xin bạn đọc miễn thứ. Mọi ý kiến đóng góp xin gửi về Bộ môn Thiết bị điện Trường đại học Bách khoa Hà Nội.

Các tác giả

PGS. Trần Khánh Hà

TS. Nguyễn Hồng Thanh

Đại cương về thiết kế máy điện quay

1.1. TÁC DỤNG CỦA SẢN XUẤT MÁY ĐIỆN TRONG NỀN KINH TẾ QUỐC DÂN

Xã hội không ngừng phát triển, sinh hoạt của nhân dân không ngừng được nâng cao nên cần phát triển nhiều loại máy điện mới. Tốc độ phát triển của nền sản xuất công nông nghiệp của một nước đòi hỏi một tốc độ phát triển tương ứng của ngành công nghiệp điện lực. Thường tốc độ phát triển này cao hơn khoảng 20% tốc độ phát triển của nền sản xuất, do đó đòi hỏi ngành chế tạo máy điện phải có những yêu cầu cao hơn. Do công suất đơn chiếc càng lớn thì giá thành trên đơn vị công suất càng hạ nên công suất của máy ngày càng lớn. Hiện tại các máy phát nhiệt điện công suất đơn chiếc đã đạt đến 1 ~ 1,5 triệu kilôoat và máy phát thủy điện đã đạt đến 70 ~ 80 vạn kilôoat.

Động cơ điện dùng làm nguồn động lực cho các loại thiết bị, công suất từ vài chục oát đến hàng vạn kilôoat, vòng quay từ vài trăm vòng/phút đến 3000 vòng/phút.

Ở nhiều trường hợp cần thiết phải điều chỉnh tốc độ trong phạm vi rộng thì động cơ điện một chiều có đặc tính điều chỉnh tốc độ ưu việt (như trong cán thép...). Động cơ điện đồng bộ có tốc độ không đổi, $\cos\varphi$ cao chủ yếu dùng trong các thiết bị cơ khí lớn (như quạt gió, bơm nước, máy nghiền...). Động cơ điện không

đồng bộ được dùng nhiều nhất vì giá thành hạ, bảo dưỡng đơn giản, vận hành chắc chắn, nhất là loại rôto lồng sóc (như trong máy cái, quạt gió, bơm nước...). Loại động cơ không đồng bộ rôto dây quấn điều tốc, khởi động thuận tiện.

Sự phát triển của các thiết bị điện gia dụng ngày càng đòi hỏi phải có nhiều loại động cơ điện không đồng bộ một pha (như quạt máy, điều hòa nhiệt độ, máy giặt, tủ lạnh...) và các máy điện xoay chiều vạn năng (như máy khâu, máy hút bụi, khoan tay...).

Theo sự phát triển của khoa học công nghệ, kỹ thuật mới và vật liệu mới không ngừng được phát triển làm cho ngành chế tạo máy điện không ngừng đổi mới. Ví dụ, kỹ thuật biến tần không ngừng được hoàn thiện và giá thành chế tạo các thyristor công suất lớn không ngừng hạ xuống nên kỹ thuật điện tử áp dụng vào máy điện phát triển rất nhanh. Các loại thiết bị biến tần điều tốc không ngừng đổi mới và đang phát triển thành một tổ hợp gồm động cơ điện - thiết bị biến tần - thiết bị khống chế.

1.2. NHIỆM VỤ VÀ PHẠM VI THIẾT KẾ MÁY ĐIỆN

Nhiệm vụ thiết kế máy điện được xác định từ hai yêu cầu sau:

1. Yêu cầu từ phía nhà nước, bao gồm các tiêu chuẩn nhà nước, các yêu cầu kỹ thuật do nhà nước quy định.
2. Yêu cầu từ phía nhà máy và người tiêu dùng thông qua các hợp đồng ký kết.

Nhiệm vụ của người thiết kế là đảm bảo tính năng kỹ thuật của sản phẩm đạt các tiêu chuẩn nhà nước quy định và tìm khả năng hạ giá thành để đạt hiệu quả kinh tế cao nhất, nói tóm lại là đạt chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật cao.

Các bước thiết kế gồm có:

1.2.1. Thiết kế điện từ

Nhiệm vụ của người thiết kế trong giai đoạn này là theo trình

tư thiết kế điện từ xác định một phương án điện từ hợp lý, có thể tính bằng tay, cũng có thể nhờ vào máy tính. Phương án này mới thoả mãn yêu cầu về tính năng kỹ thuật theo tiêu chuẩn nhà nước, đồng thời có giá thành thấp nhất. Trong phương án phải xác định toàn bộ kích thước lõi sắt stato, rôto, dây quấn stato, rôto, kết cấu cách điện. Ngoài ra còn phải tính toán nhiệt để đảm bảo khi làm việc ổn định ở chế độ định mức, độ tăng nhiệt không vượt quá tiêu chuẩn quy định.

1.2.2. Thiết kế kết cấu

Trong giai đoạn này phải xác định kết cấu cụ thể về phương thức thông gió và làm nguội, kết cấu cố định dây quấn trong rãnh và phần đầu nối, kết cấu cụ thể về cách bôi trơn ổ đỡ, kết cấu thân máy và nắp máy...

Khối lượng tính toán của hai bước thiết kế chủ yếu nói trên được liệt kê trong bảng 1.1.

Bảng 1.1. Khối lượng tính toán *

1. Tính kích thước cơ bản	5
2. Tính toán điện từ	35
3. Thiết kế kết cấu	30
4. Tính toán cơ khí	5
5. Tính thông gió	5
6. Tính nhiệt	5
7. Tính kinh tế	5
8. Hoàn thành thiết kế và tổng kết	10

Để có thể chế tạo được máy điện còn phải qua các khâu thiết kế sau:

* Thiết kế thi công, có nhiệm vụ vẽ tất cả các bản vẽ lắp ráp và chi tiết.

* Thiết kế khuôn mẫu và gá lắp dùng trong gia công các chi tiết của máy

* Thiết kế công nghệ, dụng để kiểm tra công nghệ trong qua trình gia công.

1.3. TẦM QUAN TRỌNG CỦA TIÊU CHUẨN HÓA, THIẾT KẾ DÂY VÀ THÔNG DỤNG HÓA TRONG THIẾT KẾ

Trong sản xuất, khuynh hướng chung là bố trí các nhà máy sản xuất máy điện theo công suất máy vì kích thước máy chỉ phù hợp quy trình công nghệ và trang thiết bị của nhà máy. Để tiện cho việc thiết kế chế tạo và thỏa mãn được yêu cầu của nền kinh tế, người ta thiết kế máy điện theo dây, nghĩa là theo một số cấp công suất nhất định theo quy định của tiêu chuẩn nhà nước, giữa chúng có sự liên quan với nhau về kết cấu và công nghệ chế tạo. Thiết kế dây tương đối phức tạp vì phải kết hợp nhiều yêu cầu thông thường khác nhau như đòi hỏi tính thông dụng của chi tiết gia công cao, chế tạo đơn giản mà vẫn đảm bảo đặc tính của máy tốt, do đó thiết kế này phải thể hiện một sự hợp lý về thiết kế điện tử, công nghệ chế tạo, tổ chức sản xuất. Ví dụ, hiện nay người ta cố gắng thiết kế sao cho một khuôn dập lõi sắt có thể bố trí để dùng cho hai hoặc ba công suất máy bằng cách thay đổi chiều dài, như vậy việc tổ chức sản xuất sẽ đơn giản và giá thành hạ hơn nhiều.

1.4. PHƯƠNG PHÁP HỌC TẬP MÔN HỌC NÀY

Thiết kế máy điện là một môn học chuyên ngành. Học môn này có thể căn cứ vào yêu cầu của sản xuất thiết kế ra sản phẩm, vì vậy khi học phải có sự liên hệ giữa lý luận và thực tế.

Có những tham số thiết kế không thể dựa vào kết quả tính toán tốt nhất từ sự suy diễn lý luận vì bị công nghệ sản xuất hạn chế, như khe hở không khí trong máy điện không đồng bộ chẳng hạn. Khe hở càng nhỏ thì $\cos\varphi$ càng cao nhưng công nghệ gia

công se rất khó khăn. Nhưng kiến thức thực tế đó phải được tích lũy trong quá trình tham gia sản xuất.

Ngoài ra cần phải hiểu, nắm vững, vận dụng được những quy luật liên quan giữa các đại lượng. Ví dụ, nhiệm vụ của thiết kế điện tử là trong điều kiện tiết kiệm nguyên vật liệu, đề ra được một phương án thiết kế có tính năng kỹ thuật ưu việt trong đó vật liệu tôn silic dùng làm lõi sắt là hàm số của kích thước chủ yếu D và l ; tiết diện và số vòng dây của dây quấn quyết định lượng đồng sử dụng. Đó là hai loại vật liệu tác dụng của máy điện. Các tham số máy điện có quan hệ hàm số cố định với lõi sắt, số rãnh, dạng rãnh, số vòng dây và tiết diện dây, còn đặc tính của máy điện thì được tính theo mạch điện thay thế gồm các tham số đã được tính.

Tóm lại, thiết kế máy điện là phân tích ảnh hưởng của vật liệu tác dụng, kích thước máy đến quy luật nội tại và quan hệ hàm số của các tham số và tính năng.

Những năm gần đây người ta đã đề ra một phương pháp thiết kế trực tiếp. Đặc điểm chính của phương pháp này là trình tự tính toán ngược lại với phương pháp thiết kế thường thấy, tức là từ tính năng máy xác định tham số và tham số quyết định kích thước hình học. Còn trong thiết kế thông thường thì chọn kích thước hình học trước rồi tính tham số, sau đó kiểm nghiệm lại tính năng. Nếu kiểm nghiệm không đạt thì chọn lại kích thước và tính lặp lại.

Phương pháp tính trực tiếp đòi hỏi có một số lượng thông kê rất lớn các số liệu kinh nghiệm về các sản phẩm hiện có làm cơ sở để tính toán, nên dùng để thiết kế các thiết bị biến tần lớn để biến tốc bằng điện tử thì có lợi hơn.

Trong lý thuyết máy điện thường lấy sóng cơ bản làm chính. Trong thiết kế máy điện, khi sóng bậc cao ảnh hưởng nhiều đến đặc tính của máy thì cần phải phân tích định tính, định lượng như ảnh hưởng của sự phối hợp răng rãnh stato, rôto đến mômen v.v...

1.5. CÁC KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU VÀ HẰNG SỐ MÁY ĐIỆN

1.5.1. Các kích thước chủ yếu

Đường kính D và chiều dài l của phần ứng là các kích thước chủ yếu của máy điện. Đường kính D ở máy điện một chiều là đường kính ngoài của phần ứng, ở máy điện không đồng bộ và máy điện đồng bộ thường là đường kính trong của lõi sắt stato.

Kích thước D , l và tỷ lệ giữa chúng quyết định trọng lượng, giá thành, các đặc tính kinh tế kỹ thuật và độ tin cậy lúc làm việc của máy. Vì vậy xác định các kích thước chủ yếu là giai đoạn rất cơ bản của công việc thiết kế máy điện. Mặt khác kích thước D và l phụ thuộc vào công suất P , tốc độ quay n , tải điện từ A , B_δ của vật liệu tác dụng của máy.

1.5.2. Hằng số máy điện

Kích thước chủ yếu được xác định từ công suất tính toán (công suất điện từ) của máy điện:

$$P' = mEI \cdot 10^{-3} \text{ ; kVA hay kW} \quad (1-1)$$

trong đó:

m - số pha (ở máy điện một chiều $m = 1$);

E - suất điện động pha của phần ứng, V ;

I - dòng điện pha của phần ứng, A .

Suất điện động phần ứng bằng:

$$E = 4k_s k_d w \Phi \text{ ; V}$$

ở đây:

k_s - hệ số sóng ($k_s = 1.11$ khi sóng hình sin);

p - số đôi cực;

n - tốc độ quay (vòng/ph)

k_d - hệ số dây quấn (ở máy điện một chiều $k_s k_d = 1$);

w - số vòng dây của một pha ở máy điện xoay chiều và là số vòng dây của một nhánh song song ở máy điện một chiều

$\Phi = \alpha_\delta r l_\delta B_\delta \cdot 10^{-4}$ - từ thông dưới mỗi cực từ, Wb

α_δ - hệ số cung cực từ

$r = \frac{\pi D}{2p}$ - bước cực, cm

l_δ - chiều dài tính toán phần ứng, cm

B_δ - mật độ từ thông tại khe hở không khí, T

Tải đường bằng:

$$A = \frac{I_{ld} N}{\pi D} = \frac{2mwI}{\pi D} : A/cm$$

ở đây: I_{ld} - dòng điện trong thanh dẫn và N - số thanh dẫn trên phần ứng.

Thay tất cả những đại lượng trên vào phương trình (1-1) thì biểu thức công suất tính toán có dạng:

$$P' = 0,164 \cdot 10^{-7} k_k \alpha_\delta n B_\delta A D^2 l_\delta \quad (1-2)$$

Trong công thức này các kích thước vẽ chiều dài tính theo *centimet*, B_δ theo *Tesla* còn A theo A/cm .

Công thức (1-2) biểu thị sự liên hệ giữa các kích thước chủ yếu D , l_δ với công suất P' , tốc độ quay n và tải điện từ A , B_δ .

Biểu thức (1-2) viết dưới dạng tỷ số:

$$\frac{D^2 l_\delta n}{P'} = \frac{6 \cdot 10^7}{\alpha_\delta k_k \alpha_\delta A B_\delta} = C_A \quad (1-3)$$

gọi là hằng số máy điện hay hằng số Arnold.

Hằng số máy điện được dùng để xác định các kích thước chủ yếu của máy điện và như trên đã nói, từ đó xác định một loạt các tham số quan trọng khác.

Căn cứ vào biểu thức của hằng số máy điện C_A , có thể có những nhận xét sau:

a) Có thể cho rằng ở các máy điện thường α_δ , k_k , k_d không

đôi, do đó các kích thước của máy điện chỉ phụ thuộc vào tải điện từ A và B_A . Tải điện từ càng lớn thì kích thước máy càng nhỏ. Dĩ nhiên khi tải điện từ quá lớn, các bộ phận của máy sẽ có thể bị đốt nóng quá mức cho phép làm ảnh hưởng xấu đến các đặc tính làm việc của máy. Ở một máy điện, khi các giá trị của công suất P , điện áp U , tốc độ quay n , các kích thước chủ yếu D và l đã xác định thì tích số AB_A là một hằng số nhưng tỷ số A/B_A là một số biến đổi. Việc chọn tỷ số A/B_A có ảnh hưởng đến tính năng của máy. Ở máy điện một chiều, tỷ số A/B_A ảnh hưởng đến chế độ làm việc của máy, ảnh hưởng đến yêu cầu về đối chiều dòng điện. Ở máy điện xoay chiều, tỷ số A/B_A ảnh hưởng đến các tham số và từ đó chi phối hệ số công suất $\cos\varphi$, sự ổn định của máy khi làm việc song song v.v

Thực tế cho thấy rằng, việc nâng cao phẩm chất của vật liệu tác dụng, vật liệu cách điện, việc chọn hình dáng hình học của máy một cách hợp lý, hệ thống quạt gió tốt và việc hoàn thiện công nghệ chế tạo cho phép ngày càng nâng cao được tải điện từ A , B_A , nhờ đó giảm được kích thước của máy mà vẫn giữ nguyên công suất

Trong khi nâng cao trị số A và mật độ dòng điện J còn phải chú ý đến ảnh hưởng của chúng đến sự phát nóng của máy. A và J trong dây quấn về bản chất quyết định tổn hao đồng của máy điện. Biểu thức tổn hao điện trong dây dẫn của phần dây quấn nam trong giới hạn chiều dài của rãnh có dạng sau:

$$P_c = m(2\omega)r'l^2 = m(2\omega)\rho \frac{1}{S_d} I^2 \approx 2m\omega\rho l I J, \quad W \quad (1-4)$$

trong đó:

r' - điện trở phần dây dẫn nằm trong rãnh, Ω

ρ - điện trở suất của vật liệu dây dẫn, $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

l - chiều dài dây dẫn nằm trong rãnh, m

S_d - tiết diện dây dẫn, mm^2

Quan hệ (1-4) dùng cho phản ứng của tất cả các máy điện. Từ quan hệ này có thể định nghĩa suất tải nhiệt p_c của mặt tru phản ứng gây nên bởi tổn hao điện trong dây quấn:

$$p_c = \frac{P_c}{\pi D l} = \rho \frac{2 m w l l J}{\pi D l} = \frac{\rho}{100} A J \cdot \frac{W}{cm^2} \quad (1-5)$$

trong đó D và l là đường kính và chiều dài phản ứng tính theo centimet. Quan hệ (1-5) cho ta thấy tổn hao điện (đồng) phụ thuộc vào việc chọn tải điện từ A , J và vật liệu dẫn điện.

b) Lượng $D^2 l_\delta$ tỷ lệ với thể tích của rôto. Ở tốc độ quay xác định, thể tích của stato phụ thuộc vào $D^2 l$. Như vậy tỷ số $\frac{D^2 l}{P'}$, biểu thị gần đúng thể tích của máy trên đơn vị công suất. Nếu A và B_δ không đổi, thể tích ấy tỷ lệ nghịch với tốc độ quay n , nghĩa là nếu cùng công suất, các máy có tốc độ quay càng cao thì có kích thước và trọng lượng càng nhỏ. Kết luận này được khẳng định bằng thực tế trên những máy điện có tốc độ quay cao đến mức cho phép của ứng suất cơ trên bề mặt quay.

c) Nếu viết công thức (1-2) dưới dạng:

$$C_v = \frac{D^2 l_\delta}{\left(\frac{P'}{n}\right)} = \frac{60}{2\pi} \frac{D^2 l_\delta}{M} \quad (1-6)$$

trong đó $M = \frac{P'}{\omega} = \frac{P'}{2\pi \frac{n}{60}}$ là mômen tính toán, thì hằng số máy

điện biểu thị tỷ lệ thể tích vật liệu tác dụng trên đơn vị mômen tính toán. Như vậy nghịch đảo của C_v là:

$$K_v = \frac{1}{C_v} = -\frac{2\pi}{60} \frac{M}{D^2 l} \quad (1-7)$$

sẽ biểu thị mômen tính toán trên đơn vị thể tích và được gọi là

hệ số sử dụng đặc trưng cho việc sử dụng vật liệu tác dụng.

Trên đây là những vấn đề tổng quát nhất. Còn những vấn đề cụ thể khác như cách tính P' , cách chọn A , B_j và các kích thước D , l sẽ được đề cập một cách chi tiết khi nghiên cứu quá trình thiết kế từng loại máy điện.

1.6. QUAN HỆ GIỮA NHỮNG MÁY ĐỒNG DẠNG

Mục đích của phần này là tìm mối quan hệ giữa kích thước D , l , trong lượng G , giá thành C và tổn hao Σp với công suất P' trên những máy nếu là đồng dạng trong dây công suất có cùng tốc độ quay và có mật độ dòng điện J và mật độ từ thông B_j không đổi, cũng như trên những máy cùng loại có tốc độ quay khác nhau. Mối quan hệ ấy cho ta một định hướng tổng quát khi thiết kế dây máy, đồng thời giải thích vì sao không có sự đồng dạng của máy trong suốt dây công suất.

Ta gọi những máy đồng dạng là những máy mà tất cả các kích thước tương ứng của chúng tỷ lệ với nhau. Hai máy A và B đồng dạng khi :

$$\frac{D_A}{D_B} = \frac{I_A}{I_B} = \frac{b_{tA}}{b_{tB}} = \frac{h_{rA}}{h_{rB}} \dots$$

Trong các tỷ số trên, b_t , h_r là chiều rộng và chiều cao của rãnh.

Theo biểu thức (1-1), ta có:

$$P' = EI = EJs_{Cu} \quad (1-8)$$

trong đó J - mật độ dòng điện dây dẫn, s_{Cu} - tiết diện dây dẫn.

Ở tần số và tốc độ quay đã cho, sức điện động tỷ lệ với số vòng dây và từ thông cảm ứng nên sức điện động đó:

$$E \equiv w\Phi = wBS_{Fe} \quad (1-9)$$

ở đây:

B - mật độ từ thông;

S_{Fe} - tiết diện đoạn mạch từ đang xét.

Từ (1-8) và (1-9), với B và J không đổi, ta có:

$$P' = wBS_{Fe}Js_{Cu} = BJS_{Fe}s_{Cu} \equiv S_{Fe}S_{Cu}$$

trong đó $ws_{cu} = S_{cu}$ là tiết diện đồng của tất cả w vòng dây. Biết rằng các tiết diện S_{lc} và S_{cu} tỷ lệ với bình phương kích thước đường thì trong các máy đồng dạng (có thể chọn bất kỳ kích thước nào), ta có:

$$P' \equiv S_{lc} S_{cu} \equiv l^2 l^2 = l^4 \quad (1-10)$$

Mặt khác, trọng lượng vật liệu tác dụng (sắt và đồng) tỷ lệ với thể tích của chúng và trong điều kiện J, B không đổi có thể cho rằng giá tiền vật liệu tác dụng C , tổn hao trong vật liệu tác dụng Σp tỷ lệ với trọng lượng của chúng. Thể tích V tỷ lệ với lập phương của kích thước đường, do đó:

$$C \equiv \Sigma p \equiv G \equiv V \equiv l^3 \quad (1-11)$$

Từ biểu thức (1-10) và (1-11) ta thấy, khi tăng kích thước đường, trọng lượng G và giá thành C của vật liệu tác dụng của dây máy đồng dạng tăng chậm hơn công suất P' . Nếu tính theo một đơn vị công suất, ta có:

$$\frac{C}{P'} \equiv \frac{\Sigma p}{P'} \equiv \frac{G}{P'} \equiv \frac{1}{\sqrt[4]{P'}} \quad (1-12)$$

Từ đó ta thấy giá tiền, trọng lượng vật liệu tác dụng và tổn hao trong vật liệu tác dụng trên một đơn vị công suất trong dây máy đồng dạng biến thiên tỷ lệ nghịch với căn bậc 4 của công suất tính toán.

Trong các máy đồng dạng của dây công suất, cho rằng tốc độ quay như nhau thì mômen M tỷ lệ với công suất:

$$M \equiv P' \equiv l^4 \quad (1-13)$$

Nếu xét những máy cùng loại với tốc độ quay khác nhau thì:

$$P' \equiv Mn \equiv l^4 n \quad (1-14)$$

Nghĩa là nếu cùng kích thước và tải điện từ, công suất máy tỷ lệ với tốc độ quay n , điều này cũng nhận ra được từ biểu thức tính hằng số máy điện (1-3). Trong thực tế, khi tốc độ n càng cao, điều kiện làm nguội máy được tăng cường, nên từ một giới hạn tốc độ quay nào đó trở lên, công suất tăng nhanh hơn tốc độ

quay một ít, do đó có thể tăng thêm được B và J

Biểu thức (1-11) cho ta thấy tổn hao trong vật liệu tác dụng - tổn hao chủ yếu trong máy điện - tỷ lệ bậc ba với kích thước đường trong khi hệ mật làm nguội chỉ tỷ lệ bậc hai với kích thước đường. Do đó khi tăng cấp công suất (dẫn đến phải tăng kích thước đường) phải đặt vấn đề làm nguội máy tốt hơn mà biện pháp chủ yếu là thay đổi hệ thống làm nguội máy. Chính từ đó bắt buộc phải thay đổi hình dạng của máy và dĩ nhiên sự đồng dạng không còn nữa. Trong thực tế chế tạo máy điện, khi tăng cấp công suất còn phải lưu ý đến kết cấu, công nghệ v.v. cho nên không thể có được tất cả các mối quan hệ đồng dạng từ (1-10) đến (1-11), có nghĩa là không thể có sự đồng dạng của các máy trong suốt dãy công suất.

1.7. QUAN HỆ GIỮA ĐƯỜNG KÍNH VÀ CHIỀU DÀI

Với công suất P và tốc độ n cho trước, cho dù A và B_δ đã chọn xong, trước mặt người thiết kế vẫn tồn tại vô số vấn đề phải giải đáp, trước hết là vấn đề quan hệ giữa đường kính D và chiều dài l_δ. Từ biểu thức (1-3) với các giá trị đã xác định của A và B_δ, ta có:

$$D^3 l_{\delta} = C \sqrt{\frac{P}{n}} \quad (1-15)$$

Biểu thức (1-15) cho thấy, với một thể tích D³l_δ xác định, máy điện có thể có nhiều dạng dài ngắn khác nhau, từ đó nảy sinh ra vấn đề tỷ lệ trọng lượng và giá thành của phần đồng và phần thép.

Trong thiết kế máy điện quay, người ta thường dùng tỷ số $\lambda = \frac{l_{\delta}}{r}$ để xác định D và l_δ, tối ưu khi chú ý rất nhiều đến giá thành thấp nhất về vật liệu và công nghệ chế tạo. Cho đến nay vấn đề này dựa nhiều vào kinh nghiệm và thử nghiệm trên

những máy đã chế tạo và vận hành.

Việc chọn cụ thể 1 cho từng loại máy sẽ được trình bày chi tiết trong các chương nói về các máy cụ thể.

Vật liệu thường dùng trong máy điện

Trong thiết kế máy điện, vấn đề chọn vật liệu để chế tạo máy có một vai trò rất quan trọng và ảnh hưởng rất lớn đến giá thành và tuổi thọ làm việc của máy.

Có thể chia các vật liệu dùng để chế tạo máy điện ra làm các loại sau:

a. *Vật liệu tác dụng*: là những vật liệu dẫn điện và dẫn từ trong đó tạo nên quá trình biến đổi điện từ.

b. *Vật liệu kết cấu*: là những vật liệu dùng để chế tạo các chi tiết liên kết các mạch điện và mạch từ hoặc các bộ phận truyền động của máy.

c. *Vật liệu cách điện*: là những vật liệu không dẫn điện, dùng để cách ly các bộ phận dẫn điện với các bộ phận khác của máy, đồng thời cách ly các dây dẫn điện với nhau.

2.1. VẬT LIỆU DẪN TỪ

Để chế tạo các phần của hệ thống mạch từ của máy điện, người ta dùng những vật liệu sắt từ khác nhau như các loại thép lá kỹ thuật điện, thép đúc, thép rèn, thép lá và hợp kim thép.

2.1.1. Thép lá kỹ thuật điện (tôn silic)

Hàm lượng silic trong thép lá kỹ thuật điện có ảnh hưởng

quyết định đến tính năng của nó. Cho silic vào thép có thể làm cho điện trở suất tăng cao, do đó hạn chế được dòng điện xoáy nên tổn hao thép sẽ thấp xuống, nhưng khi có silic thì cường độ từ cảm cũng hạ thấp, độ cứng và độ giòn cũng tăng lên, vì vậy lượng silic trong thép nói chung không vượt quá 4,5%

Trong lõi thép có từ trường biến thiên, khi mật độ từ thông và tần số biến thiên không đổi thì tổn hao vì dòng điện xoáy của đơn vị thể tích lõi thép tỷ lệ bình phương với chiều dày lá thép, vì vậy trong đại bộ phận máy điện đều dùng tôn silic dày 0,5 mm. Chỉ trong trường hợp đặc biệt mới dùng tôn dày 0,35 mm.

Tuỳ theo công nghệ cán, người ta chia tôn silic ra làm 2 loại, tôn cán nóng và cán nguội

a. *Tôn cán nóng*. Loại tôn này có lịch sử lâu đời, hiện nay vẫn còn sản xuất nhiều. Tuỳ theo hàm lượng silic mà phân ra loại ít silic ($\leq 2,8\%$) và nhiều silic ($> 2,8\%$).

b. *Tôn cán nguội*. So với tôn cán nóng, tôn cán nguội có nhiều ưu điểm như suất tổn hao nhỏ, cường độ từ cảm cao, chất lượng bề mặt tốt, độ bằng phẳng tốt nên hệ số ép chặt lá tôn cao, có thể sản xuất thành cuộn, do đó các nước phát triển đều dùng tôn cán nguội thay thế tôn cán nóng. Tuỳ theo sự sắp xếp các tinh thể silic trong tôn cán nguội mà phân làm hai loại: đẳng hướng và dị hướng. Ở tôn silic cán nguội dị hướng thì theo chiều cán, suất dẫn từ cao (với cường độ từ trường $H = 25 \text{ A/cm}$, mật độ từ thông B_{25} có thể đạt $1,7 \sim 1,85 \text{ T}$), suất tổn hao nhỏ, nhưng theo chiều vuông góc với chiều cán thì tính năng kém đi nhiều, có khi không bằng cả tôn cán nóng, vì vậy loại tôn này chỉ thích ứng với lõi thép máy biến áp, còn trong máy điện chỉ dùng tôn cán nguội đẳng hướng.

Tính năng tôn cán nguội của một số nước được liệt kê trong bảng 2.1

**Bảng 2.1. So sánh tính năng từ tính của tôn cán nguội
dày 0,5mm của một số nước**

	Ký hiệu	P _{1,0/50} (W/kg)	P _{1,5/50} (W/kg)	B ₂₅ (T)	B ₅₀ (T)
Mỹ	M-15	1,14	2,85		
	M-19	1,27	3,11		
	M-22	1,39	3,30		
	M-27	1,56	3,58		
	M-36	1,78	3,99		
	M-43	2,09	4,89		
	M-45	2,43	5,81		
	M-47	3,85	7,71		
Nga	2013	2,6		165	
	2211	2,5		146	
	2312	1,75		146	
	2411	1,6		15	
	CK-29	1,25	2,9		
	CK-31	1,35	3,1		
	CK-33	1,45	3,3		
Thụy Điển	CK-37	1,65	3,6		
	CK-40	1,7	4,0		
	CK-43	1,75	4,0		
	CK-70	3,0	6,8		
	CK-80	3,3	8,0		
	CK-90	3,6	8,6		
Thị trường chung châu Âu	FeV125-50HA	1,25	3,1	1,49	1,6
	FeV135-50HA	1,35	3,3	1,49	1,6
	FeV150-50HA	1,5	3,5	1,5	1,6
	FeV170-50HA	1,7	4,0	1,51	1,61
	FeV200-50HA	2,0	4,7	1,52	1,62

	FeV230-50HA	2,3	5,3	1,54	1,64
	FeV260-50HA	2,6	6	1,55	1,65
	FeV300-50HA	3,0	6,8	1,56	1,66
	FeV360-50HA	3,6	8,1	1,58	1,68
Nhật	H80		3,5		1,59
	H12		3,6		1,6
	H14		4,0		1,61
	H18		4,65		1,65
	H20		5,4		1,65
	H23		6,2		1,66
Italia	D1-MAX 1350	1,3	3,1	1,51	1,61
	D1-MAX 1550	1,5	3,5	1,52	1,62
	D1-MAX 1750	1,7	4,0	1,52	1,62
	D1-MAX 2050	2,0	4,7	1,53	1,63
	D1-MAX-2350	2,3	5,3	1,54	1,64
	D1-MAX-2650	2,6	6,0	1,55	1,65
	D1-MAX-3050	3,0	6,8	1,56	1,66
Pháp	η° 160	1,6	4,1		1,55
	η° 170	1,7	4,1		1,55
	η° 200	2,0	4,9		1,55
	η° 230	2,3	5,6		1,57
	η° 260	2,6	6,3		1,58
	η° 300	3,0	7,2		1,6
	η° 360	3,6	8,6		1,63
Đức	V135-50A	1,35	3,3	1,49	1,6
	V150-50A	1,5	3,5	1,5	1,6
	V170-50A	1,7	4,0	1,51	1,61
	V200-50A	2,0	4,7	1,52	1,62
	V230-50A	2,3	5,3	1,54	1,64

Anh	V26U-50A	2.6	6.0	1.55	165
	V300-50A	3.0	6.8	1.56	166
	V360-50A	3.6	8.1	1.58	168
	355		3.55		
	400		4.0		
	450		4.5		
	500		5.0		
	LY-CORE-130	1.3	3.2	1.51	161
	LY-CORE-140	1.4	3.4	1.51	161
	LY-CORE-150	1.5	3.6	1.52	162
Úc	LY-CORE 170	1.7	4.0	1.53	163
	LY-CORE 200	2.0	4.7	1.54	164
	LY-CORE 220	2.2	5.2	1.55	165
	LY-CORE 260	2.6	6.0	1.56	166
	LY-CORE 350	3.5	7.7	1.58	168
	LY-CORE 800	8.0	19.0		

2.1.2. Tôn không silic

Tôn không silic là tôn có hàm lượng silic $< 0,5\%$. Do giá thành hạ (so với tôn silic thấp hơn 30%), cường độ từ cảm cao, dẫn nhiệt tốt, dễ hàn, dễ dập nên các nước phát triển đã dùng rộng rãi loại tôn này để làm lõi sắt của những máy điện công suất nhỏ.

2.1.3. Thép hợp kim, thép tấm, thép đúc

Rôto máy phát tuabin khí thường làm bằng thép hợp kim rèn khối lớn để đảm bảo độ bền cơ. Thường dùng thép hợp kim 34CrNi3Mo, 25CrNi3MoV, 26Cr2Ni4MoV... Cường độ kéo của những thép hợp kim này đều trên 60 MN/mm, cường độ từ cảm của một số hợp kim đều đạt đến $B_{50} \geq 1,6 T$.

Thân, cực từ của máy điện một chiều có khi dùng thép đúc. Thành phần của thép đúc cũng ảnh hưởng đến đặc tính từ. Các

chi tiết thép đúc trong máy điện thường có cường độ từ cảm $B_{25} = 1,36 \sim 1,5 \text{ T}$; $B_{20} = 1,55 \sim 1,62 \text{ T}$, so với gang ($B_{25} = 0,7 \text{ T}$) thì từ tính tốt hơn nhiều.

Trong máy điện một chiều công suất không lớn, thân máy có thể dùng thép tấm uốn lại, như vậy dễ gia công. Thường tính năng dẫn từ của các loại thép tấm là $B_{25} = 1,52 \text{ T}$.

Để giảm tổn hao do dòng điện xoáy gây ra, người ta có thể dùng sơn cách điện đặc biệt sơn phủ lên bề mặt các lá thép trước khi ghép chúng lại với nhau thành lõi sắt. Khi chiều dài lõi sắt không dài qua 14 - 15 cm thì có thể không cần phủ sơn. Thường dùng hệ số ép chặt lõi sắt k_c để chỉ quan hệ giữa chiều dài phần sắt với chiều dài thực của lõi sắt. Hệ số này phụ thuộc vào áp suất ép lõi sắt, độ không đồng đều của bề dày các lá thép, chiều dày lớp sơn cách điện và chiều dày lá thép. Hệ số k_c được ghi trong bảng 2.2.

Bảng 2.2. Hệ số k_c

Chiều dày lá thép, mm	Không phủ sơn	Có phủ sơn
10 - 2,0	0,98 - 0,97	0,95
0,5	0,95	0,93
0,35	0,93	0,91

2.2. VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN

Trong ngành chế tạo máy điện, người ta chủ yếu dùng đồng tinh khiết với tạp chất không quá 0,1% làm vật liệu dẫn điện vì điện trở suất của đồng chỉ kém bạc. Ngoài đồng ra còn dùng nhôm với tạp chất không quá 0,5%, đồng thau và đồng đen. Bảng 2.3 ghi các đặc tính vật lý của đồng và nhôm.

Bảng 2.3. Tính chất vật lý của đồng và nhôm

Tính chất vật lý	Đồng	Nhôm
Nhiệt độ nóng chảy $^{\circ}\text{C}$	1084,5	658
Tỷ trọng ở 20°C , g/cm^3	8,9	2,7
Điện trở suất ở 20°C $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	$17,9 \cdot 10^{-3}$	$29 \cdot 10^{-3}$
Hệ số nhiệt điện trở, $1/^{\circ}\text{C}$	3,85	4,03
Tỷ nhiệt ở 20°C $\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$	385,2	921,1
Hệ số dẫn nhiệt ở 20°C , $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$	386	217
Hệ số giãn nở dài ($20-100^{\circ}\text{C}$), $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	16,6	23
Cường độ kháng kéo MN/m^2	350-450	150

Từ bảng trên thấy rằng, tính năng dẫn điện và tính năng cơ của đồng đều tốt hơn nhôm, đồng khó bị oxy hóa, dễ hàn nên dùng làm vật liệu dẫn điện rất thích hợp, nhưng đồng đắt hơn nhôm nhiều.

Điện trở suất của nhôm lớn hơn đồng 1,6 lần, tỷ trọng của nhôm chỉ bằng 30,3%, giá thành lại rẻ, nhưng độ bền cơ kém, công nghệ hàn rất phức tạp nên việc sử dụng bị hạn chế. Thường dùng nhôm để đúc rôto lồng sóc của máy điện không đồng bộ.

2.3. VẬT LIỆU KẾT CẤU

2.3.1. Kim loại đen

Kim loại đen dùng trong kết cấu máy điện thường là gang và thép. Gang vừa rẻ tiền lại dễ đúc, do đó được dùng nhiều, nhất là dùng để đúc các hình mẫu phức tạp như vỏ và nắp máy điện không đồng bộ và đồng bộ cỡ nhỏ, giá đỡ hình trụ rỗng trong rôto và cổ góp của máy điện một chiều, giá đỡ và các chi tiết khác của máy có yêu cầu về độ bền không cao lắm.

Thép dùng làm vật liệu kết cấu thường là thép định hình. Thép có tiết diện tròn dùng để chế tạo trục máy và các chi tiết

khác có tiết diện tròn. Tùy theo lực tác dụng lên từng chi tiết của máy mà người ta sử dụng những loại thép khác nhau.

Thép tấm được dùng nhiều để làm vỏ, nắp, giá đỡ của các máy điện lớn, cánh quạt gió và các chi tiết khác. Tùy theo yêu cầu mà sử dụng những loại thép khác nhau. Dây thép dùng để đai rôto hoặc làm lò xo nén chổi than.

2.3.2. Kim loại màu

Thường dùng hợp kim nhôm để chế tạo các chi tiết và bộ phận của máy mà trọng lượng cần giảm tối đa như các máy điện dùng trên máy bay hay các máy cân di chuyển luôn. Hợp kim nhôm có nhiều loại nhưng thông dụng nhất là hợp kim nhôm có thành phần là Al (87%) và Si (13%).

Đồng được dùng trong các chi tiết vừa có tính chất kết cấu vừa dẫn điện như giá, hộp chổi than và các chi tiết cần cách từ...

Goi trục thường dùng hợp kim babit để chống sự mài mòn. Thành phần của babit gồm có thiếc, antimoan và đồng.

2.3.3. Vật liệu chất dẻo

Chất dẻo hiện nay được dùng nhiều để chế tạo các chi tiết trong máy điện ít chịu lực cơ học và nhiệt. Chất dẻo có ưu điểm là nhẹ, dễ gia công và không bị han rỉ. Trong máy điện nhỏ dùng làm vỏ, nắp máy, lõi cổ góp, giá đỡ chổi than, cánh quạt.

2.4. VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

Vật liệu cách điện là một trong những vật liệu chủ yếu dùng trong ngành chế tạo máy điện. Khi thiết kế máy điện, chọn vật liệu cách điện là một khâu rất quan trọng vì phải đảm bảo máy làm việc tốt với tuổi thọ nhất định, đồng thời giá thành của máy lại không cao. Những điều kiện này phụ thuộc phần lớn vào việc chọn vật liệu cách điện của máy.

Khi chọn vật liệu cách điện cần chú ý đến những yêu cầu sau:

1. Vật liệu cách điện phải có độ bền cao, chịu tác dụng cơ học tốt, chịu nhiệt và dẫn nhiệt tốt lại ít thấm nước

2. Gia công dễ dàng, đủ mỏng để đảm bảo hệ số lấp đầy rãnh cao.

3. Phải chọn vật liệu cách điện có tính cách điện cao để đảm bảo thời gian làm việc của máy ít nhất là 15 - 20 năm trong điều kiện làm việc bình thường, đồng thời đảm bảo giá thành của máy không cao

Một trong những yếu tố cơ bản nhất làm giảm tuổi thọ của vật liệu cách điện (cung là tuổi thọ của máy) là nhiệt độ. Nếu nhiệt độ vượt quá nhiệt độ cho phép thì chất điện môi, độ bền cơ của vật liệu giảm đi nhiều, dẫn đến sự già hóa nhanh chóng chất cách điện

Hiện nay, theo nhiệt độ cho phép của vật liệu (nhiệt độ mà vật liệu cách điện làm việc tốt trong 15-20 năm ở điều kiện làm việc bình thường), Hội kỹ thuật điện quốc tế IEC đã chia vật liệu cách điện thành các cấp sau đây:

Cấp cách điện	Y	A	E	B	F	H	C
Nhiệt độ cho phép, °C	90	105	120	130	155	180	>180

Vật liệu cách điện thuộc các cấp cách điện trên đại thể có các loại sau:

Cấp Y: Gồm có sợi bông, tơ, sợi nhân tạo, giấy và chế phẩm của giấy, cactông, gỗ v.v... Tất cả đều không tẩm sơn cách điện. Hiện nay ít dùng cấp này vì chịu nhiệt kém.

Cấp A: Vật liệu chủ yếu của cấp này cũng giống như cấp Y nhưng có tẩm sơn cách điện. Cấp A được dùng rộng rãi cho các máy điện công suất đến 100 kW, nhưng chịu ẩm kém, sử dụng ở vùng nhiệt đới không tốt.

Cấp E: Dùng các màng mỏng và sợi bằng pôlyetylen têrêftalat, các sợi tẩm sơn tổng hợp làm từ êpôxy, trêalat và aceton buterát xenlulô, các màng sơn cách điện gốc vỏ cơ trắng ngoài dây dẫn

(dây êmay có độ bền cơ cao). Cấp E được dùng rộng rãi cho các máy điện có công suất nhỏ và trung bình (đến 100 kW hoặc hơn nữa), chịu ẩm tốt nên thích hợp cho vùng nhiệt đới.

Cấp B: Dùng vật liệu lấy từ gốc vô cơ như mica, amiăng sợi thủy tinh, dầu sơn cách điện chịu nhiệt độ cao. Cấp B được sử dụng nhiều trong các máy công suất trung bình và lớn.

Cấp F: Vật liệu cũng tương tự như cấp B nhưng có tấm sơn cách điện gốc silicat chịu nhiệt độ cao. Ở cấp F không dùng các chất hữu cơ như vải lụa, giấy và cactông.

Cấp H: Vật liệu chủ yếu ở cấp này là sợi thủy tinh, mica, amiăng như ở cấp F. Các chất này được tấm sơn cách điện gốc silicat chịu nhiệt đến 180°. Người ta dùng cấp H trong các máy điện làm việc ở điều kiện phức tạp có nhiệt độ cao.

Cấp C: Dùng các chất như sợi thủy tinh, thạch anh, sứ chịu nhiệt độ cao. Cấp C được dùng ở các máy làm việc với điều kiện đặc biệt có nhiệt độ cao.

Việc chọn vật liệu cách điện trong máy điện có một ý nghĩa quyết định đến tuổi thọ và độ tin cậy lúc vận hành của máy. Do vật liệu cách điện có nhiều chủng loại, kỹ thuật chế tạo vật liệu cách điện ngày càng phát triển, nên việc chọn kết cấu cách điện càng khó khăn và thường là phải chọn tổng hợp nhiều loại cách điện để thỏa mãn được những yêu cầu về cách điện.

Vật liệu cách điện trong ngành chế tạo máy điện thường do nhiều vật liệu hợp lại như mica phenol, chất phụ gia (giấy hay sợi thủy tinh) và chất kết dính (sơn hay keo dán). Đối với vật liệu cách điện, không những yêu cầu có độ bền cơ cao, chế tạo dễ mà còn có yêu cầu về tính năng điện: có độ cách điện cao, dòng điện rò. Ngoài ra còn có yêu cầu về tính năng nhiệt: chịu nhiệt tốt, dẫn nhiệt tốt và yêu cầu chịu ẩm tốt.

Vật liệu cách điện dùng trong một máy điện hợp thành một hệ thống cách điện. Việc tổ hợp các vật liệu cách điện, việc dùng sơn hay keo để gắn chặt chúng lại, ảnh hưởng giữa các chất cách

điện với nhau, cách gia công và tình trạng bề mặt vật liệu v.v... sẽ quyết định tính năng về cơ, điện, nhiệt của hệ thống cách điện, và tính năng của hệ thống cách điện này không thể hiểu một cách đơn giản là tổng hợp tính năng của từng loại vật liệu cách điện.

Để việc chọn vật liệu cách điện được thiết thực hơn cần phải chú ý đến môi trường sử dụng và điện áp máy. Thường có những môi trường làm việc đặc biệt sau:

- Môi trường ẩm ướt. Ở đây độ ẩm tương đối rất cao (98% ở nhiệt độ 20°). Vật liệu phải chịu ẩm tốt.
- Môi trường nhiệt đới. Vật liệu phải chịu nhiệt, chịu ẩm tốt.
- Môi trường có hóa chất. Phải sử dụng sơn tẩm và sơn phủ đặc biệt chống sự phá hoại của hơi hóa chất.
- Môi trường rất lạnh. Vật liệu không được nứt rạn ở nhiệt độ thấp.
- Máy điện có điện áp cao

Kết cấu cách điện của một số loại dây quấn máy điện có ghi trong phụ lục VIII.

2.5. CHỖI THAN

Vấn đề chọn chổi than của máy điện, đặc biệt là chổi than của cổ góp có quan hệ trực tiếp đến độ tin cậy của máy điện. Chổi than dùng cho máy điện có thể chia làm các nhóm sau: than graphit, graphite, graphite điện luyện và graphite kim loại. Tùy theo thành phần và phương pháp chế tạo mà các loại chổi than có những đặc tính khác nhau.

Khi chọn chổi than cho máy điện phải dựa trên cơ sở thí nghiệm và qua vận hành máy ở các điều kiện khác nhau.

Khi chọn chổi than có thể tham khảo phụ lục X.

Chú thích: Hệ số ma sát của các chổi than cổ góp là 0,25, nếu là vành trượt thì vào khoảng 0,15 - 0,17.

2.6. ẢNH HƯỞNG CỦA MÔI TRƯỜNG NHIỆT ĐỚI ĐỐI VỚI VẬT LIỆU KỸ THUẬT ĐIỆN

Nước ta là một nước ở vùng nhiệt đới, nghĩa là có nhiệt độ và độ ẩm cao. Môi trường nhiệt đới có ảnh hưởng xấu đến vật liệu kỹ thuật điện, vì vậy ngoài việc chú ý bảo vệ vật liệu còn phải xét đến việc sử dụng những vật liệu cách điện thích hợp cho môi trường nhiệt đới.

Ảnh hưởng của môi trường nhiệt đới bao gồm:

- *Nhiệt độ*: Rõ ràng nhiệt độ trung bình cao nhất của vùng nhiệt đới cao hơn vùng ôn đới, mặt khác nhiệt độ môi trường cao còn làm cho vấn đề làm nguội máy thêm khó khăn. Để giữ cho nhiệt độ của máy không vượt quá nhiệt độ cho phép thì phải chú ý chọn độ tăng nhiệt của máy thích hợp.

- *Độ ẩm*: Ở khí hậu nhiệt đới, độ ẩm tương đối thường cao hơn 80% vì vậy cách điện rất dễ bị ngấm ẩm làm cho điện trở cách điện của vật liệu cách điện bị giảm sút rất nhiều, gây hiện tượng phóng điện bề mặt. Ngoài ra dưới tác dụng của nhiệt và ẩm thì vật liệu cách điện bị già hóa nhanh chóng, chóng bị mủn và mất phẩm chất.

- *Mốc*: Vùng nhiệt đới là nơi rất thích hợp cho nấm mốc phát triển, mốc làm cho điện trở cách điện của vật liệu cách điện giảm xuống rõ rệt

Khí hậu nhiệt đới làm cho kim loại như sắt thép dễ bị han rỉ. Mối và một pha hai vật liệu cách điện Săm set nhiều nên nếu máy điện không được bảo vệ tốt thì cách điện của máy cũng dễ bị choc thủng.

Khi chọn vật liệu cách điện cho vùng nhiệt đới cần chú ý những điểm sau:

- a. Chọn vật liệu chịu nhiệt cao. Nói chung vật liệu cấp E trở lên đều dùng được ở vùng nhiệt đới

b. Không được dùng vật liệu cách điện dễ ngấm ẩm như vải bông, giấy, gỗ. . nếu chưa được ngâm tẩm cẩn thận sơn cách điện chịu ẩm và chịu nhiệt. Ném rãnh của máy điện nhỏ có thể dùng tre hoặc gỗ đã ngâm tẩm dầu biến áp

c Không được dùng giấy amiăng để cách điện giữa các vòng dây và cách điện giữa các lớp dây của cuộn dây kích từ làm bằng dây đồng trần. Phải thay bằng băng mica dán trên giấy đã ngâm tẩm sơn cách điện.

Kết cấu của dây quấn máy điện

A. DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

3.1. KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Dây quấn máy điện một chiều do nhiều phần tử nối tiếp nhau theo một quy luật nhất định và làm thành một mạch kín. Mỗi phần tử có một hay nhiều vòng dây và mỗi vòng dây do hai thanh dẫn ghép lại. Phần tử được đặt vào rãnh của lõi sắt phân ứng và nối với hai phiên đối chiều. Phần nằm trong rãnh gọi là cạnh tác dụng và phần ngoài gọi là phần đầu nối.

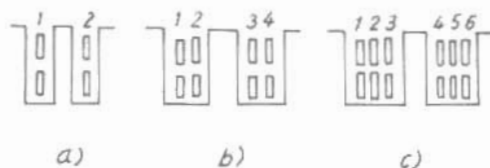
Trong các rãnh, thanh dẫn của phần tử được đặt thành hai lớp. Tùy theo trong rãnh của lõi sắt (gọi là rãnh thực) đặt một hoặc nhiều phần tử mà người ta chia rãnh thực ra làm nhiều rãnh nguyên tố (hình 3-1).

Thường các phần tử dây quấn được chế tạo bằng nhau (dây quấn đồng đều) và có khi để đối chiều được tốt còn dùng loại dây quấn phần tử có bề rộng khác nhau (dây quấn theo cấp) như ở hình 3-2

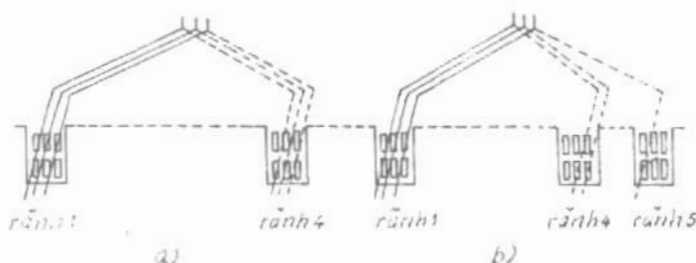
Nếu $\frac{y_1}{u}$ là số nguyên thì có dây quấn đồng đều;

Nếu $\frac{y_1}{u}$ không phải là số nguyên thì có dây quấn theo cấp.

y_1 là bước dây thứ nhất của dây quấn và u là số phần tử trong một rãnh thực.



Hình 3-1. Chia rãnh thực thành rãnh nguyên tố.
a. $u_r = 1$; b. $u_r = 2$; c. $u_r = 3$



Hình 3-2. a. Dây quấn đồng đều; b. Dây quấn theo cấp

Quan hệ giữa số phần tử S với số rãnh thực Z và số phiên đổi chiều G như sau:

$$u = \frac{S}{Z}$$

$$Z_{ngt} = uZ = S = G \quad (3-1)$$

$$S = \frac{N}{2w_p}$$

Ở đây:

Z_{ngt} - số rãnh nguyên tố;

N - tổng số thanh dẫn của dây quấn;

w_p - số vòng dây nối tiếp của một phần tử.

Các bước dây quấn của dây quấn máy điện một chiều gồm có:

- Bước dây thứ nhất y_1 là khoảng cách giữa hai cạnh tác

dụng đầu và cuối của phần tử, y_1 xác định bề rộng của phần tử.

- Bước dây thứ hai y_2 : là khoảng cách giữa cạnh cuối của phần tử trước và cạnh đầu của phần tử tiếp theo.

- Bước dây tổng hợp y : là khoảng cách giữa hai cạnh tương ứng của hai phần tử liền nhau.

- Bước dây trên vành đối chiều y_G : là khoảng cách giữa hai phần tử đối chiều nối với hai cạnh tương ứng của hai phần tử liền nhau.

Vì $Z_{ngt} = G$ nên ta có:

$$y = y_G$$

3.2. CÁC LOẠI DÂY QUẤN

3.2.1 Dây quấn xếp

Các bước dây quấn của dây quấn xếp như sau:

$$y_1 = \frac{Z_{ngt}}{2p} \pm \epsilon \quad \text{và}$$

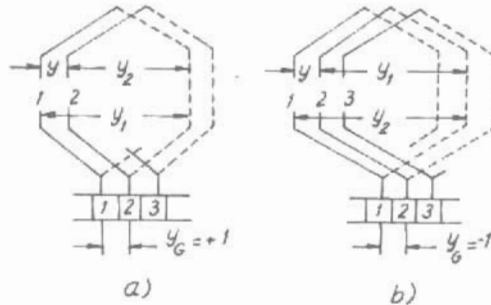
$$y = y_1 - y_2 = y_G = \pm m \quad (3-2)$$

Khi $y_G > 0$ ta có dây quấn phải (hình 3-3a);

Khi $y_G < 0$ ta có dây quấn trái (hình 3-3b).

Khi $m = 1$ ta có dây quấn xếp đơn; khi $m > 1$ ta có dây quấn xếp phức. Ở đây m là một số nguyên, dương.

Trong thực tế thường m không lớn hơn 2, vì dây quấn sẽ không đối xứng gây nên dòng điện cân bằng trong dây quấn



Hình 3-3. a. Dây quấn xếp phải;
b. Dây quấn xếp trái.

làm tăng tổn hao. Dây quấn xếp phức $m = 2$ được dùng trong máy điện có dòng điện lớn.

Số đôi mạch nhánh song song của dây quấn xếp là:

$$a = mp \quad (3-3)$$

Nếu y_G và G có ước số chung lớn nhất là g thì dây quấn xếp phức sẽ gồm g mạch vòng kín độc lập, ta gọi dây quấn có g mạch vòng độc lập.

3.2.2 Dây quấn sóng

Quan hệ giữa các bước của dây quấn sóng như sau:

$$y_1 + y_2 = y = y_G \quad (3-4)$$

trong đó y gần bằng 2τ nhưng phải khác 2τ .

Để thực hiện mạch khép kín phải có:

$$y = y_G = \frac{S \pm m}{p} \text{ là số nguyên} \quad (3-5)$$

Khi lấy dấu "+" ta có dây quấn sóng phải;

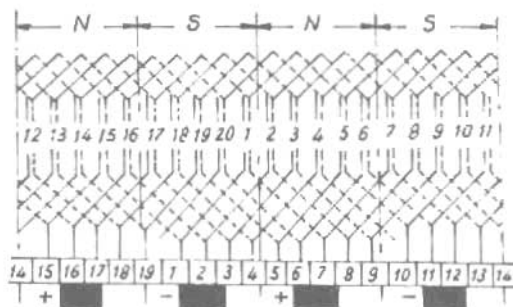
Khi lấy dấu "-" ta có dây quấn sóng trái.

Khi $m = 1$ ta có dây quấn sóng đơn và khi $m > 1$ ta có dây quấn sóng phức. Ở đây m là một số nguyên, dương.

Số đôi mạch nhánh song song của dây quấn phức là:

$$a = m \quad (3-6)$$

Từ những công thức trên ta thấy giữa p , S hay G phải có một quan hệ nhất định mới có thể thực hiện được dây quấn sóng. Ví dụ trong dây quấn sóng đơn, nếu $p = 2$ thì S hay G phải là một



Hình 3-4. Dây quấn sóng có phần tử chẵn

số nguyên lẻ vì như vậy trong công thức (3-5) tử số mới chia hẳn cho p được. Nếu $p = 2$ mà S là số nguyên chẵn (ví dụ $u = 2$) thì muốn dùng dây quấn sóng đơn ta phải trừ ra một phần tử không nối vào phiên đối chiều nào cả. Phần tử đó gọi là phần tử chết (hình 3-4).

Cũng giống như ở dây quấn xếp phức, dây quấn sóng phức cũng có thể có g mạch vòng độc lập khi g là ước số chung lớn nhất của y_G và G.

3.2.3. Dây quấn hỗn hợp

Dây là dây quấn kết hợp dây quấn sóng và dây quấn xếp lại và cùng nối lên các phiên đối chiều chung. Vì vậy ở dây quấn này mỗi phiên đối chiều có 4 thanh dẫn nối vào.

Điều kiện để nối dây quấn xếp và dây quấn sóng thành dây quấn hỗn hợp bao gồm:

- a. Các dây quấn sóng và xếp có số mạch nhánh như nhau:

$$2a_x = 2a_s = m_x(2p) \quad (3-7)$$

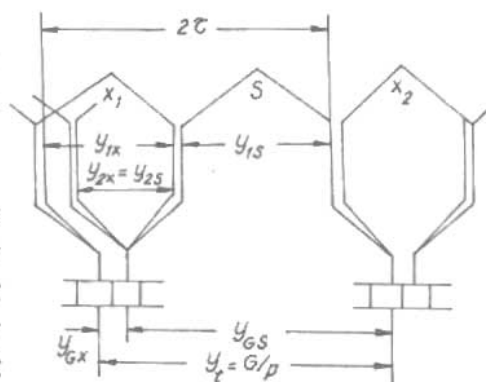
- b. Có số thanh dẫn như nhau để đảm bảo có sức điện động như nhau:

$$N_x = N_s \quad (3-8)$$

- c. Đảm bảo điều kiện đối xứng của dây quấn. Ít nhất phải có $\frac{Z}{p}$ và $\frac{G}{p}$ là số nguyên.

- d. Sức điện động trong mạch kín hợp thành do dây dẫn nối các chổi than cùng tên và các phần tử của dây quấn xếp và sóng phải bằng không.

Trong các công thức



Hình 3-5. Dây quấn hỗn hợp

trên, các ký hiệu nhỏ "x" và "s" là để chỉ dây quấn xếp và sóng.

Muốn thực hiện điều kiện thứ nhất thì dây quấn sóng phải là sóng phức với:

$$y_G = \pm m_s = \pm m_x p$$

Thường dây quấn hỗn hợp gồm dây quấn xếp đơn và dây quấn sóng phức. Số đôi mạch nhánh của dây quấn hỗn hợp bằng:

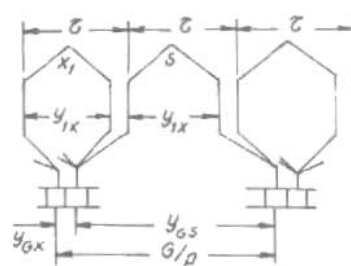
$$a = a_x + a_s = 2a_x \quad (3-9)$$

Quan hệ giữa dây quấn xếp và dây quấn sóng trong dây quấn hỗn hợp như sau:

Qua kết cấu dây quấn ta thấy chúng có tác dụng dây cân bằng điện thế cho nhau. Theo điều kiện thứ tư, ta có:

$$y_{1x} + y_{1s} = \frac{S}{p} = \frac{G}{p}$$

$$\text{và} \quad y_{Gx} + y_{Gs} = \frac{G}{p} = y_x + y_s$$



Hình 3-6. Dây quấn hỗn hợp Latua-Pêrê

$$\text{Vì} \quad y_{1x} - y_{2x} = y_x = y_{Gx}$$

$$y_{1s} + y_{2s} = y_s = y_{Gs}$$

cho nên dây quấn hỗn hợp phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$y_{2x} = y_{2s} \quad (3-10)$$

y_{Gs} cần phải chọn sao cho dây quấn sóng là một mạch kín. Trong dây quấn hỗn hợp bố trí như ở hình 3-5, dây quấn sóng có tác dụng như dây nối cân bằng cho dây quấn xếp và ngược lại dây quấn xếp là dây nối cân bằng của dây quấn sóng.

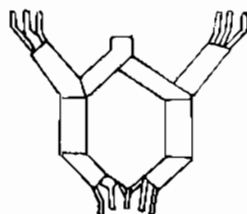
Có một cách thực hiện dây quấn hỗn hợp khác gọi là dây quấn Latua-Pêrê. Muốn thực hiện cách nối này trước tiên lấy theo sơ đồ cách nối trước, sau đó chuyển các cạnh tác dụng bên phải của các phân tử xếp, sóng về phía trái bên cạnh và ta có các phần tử

dây quấn bước ngắn (hình 3-6):

$$y_{1s} = y_{1r} < \tau$$

Ở sơ đồ nối dây Latua- Péré, các công thức trên vẫn thích hợp và tổng sức điện động ở các phần tử của dân quấn $s-p$, sóng trong bất cứ một mạch kín nào cũng bằng không

Từ hình 3-6 ta thấy, dây quấn kiểu này cần có số rãnh dưới một cực phải là số nguyên và chế tạo có phần phức tạp hơn loại hỗn hợp thường. Tuy vậy loại này có phần tử bước ngắn nên có tác dụng đối chiều tốt



Hình 3-7. Phần tử của dây quấn hỗn hợp

Kết cấu của các phần tử dây quấn hỗn hợp như ở hình 3-7. Sau khi đặt dây vào rãnh xong, ta hàn các cạnh tác dụng của phần tử dây quấn sóng lại.

Mặc dù dây quấn hỗn hợp có một số khuyết điểm như chế tạo và sửa chữa khó khăn, hệ số lấp đầy rãnh thấp, điều kiện làm nguội kém nhưng vẫn được áp dụng trong những trường hợp sau:

- Khi cần nâng cao công suất và tốc độ quay của máy điện một chiều loại lớn.
- Trong các máy điện có đường kính phần ứng cần phải thu nhỏ lại và không có dây quấn bù, như ở các động cơ điện quay thuận nghịch cần có mômen đà nhỏ.
- Trong các máy điện tốc độ quay cao, đường kính phần ứng tương đối nhỏ và việc bố trí dây cân bằng khó khăn.

3.3. ĐIỀU KIỆN ĐỐI XỨNG CỦA DÂY QUẤN

Dây quấn gọi là đối xứng khi phần ứng ở bất cứ vị trí nào của từ trường, sức điện động và điện trở trong của các mạch nhánh song song cũng đều bằng nhau. Trên thực tế, không cần nghiêm ngặt như vậy và coi dây quấn là đối xứng khi thỏa mãn được những yêu cầu sau đây:

1. Toàn bộ các thanh dẫn (hay phần tử) trong mỗi rãnh đều như nhau:

$$\frac{S}{Z} = \frac{G}{Z} = \frac{Z_{ngt}}{Z} = u = \text{số nguyên} \quad (3-11)$$

2. Mỗi đôi mạch nhánh phải có một số rãnh như nhau hay số phần tử như nhau:

$$\frac{Z}{a} = \text{số nguyên} \quad (3-12a)$$

$$\text{hay} \quad \frac{Z_{ngt}}{a} = \frac{G}{a} = \text{số nguyên} \quad (3-12b)$$

3. Cạnh của mỗi phần tử nằm trong một đôi mạch nhánh này đều phải tương ứng trong từ trường với cạnh của phần tử của các đôi mạch nhánh khác, nghĩa là phải có:

$$\frac{3p}{a} = \text{số nguyên} \quad (3-13)$$

Nghiên cứu áp dụng những điều kiện đối xứng đó đối với các loại dây quấn như sau:

a. Với dây quấn xếp đơn

Vì trong dây quấn xếp đơn, $2a = 2p$ nên công thức (3-13) luôn luôn được thỏa mãn.

Công thức (3-12a) và (3-12b) có thể viết thành: $\frac{G}{p}$ và $\frac{Z}{p}$ là số nguyên, nghĩa là số phiên góp hay số rãnh dưới mỗi đôi cực là số nguyên. Tốt nhất là dùng số lẻ vì như vậy giảm được sự đập

mạch của sức điện động trên chổi than và cải thiện đổi chiều

b. Với dây quấn xếp phức

Vì $2a = m(2p)$ nên theo công thức (3-13) ta có:

$$\frac{2p}{a} = \frac{2}{m}$$

Ta thấy chỉ khi $m = 2$ dây quấn mới có thể đối xứng được

Theo công thức (3-12) ta có $\frac{G}{a} = \frac{G}{mp} = \frac{G}{2p}$ Ta thấy G phải

là số chẵn. Ở trường hợp này vì G và $y_G (y_G = y = 2)$ có ước số chung là 2 do đó rõ ràng dây quấn có hai mạch kín. Trên thực tế cũng chỉ dùng loại dây quấn này là phổ biến. Chỉ với trường hợp không đối xứng nào đấy mới dùng $m = 3$ hoặc $m = 4$

Dây quấn xếp phức một mạch kín mặc dù không hoàn toàn đối xứng nhưng trong thực tế vẫn làm việc tốt. Điều kiện cần thỏa mãn là $\frac{Z}{p}$ và $\frac{G}{p} =$ số nguyên. G phải là số lẻ do đó Z và p cũng phải là số lẻ thì mới dùng dây quấn này được

c. Với dây quấn sóng đơn

Vì $a = 1$ nên công thức (3-12a) và (3-12b) luôn luôn được thỏa mãn.

Theo công thức (3-11) thì $\frac{S}{Z} = u$ là số nguyên cho nên từ công thức:

$$y = y_G = \frac{S \pm 1}{p} = \frac{Zu \pm 1}{p} = \text{số nguyên}$$

ta thấy Z và u không thể có bội số chung với p

d. Với dây quấn sóng phức

Phải thỏa mãn cả ba điều kiện. Vì $a \neq 1$ nên cần phải thỏa mãn điều kiện đối xứng đồng thời cần phải đạt được bước dây tổng hợp y là số nguyên.

$$y = y_G = \frac{S \pm m}{p} = \text{số nguyên}$$

do đó việc lựa chọn Z và u cũng bị hạn chế, có thể chọn u theo bảng 3.1.

Bảng 3.1. Trị số của $u = \frac{G}{Z}$ trong dây quấn sóng phức

a	p									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
1	3,5	2,4,5	3,5	2,3,4	5	2,3,4,5	3,5	2,4,5	3	5
2	-	2,4,5	3,5	2,3,4	2,4,5	2,3,4,5	3,4	2,4,5	2,3,4	5
3	-	-	-	-	3,5	-	-	2,4,5	-	3,5
4	-	-	-	-	-	-	3,5	-	-	2,4,5
5	-	-	-	-	-	-	-	-	3,5	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,5

3.4. DÂY CÂN BẰNG ĐIỆN THẾ

Tất cả các loại dây quấn, trừ dây quấn hỗn hợp, khi $a \neq 1$ đều phải đặt dây cân bằng điện thế để làm cho điều kiện đối chiếu được tốt hơn.

Có hai loại dây cân bằng điện thế. Dây cân bằng điện thế loại một dùng để triệt tiêu sự không đối xứng của hệ thống mạch từ trong máy điện và thường dùng trong dây quấn xếp; loại hai dùng để triệt tiêu sự không đối xứng của sự phân bố điện áp trên cổ góp.

Dây cân bằng điện thế nối liền các điểm của dây quấn về lý thuyết là đẳng thế. Các điểm đẳng thế được xác định nhờ các đa giác sức điện động của dây quấn.

Không kể loại dây cân bằng nào, số dây cân bằng N_1 bằng số

canh (hay đỉnh) của đa giác sức điện động của dây quấn.

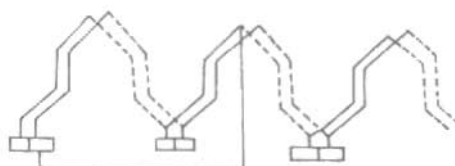
$$N_1 = \frac{G}{a} \quad (3-14)$$

Mỗi dây cân bằng nối liền a điểm đẳng thế của dây quấn. Để có thể thực hiện việc nối dây cân bằng với các điểm đẳng thế ở về một phía của phần ứng cần có điều kiện:

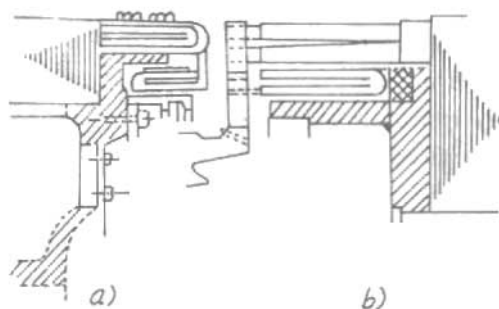
$$\frac{P}{a} = \text{số nguyên} \quad (3-15)$$

Nếu $\frac{P}{a}$ không phải là số nguyên thì phải nối các điểm của dây quấn ở hai bên lõi sắt phản ứng (hình 3-8).

Số dây cân bằng điện thế đặt càng nhiều càng tốt, nhưng để giảm giá thành chế tạo, thường không đặt toàn bộ số dây cân bằng điện thế. Trong máy điện 4 cực công suất không lớn, thường đặt 3 đến 4 dây cân bằng điện thế. Trong máy điện công suất vừa và lớn ($P_{dm} > 100 \text{ kW}$), số dây cân bằng điện thế bằng 20 ~ 30% tổng số các phần tử của dây quấn phản ứng. Chỉ trong



Hình 3-8. Dây cân bằng loại 2 ở dây quấn sóng phức với $\frac{2p}{a}$ là số lẻ



Hình 3-9. Cách đặt dây cân bằng điện thế
a. Phía bên kia phần ứng đối diện với cổ góp;
b. Phía bên cổ góp

những máy rất lớn và quan trọng như động cơ điện dùng trong cân thép, máy phát điện kích từ trong máy phát điện tuabin hơi... mới dùng toàn bộ dây cân bằng điện thế.

Bước dây cân bằng điện thế loại một cũng như loại hai là:

Với dây quấn xếp:

$$y_1 = \frac{G}{p} \quad (3-16)$$

Với dây quấn sóng:

$$y_1 = \frac{G}{a} \quad (3-17)$$

Dây cân bằng điện thế có thể đặt ở phía có cổ góp hoặc ở phía bên kia lõi sắt đối diện với cổ góp.

Trong máy điện rất lớn, dây cân bằng điện thế được nối với phần nhô cao của cổ góp và bố trí chúng trong mặt phẳng thẳng góc với trục máy. Các loại kết cấu dây cân bằng điện thế được mô tả trong hình 3-9.

Tiết diện dây cân bằng điện thế chỉ lấy bằng 1/4 đến 1/2 tiết diện dây quấn phản ứng.

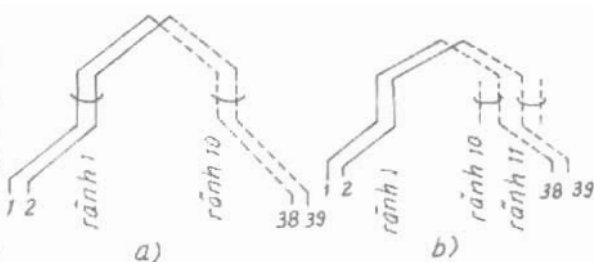
3.5. SƠ ĐỒ NỐI DÂY QUẤN THỰC TẾ

Khi chế tạo dây quấn phản ứng không nhất thiết phải vẽ toàn bộ sơ đồ nối dây của dây quấn. Ở phần lý luận thường vẽ sơ đồ dây quấn để thấy rõ số đôi mạch nhánh, vị trí của chổi điện, vị trí của các thanh dẫn trong mỗi đôi mạch nhánh dưới cực từ...



Hình 3-10. Sơ đồ nối dây thực tế của dây quấn sóng

Khi chế tạo dây quấn chỉ cần các số liệu để quấn các phần tử và cách nối chung lại với nhau cho nên chỉ cần biết y_1, y_2, y_G , và bước rãnh y_z là được. Để cho rõ, ta lấy hình 3-10



Hình 3-11 Sơ đồ nối dây thực tế của dây quấn sóng

minh họa. Hình 3-10a là một bộ phận của dây quấn xếp đơn. Từ hình vẽ có thể thấy phần tử phải chế tạo rộng như thế nào để cạnh của chúng nằm trong rãnh 1 và 10. Cũng từ hình vẽ có thể thấy hai phần tử cùng nằm trong một rãnh (y_z là số nguyên) do đó có thể bọc cách điện lại với nhau. Hình 3-10b có y_z không phải là số nguyên nên đó là dây quấn theo cấp. Cạnh thứ nhất nằm trên rãnh 1, cạnh thứ hai nằm trong rãnh 12 và 13 nên không thể cùng bọc chung cách điện được. Lúc đó bắt buộc phải chế tạo một số $1/2$ phần tử và các $1/2$ phần tử đặt trong rãnh được bọc chung cách điện. Sau khi đặt vào rãnh, ở phía bên kia vành đối chiều sẽ tìm cách nối chúng lại với nhau.

Hình 3-11 vẽ dây quấn sóng đơn kiểu đồng đều và theo cấp. Từ hình vẽ ta thấy dùng các sơ đồ dây quấn này có thể xác định chiều rộng của phần tử. Dem những phần tử đã chế tạo sẵn đặt vào rãnh, sau đó theo bước y_G mà nối chúng lại với nhau.

3.6. KẾT CẤU DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Dây quấn gồm nhiều phần tử ghép lại. Mỗi phần tử có thể gồm nhiều vòng dây nối nối tiếp.

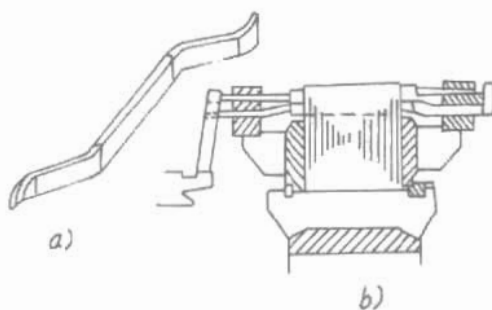
3.6.1. Dây dẫn

Các phần tử được chế tạo bằng dây dẫn tiết diện tròn hay chữ nhật và đều phải cách điện tốt. Dây đồng tròn thường dùng các

loại bọc men có độ bền cao hoặc men bọc sợi hoặc bọc hai lớp sợi. Dây dẫn tiết diện chữ nhật thường là loại bọc hai lớp sợi hay dây đồng trần mà xương chế tạo phải tự bọc lấy bằng vải hoặc màng mỏng tổng hợp hoặc mica.

Dây dẫn tròn được dùng ở các dây quấn với phân tử có nhiều vòng dây công suất nhỏ và lúc ấy nên chọn loại dây quấn phân tử đồng đều.

Dây dẫn dẹt có thể thực hiện ở loại dây quấn mà phân tử có nhiều hoặc chỉ một vòng dây. Loại phân tử một vòng dây thường hay dùng khi tiết diện dây lớn, máy có công suất lớn.



Hình 3-12. Dây quấn kiểu thanh dẫn

Theo kiểu chế tạo dây quấn, ta chia làm a. Thanh dẫn; b. Thanh dẫn đặt trong phần ứng kiểu thanh dẫn và kiểu

vòng dây. Kiểu thanh dẫn thường dùng ở những dây dẫn có tiết diện lớn và được chế tạo sẵn ở ngoài dưới hình thức "1/2 phần tử". Lúc đặt 1/2 phần tử vào rãnh thì một đầu được nối liền với phiến đổi chiều còn đầu kia nối với nhau (hình 3-12). Ở dây quấn kiểu vòng dây thì các phần tử được chế tạo bằng những vòng dây tròn vện ở bên ngoài bằng khuôn mẫu (hình 3-13). Dây nối cân bằng có thể làm thành các vòng hay cái móc và đặt ở phía vành đổi chiều hay ngược lại (hình 3-9).

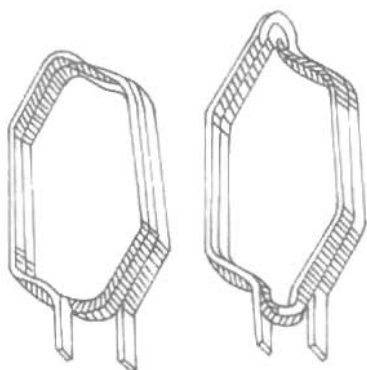
3.6.2. Cách điện của dây quấn

Cách điện của dây quấn phần ứng có thể chia làm các loại sau:

a. Cách điện của dây dẫn và giữa các vòng dây

Dây dẫn thường có cách điện sẵn hoặc tự bọc lấy theo lối 1/2

xếp chồng. Trong các máy điện một chiều công suất đến 9 kW, tốc độ 1500 vòng/ph, thường dùng dây dẫn tròn đặt trong rãnh miệng nửa kín. Tùy theo điều kiện làm việc của máy và cấp cách điện mà sử dụng các loại dây dẫn có cách điện khác nhau.



Hình 3-13. Dây quấn kiểu vòng dây

Những máy công suất từ 10 kW đến 200 kW thường dùng dây dẫn tiết diện chữ nhật đặt trong rãnh hở. Lúc đó ngoài bản thân dây dẫn có khi còn cần thêm cách điện giữa các vòng dây. Cách điện đó tùy thuộc vào điều kiện làm việc và cấp cách điện.

b. Cách điện rãnh

Cách điện giữa các phần tử (còn gọi là bồi dây) với rãnh là rất cần thiết, không những nó bảo vệ cách điện cho bồi dây mà còn bảo vệ va chạm cơ khí. Chiều dày của cách điện rãnh phụ thuộc vào điện áp của máy và vật liệu cách điện sử dụng. Kết cấu cách điện rãnh có ghi trong phụ lục IX

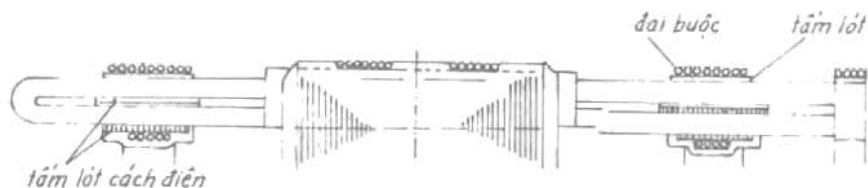
c. Cách điện phần đầu nối

Vì phần đầu nối của dây quấn không tiếp xúc trực tiếp với lõi sắt nên cách điện có thể mỏng đi một ít, tiện cho việc làm nguội dây quấn. Kết cấu cách điện phần đầu nối phải tương ứng với cách điện rãnh và có ghi trong phụ lục IX.

d. Cách điện bát chặt dây quấn

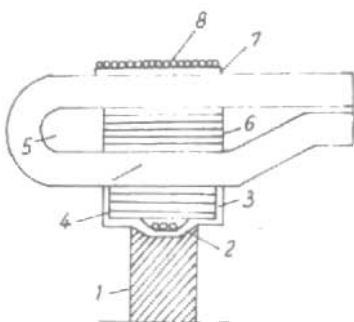
Dưới đai buộc cuộn dây có lót các tấm lót bằng mica hay giấy cách điện 0,5÷1 mm và rộng hơn đai buộc 10 ~ 15 mm (hình 3-14). Giá đỡ phần đầu nối của dây quấn cũng được lót cách điện. Giá đỡ trước và sau phần ứng có thể giống nhau nhưng

cũng có thể khác nhau và do đó kết cấu cách điện cũng có khác. Kết cấu giá đỡ phần đầu nối của dây quấn ở phía sau như ở hình 3-15 và giá đỡ ở phía trước của phần ứng như ở hình 3-16.

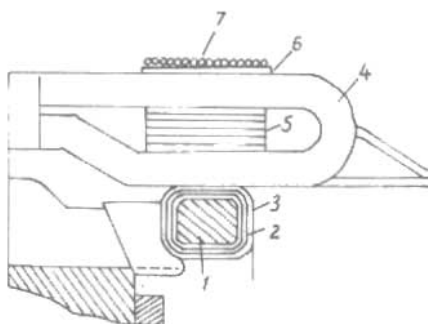


Hình 3-14. Cách điện bắt chặt dây quấn

Trong trường hợp dây quấn đặt phân tán vào rãnh, phần đầu nối của nó tiếp xúc với mặt dầu của phần ứng, do đó phần này cũng phải được cách điện và người ta đặt các đĩa bằng giấy cách điện hay sợi phíp có hình dáng giống như một lá thép kỹ thuật điện của lõi sắt phần ứng.



Hình 3-15. Giá đỡ dầu dây quấn phía đối diện với cổ góp
1 Giá đỡ; 2 Dây buộc; 3 Băng vải; 4, 6. Các tấm cách điện; 7. Giấy cách điện; 8. Đai buộc



Hình 3-16. Giá đỡ dầu dây quấn phía cổ góp
1 Giá đỡ; 2, 3. Băng vải; 4. Phần đầu dây quấn; 5. Các tấm cách điện; 6 Giấy cách điện; 7. Đai buộc

e. Kết cấu cách điện của dây cân bằng điện thế

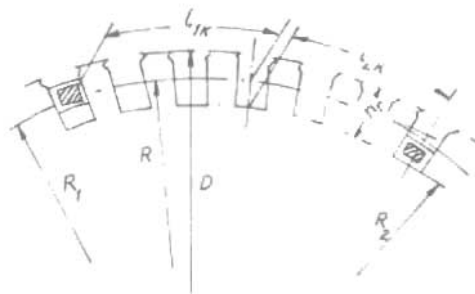
Dây cân bằng điện thế cũng được cách điện bằng băng vải. Khi dùng vòng khuyên cân bằng điện thế thì các vòng này cũng được bọc bằng băng vải và băng vải cách điện, giữa chúng được lót bằng giấy cactông cách điện và toàn bộ trong, ngoài, hai bên vòng khuyên đều bọc giấy cách điện sau đó quấn băng vải lên.

f. Vấn đề tẩm sấy dây quấn

Sau khi đặt dây quấn vào rãnh phải nhúng toàn bộ dây quấn lẫn lõi sắt vào sơn cách điện rồi sấy khô để đảm bảo tính cách điện và độ bền về cơ, nhiệt. Những máy có điện áp 6000 V trở lên thì dây quấn được tẩm sơn cách điện trước khi đặt vào rãnh. Tùy loại máy điện và yêu cầu của nó, kỹ thuật tẩm sấy có khác nhau và số lần tẩm sấy cũng khác nhau, thường là từ 3 đến 5 lần.

3.7. KÍCH THƯỚC DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Xác định kích thước dây quấn là định chiều dài thò ra ngoài lõi sắt của phần đầu nối dây quấn và chiều dài trung bình của 1/2 vòng dây. Trước hết phải xác định kích thước của tiết diện phần đầu nối của dây quấn. Nó bằng tổng kích thước của dây đồng, lớp cách điện kể cả độ nở sau khi nhúng sơn. Trị số nở này có thể xác định theo kinh nghiệm: nở theo chiều rộng là $0,05x + 0,2 \text{ mm}$ và theo chiều cao là $0,05y$ - trong đó x là số thanh dẫn theo chiều rộng và y là số thanh dẫn theo



Hình 3-17. Xác định khoảng cách giữa hai cạnh của bối dây

chiều cao của dây quấn.

Khoảng cách giữa hai cạnh của bối dây bằng chiều dài của cung giữa hai rãnh phần ứng trong đó đặt các cạnh của cuộn dây (hình 3-17).

$$l_K = \frac{2\pi R y_f}{Z} \quad (3-18)$$

trong đó:

y_f - bước của dây quấn tính theo số rãnh thực giữa hai cạnh tác dụng của bối dây;

$$R = \frac{D - h_r}{2} \text{ bán kính tính toán;}$$

D - đường kính ngoài phần ứng;

h_r - chiều cao rãnh;

Z - số rãnh phần ứng.

Muốn tính l_K chính xác hơn thì dùng công thức sau:

$$l_K = l_{1K} + l_{2K} \quad (3-17)$$

trong đó:
$$l_{1K} = \frac{2\pi R_1 y_f}{2Z}$$

và
$$l_{2K} = \frac{2\pi R_2 y_f}{2Z}$$

ở đây R_1 , R_2 - bán kính đến tâm bối dây nằm trên và nằm dưới rãnh.



Hình 3-18. Xác định chiều dài hướng trục của phần đầu nối

Chiều dài phần thẳng của dây quấn:

$$l_u = l_l + 2a + 2t \quad (3-19)$$

trong đó:

a - chiều dài tấm ép đầu lõi sắt (theo chiều trục);

t - chiều dài thò ra khỏi tấm ép đầu lõi sắt của dây quấn (hình 3-18).

Trị số của t và a có thể tham khảo trong bảng 3.4.

Bảng 3.4. Chiều dài ($t + a$) phần thẳng thò ra khỏi lõi sắt của phần đầu nối dây quấn

Điện áp V	đến 250	550	750	1500	3000
$t + a \text{ mm}$	13	15	19	25	35

Kích thước phần đầu nối của dây quấn (hình 3-19). Gọi:

α - góc nghiêng phần đầu nối;

r_1, r_2 - bán kính uốn cong, lấy bằng $3 + 15 \text{ mm}$;

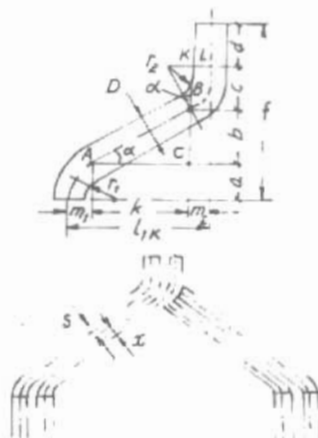
x - khoảng cách giữa các phần đầu nối của hai cạnh tác dụng kề nhau. Thường x không nhỏ hơn $0,4 - 1,0 \text{ mm}$;

s - bề rộng cạnh tác dụng.

Ta có:

$$\sin \alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{x + s}{2\alpha R} = \frac{(x + s)Z}{2\alpha R}$$

$$a = AE = AF \cos \alpha = \left(r_1 + \frac{s}{2} \right) \cos \alpha$$



Hình 3-19. Xác định kích thước phần đầu nối của dây quấn

$$b = BC = AC \operatorname{tg} \alpha = kt \operatorname{tg} \alpha$$

$$c = BC = \left(r_2 + \frac{s}{2}\right) \cos \alpha$$

Ở đây: $k = l_{ik} - (r_1 + r_2 + s)(1 - \sin \alpha)$

$$d = h_d + (3 + 5) \text{ mm}$$

h_d - chiều cao của bối dây ở phần đầu nối.

Chiều dài thò ra khỏi lõi sắt của phần đầu nối của bối dây bằng:

$$f = a + b + c + d \quad (3-20)$$

Chiều dài phần đầu nối:

$$l_d = 2\left[t + a + \left(r + \frac{\Delta}{2}\right)\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + \left(r_2 + \frac{s}{2}\right)\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + \frac{b}{\sin \alpha} + d\right] \text{ cm} \quad (3-21)$$

Chiều dài của 1/2 vòng dây:

$$l_{th} = l_1 + l_d$$

Đối với dây quấn rải cũng có thể vẽ lên để xác định. Với dây quấn này cũng có thể lấy $l_d = 1,4r$.

B. DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

Dây quấn phần ứng của máy điện xoay chiều bao gồm dây quấn stato của máy điện đồng bộ và dây quấn stato, rôto của máy điện không đồng bộ. Cũng giống như dây quấn của máy điện một chiều, dây quấn phần ứng của máy điện xoay chiều gồm nhiều phần tử nối với nhau theo một quy luật nào đó. Phần tử ở đây cũng chính là bối dây và được đặt vào trong các rãnh phần ứng. Bối dây có thể chỉ là một vòng dây (gọi là dây quấn kiểu thanh dẫn, bối dây thường chế tạo dạng 1/2 phần tử và tiết diện thường lớn), cũng có thể có nhiều vòng dây (tiết diện dây nhỏ và

gọi là dây quấn kiểu vòng dây). Số vòng dây của mỗi bô, số bô dây của mỗi pha và cách nối phụ thuộc vào công suất, điện áp, tốc độ, điều kiện làm việc của máy và quá trình tính toán điện từ

Yêu cầu chính đối với dây quấn như sau:

1. Điện áp của ba pha bằng nhau. Trong dây quấn ba pha, điện áp ba pha lệch nhau 120° góc độ điện.
2. Điện trở và điện kháng của các mạch song song và của ba pha bằng nhau.
3. Có thể đấu thành các mạch song song một cách dễ dàng khi cần thiết.
4. Dùng vật liệu dây dẫn điện ít nhất. Phần đầu nối càng ngắn càng tốt để thu ngắn chiều dài của máy và đỡ tốn vật liệu.
5. Dễ chế tạo và sửa chữa.
6. Cách điện giữa các vòng dây, các pha và với đất ít tốn kém và chắc chắn.
7. Kết cấu chắc chắn, có thể chịu được ứng lực cơ khí khi máy bị ngắn mạch đột ngột hay khi khởi động.

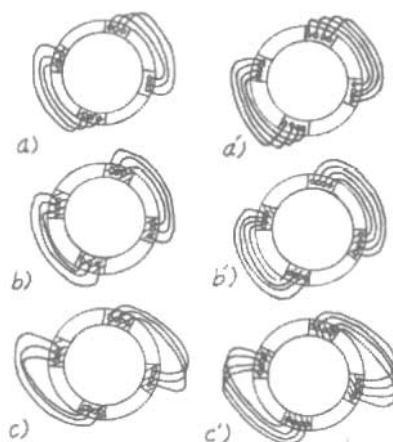
Dây quấn phản ứng của máy điện xoay chiều được đặc trưng bằng những số liệu sau: số rãnh Z , số cực từ $2p$, số mạch nhánh song song a , số pha m , số vòng của một pha w , cách nối dây (Δ hay Y), số rãnh của một pha dưới mỗi cực $q = \frac{Z}{2pm}$, bước dây $y \dots$

Theo phương pháp bố trí các cạnh của dây quấn trong rãnh, dây quấn phân làm loại một lớp và hai lớp.

3.8. DÂY QUẤN MỘT LỚP

Trong dây quấn một lớp, số rãnh của một pha dưới một cực q thường là số nguyên, cạnh của bô dây chiếm cả rãnh nên số cạnh của bô dây của một pha dưới một cực đúng bằng q và dưới mỗi đôi cực mỗi pha có một tổ bô dây gồm q bô dây

Trước khi đi vào cụ thể từng kiểu, ta nghiên cứu sự sắp xếp các đầu nối của bối dây trong một pha để phân loại các kiểu dây quấn một lớp. Hình 3-20 chỉ q là số lẻ ($q = 3$) và số chẵn ($q = 4$). Dây quấn sắp xếp theo hình 3-20a và 3-20a' có khó khăn vì các bối dây kích thước khác nhau mà lại đè chồng lên nhau. Vì vậy trên thực tế người ta sắp xếp dây quấn theo hai kiểu chính.



Hình 3-20. Cách sắp xếp đầu nối của dây quấn một lớp

Kiểu thứ nhất có đặc điểm là kích thước các bối dây không giống nhau và xếp đồng tâm với nhau nên không chồng đè lên nhau (hình 3-20b và b') nên gọi là kiểu đồng tâm. Kiểu thứ hai có đặc điểm là kích thước các bối dây giống nhau (hình 3-20c và c') nhưng phần đầu nối đè chồng lên nhau nên gọi là dây quấn đối xứng hay đồng khuôn. Mỗi kiểu dây quấn lại chia làm nhiều loại. Sau đây sẽ phân tích từng loại một.

3.8.1. Dây quấn kiểu đồng tâm

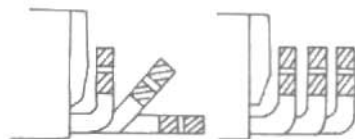
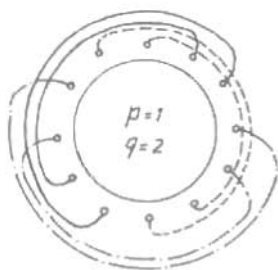
Trong dây quấn một lớp, vì dưới mỗi đôi cực, một pha có một tổ bối dây nên cả dây quấn có $3p$ tổ bối dây.

Nếu p là số chẵn thì dây quấn có số tổ bối dây là số chẵn.



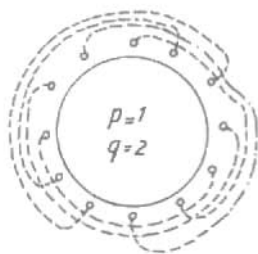
Hình 3-21. Dây quấn đồng tâm ba mặt phẳng với p là số chẵn

T r o n g trường hợp đó có thể chia $1/2$ số tổ bối dây đặt trong một mặt phẳng còn $1/2$ số tổ

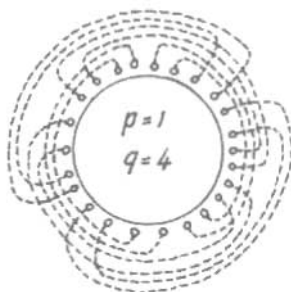


Hình 3-22. Dây quấn đồng tâm ba mặt phẳng

lên một mặt phẳng khác (hình 3-21) và được gọi là dây quấn đồng tâm hai mặt phẳng.



Hình 3-23. Dây quấn đồng tâm hai mặt phẳng với p là số nguyên lẻ



Hình 3-24. Dây quấn đồng tâm phân tán

Nếu p là số lẻ thì số tổ bối dây chia chẵn cho 3 do đó có thể đặt các bối dây lên ba mặt phẳng khác nhau (hình 3-22) và gọi là dây quấn đồng tâm ba mặt phẳng. Nếu muốn đặt vào hai mặt phẳng thì một bối dây phải uốn lại như ở hình 3-23.

Khi q là số chẵn thì có thể chia tổ bối dây ra làm hai nửa tổ và đầu dây của các nửa tổ này bẻ ngoặt về hai phía khác nhau. Như vậy trong một pha số nửa tổ bối dây bằng số cực nên phần đầu nối của dây quấn một pha sẽ chiếm tất cả chu vi bề mặt

phần đầu nổi của stato, do đó phần đầu nổi của dây quấn mỗi pha phân bố trên một mặt phẳng và ta có loại dây quấn ba pha đồng tâm ba mặt phẳng (hình 3-24), loại này còn gọi là dây quấn đồng tâm phân tán.

Đặc điểm của dây quấn đồng tâm là các bối dây có hình dáng và chiều dài khác nhau. Khi có mạch nhánh song song thì đặc điểm này có ảnh hưởng rất lớn. Để cho điện trở và điện kháng trong các mạch nhánh của dây quấn hai mặt phẳng bằng nhau thì trong mỗi mạch nhánh số bối dây trong hai mặt phẳng phải như nhau. Gọi a là số mạch nhánh song song trong một pha thì số bối dây trong mỗi mạch nhánh của một mặt phẳng phải là $\frac{p}{2a}$. Vì vậy chỉ trong trường hợp $\frac{p}{2a}$ là số nguyên chúng ta mới có thể thực hiện được dây quấn có trở kháng đối xứng. Khi $a = 2$ chỉ có $p = 4, 8, 12, \dots$ mới thực hiện được điều đó.

Đối với dây quấn ba mặt phẳng, vì dây quấn mỗi pha đặt trong một mặt phẳng nên tổng trở của các mạch song song của một pha có thể bằng nhau nhưng tổng trở của các pha lại không thể bằng nhau được. Để tránh điều đó, trong thực tế người ta cứ quấn các tổ bối dây hoàn toàn như nhau và lúc đặt dây vào các mặt phẳng thì cố ép dây sao cho vừa vào các chỗ trống.

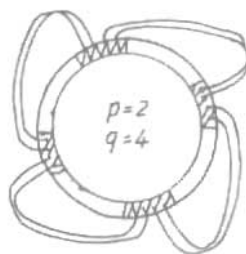
Tóm lại dây quấn đồng tâm hai mặt phẳng và ba mặt phẳng thực chất là dây quấn không đối xứng.

3.8.2. Dây quấn đồng khuôn

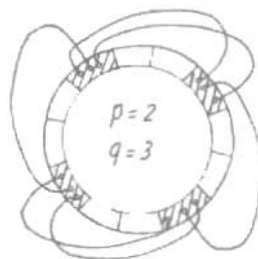
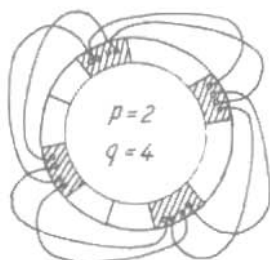
Ngược lại với dây quấn đồng tâm, dây quấn đồng khuôn là loại dây quấn đối xứng vì nó do những bối dây giống nhau hợp lại. Dây quấn đồng khuôn có thể chia làm ba loại: đơn giản, phân tán và móc xích.

Sơ đồ của một pha dây quấn đồng khuôn đơn giản như ở hình 3-20c, của loại đồng khuôn phân tán như hình 3-25. So với loại dây quấn đồng tâm phân tán chỉ khác nhau ở hình dáng của đầu dây nổi.

Dây quấn móc xích có thể gọi là dây quấn kiểu phân tán, chỉ khác nhau là cạnh dài và cạnh ngắn của bối dây trong tổ bối dây xen vào nhau như ở hình 3-26. Vì mỗi bối dây do hai cạnh ngắn và dài hợp lại nên bước dây phải là số lẻ. Dây quấn đồng tâm và đồng khuôn đơn giản, phân tán đều thuộc loại dây quấn bước đủ còn dây quấn móc xích có thể là bước đủ hay bước ngắn. Về quan hệ điện và từ, dây quấn móc xích có thể là bước ngắn nhưng nhìn toàn



Hình 3-25. Dây cuốn đồng khuôn phân tán



Hình 3-26. Dây quấn móc xích

bộ dây quấn thì giống như một dây quấn bước đủ, vì vậy ưu điểm của dây quấn này là tiết kiệm đồng ở phần đầu nối.

3.9. DÂY QUẤN HAI LỚP

Máy điện xoay chiều ngày nay thường dùng loại dây quấn hai lớp. Ưu điểm của nó là:

- Có thể chọn bước của dây quấn tốt nhất để cải thiện dạng sóng sức điện động.
- Giảm nhỏ lượng tiêu hao đồng ở phần đầu nối khi máy lớn và khi chế tạo có thể cơ giới hóa do đó giảm được giá thành.

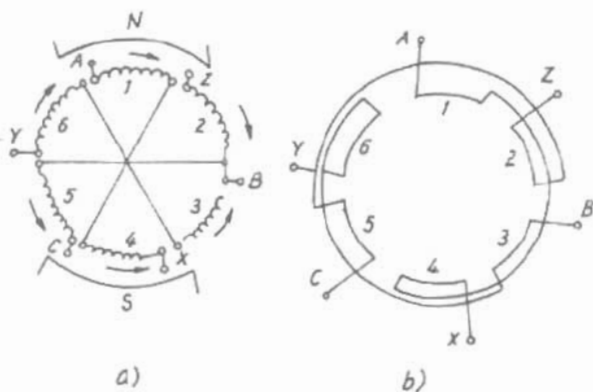
- Chọn số vòng dây của mỗi pha tương đối dễ dàng khi muốn duy trì tỷ lệ giữa A và B_đ.

Ngoài ra có khả năng chọn q là phân số để cải thiện dạng sóng sức điện động. Điều này có một giá trị đặc biệt đối với máy điện đồng bộ nhiều cực công suất lớn.

Dây quấn hai lớp của máy điện xoay chiều có hai loại: loại xếp và loại sóng. Cũng như ở máy điện một chiều, dây quấn hai lớp của máy điện xoay chiều gồm nhiều bố dây độc lập hợp lại, có bao nhiêu rãnh thì có bấy nhiêu bố dây. Trên thực tế, một cạnh của bố dây đặt ở phía trên rãnh còn cạnh kia đặt ở phía dưới rãnh do đó số bố dây bằng số rãnh Z, số tổ bố dây trong một pha bằng $\frac{Z}{mq} = \frac{2mpq}{mq} = 2p$, nghĩa là bằng số cực của máy.

3.9.1. Dây quấn xếp với q là số nguyên

Từ dây quấn xếp đơn của máy điện một chiều ta có thể có dây quấn xếp với q là số nguyên của máy điện xoay chiều. Hình 3-27 trình bày nguyên lý nói trên. Qua hình vẽ ta thấy cứ ứng với mỗi đôi mạch nhánh song song của dây quấn máy điện một chiều (ứng với số phần tử trong một đôi cực) có thể chia dây quấn ra làm 6



Hình 3-27. Dây quấn 3 pha lấy từ dây quấn 1 chiều
a. Sơ đồ nguyên lý; b. Sơ đồ ký hiệu

phần, mỗi phần như thế lấy làm một tổ bối dây. Trong trường hợp tổng quát, máy có p đôi cực thì có $6p$ tổ bối dây, mỗi tổ bối dây có $q = \frac{Z}{6p}$ bối và các tổ bối dây 1-4; 2-5; 3-6 hợp thành dây quấn 3 pha.

Trong mỗi pha các tổ bối dây có thể đấu nối tiếp hoặc song song. Chú ý rằng khi ghép song song, các tổ bối dây lúc rôto bị lệch tâm sẽ phát sinh dòng điện cân bằng, do đó sẽ có tác dụng làm mất sự không cân bằng về từ và làm giảm đi rất nhiều lực từ một phía hướng kính, nhưng cũng do đó dòng điện trong các mạch song song sẽ không hàng nhau và gây nên nóng máy cục bộ.

3.9.2. Dây quấn xếp với q là phân số

Dây quấn xếp với q là phân số thường được dùng để triệt tiêu các sóng điều hòa răng.

a. Điều kiện đối xứng của dây quấn

Khi số rãnh của mỗi pha dưới mỗi cực q là một phân số thì giữa Z , m và p cần phải có một quan hệ nhất định để cho dây quấn được đối xứng

Nếu Z và p có ước số chung lớn nhất là t thì số tia vectơ của hình sao sức điện động là $\frac{Z}{t}$ và mỗi tia như vậy biểu thị cho t vectơ trùng nhau. Vậy điều kiện đối xứng của dây quấn là:

$$\frac{Z}{t.m} = \text{số nguyên} \quad (3-22)$$

b. Cách bố trí dây quấn

Khi q là phân số ta có thể viết:

$$q = b + \frac{c}{d} = \frac{bd + c}{d} = \frac{N}{d} \quad (3-23)$$

trong đó $\frac{c}{d}$, $\frac{N}{d}$ là những phân số đã rút gọn.

Như vậy khi $q = b + \frac{c}{d}$ phải lấy N bó dây liên tiếp hợp thành d tổ bó dây.

Trong d tổ bó dây đó có x tổ có b bó dây và y tổ có $(b + 1)$ bó dây. Ta có:

$$N = bd + c = xb + y(b + 1)$$

hay
$$d + \frac{c}{b} = x + y + \frac{y}{b}$$

Vì
$$d = x + y$$

nên
$$\frac{c}{b} = \frac{y}{b} \quad (3-25)$$

Từ đó ta được:

$$y = c \text{ và } x = d - c$$

Tóm lại từ d tổ bó dây tạo nên bởi N bó dây liên nhau ta có $(d - c)$ tổ có b bó dây và c tổ có $(b + 1)$ bó. Các tổ có b bó dây gọi là tổ bó dây bé và tổ có $(b + 1)$ bó gọi là tổ bó dây lớn

Ví dụ với $q = 2\frac{2}{5}$ ta có số bó dây liên tiếp $N = bd + c = 5 \cdot 2 + 2 = 12$. 12 tổ bó dây chia làm 5 tổ bó dây ($d = 5$) trong đó có $(d - c) = 5 - 2 = 3$ tổ bó nhỏ mỗi tổ có 2 bó ($b = 2$) và 2 tổ lớn ($c = 2$) mỗi tổ có 3 bó ($b + 1 = 2 + 1 = 3$). Hết 12 bó dây này thì lại có 12 bó dây tiếp theo cũng theo thứ tự như vậy. Số lần lặp lại (số lần tuần hoàn) của mỗi pha sẽ là:

$$\frac{Z}{mN} = \frac{2mpq}{mN} = \frac{2p}{d} = \text{số nguyên} \quad (3-25)$$

Cũng vì vậy mà số mạch nhánh song song nhiều nhất ở mỗi pha cũng sẽ là $\frac{2p}{d}$. Nếu muốn có a mạch nhánh song song ở mỗi pha thì phải có:

$$\frac{2p}{ad} = \text{số nguyên} \quad (3-26)$$

c. Cách sắp xếp các tổ bối dây

Thứ tự nối tiếp nhau của các tổ bối lớn và tổ bối bé trong một tuần hoàn có thể xác định một cách tương đối dễ nếu như ở phân số $\frac{c}{d}$ ta có $c = 1$ hay $d - c = 1$. Ví dụ với $q = 2\frac{1}{4}$ ta có một tuần hoàn của 4 tổ bối dây ($d = 4$) gồm 3 tổ bối dây bé và một tổ bối dây lớn (2 2 2 3). Với $q = 2\frac{3}{4}$ ta có một tuần hoàn gồm 4 tổ bối dây với 3 tổ bối dây lớn và một tổ bối dây bé. Dây quấn sẽ bố trí như sau (số tổ bối dây trong một tuần hoàn của cả 3 pha bằng $3d = 12$).

Số thứ tự của tổ bối dây	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Số bối dây trong một tổ bối dây	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3
Các pha	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C

Nếu $c \neq 1$ và $d - c \neq 1$ thì có thể xếp như sau: Dùng một bảng có c dòng và d cột. Bắt đầu từ cột thứ nhất trở đi và theo thứ tự từ trên xuống dưới viết c số bằng $(b + 1)$, sau đó viết tiếp $(d - c)$ số bằng b rồi lặp lại các số kia cho đến hết.

Ví dụ với $q = 1\frac{2}{5} = \frac{7}{5}$, ta có:

$$c = 2; b = 1; b + 1 = 1 + 1 = 2; d - c = 5 - 2 = 3.$$

2	1	1	2	1
2	1	2	1	1

Tuần hoàn của các tổ bối dây có thể được thực hiện theo bất cứ hàng ngang nào. Ở ví dụ trên có thể lấy 21121 hoặc 21211.

Theo thứ tự của các tổ bối dây và theo số lượng bối dây trong

mỗi tổ đã quy định ở trên, tiến hành nối dây như khi q là số nguyên.

Cũng có thể xác định cách sắp xếp các tổ bố dây theo cách sau:

Ở hàng ngang có 3 cột lớn cho 3 pha. Trong mỗi pha có $N = bd + c$ cột nhỏ. Ở hàng dọc ghi thứ tự cực từ theo cực tính $N - S$.

Viết hàng ngang theo thứ tự bố dây, số sau cách số trước d cột. Cứ viết hết hàng trên xuống hàng dưới cho đến khi hết số bố dây thì thôi. Cuối cùng theo pha, đếm được số bố dây trong một tổ bố dây và xác định cách sắp xếp các tổ bố dây theo thứ tự từ trái sang phải và từ trên xuống dưới.

Lấy ví dụ như trên với $q = 1\frac{2}{5} = \frac{7}{5}$ ta có bảng sau:

Các cực	Các pha														
	A					B					C				
N	1				2				3			4			5
S				6			7				8				9
N			10				11				12			13	
S		14				15				16			17		
N		18				19				20			21		

Qua bảng ta thấy qua 21 bố dây sẽ lập lại một lần tuần hoàn cho cả ba pha ($3N = 3 \times 7 = 21$) với 15 tổ bố dây ($3d = 3 \times 5 = 15$). Cụ thể bố trí như sau:

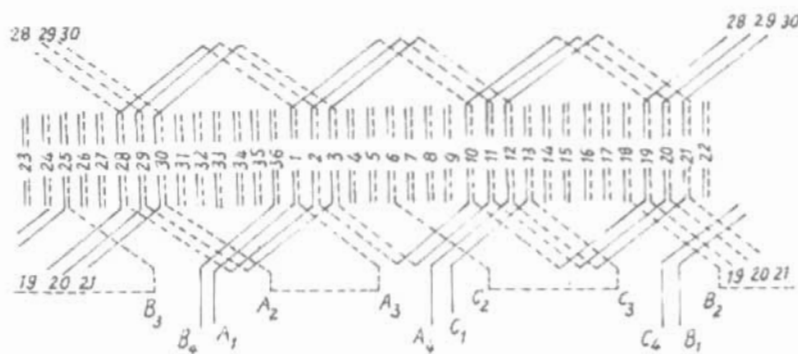
Số thứ tự của các tổ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Tổ bố dây trong tổ	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1
Các pha	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C

Nếu số cực $2p = 20$, muốn có toàn bộ dây quấn phải lặp lại $\frac{2p}{d} = \frac{20}{5} = 4$ lần tuần hoàn trong một pha (như vậy số rãnh của cả ba pha phải bằng $Z = 21 \times 4 = 84$) và dây quấn có thể có bốn mạch nhánh song song.

Cần chú ý là d phải khác 3 hay bội số của 3 vì nếu d là bội số của 3 thì lúc ấy ở các lần tuần hoàn sự sắp xếp của tổ bố dây lớn, bé sẽ lặp lại nguyên vẹn như vậy ở các pha (ví dụ pha A sẽ gồm toàn bố lớn chẳng hạn) và dây quấn của máy sẽ không đối xứng.

3.9.3. Dây quấn sóng có q là số nguyên

Dây quấn sóng có q là số nguyên thường được dùng ở rôto của các máy không đồng bộ rôto dây quấn. Trong rãnh thường chỉ đặt hai thanh dẫn xếp thành hai lớp. Ví dụ $Z = 36$; $2p = 4$; $q = 3$ thì giản đồ khai triển của dây quấn như ở hình 3-28.



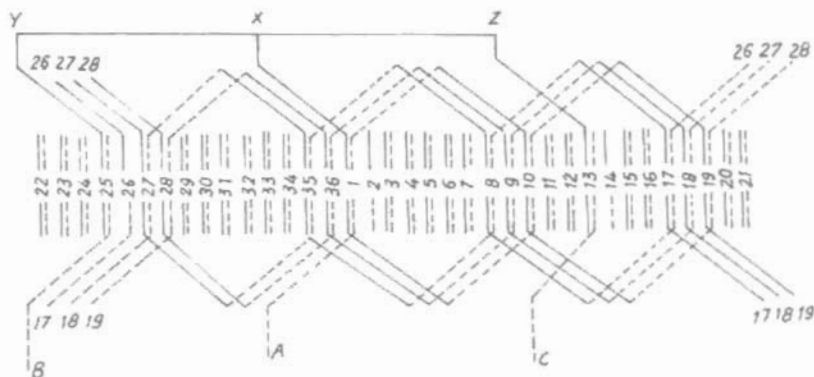
Hình 3-28. Dây quấn sóng với $Z = 36$; $2p = 4$; $q = 3$

Thường dây quấn có bước đủ:

$$y_1 = \tau = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{4} = 9$$

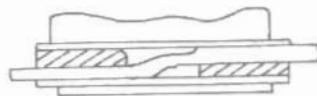
$$y_2 = y_1 = 9$$

Duy chỉ có bước y_2 cuối cùng sau một vòng quấn quanh bề mặt lõi sắt thì y_2 phải lấy ngắn hơn hoặc dài hơn 1 ($\tau \pm 1$) để tránh khỏi đến lại cạnh tác dụng lúc xuất phát. Thường dùng bước ngắn để đỡ tốn đồng. Để đỡ phần đầu nổi, thường sau khi quấn xong $q = 3$ (từ A_1 và kết thúc ở A_2) ta nối ngay vào A_3 để quấn ngược đến A_4 (hình 3-28). Như vậy ta được hai phần dây quấn có sức điện động bằng nhau về trị số và về pha.



Hình 3-29. Dây quấn sóng đơn giản với $Z = 36$, $2p = 4$, $q = 3$

Tùy trường hợp ta có thể nối nối tiếp hay song song hai 1/2 phần dây quấn của pha đó. Dây quấn sóng hai lớp có số mạch nhánh song song nhiều nhất khi q là số nguyên và bằng $2p$.



Hình 3-30. Rãnh có thanh dẫn chuyển tiếp

Trong những năm gần đây, ở vài nhà máy của Nga dùng dây quấn sóng hai lớp loại đơn giản (hình 3-29). Đặc điểm là không có dây nối giữa các nửa dây quấn (tức nối A_2A_3) mà việc nối này được thực hiện nhờ một thanh dẫn chuyển tiếp (hình 3-30). Cần chú ý rãnh của thanh dẫn chuyển tiếp này phải đặt cách rãnh

của thanh dẫn đầu tiên của pha A là $(\frac{2Z}{3p} - 1)$ rãnh ở phía ngược với chiều quấn của dây.

$$\text{Ở hình vẽ 3-29, đó là rãnh } 26(\frac{2Z}{3p} - 1 = \frac{2 \times 36}{3 \times 2} - 1 = 11 \times 36 + 1 - 11 = 26)$$

Với pha B thì $25-11 = 14$ và pha C là $13-11 = 2$. Dây quấn này không có mạch song song ($a = 1$) và dây quấn đầu Y. Ba đầu A B C ở về một phía của lõi sắt, ba đầu X Y Z ở về phía kia của lõi sắt rôto cho nên việc chế tạo cũng đơn giản hơn.

3.9.4. Dây quấn sóng với q là phân số

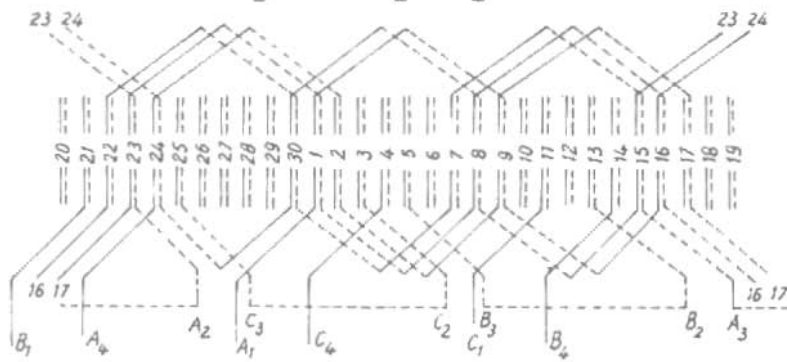
Trong các máy phát tuabin nước công suất lớn, quay chậm, thường dùng loại dây quấn sóng có q là phân số vì so với dây quấn xếp thì đỡ tốn phần đầu nối hơn.

Nghiên cứu dây quấn sóng với q là phân số qua thí dụ sau:

$$q = 2 \frac{1}{2}; Z = 30 \text{ và } 2p = 4$$

Giản đồ khai triển như ở hình 3-31. Ta có:

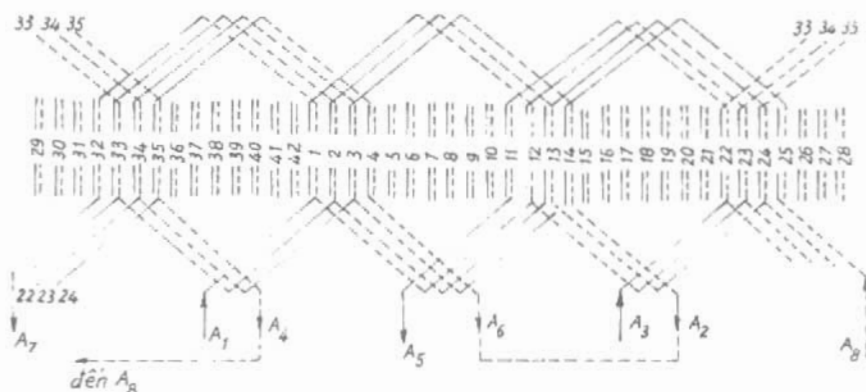
$$y_1 = 3q \pm \frac{1}{2} = 3 \times 2 \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 6$$



Hình 3-31. Dây quấn sóng hai lớp với $Z = 30$; $2p = 4$ và $q = 2 \frac{1}{2}$

$$y_2 = 3q \pm \frac{1}{2} \text{ hay } y_2 = y_1 \pm 1 = 8 - 1 = 7$$

Bước y_2 cuối cùng của vòng quấn quanh rôto thường được chọn ngắn hơn một đơn vị ($y_2 - 1$), nghĩa là lấy $y_2 = 7 - 1 = 6$.



Hình 3-32. Dây quấn sóng hai lớp với $Z = 42$; $2p = 4$; $q = 3\frac{1}{2}$ có thể đấu thành hai mạch song song. A_1A_8 - A_5A_7

Nếu $q = \text{số nguyên} + \frac{1}{2}$ thì khi quấn dây, đầu tiên quấn $(q - \frac{1}{2})$ vòng theo chu vi rôto với một chiều quấn nào đó rồi quấn $(q + \frac{1}{2})$ theo chiều ngược lại. Do đó hai nửa dây quấn không bằng nhau và không thể ghép song song chúng lại được. Trong trường hợp muốn có số mạch nhánh song song ở mỗi pha, khi $q = \text{số nguyên} + 1/2$ có thể quấn như ở hình 3-32. Lúc ấy cần nối A_1A_3 và A_5A_7 .

Khi mẫu số của q không phải là 2 có thể dùng vectơ sức điện động rãnh để xác định phương pháp nối dây quấn. Điều kiện đối xứng của dây quấn sóng có q là phân số cũng giống như ở dây quấn xếp, tức là:

$$\frac{Z}{m} = \text{số nguyên và } \frac{q}{m} \neq \text{số nguyên.}$$

Số mạch nhánh song song nhiều nhất có thể có là $\frac{2p}{d}$ đối với một pha và nếu yêu cầu có a nhánh song song thì $\frac{2p}{ad}$ phải là số nguyên.

3.10. KẾT CẤU CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

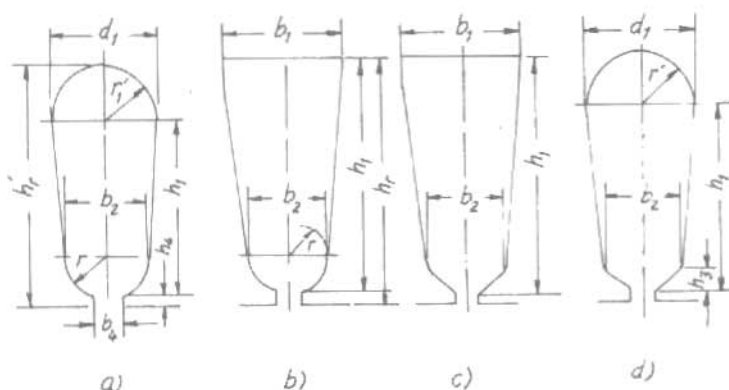
Stato máy điện xoay chiều thường dùng loại rãnh 1/2 kín, 1/2 hở và rãnh hở.

Rãnh 1/2 kín (hình 3-33) thường dùng ở stato máy công suất đến 100 kW điện áp đến 690 V. Có thể dùng loại dây quấn một lớp, hai lớp; dây quấn phân tán được cấu tạo từ những phần tử mềm, dây tiết diện tròn. Chiều rộng miệng rãnh:

$$b_4 = d_{cd} + (1,4 \sim 1,6) \text{ mm}$$

trong đó d_{cd} là đường kính dây kể cả cách điện.

Các máy điện ngày nay khi dùng dây quấn phân tán thường chọn rãnh hình thang, vì trong trường hợp này khu vực tác dụng của máy được sử dụng tốt nhất. Chọn rãnh sao cho thành bên của rãnh song song hay gần song song với nhau.



Hình 3-33. Rãnh nửa kín ở stato

Chiều dày cách điện rãnh ở một phía vào khoảng 0,25 - 0,35 mm đối với máy nhỏ hơn 0,6 kW và bằng 0,25-0,65 mm đối với máy công suất từ 0,6 đến 100 kW, cụ thể xem phụ lục VIII.

Hệ số lấp đầy rãnh của dây quấn thường thiết kế bằng:

$$k_d = \frac{u_r d_{cd}^2}{S_r'} \leq 0,75 \quad (3-27)$$

Ở đây:

u_r - số dây dẫn trong một rãnh;

d_{cd} - đường kính dây dẫn kể cả cách điện;

S_r' - tiết diện có ích của rãnh (tiết diện rãnh trừ đi nêm và cách điện).

Cách tính tiết diện có ích như sau:

$$S_r' = S_r - S_{cd}$$

Ở đây: S_r - tiết diện thực của rãnh.

$$\text{- với rãnh đáy tròn: } S_r = \frac{2r_1 + b_2}{2} (h_1 - h_n) + \frac{\pi r_1^2}{2};$$

$$\text{- với rãnh đáy phẳng: } S_r = \frac{b_1 + b_2}{2} (h_1 - h_n)$$

trong đó h_n là chiều cao nêm ($h_n = 2,0 - 3 \text{ mm}$). Các kích thước khác xem ở hình 3-33

S_{cd} - tiết diện cách điện.

- với rãnh đáy tròn (hình 3-33a):

$$S_{cd} = C(2h_1 + \pi r_1) + (2r_1 + b_2)C' \text{ đối với dây quấn hai lớp;}$$

$$S_{cd} = C(2h_1 + \pi r_1) \text{ đối với dây quấn một lớp}$$

- với rãnh đáy phẳng (hình 3-33b).

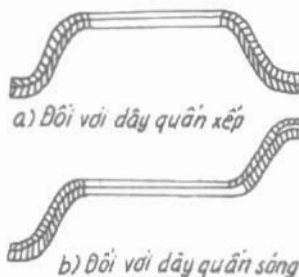
$$S_{cd} = C(2h_1 + b_1) + (b_1 + h_2)C' \text{ đối với dây quấn hai lớp}$$

$$S_{cd} = C(2h_1 + b_1) \text{ đối với dây quấn một lớp}$$

C và C' là chiều dày cách điện rãnh và cách điện giữa hai lớp cách điện (xem phụ lục VIII).

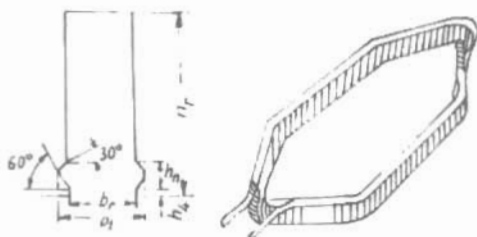
Theo kinh nghiệm nên lấy k_d trong khoảng 0,7~0,75 là tốt nhất (trị số thấp dùng cho máy nhỏ).

Rãnh nửa hờ được dùng rộng rãi ở stato các máy không đồng bộ và đồng bộ công suất từ 125 đến 400 kW (với $2p = 4$), điện áp đến 690 V. Thường dùng dây quấn hai lớp và có phần tử cứng, lúc này phần tử dây quấn được chia làm hai phần xem ở hình 3-34.

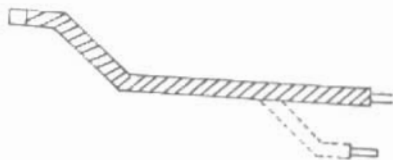


Hình 3-34. Nửa cuộn dây của dây quấn

Rãnh hờ dùng trong máy có công suất lớn và điện áp trên 690 V (cũng có khi cả ở 690 V). Dây quấn hai lớp làm thành phần tử cứng xem ở hình 3-35.



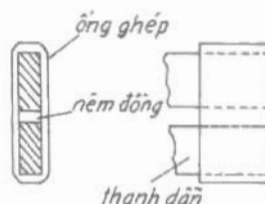
Hình 3-35. Rãnh hờ và phần tử cứng của dây quấn



Hình 3-36. Nửa phần tử của dây quấn sóng ở rôto

Với rôto quấn dây của máy điện không đồng bộ thường dùng rãnh 1/2 kín. Dây quấn được chế tạo thành từng thanh dẫn (1/2 phần tử). Chỉ có một phía được uốn cong sẵn thành phần đầu nối còn phần kia sau khi xuyên vào rãnh mới uốn cong lại (hình 3-36). Các đầu cuối ở phần đầu nối của 1/2 phần tử được nối lại nhờ một ống ghép đầu nối (hình 3-37).

Cách điện của dây quấn máy điện xoay chiều thường là cách điện cấp B, F, H. Dây dẫn thường có bọc sẵn cách điện. Tùy theo điều kiện làm việc, trong máy điện xoay chiều công suất 0,6~100 kW sử dụng các loại dây dẫn cách điện bằng men chịu nhiệt PETV cấp B,F.



Hình 3-37. Ghép thanh dẫn của hai nửa phần tử

Với rãnh hở, phần tử đã được cách điện thành một khối và được sấy sấy kỹ trước khi đặt vào rãnh.

Các loại kết cấu cách điện rãnh được trình bày ở phụ lục VIII.

3.11. KÍCH THƯỚC DÂY QUẤN

3.11.1. Dây quấn có phần tử mềm

Chiều dài trung bình của 1/2 vòng dây (stato hay rôto quấn dây):

$$l_{th} = l + l_d \quad (3-28)$$

trong đó:

l - chiều dài lõi sắt stato hay rôto;

l_d - chiều dài phần đầu nối. Theo kinh nghiệm thiết kế:

$$l_d = K_d \tau_y + 2B \quad (3-29)$$

τ_y - chiều rộng trung bình của phần tử:

$$\text{ở stato} \quad \tau_{y1} = \frac{\pi(D + h_{r1})\beta}{2p}$$

$$\text{và ở rôto} \quad \tau_{y2} = \frac{(\pi D' - h_{r2})}{2p}$$

ở đây:

D, D' - đường kính trong lõi sắt stato và đường kính ngoài rôto;

h_{r1}, h_{r2} - chiều cao rãnh stato và rôto;

$$\beta = y_1 / \tau$$

y_1, τ - bước dây và bước rãnh dây quấn stato.

Các hệ số K_{d1}, B của stato tra theo bảng 3.4.

Các hệ số K_{d2}, B của rôto tra theo bảng 3.5.

Chiều dài phần đầu nối đối với dây quấn phần tử mềm:

$$f = K_1 \tau_y + B, \text{ cm} \quad (3-30)$$

trong đó hệ số K_1, B tra ở bảng 3-4 và 3-5.

Bảng 3.4. Các hệ số K_{d1}, B và K_{f1}

Số cực 2p	Phần đầu nối không băng cách điện			Phần đầu nối có băng cách điện		
	K_{d1}	K_{f1}	$B, \text{ cm}$	K_{d1}	K_{f1}	$B, \text{ cm}$
2	1,20	0,26	1,0	1,45	0,44	1,0
4	1,30	0,40	1,0	1,55	0,50	1,0
6	1,60	0,50	1,0	1,75	0,62	1,0
≥ 8	1,50	0,50	1,0	1,90	0,72	1,0

Bảng 3.5. Các hệ số K_{d2}, B

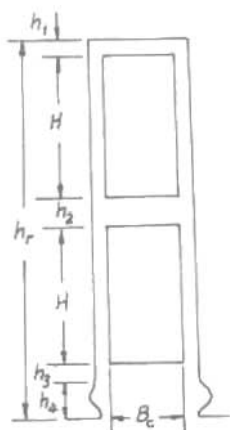
Số cực 2p	K_{d2}	K_{f2}	$B, \text{ cm}$
2	1,0	0,2	1,0
≥ 4	1,5	0,3	1,0

Ở rôto quấn dây rãnh hình oval, có thể lấy l_d theo công thức sau : Với $2p = 2$ lấy $l_d = 0,9 \tau$.

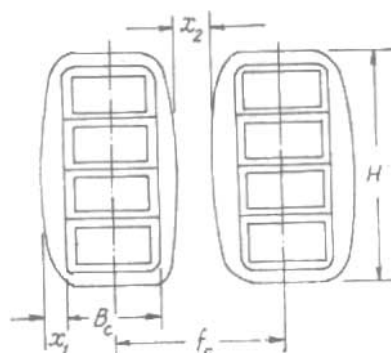
$$2p \geq 4 \text{ lấy } l_d = (1,2 \sim 1,3) \tau.$$

3.11.2. Dây quấn với phần tử cứng

Chiều rộng trung bình của phần tử lấy theo cung của vòng tròn đi qua mặt trên của lớp dưới dây quấn:



Hình 3-38. Để xác định τ_y



Hình 3-39. Để xác định t_c

$$\tau_y = \frac{\pi(D + 2H + a_3)}{2p} \beta \quad (3-31)$$

trong đó :

$$a_3 = 2(h_2 + h_3 + h_4) \quad (3-32)$$

Các kích thước trên có ghi trong hình 3-38.

Khoảng cách bé nhất giữa hai trục của hai cạnh liền nhau của các phần tử khi ra khỏi rãnh được tính theo cung của vòng tròn đi qua các mặt trên của lớp trên với đường kính $D + a_2$, trong đó :

$$a_2 = 2(h_3 + h_4) = a_3 - 2h_2 \quad (3-33)$$

ở đây a_3 và h_2 có thể lấy theo các cấp điện áp như sau :

Điện áp (V)	690	3150	6300	11000
a_3 (cm)	12	18	25	3
h_2 (cm)	0,2	0,55	0,75	1,1

Khoảng cách ấy là :

$$t_c = \frac{\pi(D + a_2)}{Z} \quad (3-34)$$

Khoảng cách giữa các trục của hai cạnh liền nhau của các

phần tử ở phần uốn cong của phần đầu nối có thể xác định theo công thức :

$$f_c = B_c + a_1 \quad (3-35)$$

trong đó B_c (hình 3-39) là toàn bộ bề rộng của các thanh dẫn kế nhau của cạnh phần tử có cách điện và tấm lót giữa chúng nhưng không kể đến cách điện chung của chúng:

$$a_1 = x_1 + x_2, \quad \text{cm} \quad (3-36)$$

Ở đây :

x_1 - chiều dày một mặt của cách điện ở bộ phận đầu nối có xét đến nở khi tấm sấy. Có thể lấy x_1 theo phụ lục VIII ;

x_2 - khe hở không khí giữa hai cạnh phần tử kế nhau. Trị số x_2 của dây quấn phần tử cứng stato có thể tra trong bảng 3.6.

Bảng 3.6. Trị số của x_2 , cm

Điện áp định mức, V	đến 690	3150	6300	11000
x_2 , cm	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,65	0,65 - 1,0

Chiều dài phần đầu nối của phần tử cứng dây quấn stato :

$$l_{d1} = A + 1,57H + 2M + N, \quad \text{cm} \quad (3-37)$$

trong đó :

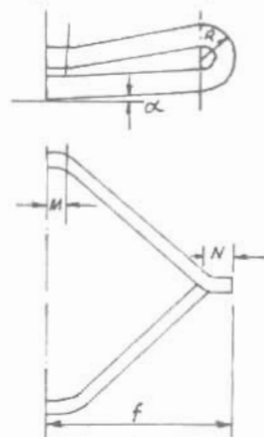
$$A = \frac{\tau_y - R - 0,5H}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{t_c}\right)^2}} \quad (3-38)$$

R - bán kính phần cong ở đầu phần đầu nối (hình 3-40), trị số gần đúng của R có thể tra ở bảng 3.7 ;

M - chiều dài phần thẳng của phần đầu nối (tra bảng 3.8) ;

N - chiều dài đầu nối. $N = 6 + 9,5 \text{ cm}$.

Để tránh khi tháo lắp rôto không làm hỏng dây quấn thì phần đầu nối làm nghiêng đi so với trục một góc $\alpha \approx 8^\circ$.



Hình 3-40. Để xác định f

Bảng 3.7 Trị số của R

Điện áp định mức V	đến 690	3150	6300	11000
R, cm	1,2	1,3	1,5	1,65

Bảng 3.8. Chiều dài phần thẳng M (hình 3-40)

Điện áp: V	Với chiều sâu rãnh h_r : cm									
	4 - 5		5- 6		6- 7		7- 8,5		8,5- 14	
	Với chiều rộng rãnh: cm									
	đến 1,2		1,4- 1,6		1,6- 2		2- 2,5		2,5- 3	
	Với cách điện (O - kiểu ống, L - kiểu liên tục)									
	O	L	O	L	O	L	O	L	O	L
đến 690	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0	4,5
3150	3,5	3,5	4,5	3,5	5,0	4,0	5,5	4,5	6,0	5,0
6300	5,0	4,0	6,0	4,0	6,5	4,5	7,0	5,0	7,5	5,5
11000	-	-	-	5,0	-	5,5	-	6,0	-	6,5

Chiều dài thò ra ngoài lõi sắt của phần đầu nối f của phần tử cứng dây quấn stato được xác định theo công thức sau:

$$f_1 \approx 0,5A \frac{f_c}{t_c} + M + N, \text{ cm} \quad (3-39)$$

Chiều dài thò ra ngoài lõi sắt stato phía các đầu nối dây phải lớn hơn f_1 và bằng:

$$f'_1 = f_1 + 4B_c + (3 \div 6), \text{ cm} \quad (3-40)$$

Từ đầu nối đến vỏ hoặc nắp phải có một khoảng cách không nhỏ hơn 0,8 cm với điện áp đến 690 V và không nhỏ hơn 1,6; 3,0 và 4,5 cm với điện áp 3150; 6300 và 11000 V.

Với các máy hai cực, trị số l_{dl} và f_1 phải lấy lớn hơn các trị số tính theo công thức trên 5 ~ 6%.

Bảng 3.9. Giá trị x_2 của phần tử cứng rôto

Điện áp, V	250	500-1000	1000-1500	1500-2000
$x_2, \text{ cm}$	0.17	0.2	0.26	0.29

Chiều dài phần đầu nối của phần tử cứng dây quấn rôto bằng:

$$l_{d2} = A + (10 - 15) \text{ cm} \quad (3-41)$$

Ở đây :

$$A = \frac{\tau_y}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{t_c}\right)^2}} \quad (3-42)$$

$$t_c = \frac{\pi(D' - 2h_{r2})}{Z_2} \quad (3-43)$$

$$\tau_y = \frac{\pi(D' - h_{r2})}{2p} \quad (3-44)$$

f_c xác định theo công thức 3-33. Trong công thức, để xác định a_1 , với dây quấn xếp lấy $x_1 \approx 0,13 \text{ cm}$ với cách điện cấp B, còn $x_2 \approx 0,10 \div 0,20 \text{ cm}$. Với dây quấn phần tử là thanh dẫn, x_1 tra theo phụ lục VIII còn x_2 xem ở bảng 3.9.

Chiều dài thò ra khỏi lõi sắt của phần đầu nối có thể tính theo công thức:

$$f_2 = 0,5A \frac{f_c}{t_c} + M + N ; \text{ cm} \quad (3-45)$$

ở đây $M = 2,5 \div 6 \text{ cm}$; $N = 2,5 \div 4 \text{ cm}$ (trị số lớn ứng với điện áp dây quấn và công suất máy lớn).

Đối với máy hai cực, trị số l_{d2} và f_2 lấy lớn hơn trị số tính theo công thức (3-41) và (3-45) khoảng 7 ~ 8%.

C. DÂY QUẤN KÍCH TỪ, DÂY QUẤN BÙ VÀ DÂY QUẤN CẢN

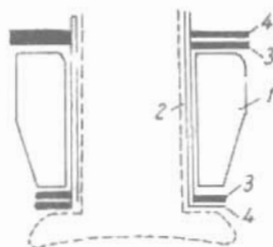
3.12. DÂY QUẤN KÍCH TỪ

3.12.1. Dây quấn kích thích song song trong máy điện một chiều

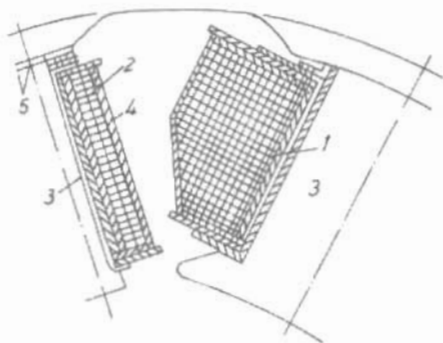
Dây quấn đặt trên cực từ chính, thường dùng dây dẫn trắng men theo ký hiệu Nga là PETV khi cách điện cấp B và F; PSDK khi cách điện cấp H.

Trong máy nhỏ, dây quấn được đặt trực tiếp lên cực từ. Cuộn dây được quấn trên một khuôn sau đó buộc chặt lại bằng băng vải. Cách điện giữa cuộn dây với lõi cực từ và vỏ máy là cách điện. Muốn tăng cường cách điện thì dùng mica hay vải nền. Chiều dày cách điện khoảng 1,2 - 1,3 mm.

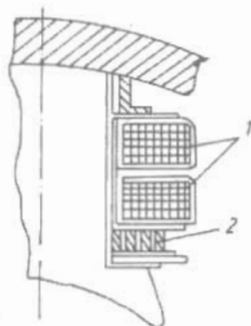
Với máy loại trung bình và lớn thì cuộn dây được quấn trên khung thép chế tạo bằng thép lá mỏng 1 ÷ 2 mm. Kết cấu điển hình của dây quấn kích thích song song như ở hình 3-41, trong đó: 1 - dây quấn được bọc ngoài bằng băng vải hay vải chéo sau đó nhúng sơn; 2- cách điện giữa vòng dây và cực từ (hay với khung thép).



Hình 3-41. Kết cấu cách điện của dây quấn kích thích song song



Hình 3-42. Kích thích song song trên cực từ chính

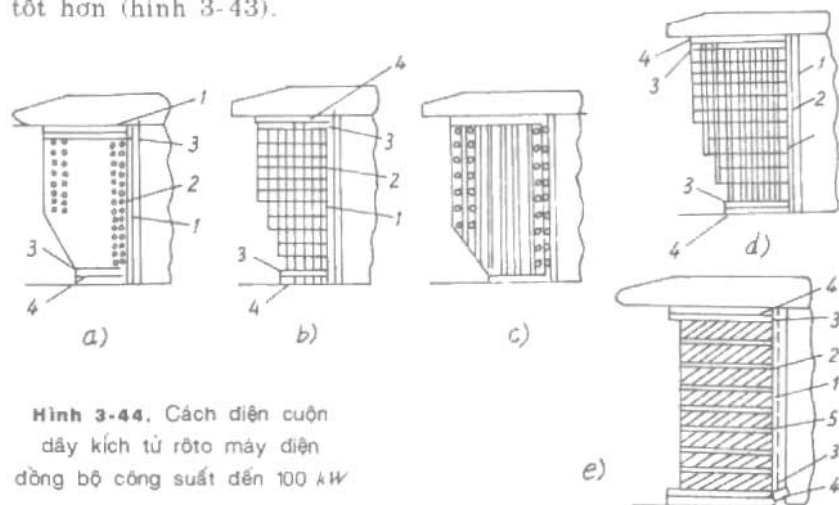


Hình 3-43. Bố trí dây quấn kích thích song song và nối tiếp trên cực từ

- 1 Dây quấn kích thích song song;
- 2 Dây quấn kích thích nối tiếp

Có thể dùng cách điện mica hay mica tùy theo cấp cách điện; 3 - khung lót bằng giấy ép hay sắt; 4 - khung thép dùng để

cố định cuộn dây lên cực từ. Hình dạng và kích thước cuộn dây phụ thuộc vào số vòng dây, tiết diện dây dẫn và khoảng hở giữa các cực từ. Với dây dẫn tiết diện nhỏ thường có dạng hình thang xiên (hình 3-42), hay chế tạo thành dạng từng cấp để tỏa nhiệt tốt hơn (hình 3-43).



Hình 3-44. Cách điện cuộn dây kích từ rôto máy điện đồng bộ công suất đến 100 kW

3.12.2. Dây quấn kích thích nối tiếp máy điện một chiều

Dây quấn kích thích nối tiếp cũng đặt trên cực từ chính. Dây quấn thường được làm bằng thanh dẫn tiết diện chữ nhật. Có thể dùng dây đồng trần (khi tiết diện lớn) hay có bọc cách điện. Trong trường hợp dùng dây dẫn trần thì cách điện giữa các vòng dây thường là cát tông cách điện có nhúng tấm sơn hay bọc giấy amiăng dày 0,2 đến 0,3 mm, cách điện với lõi cực từ và giá đỡ cũng giống như ở dây quấn kích thích song song. Cách bố trí trên cực từ như ở hình 3-43.

3.12.3. Dây quấn cực từ phụ

Dây quấn cực từ phụ cũng được chế tạo như dây quấn kích thích nối tiếp, thường được làm bằng đồng tiết diện chữ nhật, ở máy nhỏ mới dùng dây đồng tròn. Dây quấn bằng thanh dẫn chữ nhật được chế tạo thành dạng xoắn ốc liên tục và lúc ấy chỉ cách

điện vòng đầu và vòng cuối bằng băng vải, còn toàn bộ cuộn dây được quét sơn cách điện

3.12.4. Dây quấn kích từ của máy điện đồng bộ cực lồi

Dây quấn này được đặt trên thân cực từ của rôto. Với những máy dưới 100 kW ($2p = 4$) thường dùng dây đồng tròn hay tiết diện chữ nhật có cách điện bằng men hay sợi thủy tinh và được quấn thành nhiều lớp. Bảng 3.5 và hình 3-44 trình bày kết cấu cách điện của loại dây quấn này.

Trong những máy công suất trung bình và lớn, dây quấn kích từ được chế tạo từ thanh đồng tròn. Lúc đó, giữa các vòng dây được lót cách điện bằng giấy amiăng (cấp B,H). Khi dây quấn rôto quấn bằng thanh dẫn dẹt thì quấn theo chiều dẹt của tiết diện dây. Về mặt chế tạo thì quấn như vậy khó hơn nhưng như thế có thể đặt số vòng dây lớn hơn và nhất là bề mặt tỏa nhiệt rộng hơn. Khi khoảng cách giữa các cực từ không đủ để bố trí dây quấn kích từ một cách rộng rãi thì dây quấn đó có thể chế tạo thành hình bậc thang hay bị xén gọt đi

3.13. DÂY QUẤN BÙ CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Thường thì trong máy một chiều công suất lớn mới có dây quấn bù. Cấu tạo của dây quấn bù gồm những thanh dẫn tiết diện chữ nhật đặt trong rãnh trên mặt cực từ. Trong rãnh có lót giấy hay cách điện bằng thanh dẫn được cách điện bằng vải thủy tinh hay bằng mica. Phần đầu nối thường được chế tạo bằng thanh đồng tròn.

3.14. DÂY QUẤN CẢN CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ CỰC LÒI

Dây quấn cản có tác dụng làm giảm rung, giảm nhẹ tác dụng của từ trường ngược khi tải không đối xứng. Trong các động cơ đồng bộ, cuộn cản được chế tạo bằng thanh đồng tròn (đồng thau hay đồng đỏ) đặt trong các rãnh trên mặt cực từ và được nối ngắn mạch ở hai đầu bằng hai vành đồng.

D. DÂY QUẤN MÁY BIẾN ÁP

3.15. YÊU CẦU CHUNG ĐỐI VỚI DÂY QUẤN

Yêu cầu đối với dây quấn có thể xét theo hai mặt chủ yếu :

1 Yêu cầu về vận hành. Dây quấn phải làm việc tốt trong các trường hợp sau :

- a. Chịu được điện áp lúc làm việc bình thường cũng như chịu được quá điện áp tự nhiên và thao tác, nghĩa là cách điện phải tốt.
- b. Không biến dạng, hư hỏng dưới tác dụng của lực điện động do dòng điện ngắn mạch gây ra.
- c. Chịu được nóng khi vận hành bình thường cũng như trường hợp ngắn mạch trong thời gian nhất định với độ tăng nhiệt không quá cao làm cho cách điện và dầu máy biến áp bị lão hóa quá nhanh.

2 Yêu cầu về chế tạo dây quấn phải có kết cấu tốt, tốn ít nguyên vật liệu, chế tạo đơn giản, rẻ tiền và bảo dưỡng dễ dàng.

Các yêu cầu trên có khi mâu thuẫn nhau, do đó khi thiết kế phải phối hợp các yêu cầu trên một cách hợp lý.

Thông thường quy trình thiết kế dây quấn như sau :

- Chọn kiểu và kết cấu của dây quấn để bảo đảm yêu cầu về vận hành và chế tạo.
- Tính toán, sắp xếp và bố trí dây quấn để cho cửa sổ máy biến áp được điện đầy và tản nhiệt tốt.
- Tính toán các đặc tính của máy biến áp đảm bảo các thông số quy định theo tiêu chuẩn.

3.16. KẾT CẤU CÁCH ĐIỆN CỦA DÂY QUẤN

3.16.1. Cách điện dây quấn

Khi làm việc, dây quấn chịu nhiều tác dụng phức tạp về điện, nhiệt, cơ học cũng như hóa lý, do đó nếu cách điện không hợp

lý thì sẽ làm hỏng máy biến áp hoặc làm tăng lượng sử dụng các vật liệu, vì vậy khi chọn chính xác kết cấu cách điện phải hiểu rõ ảnh hưởng của các tác dụng trên.

a. Tác dụng về điện. Máy biến áp điện lực luôn nối với lưới điện, do đó cách điện của máy luôn phải chịu sự tác động của điện áp làm việc định mức, vì vậy cách điện của dây quấn phải chịu được điện áp đó một cách lâu dài mà không bị hư hỏng

Quá điện áp mà dây quấn phải chịu gồm có hai loại :

1. Quá điện áp thao tác, thường do sự cố đường dây gây ra. Quá điện áp này thường bằng 4 lần điện áp định mức, thời gian tác dụng là $0,05 \sim 0,1$ sec và phân bố gần đều trên dây quấn. Do ảnh hưởng của nó, thường cách điện với đất hoặc cách điện giữa các pha bị hỏng (thường gọi là cách điện chính). Vì vậy khi xét cách điện chính phải chú ý sao cho cách điện này chịu được điện áp làm việc định mức và quá điện áp do thao tác.

2. Quá điện áp do sét sinh ra sóng xung kích tác dụng lên dây quấn máy biến áp. Quá điện áp này lớn, đến $10U_{dm}$, thời gian vài miligiây và phân bố không đều lên dây quấn, thường là ở hai đầu dây quấn, vì vậy ở hai đầu dây quấn phải tăng cường cách điện. Việc tăng cường này, có thể xem ở Phụ lục XIVc.

b. Tác dụng của lực điện động. Khi trong dây quấn có dòng điện chạy qua, giữa các vòng dây sinh ra lực điện động. Khi dòng điện định mức, lực này rất nhỏ; nhưng khi ngắn mạch lực, này lớn hơn lúc dòng định mức đến vài chục lần, có khi đến vài trăm lần và trị số của nó khá lớn. Khi dung lượng máy biến áp lớn thì lực điện động lúc ngắn mạch càng lớn, làm cho các tấm cách điện giữa các vòng dây bị phá hỏng, có khi cả dây đồng cũng bị đứt. Nếu dây quấn theo hướng trục cố định không tốt thì có thể có sự chuyển dịch của dây quấn theo dọc trục làm cách điện bị hư hỏng nhanh

c. Tác dụng của nhiệt Khi máy biến áp làm việc, trong dây quấn và lõi sắt có tổn hao làm máy nóng lên. Tác dụng lâu dài của nhiệt độ cao làm cho cách điện bị lão hóa, mất dần độ bền

cơ của nó mà biến giòn làm giảm độ bền điện. Thường khi thiết kế phải tính tuổi thọ của máy ít nhất là 15 ~ 20 năm. Dây quấn máy biến áp đa số ngâm trong dầu. Nhiệt độ dầu ở máy biến áp đầy tải có thể đến 95°C. Ở nhiệt độ cao, dầu sẽ bị oxy hóa nhanh làm cho tính năng cách điện của dầu giảm sút.

d. Tác dụng lý hóa học. Vật liệu cách điện ngâm trong dầu (giấy, sơn cách điện...) ở nhiệt độ cao sẽ có tác dụng hóa học với dầu máy biến áp Sơn cách điện trên dây dẫn của dây quấn sẽ tan dần trong dầu. Như vậy một mặt cách điện giữa các vòng dây và giữa các pha hay cách điện với đất bị hỏng đi, mặt khác dầu máy biến áp cũng bị hỏng làm cho tính năng cách điện của dầu giảm, do đó cứ sau một thời gian nhất định phải lọc dầu một lần để nâng cao tính năng cách điện.

3.16.2. Thử nghiệm cách điện

Để kiểm tra chất lượng chế tạo máy biến áp, lúc làm xong, trước khi xuất xưởng, máy biến áp phải được thử nghiệm cao áp. Thử nghiệm gồm 2 loại :

a) Thử nghiệm xuất xưởng được thực hiện cho tất cả các máy biến áp bao gồm thử chịu điện áp tần số công nghiệp và thử cách điện giữa các vòng dây

b) Thử điển hình bao gồm các mục của thử xuất xưởng và thử thêm chịu điện áp sóng xung kích.

Thử cao áp tần số công nghiệp và sóng xung kích phải theo tiêu chuẩn. Theo TCVN 6306-3-1997 (tương ứng với tiêu chuẩn Hội kỹ thuật điện quốc tế IEC 76-1-1993) thì điện áp thử nghiệm tùy thuộc vào điện áp làm việc lớn nhất và được ghi trong Phụ lục XIII.

Thử nghiệm cách điện giữa các vòng dây được tiến hành bằng cách lấy điện áp định mức trên dây quấn lên 2 lần (tăng tần số điện áp đưa vào lên 2 lần tần số định mức) và đặt điện áp này lên dây quấn trong một phút.

3.16.3. Kết cấu cách điện

Trong chế tạo máy biến áp, giá thành của vật liệu cách điện chiếm một tỷ trọng rất lớn, điện áp càng cao thì tỷ lệ, càng tăng.

Vì vậy chọn một kết cấu điện thích hợp là rất cần thiết. Khe hở cách điện, vật liệu và kích thước của chúng ảnh hưởng rất lớn đến kết quả cách điện. Ví dụ, khe hở quá nhỏ có thể dẫn đến việc phóng điện qua khe hở. Nếu chọn lớn quá thì kích thước máy sẽ lớn lên, vì vậy chọn chính xác kết cấu cách điện bao gồm vật liệu cách điện và khe hở cách điện là một việc vô cùng quan trọng.

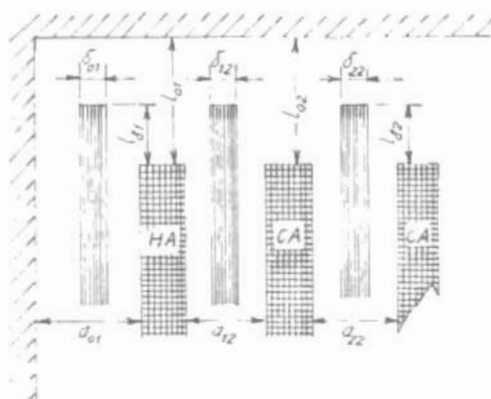
Kết cấu cách điện máy biến áp thường chia làm bốn loại : cách điện chính (với đất và giữa các pha), cách điện phụ (giữa các vòng dây, các lớp dây), cách điện dây dẫn ra và dây điều chỉnh điện áp) và cách điện trong không khí (giữa các sứ).

Khoa học kỹ thuật ngày càng tiến bộ nên kết cấu cách điện ngày một thay đổi. Ở đây chỉ giới thiệu kết cấu cách điện của Nga thời thập niên 80 của thế kỷ 20.

a. Cách điện chính.

Đó là cách điện giữa dây quấn với đất (lõi sắt) hoặc giữa các vòng dây với nhau, vì vậy tùy thuộc vào cấp điện áp thử nghiệm.

Các khoảng cách cách điện chính của các dây quấn được liệt kê trong Phụ lục XIV-1, 2 và cách bố trí cách điện chính trong máy biến áp theo cấp điện áp được mô tả trong hình 3-45.



Hình 3-45. Cách điện chính trong máy biến áp

b. Cách điện phụ. Cách điện phụ bao gồm cách điện giữa các vòng dây, các lớp dây hoặc các bánh dây, cách điện ở hai đầu cuộn dây.

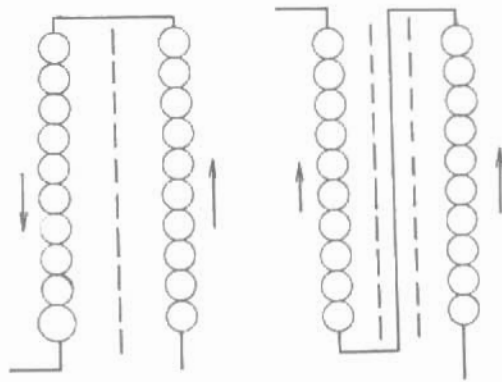
Cách điện giữa các vòng dây thường dùng cách điện của bản thân dây dẫn.

Để tăng cường tính chịu quá điện áp do sét gây ra, đối với máy có điện áp trên 20 kV thì hai đầu dây quấn cao áp có tăng cường cách điện. Cách tăng cường xem ở Phụ lục XIV bảng XIV-3.

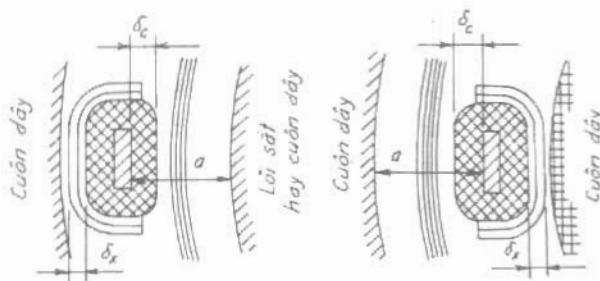
Cách điện giữa các lớp dây tùy thuộc vào điện áp giữa các lớp dây quấn bố trí theo (hình 3-46) mà giá trị của nó được ghi trong Phụ lục XIV - bảng XIV-4, 5.

Cách điện giữa các bánh dây thường dùng rãnh dầu rộng từ 4 đến 6 mm, đệm bằng giấy cách điện. Cách điện giữa các bánh dây điều chỉnh điện áp được ghi trong Phụ lục XIV - bảng XIV-8.

c. Cách điện dây dẫn ra. Dây dẫn ra của dây quấn thường dùng bản thân dây dẫn làm dây quấn đó. Dây dẫn ra thường đi trong dầu máy biến áp giữa dây quấn và thùng dầu (hình 13-47), do đó phải đảm bảo một khoảng cách cách điện trong dầu nhất định, khoảng cách đó được cho trong Phụ lục XIV bảng XIV-6 và 7.



Hình 3-46. Phương pháp quấn dây



Hình 3-47. Cách điện dây dẫn ra trong thùng dầu

d. Khoảng cách cách điện trong không khí của các ống sứ.
Khoảng cách này thường theo quy định của tiêu chuẩn, có thể tra ở Phụ lục XIV, bảng XIV-9.

3.17. KẾT CẤU DÂY QUẦN VÀ CÁC KIỂU DÂY QUẦN

3.17.1 Kết cấu dây quần

Thành phần cơ bản của cuộn dây là vòng dây. Một vòng dây có thể gồm một hoặc nhiều thanh dẫn hợp lại nối song song với nhau. Các thanh dẫn đó có tiết diện bằng nhau hoặc gần bằng nhau.

Trong dây quần kiểu liên tục hay dây quần xoắn ốc, theo chiều cao dây quần có đặt các rãnh dẫu hoặc lớp cách điện ngang xen kẽ với các bánh dây quần, và như vậy chiều cao một bánh dây là khoảng cách giữa hai rãnh dẫu (hoặc lớp cách điện ngang) kế nhau. Bánh dây có thể gồm một hoặc nhiều vòng dây.

Ở dây quần xoắn, một bánh dây chỉ có một vòng dây; còn trong dây quần xoáy ốc liên tục, mỗi bánh dây gồm nhiều vòng dây.

Giữa dây quần hạ áp và lõi sắt, dây quần HA và CA, giữa các dây quần CA đều có rãnh dẫu dọc trục, như vậy dẫu có thể lên xuống dễ dàng. Còn giữa các bánh dây của dây quần HA và CA, cũng có thể có rãnh dẫu ngang trục để dẫu chảy ngang ra và đổi lưu được dễ dàng làm nguội dây quần, đồng thời có tác dụng cách điện. Cách bố trí rãnh dẫu xem trên hình 3-48.

Tùy theo chiều quần có thể chia dây quần ra làm loại quần trái và quần phải như kiểu đường ren trong đinh vít. Trên thực tế, nếu không có ràng buộc gì thì thường dùng dây quần trái.

Để tạo ra rãnh dẫu ngang, người ta dùng các cần ngăn cách, được cố định bằng các thanh cách điện. Để tạo rãnh dẫu dọc trục dùng các cần dọc. Các thanh cách điện và cần cách điện dọc được cố định lên một ống bakelit (hình 3-48).

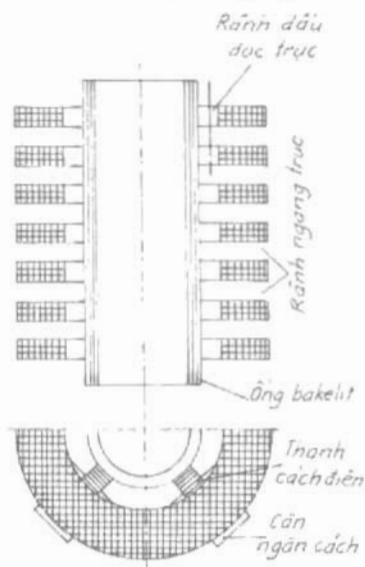
Cách điện giữa dây quấn HA và lõi sắt là một ống bakelit và trong máy biến áp công suất lớn còn thêm rãnh dầu dọc giữa ống bakelit với dây quấn.

Sau khi quấn xong, dây quấn phải được sấy khô trong chân không và tẩm cách điện dưới áp suất để sơn cách điện vào hết các khe hở. Sau đó lại đưa vào sấy tiếp để dây quấn khô.

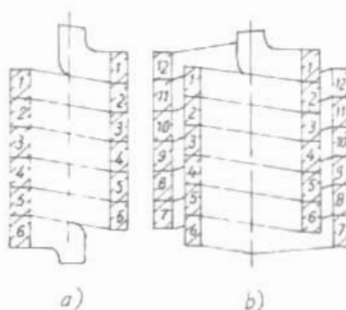
3.17.2. Các kiểu dây quấn

Tùy theo công suất và điện áp, có thể dùng các kiểu dây quấn sau :

a. *Dây quấn hình ống, dây dẫn chữ nhật* : Quấn thành trụ theo chiều nằm của thanh dẫn. Nếu dòng điện quá lớn thì có thể ghép nhiều sợi song song đặt theo chiều trục để tránh từ tản khác nhau trong các sợi ghép song song đó. Nếu quấn dây quấn này thành 1 lớp thì gọi là dây quấn hình ống đơn. Nếu quấn thành 2 lớp thì có dây quấn hình ống kép (hình 3-49). Ưu điểm của loại dây quấn này là đơn giản, nhược điểm là hai đầu dây không có gì giữ chặt nên dễ bị tung ra, đầu dây quấn phải dùng lớp cách điện để giữ dây dày 0,5 ~ 1,5 cm (hình 3-50). Loại dây quấn này

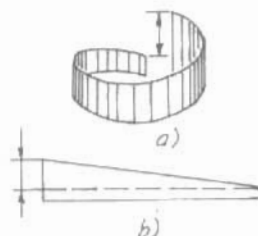


Hình 3-48. Các rãnh dầu trong dây quấn



Hình 3-49. Dây quấn hình ống
a- đơn; b- kép

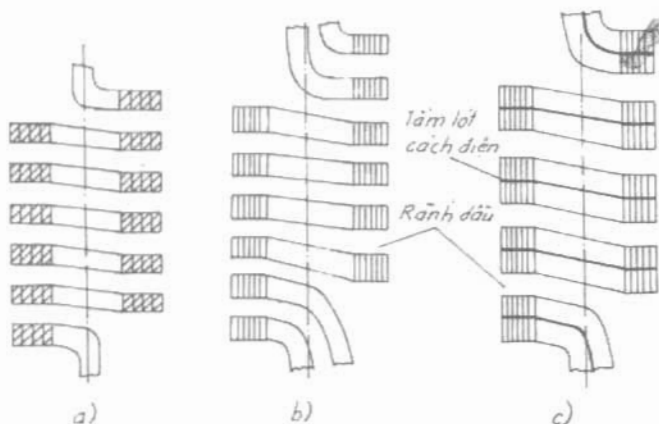
chủ yếu dùng làm dây quấn HA trong các máy biến áp nhỏ, công suất 10 – 16 kVA (dây quấn đơn) và vừa, công suất 25 ÷ 630 kVA (dây quấn kép) với điện áp dưới 6 kV. Gần đây đã sử dụng dây quấn hình ống dây dẫn tiết diện chữ nhật nhiều lớp dùng cho cao áp với công suất mỗi trục $S'_p \leq 250$ kVA, điện áp trên 6 kV, giữa các lớp dùng giấy cách điện để lót. Số lớp cách điện được ghi trong bảng của Phụ lục XIV-4 theo điện áp giữa hai lớp.



Hình 3-50. Cách điện dẽm đầu cuộn dây

a. Cách quấn; b. Hình triển khai

b. *Dây quấn hình xoắn.* Dây quấn gồm một hoặc nhiều sợi dây bện chặt lại theo hướng kính và quấn theo hướng dọc trục như đường ren ốc. Nếu chặt các sợi theo hướng kính thành một mạch để quấn thì có kiểu dây quấn xoắn đơn (hình 3-51a). Khi



Hình 3-51. Dây quấn hình xoắn ốc

a. Mạch đơn; b. Mạch kép có rãnh dầu giữa hai mạch;
c. Mạch kép có tấm lót cách điện giữa hai mạch

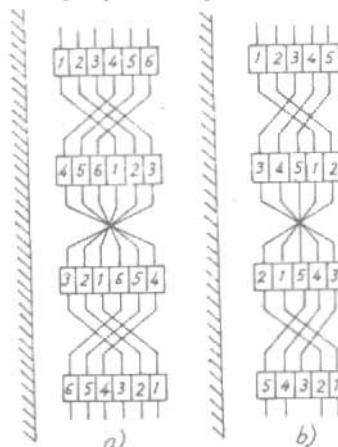
dòng điện lớn phải chập thành hai mạch để quấn thì có kiểu dây quấn xoắn kép (hình 3-51b, c), giữa hai mạch kép có thể có rãnh dầu hay chỉ là lớp cách điện. Kiểu dây quấn này có số vòng ít, tiết diện lớn, dùng làm dây quấn HA.

Ưu điểm của loại dây quấn này là cường độ cơ học tốt, tản nhiệt tốt.

Nhược điểm là chiều dài các sợi ghép song song khác nhau nên điện trở khác nhau, từ thông tản không đều nên điện kháng tản trong mỗi sợi sẽ khác nhau. Để điện kháng của các sợi như nhau, phải hoán vị tập trung ở ba chỗ $1/4$, $2/4$, $3/4$, dây quấn tại chỗ hoán vị (hình 3-52), phải có một khoảng trống để các sợi tránh nhau làm tăng chiều cao của dây quấn. Mỗi lần hoán vị tăng một rãnh dầu và một bánh dây (hình 3-53).

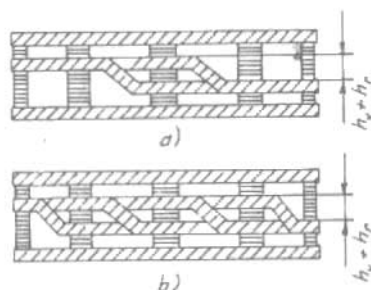
Đối với dây quấn hình xoắn mạch kép phải hoán vị phân bố đều, nghĩa là số lần hoán vị bằng số sợi ghép song song (hình 3-54). Vì nhờ có hai mạch chạy song song nên không cần chỗ tránh khi hoán vị, do vậy không ảnh hưởng đến chiều cao của dây quấn.

Dây quấn hình xoắn dùng làm cuộn HA đến 20 kV, công suất mỗi trụ máy biến áp từ 50 đến 250 kVA.



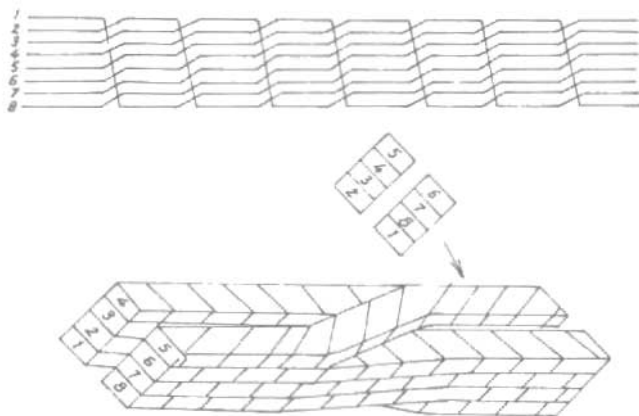
Hình 3-52. Hoán vị dây quấn tập trung

- a. Khi số sợi ghép song song là số chẵn;
b. Khi số sợi ghép song song là số lẻ



Hình 3-53. Tăng rãnh dầu ở các chỗ hoán vị

- a. Ở $1/4$ và $3/4$ dây quấn
b. Ở giữa dây quấn



Hình 3-54. Cách hoán vị trong dây quấn xoắn mạch kép

c. Dây quấn hình ống nhiều lớp

Dùng dây dẫn tròn quấn thành hình trụ đồng tâm nhiều lớp (thường nhiều hơn 2 lớp). Có thể dùng một sợi hay nhiều sợi ghép song song (≤ 4); khi dùng nhiều sợi ghép song song cũng cần hoán vị vị trí các sợi).

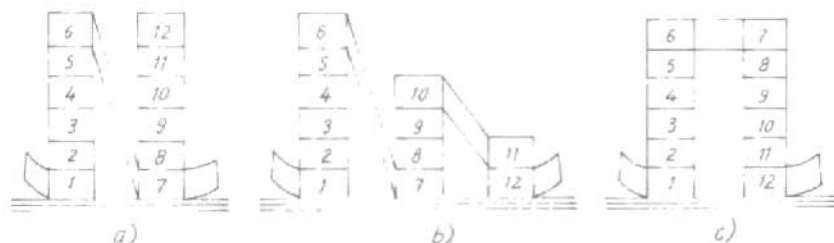
Ưu điểm của loại dây quấn này là dễ chế tạo nhưng nhược điểm là cường độ cơ kém, tản nhiệt khó khăn, phải lèn chặt đầu bằng cách điện. Loại dây quấn này thường dùng làm cuộn cao áp với điện áp 6, 10, 35 kV, với công suất mỗi trụ máy biến áp $S_p \leq 250$ kVA.

Hiện nay hay dùng dây quấn hình ống nhiều lớp phân đoạn bằng dây dẫn tròn. Như vậy sẽ giảm được điện áp giữa các lớp phân đoạn và tăng cường việc tản nhiệt trong các đoạn dây quấn nhờ các rãnh dầu giữa các đoạn, nhưng giá thành chế tạo cao hơn. Kiểu này dùng trong máy biến áp có công suất $S_p \leq 1000$ kVA.

d. Dây quấn kiểu xoắn ốc liên tục. Dùng tiết diện chữ nhật quấn liên tục thành nhiều bánh theo đường xoắn ốc phẳng. Như vậy chiều cao bánh dây bằng chiều cao sợi dây. Giữa các bánh dây hay vài bánh dây có rãnh dầu ngang. Suốt cuộn dây không

có mối hàn nào giữa các bánh nhờ cách quấn (hình 3-55) có sắp xếp lại. Có thể dùng một hay nhiều sợi (≤ 4) ghép lại để quấn. Như vậy phải hoàn vị.

Ưu điểm của kiểu dây quấn này là cường độ cơ tốt, tản nhiệt tốt, nhược điểm là khó quấn.



Hình 3-55. Quá trình sắp xếp dây quấn xoắn ốc liên tục

a. Bước 1 ; b. Bước 2 ; c. Bước cuối cùng

Để cho các đầu dây của dây quấn đều nằm ngoài cùng của bánh dây cho dễ cách điện, số bánh dây phải là số chẵn.

Kiểu dây quấn này có thể dùng làm cuộn cao áp và hạ áp.

13.3.4. Cuộn điều chỉnh điện áp

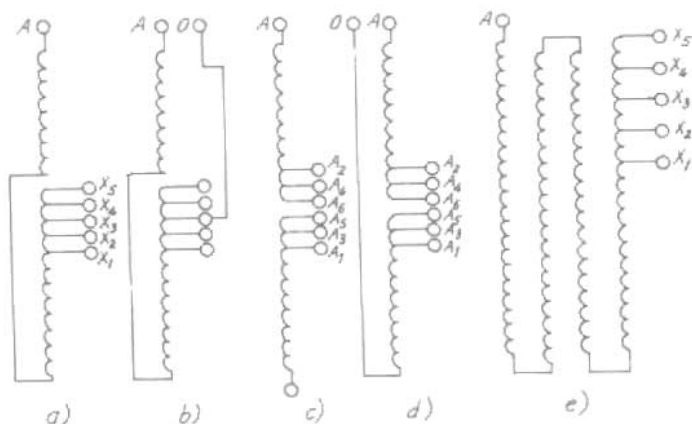
Căn cứ vào tiêu chuẩn quốc gia, việc điều chỉnh điện áp được thực hiện ở dây quấn cao áp (hoặc trung áp). Thường với các mức điều chỉnh là $\pm 5\% U_{dm}$ và $\pm 2,5\% U_{dm}$ với các máy biến áp ngâm dầu công suất từ 25 đến 200.000 kVA. Có hai cách điều chỉnh điện áp :

a. Điều chỉnh không tải (nghĩa là ngắt máy biến áp ra khỏi lưới rồi mới điều chỉnh điện áp, sau đó đóng máy biến áp vào lưới lại.

b. Điều chỉnh dưới tải, nghĩa là điều chỉnh điện áp khi máy biến áp vẫn làm việc trong lưới điện và đang có tải. Hiện nay các máy biến áp công suất trung bình trở lên đều là loại điều chỉnh dưới tải.

Các đầu ra của cuộn dây điều chỉnh điện áp được bố trí theo hình 3-56, trong đó hình 3-56 a, b, c thích hợp với dây quấn hình

ống nhiều lớp. Hình 3-56c, d thích hợp với dây quấn liên tục.

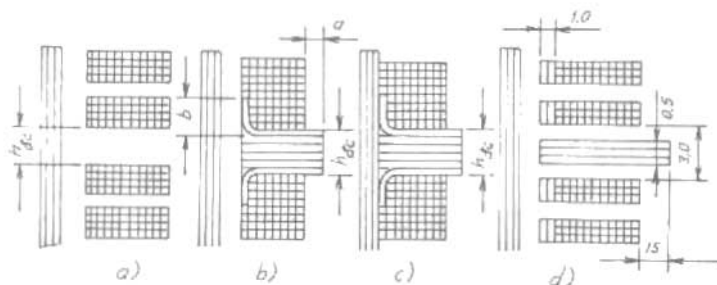


Hình 3-56. Sơ đồ điều chỉnh điện áp ở cuộn CA

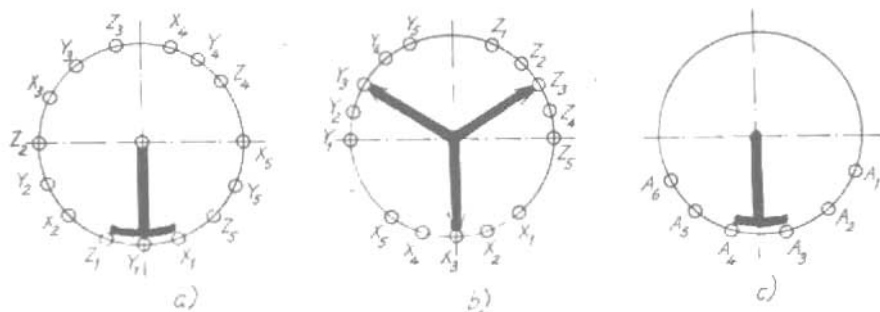
Về mạch điện thì các đầu ra của các cuộn điều chỉnh điện áp ở hình a, b, e được bố trí ở gần điểm trung tính của dây quấn, nên nếu dòng điện định mức của máy biến áp cho phép thì có thể dùng một bộ đổi nối chung cho cả ba dây quấn ba pha. Do điện áp điều chỉnh gần điểm trung tính của máy biến áp nên điện áp trên các đầu nối của bộ biến đổi không vượt quá điện áp dây 10% và các đầu dây bố trí trên bộ đổi nối như ở hình 3-56a và b. Tất nhiên đối với kiểu ở hình 3-56a, b thì phải quấn hai nửa của dây quấn ngược nhau để dòng điện sau khi đầu ngược vào tạo ra từ thông cùng chiều. Với cách quấn như thế này khi bị ngắn mạch, dây quấn sẽ chịu lực điện động của dòng điện tốt hơn. Tuy nhiên ở khoảng hở giữa hai nửa dây quấn chịu một điện áp bằng một nửa điện áp định mức, vì vậy rãnh dầu ở chỗ này phải lớn hơn (xem bảng XIV-8 Phụ lục XIV). Thường sử dụng cách đấu dây này trong các máy biến áp có điện áp định mức đến 10 kV, nhưng khi điện áp đến 35 kV thì rãnh dầu ở giữa phải tăng đến 25 mm làm chiều cao dây quấn cao áp tăng quá cao. Mặt khác cách điện của bộ điều chỉnh điện áp bị hạn

chế, do đó đối với máy biến áp 35 kV trở lên dùng kiểu điều chỉnh điện áp loại c, d, lúc đó dây quấn cao áp vẫn làm thành hai đoạn nhưng cùng chiều, dây dẫn ra của các cuộn điều chỉnh điện áp vẫn ở giữa dây quấn nên giảm được lực điện động dọc trục. Như vậy việc điều chỉnh điện áp được thực hiện riêng rẽ cho từng pha trên một đĩa điều chỉnh điện áp (hình 3-58c). Như vậy muốn có +5% thì nối các đầu A_1A_2 ; định mức là A_3A_4 và -5% là A_5A_6 . Còn +2,5% là A_2A_3 và -2,5% là A_4A_5 . Do đó bộ điều chỉnh điện áp sẽ gồm có ba đĩa của ba pha cùng chung trục quay nếu dòng điện định mức $I_{dm} < 120$ A; còn khi $I_{dm} > 120$ A thì ba đĩa sẽ được đặt thành ba bộ độc lập gắn lên mặt bên của máy biến áp và thao tác riêng biệt trên nắp máy biến áp. Các bộ điều chỉnh này có thể dùng cho các máy biến áp đến 220 kV.

Kết cấu cách điện ở chỗ điều chỉnh điện áp như ở hình 3-57.



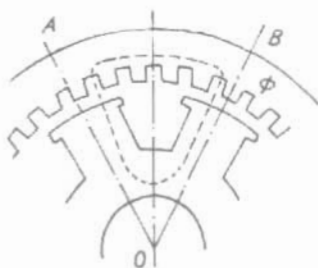
Hình 3-57. Kết cấu cách điện ở chỗ điều chỉnh điện áp



Hình 3-58. Sơ đồ đấu dây bộ điều chỉnh điện áp

Tính toán mạch từ

Tính toán mạch từ là xác định sức từ động (viết tắt là s.t.đ) cần thiết để tạo ra ở khe hở không khí một từ thông có thể sinh ra sức điện động đã xác định ở dây quấn phản ứng. Do tính chất đối xứng của máy điện, từ thông sinh ra ở mỗi cực từ được phân bố thành hai phần bằng nhau bởi trục cực từ; các phần này cùng với các phần khác của cực kế cận tạo thành những mạch từ khép kín, số mạch từ này đúng bằng số cực từ của máy điện.



Hình 4-1. Mạch từ trong máy

Vì vậy khi tính toán ta chỉ cần tính mạch từ ở một đôi cực (hình 4-1). Nếu ký hiệu s.t.đ của mạch từ là F thì vì mạch từ gồm nhiều đoạn nối tiếp nhau nên theo định luật toàn dòng điện ta có thể viết:

$$F = \oint H dl = \sum H_x l_x = \sum F_x = Iw \quad (4-1)$$

ở đây:

H_x, l_x - cường độ từ trường A/cm và chiều dài một đoạn bất kỳ của mạch từ;

F_x - sức từ động ở đoạn mạch từ l_x .

Mạch từ của máy điện có thể chia làm năm đoạn sau: khe hở không khí, răng (hay cực từ) của rôto, gông rôto, răng (hay cực

Trị số B_δ xác định theo công thức:

$$B_\delta = \frac{\Phi}{\alpha_\delta r l_\delta} 10^4 ; T \quad (4-4)$$

trong đó: α_δ - hệ số tính toán mật cực từ và bằng tỷ số độ dài tính toán của cung mật cực từ b_δ với bước cực:

$$\alpha_\delta = \frac{b_\delta}{\tau} \quad (4-5)$$

l_δ - chiều dài tính toán của phần ứng.

Các trị số b_δ và l_δ được xác định theo sự phân bố mật độ từ thông trong khe hở không khí theo bề mặt cực và chiều dài của máy (hình 4-2 và hình 4-3).

Với máy điện một chiều công suất nhỏ, khe hở không khí dưới mật cực không đổi thì b_δ có thể lấy gần đúng bằng:

$$b_\delta \approx b_m + 2\delta \quad (4-6)$$

trong đó:

b_m - chiều dài thực của cung mật cực.

Nếu ở hai mép của mật cực bị gọt đi, giả thử một đoạn dài khoảng $\frac{1}{6} b_\delta$ và trị số khe hở δ_m ở đầu móm cực bằng 2δ , lúc đó b_δ có thể lấy gần đúng bằng:

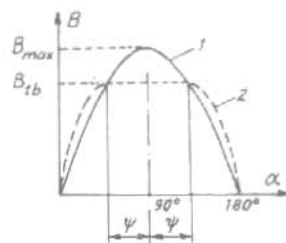
$$b_\delta \approx b_m \quad (4-7)$$

Chiều dài tính toán của phần ứng bằng:

$$l_\delta = 0,5(l_t + l) \quad (4-8)$$

trong đó:

l_t - chiều dài của



Hình 4-4. Đường cong sóng từ cảm trong khe hở không khí
1- Sóng hình sin. 2- Sóng thực

cực tử theo chiều trục ;

l- chiều dài phần ứng không kể rãnh thông gió :

$$l = l_1 - n_g b_g \quad (4-9)$$

Ở đây :

l_1 - chiều dài toàn bộ lõi sắt phần ứng, thường dài hơn l một ít ;

n_g, b_g - số rãnh và chiều rộng rãnh thông gió.

Đối với máy điện không đồng bộ thông dụng, do sự bão hòa thép ở mạch từ nên đường cong từ trường ở khe hở không khí khác dạng hình sin và có dạng bằng đầu, thường dùng hệ số bão hòa răng k_z để biểu thị :

$$k_z = \frac{F_\delta + F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} \quad (4-10)$$

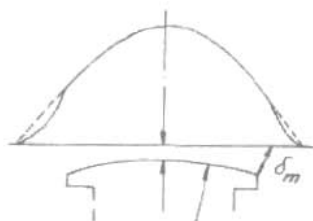
Ở đây :

F_δ, F_{z1}, F_{z2} - s.t.đ ở khe hở không khí và ở răng stato, rôto.

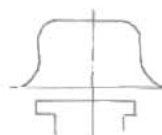
Trong một thiết kế hợp lý, k_z thường trong khoảng 1,2 ÷ 1,5. Lúc đó sự bằng đầu của đường cong từ trường (đường 2 trong hình 4-4) trong khe hở sẽ bằng đầu ở một góc $\Psi = 35^\circ$ điện so với trục của sóng. Vì vậy từ cảm tính toán với trị số không phải là biên độ bằng $B_{11} = B_{\max} \cos \Psi = 0,82 B_{\max}$

Từ B_{11} xác định H_{11} theo đường cong từ hóa sóng cơ bản. Sau đó tăng kết quả lên $k = 1/0,82$ lần để có cường độ từ trường ở trị số biên độ. Với khe hở không khí, quan hệ $H = f(B)$ là tuyến tính, do đó sức từ động của khe hở không khí tỷ lệ thuận theo B_δ .

Để xác định sức từ động các bộ phận của mạch từ không tuyến tính và xuất hiện sự bằng đầu, phải dùng đường cong từ hóa riêng đối với răng và gông động cơ điện không đồng bộ dựa theo đường cong từ hóa sóng cơ bản có chú ý đến sự bằng đầu đó. Vì lý do như vậy, khi tính toán vẫn lấy $\alpha_\delta = 2/\pi$ và $k_s = 1,11$.



Hình 4-5. Mặt cực để có được dạng sóng từ trường gần hình sin



Hình 4-6. Mặt cực với dạng sóng từ trường hình chữ nhật

Chiều dài tính toán của phần ứng stato l_δ có thể lấy bằng chiều dài của những thép lá thép kỹ thuật điện khi khe hở $\delta < 1,5 \text{ mm}$.

$$l_\delta = l_1 - n_g b_g \quad (4-11a)$$

Nếu $\delta \geq 1,5 \text{ mm}$ thì xác định như sau:

$$l_\delta = l_1 - n_g b'_g \quad (4-11b)$$

b'_g lấy theo bảng 4.1.

Bảng 4.1. Trị số của b'_g

$\delta, \text{ mm}$	1,5	1,75	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
b'_g khi $b_g = 10 \text{ mm}$	7,4	7,1	6,8	6,3	5,8	5,5	5,1
b'_g khi $b_g = 15 \text{ mm}$	12,4	12,0	11,7	11,0	10,4	9,8	9,3

Với máy điện đồng bộ cực lõi, dạng đường cong từ trường phụ thuộc vào hình dạng ngoài của mặt cực từ, chiều dài cung cực từ b_m và mức độ bão hòa của thép. Chiều dài cung cực từ b_m chọn trong khoảng $(0,55 - 0,75)\tau$. Trị số nhỏ thường chọn cho các máy có đường kính và số cực không lớn lắm. Lấy giới hạn trên sao cho có khoảng trống giữa hai cực để đủ đặt dây quấn kích từ vào các cực. Với những máy có tốc độ chậm không nên lấy $b_m > 0,75\tau$, vì trị số b_m lớn thì sự tản từ giữa các móm cực sẽ tăng rất nhiều.

Hình dáng mặt cực của máy thông thường có dạng như ở hình 4-5 và hình 4-6.

Đường cong từ trường của một cực như ở hình 4-5 gần dạng hình sin. Bán kính đường cong mặt cực R_m có thể xác định bằng công thức sau:

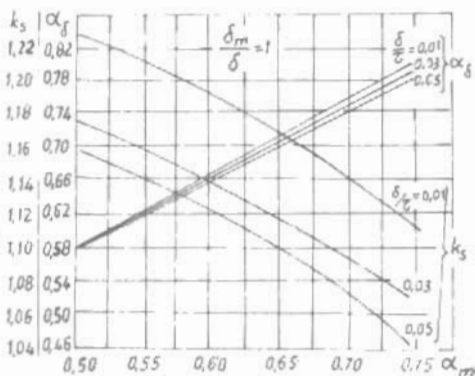
$$R_m = \frac{D}{2 + \frac{8D(\delta_m - \delta)}{b_m^2}} \quad (4-12)$$

trong đó:

D - đường kính trong stato;

b_m - chiều dài cung cực từ;

δ_m - khe hở không khí dưới mòm cực.



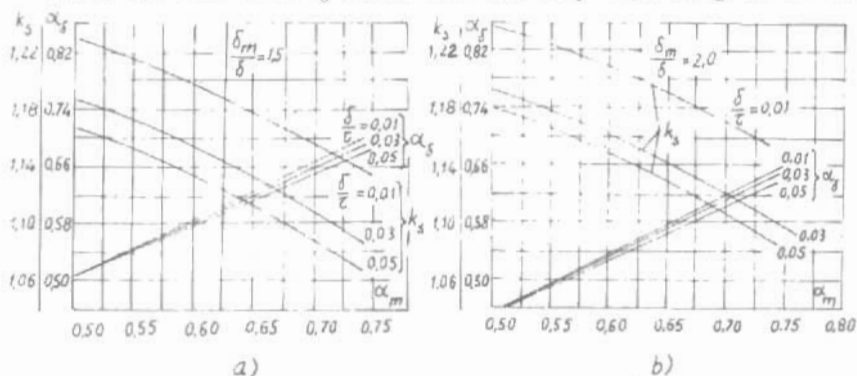
Hình 4-7. $\alpha_\delta = f(\alpha_m)$ và $k_s = f(\alpha_m)$

của máy đồng bộ có mặt cực như ở hình 4-6 với $\delta_m/\delta = 1$ và các trị số khác nhau của δ/τ

Đối với máy điện đồng bộ thông dụng, người ta chọn $\delta_m = (1,5 - 2,0)\delta$ để đạt được đường cong từ trường gần hình sin. Mặt cực có dạng như ở hình 4-6 thì đường cong từ trường gần giống hình chữ nhật và thường chỉ dùng trong các máy nhỏ ($P < 100$ kVA).

Trị số α_δ và k_s đối với máy cực lỗi được biểu diễn trong các hình 4-7 và 4-8.

Chiều dài tính toán l_δ chính xác của máy điện đồng bộ có thể



Hình 4-8. $\alpha_\delta = f(\alpha_m)$ và $k_s = f(\alpha_m)$ của máy điện đồng bộ có mặt cực như ở hình 4-5 với $\delta_m/\delta = 1,5$ (a) và $2,0$ (b) và các trị số khác nhau δ/τ

được xác định theo công thức sau:

$$l_{\delta} = l_1 - n_g b'_g + 2\delta' \quad (4-13)$$

Ở đây:

δ' - chiều dài trung bình của khe hở không khí;

$b'_g = \gamma' \delta$ - chiều rộng rãnh thông gió đã quy đổi.

$$\gamma' = \left(\frac{b_g^2}{\delta} \right) / \left(5 + \frac{b_g}{\delta} \right)$$

Hệ số khe hở không khí (hệ số Carter):

Trị số α_{δ} xác định ở trên đối với các loại máy điện là chưa tính đến mật phản ứng có rãnh mà chỉ giả thiết là mật phản ứng nhẵn. Thực tế thì mật phản ứng có răng nên đường sức từ phân bố không đều ở khe hở không khí, chúng tập trung nhiều ở răng còn ở rãnh thì thưa (hình 4-9), vì vậy có thể coi khe hở không khí thực tế bằng:

$$\delta' = k_{\delta} \delta \quad (4-14)$$

trong đó $k_{\delta} > 1$ là hệ số khe hở không khí. Trị số của nó được tính theo công thức sau:

$$k_{\delta} = \frac{t_1 + 10\delta}{b_{z1} + 10\delta} \quad (4-15)$$

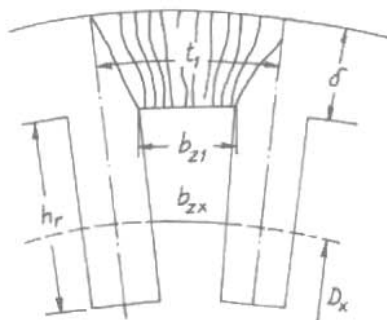
Ở đây:

t_1 - bước răng theo chu vi phần ứng;

b_{z1} - chiều rộng của bề mặt răng;

Có thể tính chính xác k_{δ} theo công thức sau:

$$k_{\delta} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma \delta} \quad (4-16a)$$



Hình 4-9. Sự phân bố của đường sức từ khi phản ứng có răng rãnh.

trong đó:
$$\gamma = \frac{(b_4/\delta)^2}{5 + (b_4/\delta)^2} \quad (4-16b)$$

ở đây: b_4 - chiều rộng của miệng rãnh stato hay rôto. Nếu là rãnh hở thì nó bằng chiều rộng rãnh b_r .

Trị số k_δ có thể xác định theo các hình 4-10 và 4-11.

Nếu cả stato và rôto đều có rãnh thì hệ số k_δ có thể tính gần đúng như sau:

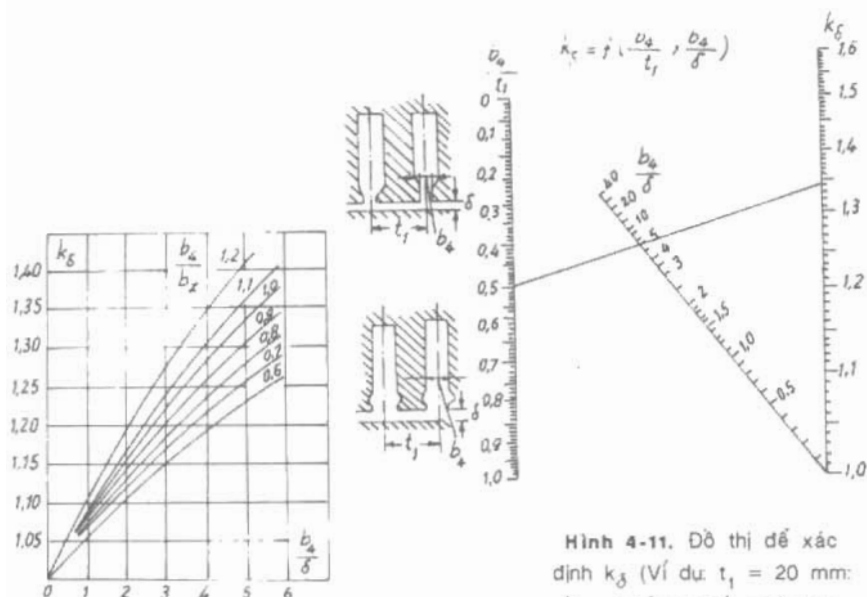
$$k_\delta = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} \quad (4-17)$$

trong đó $k_{\delta 1}$ và $k_{\delta 2}$ là hệ số khe hở do răng rãnh của stato và rôto gây nên.

Như vậy s.t.đ ở khe hở không khí bằng:

$$F_\delta = 1,6 B_\delta k_\delta \delta \cdot 10^{-4} ; A \quad (4-18)$$

Ở đây B_δ tính theo Tesla và δ theo cm.



Hình 4-10. Trị số của k_δ

Hình 4-11. Đồ thị để xác định k_δ (Ví dụ: $t_1 = 20$ mm; $b_{r1} = 10$ mm; $\delta = 2$ mm; $b_{r1}/t_1 = 0,5$; $b_{r1}/\delta = 5$; $k_\delta = 1,35$)

4.2. SỨC TỪ ĐỘNG Ở RĂNG

Sức từ động răng được xác định theo công thức sau:

$$F_z = 2h_z H_z \quad (4-19)$$

Ở đây:

h_z - chiều cao răng theo hướng kính;

H_z - cường độ từ trường ở răng. Trị số của nó được xác định như sau:

Ứng với mỗi bước răng từ thông ở đó sẽ là:

$$\Phi_l = B_\delta l_\delta t_l \quad (4-20)$$

Vì từ dẫn ở thép lớn hơn ở không khí rất nhiều nên phần lớn từ thông Φ_l đi qua răng. Nếu biểu thị b_{zx} là chiều rộng của răng tương ứng với đường kính D_x thì tiết diện tác dụng của răng ở đó là:

$$S_{zx} = k_c l b_{zx} \quad (4-21)$$

ở đây:

k_c - hệ số ép chặt của lõi sắt (xem bảng 2.4);

l - chiều dài phần ứng không kể rãnh thông gió.

Đối với các máy mà rãnh có thành song song (b_r không đổi), chiều rộng của răng thay đổi theo đường kính D_x .

Nếu chu vi phần ứng có Z răng thì bước răng ở đường kính D_x bằng:

$$t_{lx} = \frac{\pi D_x}{Z}$$

Chiều rộng của răng bằng:

$$b_{zx} = t_{lx} - b_r$$

Mật độ từ thông tính toán tương ứng của răng sẽ là:

$$B_{zx} = \frac{\Phi_l}{S_{zx}} = \frac{B_\delta l_\delta t_\delta}{k_c l b_{zx}} \quad (4-22)$$

Nếu $B_{zx} \leq 1,8$ T thì từ thông Φ_l coi như chỉ đi qua răng, trong trường hợp này trị số thực của mật độ từ thông B_{zx} có thể

lấy bằng $B_{\lambda\lambda}$.

Nếu $B_{\lambda\lambda} > 1,8 T$ thì từ thông Φ_l chỉ đi qua răng một phần và $B_{\lambda\lambda} < B_{\lambda\lambda'}$.

Như vậy từ thông Φ_l tách làm hai phần: phần qua răng là $\Phi_{\lambda\lambda}$ và phần qua rãnh là $\Phi_{\lambda\lambda'}$. Ta có:

$$\Phi_l = \Phi_{\lambda\lambda} + \Phi_{\lambda\lambda'} \quad (4-23)$$

Chia cả hai vế này cho $S_{\lambda\lambda}$ và nhân $\Phi_{\lambda\lambda'}$ với $\frac{S_r}{S_r}$, ta được:

$$\frac{\Phi_l}{S_{\lambda\lambda}} = \frac{\Phi_{\lambda\lambda}}{S_{\lambda\lambda}} + \frac{\Phi_{\lambda\lambda'}}{S_{\lambda\lambda'}} \cdot \frac{S_r}{S_r} \quad (4-24)$$

Từ đó rút ra:

$$B_{\lambda\lambda} = B_{\lambda\lambda} + B_{\lambda\lambda'} \cdot \frac{S_r}{S_{\lambda\lambda}} = B_{\lambda\lambda} + \mu_0 H_{\lambda\lambda'} \cdot \frac{S_r}{S_{\lambda\lambda}} \cdot 10^4 \quad (4-25)$$

trong đó:

$B_{\lambda\lambda'} = \mu_0 H_{\lambda\lambda'} 10^4$ - mật độ từ thông ở rãnh;

$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-8} \text{ H/cm}$ - độ từ thẩm ở không gian trong rãnh.

Giả thiết rằng từ trường tại vòng tròn có đường kính D_{λ} là đẳng thế nên có thể lấy $H_{\lambda\lambda} = H_{\lambda\lambda'}$, do đó đẳng thức (4-25) được viết như sau:

$$B_{\lambda\lambda} = B_{\lambda\lambda} + \mu_0 H_{\lambda\lambda} k_{\lambda\lambda} 10^4 = B_{\lambda\lambda} + 1,256 \cdot 10^{-4} \cdot k_{\lambda\lambda} H_{\lambda\lambda} \quad (4-26)$$

ở đây: $H_{\lambda\lambda}$ - cường độ từ trường ở tiết diện răng tương ứng.

Hệ số $k_{\lambda\lambda}$ xác định như sau:

$$k_{\lambda\lambda} = \frac{S_l}{S_{\lambda\lambda}} = \frac{b_r l_{\delta}}{k_l l b_{\lambda\lambda}} \quad (4-27)$$

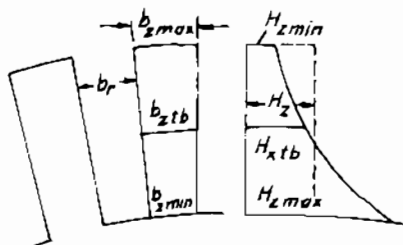
Khi tính toán thực tế, thường người ta sử dụng đường cong từ hoá $B_{\lambda\lambda} = f(H_{\lambda\lambda})$ với từng giá trị khác nhau của $k_{\lambda\lambda}$. Các đường cong này được dựng theo công thức (4-26), từ đó quy ra $B_{\lambda\lambda} = f(H_{\lambda\lambda})$ đối với mỗi loại thép của phần ứng, do đó tính $B_{\lambda\lambda}$ theo công thức (4-22) và $k_{\lambda\lambda}$ theo (4-27) rồi theo đường cong $B_{\lambda\lambda} = f(H_{\lambda\lambda})$ tìm được $H_{\lambda\lambda}$ và $B_{\lambda\lambda}$.

Tiết diện của răng thay đổi theo chiều cao, vì vậy $B_{\lambda\lambda}$ và $H_{\lambda\lambda}$ ở

các tiết diện tương ứng cũng khác nhau. Chúng ta tìm vài giá trị H_{Δ} đối với những tiết diện tương ứng của răng rồi xác định s.t.d của răng theo công thức:

$$F_r = 2 \sum_1^n H_{\Delta x} \Delta h_x \quad (4-28)$$

Trong thực tế tính toán, chỉ cần xác định ba tiết diện trên răng: lớn nhất, trung bình và nhỏ nhất, tương ứng với các tiết diện này ta xác định được $B_{\gamma \max}$, $B_{\gamma \text{tb}}$, $B_{\gamma \min}$, $H_{\gamma \max}$, $H_{\gamma \text{tb}}$ và $H_{\gamma \min}$ (hình 4-12).



Hình 4-12. Xác định sức từ động của răng

Cường độ từ trường tĩnh toán có thể xác định theo công thức gần đúng sau:

$$H_{\gamma} = \frac{1}{6} (H_{\gamma \min} + H_{\gamma \max} + 4H_{\gamma \text{tb}}) \quad (4-29)$$

Đối với răng hở có thành răng song song khi $B_{\gamma \max} < 2.1 T$ thường lấy cường độ từ trường của loại răng này ở tiết diện nơi $\frac{1}{3}$ chiều cao của răng $H_{\gamma} = H_{\gamma \frac{1}{3}}$ tính từ chỗ hẹp của răng

Khi máy điện có răng ở cả stato và rôto thì phải tìm s.t.d ở cả răng stato và rôto. Các kích thước răng và răng dùng để xác định trị số tính toán h_{γ} và H_{γ} ở công thức (4-19) phụ thuộc vào hình dạng của răng. Các dạng răng của stato máy điện không đồng bộ và đồng bộ như ở hình 5-6 và 5-7.

Ở các răng có thành song song, h_{γ} lấy bằng chiều cao thực của răng. Chiều rộng của răng dùng để xác định các tiết diện lớn nhất, trung bình, nhỏ nhất và ở $\frac{1}{3}$ chiều cao răng được xác định như sau:

$$b_{\gamma \min} = \frac{\pi D}{Z_1} - b_r$$

$$b_{z\max} = \frac{\pi(D + 2h_z)}{Z_1} - b_r \quad (4-30)$$

$$b_{z\text{tb}} = \frac{b_{z\min} + b_{z\max}}{2}$$

$$b_{z\text{b}} = \frac{\pi(D + \frac{2}{3}h_r)}{Z_1} = b_r$$

Đối với rãnh hình thang (hình 4-13c), chiều cao h_z là chiều cao thực của rãnh còn các chiều rộng của rãnh thì xác định theo công thức sau :

$$b'_z = \frac{\pi(D + d_2 + 2h_z)}{Z_1} - d_2$$

$$b''_z = \frac{\pi(D + 2h_r)}{Z_1} - d_1 \quad (4-31)$$

$$b_{z\text{tb}} = \frac{b'_z + b''_z}{2}$$

Đối với rãnh hình quả lê (hình 4-13d) :

$$h'_z = h'_r - \frac{1}{3}d_1$$

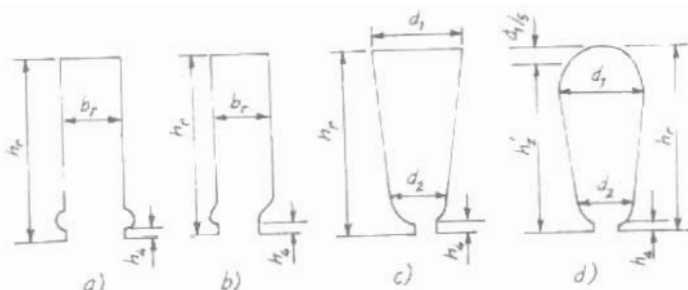
$$b'_z = \frac{\pi(D + d_2 + 2h_z)}{Z_1} - d_2$$

$$b''_z = \frac{\pi(D + 2h_r - d_1)}{Z_1} - d_1 \quad (4-32)$$

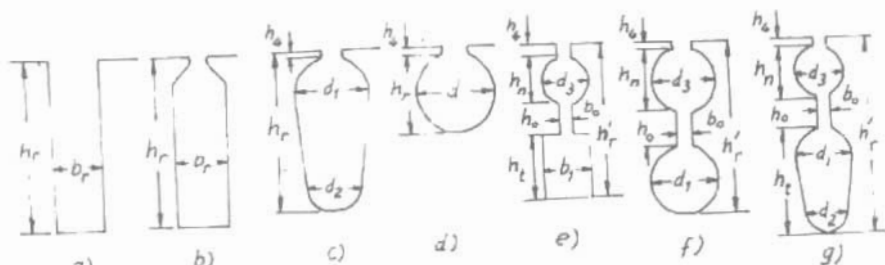
$$b_{z\text{tb}} = \frac{b'_z + b''_z}{2}$$

Với những rãnh hình thang và hình quả lê, để tìm H_z chỉ cần xác định mật độ từ thông ở tiết diện trung bình của rãnh, vì trong trường hợp này $B_{z\max}$ không quá 1,8 T.

Hình 4-13 trình bày các dạng rãnh của rôto máy điện không đồng bộ, trong đó dạng rãnh ở hình 4-13a và c còn được dùng trong máy một chiều.



1 Rãnh stato



2 Rãnh rôto

Hình 4-13. Rãnh stato và rôto (để xác định sức từ động trên răng)

Ở các rãnh a và b, chiều cao h_z của chúng là chiều cao thực tế của răng; còn ở rãnh (hình 4-13c) thì $h'_z = h_r - \frac{1}{3} d_2$, chiều rộng xác định như đối với các rãnh có thành song song nói trên.

Chiều rộng b_z được xác định như sau :

$$b_{z13} = \frac{\pi (D' - \frac{4}{3} h_r)}{Z_2} - b_r \quad (4-33)$$

Những rãnh hình quả lê (hình 4-13c), ta có :

$$\begin{aligned} b'_z &= \frac{(D' - d_1 - 2h_4)}{Z_2} - d_1 \\ b''_z &= \frac{(D' - 2h_r + d_2)}{Z_2} - d_2 \\ b_{z1b} &= \frac{b'_z + b''_z}{2} \end{aligned} \quad (4-34)$$

D' và Z_2 là đường kính ngoài và số răng rôto

Đối với rãnh tròn (hình 4-13d), ta có:

$$h'_z = h_r - \frac{1}{3} d$$

$$b_{z13} = \frac{\pi (D' - \frac{2}{3} d - 2h_d)}{Z_2} - 0,94d \quad (4-35)$$

Với những rãnh của rôto lồng sóc kép, ta tính riêng từng phần s.t.d ở trên F_{r1} và ở dưới F_{rd} và tổng số của hai s.t.d này là s.t.d toàn phần của răng:

$$F_z = F_{r1} + F_{rd} \quad (4-36)$$

Nếu các rãnh của lồng sóc kép mà phần trên là rãnh tròn (hình 4-13e, f, g) thì cách xác định s.t.d của phần này tương tự như đối với rãnh tròn; phần dưới nếu là hình chữ nhật (hình 4-13e) thì ta có:

$$h_z = h_d, \text{ cm}$$

$$b_{z13} = \frac{\pi (D' - 2h_r + \frac{2}{3} h_d)}{Z_2} - b_d \quad (4-37)$$

Nếu phần dưới là rãnh tròn (hình 4-13f) thì ta có:

$$h_z = d_d - \frac{1}{3} d_d$$

$$b_{z13} = \frac{\pi (D' - 2h_r + \frac{4}{3} d_d)}{Z_2} - 0,94d_d \quad (4-38)$$

Nếu phần dưới là rãnh hình quả lê (hình 4-13g), ta có:

$$h_z = h_d - \frac{1}{3} (d_1 + d_2)$$

$$b'_z = \frac{\pi [D' - 2(h_r + d_1 + b_0) - d_1]}{Z_2}$$

$$b''_z = \frac{\pi (D' - 2h_r + d_2)}{Z_2} - d_2 \quad (4-39)$$

$$b_{7th} = \frac{b_1 + b_2}{2}$$

4.3. TÍNH TOÁN SỨC TỪ ĐỘNG Ở CỰC TỪ VÀ GÔNG CỰC TỪ

Từ thông ở lõi cực từ Φ_c bằng tổng từ thông ở khe hở không khí và từ thông tản của cực từ Φ_δ .

$$\Phi_c = \Phi + \Phi_\delta = \sigma\Phi. \quad (4-40)$$

ở đây σ - hệ số tản từ của cực từ.

Vì từ thông biến đổi rất ít theo chiều cao của cực từ nên mật độ từ thông tính toán ở lõi cực từ có thể xác định theo công thức sau:

$$B_c = \frac{\Phi_c}{S_c} = \frac{\sigma\Phi}{S_c} \quad (4-41)$$

trong đó: S_c - tiết diện tác dụng của lõi cực từ.

$$S_c = k_c b_c l_c \quad (4-42)$$

ở đây:

b_c, l_c - chiều rộng và chiều dài thân cực từ;

k_c - hệ số ép chặt lõi cực từ. Nếu cực từ được ghép bằng thép lá thì $k_c = 0,95 - 0,97$.

Theo đường cong từ hóa, có B_c sẽ tìm được H_c sau đó xác định s.t.đ của một đôi cực từ:

$$F_c = 2h_c H_c; A \quad (4-43)$$

ở đây h_c - chiều cao của cực từ.

Cách xác định F_c như trên chỉ chính xác khi $B_c < 1,6 T$. Nếu $B_c > 1,6 T$ phải xác định B_c ở ba tiết diện của cực từ, ở đó từ thông cực từ sẽ là:

- Ở chân cực từ: $\Phi_c = \Phi + \Phi_\delta$

- Ở đỉnh cực từ: $\Phi'_c = \Phi + \frac{\lambda_m}{\lambda_m + \lambda_c} \Phi_\delta$

ở đây λ_m, λ_c xem cách tính trong các công thức (4-67) và (4-69).

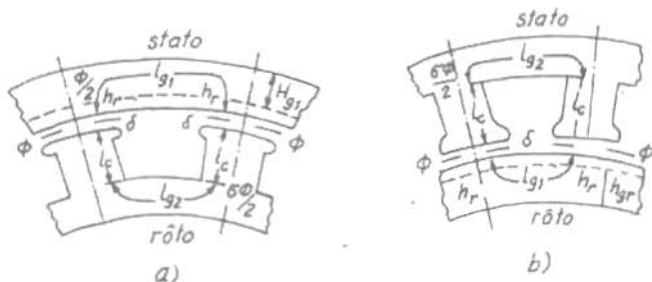
- Ở giữa cực từ: $\Phi_{ctb} \approx 0,5(\Phi_c + \Phi'_c)$

Từ mật độ từ thông ở ba tiết diện đó B_c, B'_c và $B_{ctb} \approx 0,5(B_c + B'_c)$ tìm ra H_c, H'_c và H_{ctb} . Từ các tính toán trên cực từ sẽ bằng:

$$H_{cl} = \frac{1}{6}(H_c + H'_c + 4H_{ctb})$$

Từ thông ở gông stato bằng $\frac{\sigma\Phi}{2}$. Nếu cực từ ở rôto thì lấy

$\sigma = 1$ (hình 4-14a), Nếu cực từ ở stato (hình 4-14b) thì trị số σ cũng lấy như là đối với các cực từ.



Hình 4-14. Mạch từ của máy điện cực lõi

Trị số mật độ từ thông trung bình, tính ở tiết diện trung bình ở gông stato là:

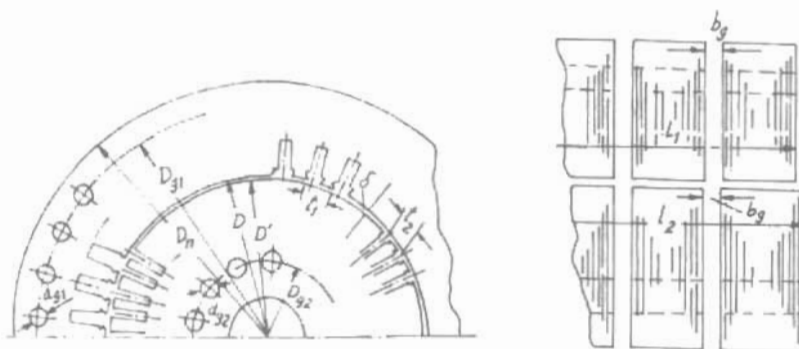
$$B_{g1} = \frac{\sigma\Phi}{2S_{g1}} \quad (4-44)$$

ở đây: S_{g1} - tiết diện tác dụng của gông stato.

Đối với máy đồng bộ cực lõi và máy không đồng bộ:

$$S_{g1} = k_c l h_{g1} \quad (4-45)$$

trong đó h_{g1} là chiều cao gông stato (hình 4-15) xác định theo công thức sau :



Hình 4-15. Kích thước lõi thép của máy điện không đồng bộ

Đối với rãnh dây phẳng:

$$h_{g1} = \frac{D_n - D}{2} - h_{r1} - \frac{2}{3} m_{g1} d_{g1} \quad (4-46a)$$

ở đây:

D_n, D - đường kính ngoài và trong lõi sắt stato;

h_{r1} - chiều cao rãnh stato;

m_{g1}, d_{g1} - số dây lỗ thông gió dọc trục theo chiều cao của gong (thường $m_{g1} = 1$) và đường kính lỗ thông gió.

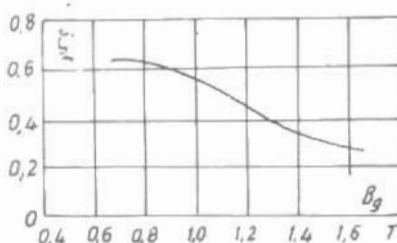
Đối với rãnh dây tròn:

$$h_{g1} = \frac{D_n - D}{2} - h_{r1} + \frac{1}{6} d_1 - \frac{2}{3} m_{g1} d_{g1} \quad (4-46b)$$

trong đó d_1 - đường kính dây rãnh stato.

Đối với các máy có các cực từ ở stato thì tiết diện S_g được xác định theo kích thước hình học của gong stato.

Có B_{g1} theo đường cong từ hóa tìm được H_{g1}



Hình 4-16. Hệ số ξ để xác định sức từ động ở gong stato và rôto

sau đó xác định s.t.đ của gông stato ở một đôi cực từ :

$$F_{g1} = \xi H_{g1} L_{g1} \quad (4-47)$$

ở đây L_{g1} là chiều dài trung bình đường sức từ ở gông, có thể xác định theo hình vẽ thực hay gần đúng như sau :

$$L_{g1} = \frac{\pi (D_n - h_{g1})}{2p} \quad (4-48)$$

Hệ số ξ được đưa vào công thức trên là do sự phân bố mật độ từ thông không đều dọc theo chiều dài của mạch từ. Nó có trị số lớn nhất ở giữa L_g và giảm đi ở hai đầu. Nếu cực từ ở stato thì $\xi = 1$. Nếu cực từ ở rôto thì ξ lấy theo đường cong trong hình 4-16.

Xác định s.t.đ của gông stato máy không đồng bộ theo công thức (4-47) thì từ thông ở gông lấy bằng $\Phi/2$ còn trị số ξ thì lấy theo hình 4-16, nếu đường cong từ hóa chưa hiệu chỉnh. Với tôn cán nguội thì lấy $\xi = 1$ nhưng phải tra đường cong từ hóa riêng đã hiệu chỉnh cho gông (Phụ lục V-8 ÷ V-10).

Từ thông ở gông rôto bằng $\frac{\sigma\phi}{2}$. Khi cực từ ở stato (hình 4-14b) thì $\sigma = 1$. Trị số mật độ từ thông trung bình của gông rôto là :

$$B_{g2} = \frac{\sigma\phi}{2S_{g2}} \quad (4-49)$$

ở đây S_{g2} là tiết diện tác dụng của gông rôto.

Đối với máy điện đồng bộ, thường S_{g2} được xác định theo kích thước của gông.

Đối với máy điện một chiều và máy điện không đồng bộ ta có :

$$S_{g2} = h_{g2} l k_c \quad (4-50)$$

ở đây h_{g2} là chiều cao gông rôto (hình 4-15), cách xác định như sau :

$$h_{g2} = \frac{D' - D_1}{2} - h_{r2} - \frac{2}{3} m_{g2} d'_{g2} \quad (4-51a)$$

ở đây :

D' , D_1 - đường kính ngoài và trong của rôto :

h_{r2} - chiều cao của răng rôto;

m_{g2}, d_{g2} - số dây lồng thông gió dọc trục (theo hướng kính ở gông rôto (thường $m_{g2} = 1$) và đường kính lồng thông gió.

$$h_{g2} = \frac{D' - D_1}{2} + h_{r2} - \frac{1}{6} d_2 - \frac{2}{3} m_{g2} d'_{g2} \quad (4-51b)$$

trong đó d_2 là đường kính dây rãnh rôto.

Tính được B_{g2} theo đường cong từ hóa tìm H_{g2} , sau đó xác định s.t.d ở gông rôto đối với một đôi cực

$$F_{g2} = \xi H_{g2} L_g \quad (4-52)$$

Đối với máy điện một chiều và máy có cực ở rôto thì $\xi = 1$. Với máy điện không đồng bộ lấy ξ như phía gông stato

Chiều dài trung bình xác định theo hình 4-14. Với máy điện không đồng bộ mà $2p > 2$ và máy điện một chiều thì :

$$L_{g2} = \pi \frac{(D_1 + h_{g2})}{2p} \quad (4-53)$$

ở đây h_{g2} xác định theo công thức (4-51).

Đối với máy không đồng bộ mà rôto ép liền vào trụ thì một phần từ thông sẽ đi qua trục, vì vậy chiều cao gông rôto tính như sau :

$$h_{g2} = \frac{D' - D_1 + \frac{1}{6} D_1}{2} - h_{r2} - \frac{2}{3} m_{g2} d_{g2} \quad (4-54)$$

Đối với máy điện không đồng bộ có $2p = 2$, xác định s.t.d F_{g2} theo các bước sau :

Trước tiên xác định mật độ từ thông ở phần gông rôto không có lồng thông gió theo hướng dọc trục :

$$B'_{g2} = \frac{\Phi}{2S'_{g2}} \quad (4-55)$$

ở đây :

$$S'_{g2} = h'_{g2} l k_c$$

và
$$h_{g2} = \frac{D'}{2} - h_{r2} - m_{g2}d_{g2} \quad (4-56)$$

Chiều dài đường đi của từ thông ở phần gông rôto là:

$$L_{g2} = 2h_{g2} \quad (4-57)$$

Sức từ tương ứng:

$$F_{g2} = H_{g2}L_{g2} \quad (4-58)$$

trong đó H_{g2} tìm được theo đường cong từ hóa $B = f(H)$.

Xác định mật độ từ thông ở phần gông rôto có lỗ thông gió theo hướng trục như sau:

$$B_{g2} = \frac{\Phi''}{2S_{g2}} \quad (4-59)$$

ở đây,

$$\Phi'' = \Phi \frac{D_{g2} - d_{g2}}{2h_{g2}}$$

$$S_{g2} = 0,5 \left(\frac{\pi}{2} D_{g2}^2 - \frac{n_{g2}}{2} d_{g2}^2 \right) k_c \quad (4-60)$$

n_{g2} - số rãnh thông gió trên một dây

Các kích thước khác xem ở hình 4-15.

Chiều dài đường đi của từ thông ở gông rôto ở phần này:

$$L_{g2} = 2d_{g2} \quad (4-61)$$

S.t đ tương ứng:

$$F_{g2} = H_{g2} L_{g2} \quad (4-62)$$

ở đây H_{g2} được xác định theo B_{g2}

Từ đó ta tìm được s.t đ toàn phần của gông rôto của máy điện không đồng bộ với $2p = 2$

$$F_{g2} = F_{g2} + F_{g2} \quad (4-63)$$

Khi không có lỗ thông gió hướng trục thì $m_{g2}d_{g2} = 0$ và theo công thức (4-63) ta có $F_{g2} = F_{g2}$.

Hệ số tản từ:

$$\sigma = \frac{\Phi + \Phi_{\sigma}}{\Phi} = 1 + \frac{\Phi_{\sigma}}{\Phi} \quad (4-64)$$

Đối với những máy có cấu tạo thông thường (cực từ ở stato) thì lấy $\sigma = 1,1 \div 1,2$; những máy có cực từ ở rôto thì $\sigma = 1,15 \div 1,25$.

Để tính toán thật chính xác Φ_{σ} và từ đó xác định hệ số σ , cần phải vẽ các ống đường sức từ trường và xác định từ dẫn của nó. Phương pháp này chỉ dùng khi cần tính toán chính xác hệ số σ cho các máy đặc biệt, còn các máy điện thông thường, trong tính toán thực tế, nếu máy có cực ở stato thì có thể tính theo công thức sau:

$$\Phi_{\sigma} \approx \frac{k l_c b_c}{r} (F_{\delta} + F_z + F_g) \quad (4-65)$$

ở đây F_{δ} , F_z , F_g là s.t.d xác định theo từ thông Φ .

Đối với máy điện một chiều có cực từ phụ lấy $k = 4,5$, với máy không có cực từ phụ lấy $k = 4$.

Đối với các máy điện có cực từ ở rôto có thể xác định Φ_{σ} như sau:

$$\Phi_{\sigma} = \lambda_{cs} l_c' (F_{\delta} + F_{z1} + F_{g1} + F_{z2}) \quad (4-66)$$

ở đây l_c' - chiều dài tính toán của thân cực từ:

$\lambda_{cs} = \lambda_{cl} + \lambda_{ml} + \lambda_{ch}$ - hệ số từ dẫn tản của một mặt cực từ.

Hệ số từ dẫn của mặt trong cực từ:

$$\lambda_{cl} = \frac{0,55 h_c}{r - b_c - \frac{\pi}{2p} (h_c + 2h_m + 2\delta)} \quad (4-67)$$

Hệ số từ dẫn giữa các mặt trong của mòm cực từ:

$$\lambda_{ml} = 1,4 \left(\frac{d_m}{a'_m} - 0,25 \right) + 0,55 \left(\frac{C_m}{a'_m} + 0,2 \right) - 0,4 \left(\frac{C_m}{a'_m} - 0,5 \right)^2 \quad (4-68)$$

Hệ số từ dẫn tản ở hai mặt bên cực từ:

$$\lambda_{cb} = 0,37 \frac{b_c}{l_c} \quad (4-69)$$

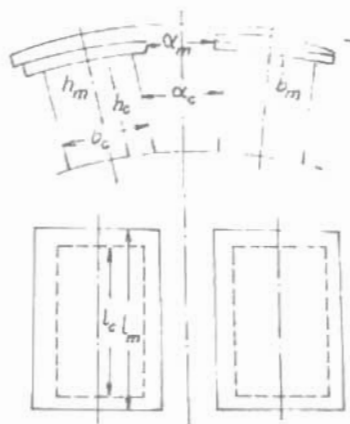
ở đây: $C_m = \frac{b_m - b_c}{2}$;

$$a'_m = r - b_m - \frac{\pi d_m}{p}$$

$$d_m = h_m + \delta - \frac{b_m^2}{4D}$$

Khi $\frac{d_m}{a'_m} < 0,25$ thì vẽ thứ

nhất trong công thức (4-68) có thể bỏ qua. Các kích thước khác xem ở hình 4-17.



Hình 4-17. Kích thước để xác định từ dẫn tản của cực từ máy điện đồng bộ

4.4. SỨC TỪ ĐỘNG KÍCH TỪ LÚC MÁY KHÔNG TẢI, ĐẶC TÍNH KHÔNG TẢI

Chúng ta đã biết s.t.d của mạch từ hay s.t.d kích từ F ở một đôi cực từ là tổng các s.t.d của các phần cấu tạo thành mạch từ. Tính toán s.t.d F là để xác định từ thông. Nếu tính s.t.d này với các trị số khác nhau của từ thông Φ rồi lập quan hệ giữa chúng với nhau ta sẽ được đường đặc tính $\Phi = f(F)$.

Khi tốc độ quay của rôto không đổi thì s.d.d E của máy tỷ lệ với từ thông Φ và s.t.d F tỷ lệ với dòng điện kích từ I_f nên nếu lấy tỷ lệ xích khác thì đặc tính $\Phi = f(F)$ sẽ trở thành đặc tính không tải $E = f(I_f)$.

4.4.1. Máy điện một chiều

Sức điện động của dây quấn phần ứng máy điện một chiều xác định bằng công thức sau:

$$E = \frac{pn}{60} \frac{N}{a} \Phi; V \quad (4-70)$$

trong đó:

N - tổng số thanh dẫn;

a - số đôi mạch nhánh song song của dây quấn phần ứng

Từ công thức (4-70) rút ra:

$$\Phi = \frac{E}{\frac{pn}{60} \frac{N}{a}} \quad (4-71)$$

Ứng với trị số của từ thông Φ ta xác định được các s.t.d ở khe hở không khí F_{σ} , ở rang F_r , ở gông rôto F_{g2} . Tìm được tổng số các s.t.d này theo công thức (4-65) có thể xác định từ thông tản Φ_{δ} sau đó tìm được từ thông ở cực từ $\Phi_c = \Phi + \Phi_{\delta}$ và từ thông gông stato Φ_{c2} , từ đó xác định được F_c và F_{g1} .

Đối với những máy lớn cần phải tính đến s.t.d của khe hở không khí δ_c ở chỗ lắp ghép giữa thân cực từ và gông stato. Sức từ động này được xác định như sau:

$$F_{\delta c} = 1,6B_c \delta_c \cdot 10^4 \quad (4-72)$$

trong đó $\delta_c \approx 0,01 \div 0,02 \text{ cm}$.

Đối với máy có dây quấn bù cần tìm s.t.d F_{γ} ở lớp răng trên mặt cực từ vì vậy ta có:

$$F_m = F_{\delta} + F_r + F_{g2} + F_c + F_{g1} + F_{\delta c} + F_{\gamma} = 2I_c w_t \quad (4-73)$$

4.4.2. Máy điện không đồng bộ

Sức điện động ở dây quấn stato là:

$$E_1 = 4k_s f_1 w_1 k_{d1} \Phi; V \quad (4-74)$$

trong đó: k_s - hệ số sóng. Hệ số này phụ thuộc vào hệ số bão hòa răng k_r . Trị số của nó được xác định theo (4-10). Đối với máy điện không đồng bộ loại bình thường, do bão hòa mạch từ nên phân bố của từ trường trong khe hở không khí có dạng băng dẹt (hình 4-4) làm thay đổi giá trị hệ số dạng sóng k_s và

hệ số cung cực từ α_δ như trên hình 4-18.

Hệ số dây quấn :

$$k_{dl} = k_{y1} k_{r1} \quad (4-75)$$

trong đó hệ số bước ngắn k_{y1} đối với bước dây quấn $y = \beta_\tau$ bằng :

$$k_{y1} = \sin \frac{y}{\tau} \frac{\pi}{2} = \sin \beta \frac{\pi}{2} \quad (4-76)$$

và hệ số quấn rải k_{r1} khi q là số nguyên :

$$k_{r1} = \frac{\sin \frac{\pi}{2m}}{q \sin \frac{\pi}{2mq}} \quad (4-77)$$

Đối với dây quấn hai lớp khi q là phân số thì hệ số bước ngắn k_{y1} được xác định như khi q là số nguyên, còn k_r có thể tính như sau (khi số pha $m = 3$) :

$$k_{r1} = \frac{\sin 30^\circ}{N \sin \frac{30^\circ}{N}} \quad (4-78)$$

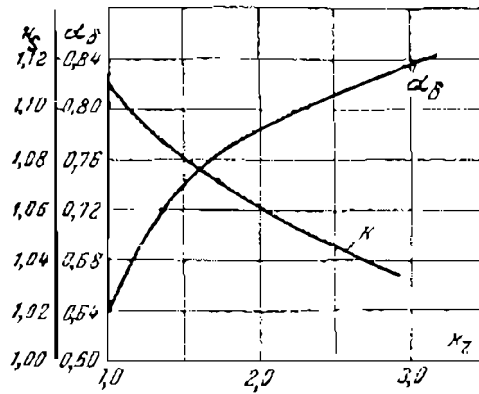
Ở đây N được xác định từ $q = \frac{N}{d}$ trong đó $\frac{N}{d}$ là phân số đã rút gọn.

Ta đã biết s.d.d E_1 khi không tải của động cơ điện không đồng bộ nhỏ hơn điện áp đặt vào một lượng bằng điện áp rơi $I_\mu x_1$, trong đó I_μ là dòng điện từ hóa (gần bằng dòng điện không tải). Có thể viết :

$$E_1 = U_1 - I_\mu x_1 = (1 - \frac{I_\mu x_1}{U_1}) U_1 = k_E U_1 \quad (4-79)$$

Đối với những máy thông thường; k_E phụ thuộc vào số đôi cực và có thể tra ở hình 10-2.

Từ những công thức (4-74) và (4-79) rút ra :



Hình 4-18. Các đường cong $k_s = f(k_z)$ và $\alpha_s = f(k_z)$ của máy điện không đồng bộ

$$\Phi = \frac{k_t U^2}{4k_s f_1 w_1 k_d} : \quad \text{Wb} \quad (4-80)$$

Khi tính toán coi như sóng hình sin nên lấy $k_s = 1.11$ và $\alpha_s = 0.64$. Từ thông tìm được theo công thức trên là từ thông ở khe hở không khí, đưa vào nó có thể xác định được các từ thông ở khe hở không khí, răng và gông rôto. Từ thông ở răng và gông stato có sóng bằng nhau nên do sự bão hòa của mạch từ trong răng và gông nên phải hiệu chỉnh lại đường cong từ hóa $H = f(B)$ khi tính sức từ động gông và răng (Phụ lục V-5 đến V-10).

Tính được k_f theo :

$$k_f = \frac{F_\delta + F_{r1} + F_{r2}}{F_\delta} \quad (4-81)$$

Hệ số k_f nằm trong khoảng 1.2 đến 1.5. Nếu k_f quá lớn thì có sự bão hòa quá mức trong vùng răng. Nếu $k_f < 1.2$ thì vùng răng được sử dụng qua ít hoặc khe hở không khí lấy hơi lớn.

Sức từ động của mạch từ (ở một đầu cực) sẽ là :

$$F = F_\delta + F_{r1} + F_{r2} + F_{g1} + F_{g2} \quad (4-82)$$

Dòng điện từ hóa bằng:

$$I_{\mu} = \frac{pF}{0,9 m_1 w_1 k_{d1}} \quad (4-83)$$

4.4.3. Máy điện đồng bộ cực lõi

Từ thông của máy điện này được tính theo công thức

$$\Phi = \frac{E_o}{4k_s f \cdot w k_{d1}} ; \quad Wb \quad (4-84)$$

trong đó: E_o - sức điện động ở dây quấn phần ứng;

k_s - hệ số sóng (lấy theo hình 4-7 hay 4-8).

Dựa vào từ thông Φ ta xác định s.t.d ở khe hở không khí, răng và gông phản ứng.

Để xác định s.t.d ở các cực từ và gông từ cần tính từ thông ở cực từ Φ_c .

$$\Phi_c = \Phi + \Phi_{\sigma} = \sigma \Phi \quad (4-85)$$

Trước tiên xác định các s.t.d F_{δ} , F_{r1} , F_{g1} nếu cực từ bố trí ở rôto. Nếu cực từ ở stato thì thay F_{r1} và F_{g1} bằng F_{r2} và F_{g2} . Tính từ tán Φ_{σ} theo công thức (4-66) nếu cực từ ở rôto và theo công thức (4-65) nếu cực từ ở stato. Sau khi có Φ_c , xác định được s.t.d F_c ở cực từ và s.t.d F_g ở gông từ. Khi máy điện có cuộn cần thì tính s.t.d F_{rc} ở lớp răng mặt cực theo công thức (4-19). Đối với máy lớn còn cần tính s.t.d $F_{\delta c}$ ở khe hở chỗ lắp ghép thân lõi cực từ với gông từ. Sức từ động này được tính theo mật độ từ thông ở thân cực từ, theo công thức sau:

$$F_{\delta c} = 2 \times 250 B_c = 500 B_c \quad (4-86)$$

Tổng s.t.d của các đoạn mạch từ là s.t.d toàn mạch:

$$F = F_{\delta} + F_{r1} + F_{g1} + F_{r2} + F_c + F_{g2} + F_{\delta c} = 2 I_1 W_l \quad (4-87)$$

Xác định điện trở và điện kháng của dây quấn

Điện trở và điện kháng của dây quấn là những tham số chủ yếu của máy điện. Những điện kháng được xác định bởi trị số từ thông móc vòng trên đơn vị dòng điện và tần số. Từ thông móc vòng của tất cả các máy điện có thể chia làm hai loại sau:

- a. Từ thông móc vòng cảm ứng tương hỗ;
- b. Từ thông móc vòng tản từ.

Mỗi loại có một tính chất riêng của mình trong việc xác định đặc tính làm việc và các đặc tính khác của máy điện. Dựa vào các điện trở, ta có thể xác định được những trị số tổn hao của dây quấn máy điện ở chế độ làm việc ổn định cũng như trong quá trình quá độ. Trong thiết kế máy điện, tính toán điện trở và điện kháng của dây quấn là một vấn đề rất quan trọng.

5.1. XÁC ĐỊNH ĐIỆN TRỞ CỦA DÂY QUẤN

Trước tiên ta phân biệt điện trở của dây quấn ứng với dòng điện một chiều và xoay chiều. Điện trở ứng với dòng điện một chiều gọi là điện trở ôm và được tính theo công thức sau:

$$r = \rho \frac{L}{S} ; \Omega \quad (5-1)$$

ở đây:

L - chiều dài dây dẫn, m;

S - tiết diện dây, mm^2 ;

ρ - điện trở suất; $\Omega \cdot mm^2/m$.

Theo quy định, nhiệt độ làm việc tính toán của máy là $75^\circ C$ đối với cách điện cấp A, E, B và $115^\circ C$ đối với cách điện cấp F, H, vì vậy cần quy điện trở của dây quấn về nhiệt độ này để xác định tổn hao và điện áp rơi.

Điện trở suất của đồng và nhôm ở các nhiệt độ đó được ghi trong bảng 5.1.

Bảng 5.1. Điện trở suất ρ , $\Omega \cdot mm^2/m$

Vật liệu dây dẫn	Nhiệt độ tính toán, $^\circ C$		
	20	75	115
Đồng	1/56	1/46	1/41
Nhôm	1/34	1/28	1/25
Nhôm đúc (rôto lồng sóc)	1/28	1/23	1/20.5

Điện trở suất ở một nhiệt độ bất kỳ bằng:

$$\rho_\theta = \rho_{20} [1 + \alpha (\theta - 20)] \quad (5-2)$$

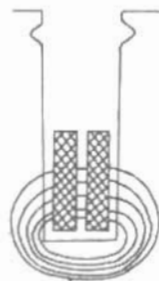
Điện trở dây quấn ứng với dòng điện xoay chiều là điện trở tác dụng. Điện trở đó bằng:

$$r_r = k_r r \quad (5-3)$$

Ở đây hệ số k_r lớn hơn 1. Hệ số này xét đến tổn hao tăng lên



Hình 5-1. Thanh dẫn đặt trong rãnh stato máy điện xoay chiều



Hình 5-2. Thanh dẫn đặt trong rãnh rôto máy điện một chiều

do từ tản làm cho mật độ dòng điện phân bố không đều ở tiết diện dây dẫn, do dòng điện xoáy sinh ra ở dây dẫn có tiết diện lớn. Để giảm k_r ở dây dẫn tiết diện lớn người ta dùng nhiều dây có tiết diện nhỏ ghép lại (tiết diện các dây này không qua 51 mm^2) và đặt nằm ngang trong rãnh (hình 5-1). Đối với máy phát tuabin hơi hay nước, công suất lớn, người ta dùng dây quấn kiểu thanh dẫn gồm nhiều thanh nhỏ ghép lại hoán vị với nhau để cho sức điện động tạo ra bởi từ thông tản là đều nhau đối với mỗi thanh dẫn nhỏ. Đối với máy điện một chiều, dây dẫn đặt trong rãnh như ở hình 5-2. Để giảm điện trở xoay chiều người ta chia tiết diện thanh dẫn làm nhiều đoạn theo chiều cao và mỗi đoạn không nên lớn hơn $7,8 \text{ mm}$.

5.1.1. Với máy điện một chiều

Chiều dài dây quấn phản ứng:

$$L_u = N l_{tb}; m \quad (5-4)$$

ở đây:

N - số thanh dẫn dây quấn;

l_{tb} - chiều dài trung bình của $1/2$ vòng dây, m .

Điện trở dây quấn phần ứng được xác định như sau:

$$r_u = \rho \frac{L_u}{s(2a)^2}; \Omega \quad (5-5)$$

ở đây:

$2a$ - số mạch nhánh song song;

s - tiết diện tác dụng của dây dẫn

Phương pháp này cũng được dùng để xác định điện trở dây quấn kích thích cực từ chính, cực từ phụ và dây quấn bù.

5.1.2. Với máy điện không đồng bộ

Điện trở của mỗi pha dây quấn stato là:

$$r_1 = k_r \rho \frac{L_1}{sa_1}; \Omega \quad (5-6)$$

trong đó:

l_1 - chiều dài dây quấn của một pha ở một nhánh song song;

$$L_1 = 2w_1 l_{1b} ; m \quad (5-7)$$

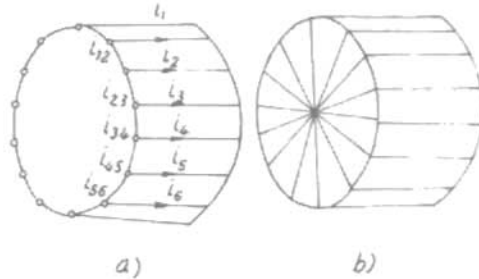
ở đây:

w_1 - số vòng dây nối tiếp của một pha;

l_{1b} - chiều dài trung bình của 1/2 vòng dây;

s - tiết diện tác dụng của dây dẫn;

a_1 - số mạch nhánh song song của một pha dây quấn.



Hình 5-3. Lồng sóc và dây quấn đẳng trị của nó

Đối với máy điện không đồng bộ, khi tính toán điện trở thường lấy $k_r = 1$. Tổn hao do dòng điện xoáy tạo nên bởi từ trường tản sẽ được tính đến khi xác định tổn hao phụ lúc máy có tải. Điện trở của mỗi pha dây quấn rôto r_2 của máy điện không đồng bộ rôto dây quấn được xác định tương tự như trong công thức (5-6), nhưng ở đây hệ số k_r lấy bằng 1 vì tần số dòng điện ở rôto nhỏ.

Điện trở rôto quy đổi về stato:

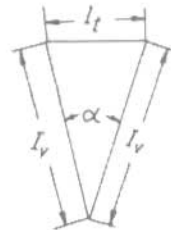
$$r_2' = r_2 \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{w_1 k_{d1}}{w_2 k_{d2}} \right)^2 \quad (5-8)$$

Ở đây:

w, k_d - số vòng dây của một pha và hệ số dây quấn;

m - số pha.

Các chỉ số "1", "2" dành cho stato và rôto.



Hình 5-4. Đồ thị véctơ của dòng điện trong thanh dẫn I_t và ở vành ngắn mạch I_v

Đối với dây quấn ngắn mạch như rôto lồng sóc, xác định điện trở của dây quấn như sau:

Lồng sóc có thể xem như là dây quấn nhiều pha có số pha bằng số rãnh Z_2 mà mỗi pha chỉ có một thanh dẫn. Hình 5-3a trình bày sơ đồ của dây quấn kiểu lồng sóc.

Gọi: I_l - dòng điện ở thanh dẫn; I_v - dòng điện ở vòng ngắn mạch. Trên sơ đồ ta biểu diễn các dòng điện bằng các vectơ ở hình 5-4.

Góc lệch pha của dòng điện ở các thanh dẫn kề nhau và của các phần vòng ngắn mạch bằng:

$$\alpha = \frac{2\pi p}{Z_2} \quad (5-9)$$

Từ đồ thị vectơ ta tìm được quan hệ giữa I_l và I_v như sau:

$$I_v = \frac{I_l}{2 \sin \frac{\pi p}{Z_2}} \quad (5-10)$$

Để thuận tiện cho việc tính toán ta thay thế điện trở các phần vòng ngắn mạch nối hình đa giác bằng những điện trở nối hình sao. Sơ đồ mạch đẳng trị như hình 5-3b. Ta có:

$$Z_2 I_l^2 r_2 = Z_2 I_l^2 r_l + 2 Z_2 I_v^2 r_v \quad (5-11)$$

ở đây:

r_2 - điện trở pha mạch đẳng trị hay điện trở pha của lồng sóc;

r_l - điện trở thanh dẫn lồng sóc;

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

Điện trở r_l và r_v được tính theo công thức sau (kích thước theo hình 5-5):

$$r_l = \rho \frac{l_2 10^{-2}}{s_l} ; \Omega \quad (5-12)$$

$$r_v = \rho \frac{\pi D_v 10^{-2}}{Z_2(ab)} ; \Omega \quad (5-13)$$

trong đó:

ρ - điện trở suất của vật liệu thanh dẫn và vành ngắn mạch ở nhiệt độ làm việc tính toán;

s_t - tiết diện thanh dẫn (mm^2);

l_2, D_v - chiều dài thanh dẫn và đường kính trung bình của vành ngắn mạch (cm);

a, b - tiết diện vòng ngắn mạch (mm^2).

Từ công thức (5-10) và (5-11) rút ra:

$$r_2 = r_1 + \frac{2r_v}{\Delta^2} \quad (5-14)$$

ở đây:

$$\Delta = 2 \sin \frac{\pi p}{Z_2} \quad (5-15)$$

Hệ số quy đổi các tham số của lồng sóc về dây quấn stato:

$$v = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{w_1 k_{d1}}{w_2 k_{d2}} \right)^2 = \frac{4m_1 (w_1 k_{d1})^2}{Z_2} \quad (5-16)$$

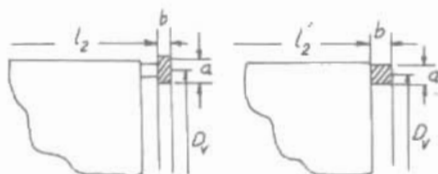
ở đây:

$$m_2 = Z_2; w_2 = \frac{1}{2}; k_{d2} = 1$$

Vì vậy điện trở quy đổi của dây quấn rôto là:

$$r_2' = v r_2 = r_2 \frac{4m_1 (w_1 k_{d1})^2}{Z_2} \quad (5-17)$$

Nếu hệ số trượt s của động cơ điện không đồng bộ nhỏ ($s < 0,08 + 0,1$) có thể lấy hệ số tăng điện trở của thanh dẫn lồng sóc $k_r = 1$. Nếu hệ số trượt lớn, khi s tăng lên đến 1 thì lấy $k_r = 3 + 8,5$ hoặc cao hơn nữa. Ta sẽ tính cụ thể k_r ở phần sau.



Hình 5-5 Kích thước vành ngắn mạch của lồng sóc

5.1.3. Với máy điện đồng bộ

Điện trở pha của dây quấn phản ứng (stato) được tính tương tự như tính điện trở dây quấn stato của máy điện không đồng bộ theo công thức (5-6). Riêng điện trở của cuộn kích từ sẽ tính cụ thể ở chương 11

5.2. XÁC ĐỊNH ĐIỆN KHÁNG CỦA DÂY QUẤN

Trong lý thuyết máy điện, chúng ta đã biết tổng từ thông của dây quấn gồm có từ thông móc vòng chính (từ thông đi qua khe hở không khí và móc vòng với cả hai dây quấn stato và rôto) và từ thông móc vòng tàn (từ thông chỉ móc vòng với chính dây quấn sinh ra nó). Từ khai niệm đó, đối với dây quấn stato máy điện không đồng bộ, ta có:

$$x_{1l} = x_{lc} + x_l$$

ở đây:

x_{1l} và x_{lc} - điện kháng toàn phần và điện kháng chính;

x_l - điện kháng tàn

Cũng tương tự như vậy có thể rút ra được quan hệ như trên đối với dây quấn rôto máy điện không đồng bộ (thay chỉ số 1 bằng chỉ số 2) và dây quấn stato của máy điện đồng bộ (thay x_l bằng x_d).

Nếu rãnh ở stato và rôto không phải là rãnh nghiêng thì điện kháng chính của dây quấn bằng điện kháng hồ cảm quy đổi về dây quấn stato:

$$x_{lc} = x_{l2}$$

Đối với máy điện đồng bộ, điện kháng dọc trục và ngang trục ký hiệu là x_{ud} và x_{uq} .

Điện kháng chính của dây quấn stato máy điện không đồng bộ được tính như sau:

$$x_{lc} = \frac{E_1}{I_{\mu}}$$

trong đó E_1 , I_{μ} - sức điện động và dòng điện từ hóa đã xác định bằng các công thức (4-70) và (4-83) ở phần trên, trong đó

$$\Phi = \alpha_{\delta} r l_{\delta} B_{\delta}$$

$$F = 1,6 \delta'' B_{\delta} 10^4$$

ở đây:

$$\delta'' = \partial k_{\delta} \frac{F}{F_{\delta}} = \partial k_{\delta} k_{\mu}$$

$$k_{\mu} = \frac{F}{F_{\delta}} - \text{hệ số bão hòa toàn mạch.}$$

Nếu số pha $m_1 = 3$ thì sau khi biến đổi ta có:

$$x_{lc} = 0,158 \frac{f_1}{100} \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \frac{l_{\delta}}{pq_1} \lambda_{\alpha} \quad (5-18)$$

trong đó hệ số từ dẫn của từ thông chính λ_{α} bằng:

$$\lambda_{\alpha} = 0,427 q_1 \frac{k_{\alpha} \alpha_{\delta} r}{\delta''} k_{d1}^2 \quad (5-19)$$

ở đây:

k_{α} - hệ số sóng.

x_{lc} xác định theo công thức trên có thể coi một cách gần đúng là điện kháng chính do sóng bậc một của từ trường ở stato sinh ra.

Xác định chính xác từ thông móc vòng của từ tản và từ đo tính các điện kháng x_1 , x_2 và x_{σ} là một vấn đề rất khó nên trong tính toán thực tế người ta dùng phương pháp tính gần đúng. Nếu cần phải tính thật chính xác thì người ta dùng phương pháp thực nghiệm. Chúng ta chia từ trường tản làm ba phần: từ tản ở rãnh, từ tản ở phần đầu nối dây quấn và từ tản tạp. Tương ứng với các phần này ta ký hiệu hệ số từ dẫn ở rãnh λ_r , ở phần đầu nối dây quấn λ_{dn} và ở phần tạp λ_t , ứng với đơn vị chiều dài tính toán l_{δ}

của stato. Tương tự như đã tính ở công thức (5-18) ta xác định diện kháng tản từ như sau:

$$x = 0,158 \frac{f}{100} \left(\frac{w}{100} \right)^2 \frac{l_d}{pq} \Sigma \lambda ; \Omega \quad (5-20)$$

ở đây:

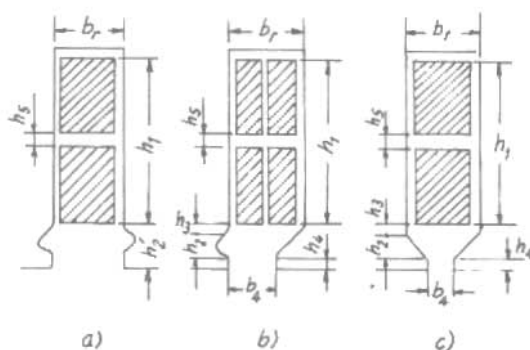
$$\Sigma \lambda = \lambda_r + \lambda_{dn} + \lambda_t \quad (5-21)$$

Như vậy để tính x thì trước tiên phải xác định các hệ số từ dẫn λ .

5.2.1. Đối với máy điện không đồng bộ

a. Hệ số từ dẫn tản

Hệ số từ dẫn tản rãnh λ_r đối với dây quấn hai lớp bước đủ (khi $\beta = y/r = 1$) và đối với dây quấn một lớp chỉ phụ thuộc vào kích thước hình học của rãnh. Trị số λ_r được xác định bằng từ thông móc vòng đi ngang qua rãnh có dây quấn và chỉ tính từ trở ở trong rãnh, như vậy khi tính toán chỉ cần tính phần từ thông đi trong rãnh mà không tính phần ở ngoài rãnh.



Hình 5-6. Rãnh hình chữ nhật

dây quấn và chỉ tính từ trở ở trong rãnh, như vậy khi tính toán chỉ cần tính phần từ thông đi trong rãnh mà không tính phần ở ngoài rãnh.

Đối với dây quấn hai lớp bước ngắn, hệ số λ_r còn phụ thuộc vào β và khi $\beta \neq 1$ thì trong một số rãnh có chứa cạnh của các bố dây khác pha nhau, nên tổng từ thông móc vòng của cạnh bố dây nằm trong rãnh ấy sẽ giảm, dẫn đến sự giảm tương ứng đối với λ_r , do đó khi tính toán người ta đưa vào các hệ số k_1, k_2, k_3 . Các hệ số này phụ thuộc vào β .

Có thể xác định λ_r của rãnh có cạnh song song theo các công thức sau:

Với rãnh hở (hình 5-6a):

$$\lambda_r = \frac{h_1 - h_5}{3b_r} k'_\beta + \frac{h_2}{b_r} k'_\beta + \frac{h_5}{4b_r} \quad (5-22)$$

Với rãnh nửa hở và nửa kín (hình 5-6b và c):

$$\lambda_r = \frac{h_1 - h_5}{3b_r} k'_\beta + \left(\frac{h_2}{b_r} + \frac{3h_3}{b_r + 2b_4} + \frac{h_4}{b_4} \right) k'_\beta + \frac{h_5}{4b_r} \quad (5-23)$$

Trong những công thức trên h_4 và h_5 được xác định theo kích thước phần đồng tròn của cạnh phân tử; k'_β và k_β được tính theo công thức:

$$k'_\beta = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} k'_\beta \quad (5-24)$$

$$k'_\beta = \frac{1 + 3\beta}{4} \quad \left(\text{với } \frac{2}{3} \leq \beta \leq 1 \right) \quad (5-25)$$

$$k'_\beta = \frac{6\beta - 1}{4} \quad \left(\text{với } \frac{1}{3} \leq \beta \leq \frac{2}{3} \right) \quad (5-26)$$

Nếu $1 < \beta \leq 2$, trong công thức tính k'_β thay β bằng $(2-\beta)$.

Đối với rãnh hình thang hay hình quả lê, λ_r được tính như sau:

Với rãnh như ở hình 5-7 a, b và e:

$$\lambda_r = \frac{h_1}{3b} k'_\beta + \left(0,785 - \frac{b_4}{2b} + \frac{h_2}{b} + \frac{h_4}{b_1} \right) k'_\beta \quad (5-27)$$

Với rãnh như ở hình 5-7 c, d và f:

$$\lambda_r = \frac{h_1}{3b} k'_\beta + \left(\frac{h_2}{b} + \frac{3h_3}{b + 2b_4} + \frac{h_4}{b_4} \right) k'_\beta \quad (5-28)$$

Những công thức trên được áp dụng cho cả dây quấn một lớp và hai lớp. Trong các rãnh có phần tròn ở gần miệng rãnh, nếu mật trên của phần dây đồng vượt quá tâm của vòng tròn thì trị số của h_2 phải lấy là âm. Với rãnh đáy tròn, trị số của h_1 được xác định theo chiều cao thực của phần đáy, đồng thời trừ đi 1/10

đường kính dày rãnh (hình 5-7 a,c,e và f)

Đối với dây quấn rôto lồng sóc, λ_r được xác định như sau:

Với rãnh tròn (hình 5-8):

$$\lambda_r = 10,785 \cdot \frac{b_1}{2b} + \frac{h_4}{b_4} \quad (5-29)$$

Với rãnh hình quả lê hay hình ô van (hình 5-9):

$$\lambda_r = \left[\frac{h_1}{3b} \left(1 - \frac{\pi b^2}{8s_r} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_4}{2b} \right] + \frac{h_4}{b_4} \quad (5-30)$$

ở đây:

s_r - tiết diện thanh dẫn (mm^2);

b^2 tính theo mm^2 (khi rãnh ô van $b = b'$);

Với rãnh kín ($b_4 = 0$) trong công thức (5-29) và (5-30) thay h_4/b_4 bằng:

$$\lambda_1 = 0,3 + 1,12 \frac{h_4 \cdot 10^3}{I_2} \quad (5-31)$$

ở đây:

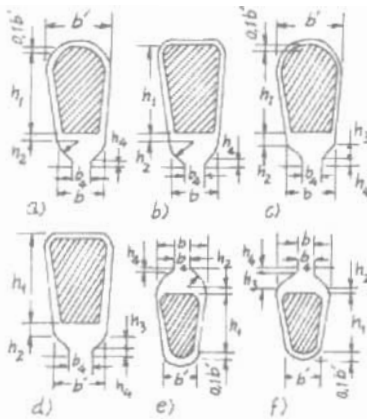
I_2 - dòng điện trong thanh dẫn rôto;

h_4 tính theo mm . Công thức kinh nghiệm (5-31) được sử dụng với điều kiện $I_2 \geq 5b$, ở đây b là chiều rộng thanh dẫn.

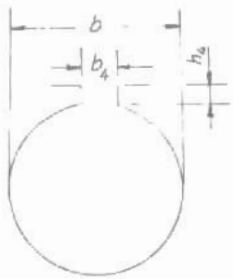
Khi rãnh như ở hình 5-10 thì:

$$\lambda_r = \left(\frac{h_1}{3b} + \frac{3h_3}{b + 2b_4} \right) + \frac{h_4}{b_4} \quad (5-32)$$

Khi rãnh chữ nhật như ở hình 5-11 thì:



Hình 5-7. Rãnh hình thang và hình quả lê



Hình 5-8. Rãnh tròn ở rôtô



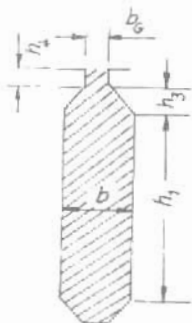
Hình 5-9. Rãnh hình quả lê ở rôtô

$$\lambda_r = \frac{h_1}{3b} + \frac{h_4}{d_4} \quad (5-33)$$

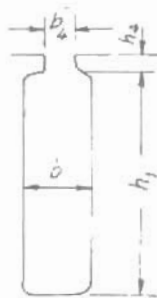
Khi rãnh kín ($b_4 = 0$) thì thay $\frac{h_4}{b_4}$ bằng λ_4 :

$$\lambda_4 \approx 1.12 \frac{h_4 10^3}{I_2} \quad \text{với } I_2 \geq 5b \quad (5-34)$$

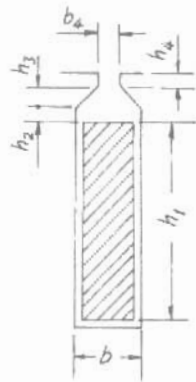
Với rãnh như ở hình 5-12 với thanh dẫn bằng đồng thì:



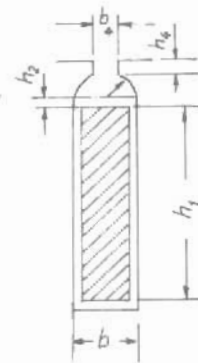
Hình 5-10



Hình 5-11



Hình 5-12



Hình 5-13

$$\lambda_r = \left(\frac{h_1}{3b} \right) + \frac{h_2}{b} + \frac{3h_3}{b + 2b_4} + \frac{h_4}{b_4} \quad (5-35)$$

Với rãnh như hình 5-13 và thanh dẫn bằng đồng thì:

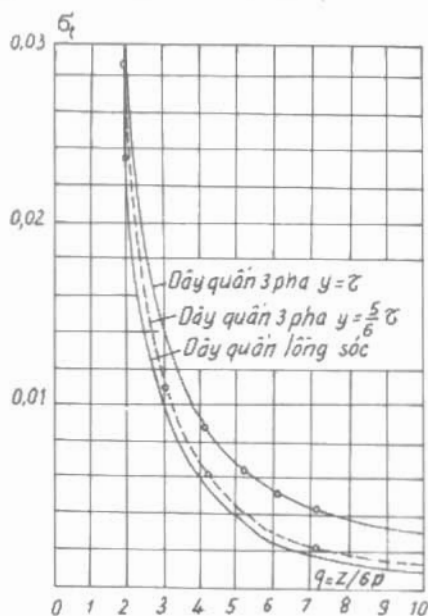
$$\lambda_r = \left(\frac{h_1}{3b} \right) + \frac{h_2}{b} + 0,785 \cdot \frac{b_4}{2b} + \frac{h_4}{b_4} \quad (5-36)$$

Có thể dùng hai công thức sau cùng này để xác định λ_r đối với rãnh sâu của rôto.

Trị số λ_r xác định theo các công thức trên là chưa xét đến hiện tượng hiệu ứng mật ngoài của thanh dẫn ở rôto. Việc xác định λ_r có tính đến hiện tượng hiệu ứng mật ngoài sẽ được đề cập đến ở chương 10.

b. Hệ số từ dẫn tản tạp

Chúng ta đã biết, điện kháng chính x_{lc} của dây quấn stato là do sóng bậc nhất của từ trường stato sinh ra. Nếu rãnh ở stato và rôto không phải là rãnh nghiêng thì x_{lc} bằng điện kháng hồ cảm x_{l2} . Có thể nói rằng sự truyền tải năng lượng từ stato tới rôto tiến hành được là do sóng bậc nhất của từ trường. Sóng bậc cao của từ trường stato tạo ra ở dây quấn stato những sức điện động có tần số bằng tần số sóng bậc cao, đồng thời chúng cũng tạo ra ở dây quấn rôto khi đang quay những sức điện động có tần số cao, do đó trên thực tế những sóng này không



Hình 5-14. Quan hệ giữa σ_f với q

tham gia vào việc truyền tải năng lượng từ stato tới rôto. Vì vậy từ thông móc vòng của chúng với dây quấn stato có thể coi như tổn hao từ thông móc vòng tổng hay gọi là từ thông móc vòng tản của dây quấn ấy. Những sức điện động sóng bậc cao tạo ra được gọi là sức điện động tản hay sức điện động tạp.

Tỷ số tổng các sức điện động của sóng bậc cao với sức điện động của sóng bậc nhất cùng ở trong từ trường ấy là hệ số đặc trưng cho từ tản tạp của dây quấn stato:

$$\sigma_{t1} = \frac{\sum E_v}{E_1} = \frac{x_{t1}}{x_{1c}} = \sum_{v \neq 1} \left(\frac{k_{d1v}}{v k_{d11}} \right)^2 \quad (5-37)$$

ở đây:

x_{t1} - điện kháng tản tạp của dây quấn stato;

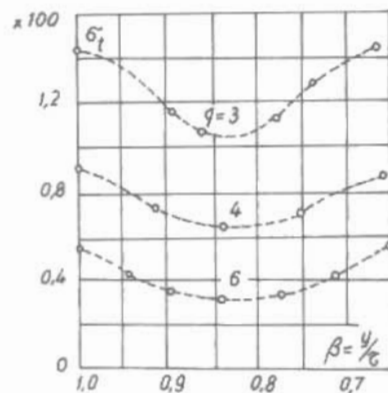
k_{d1v} - hệ số dây quấn sóng bậc v của dây quấn stato;

k_{d11} - hệ số dây quấn sóng bậc nhất của dây quấn stato.

Cũng tương tự như vậy ta có thể tìm được hệ số đặc trưng cho từ tản tạp ở dây quấn rôto σ_{t2} . Tìm được các hệ số này có thể xác định được điện kháng tản ở dây quấn stato và rôto như sau:

$$x_{t1} = \sigma_{t1} x_{1c}; \quad x_{t2} = \sigma_{t2} x_{2c} \quad (5-38)$$

Theo công thức (5-37) tính được σ_{t1} . Với những trị số khác nhau của $q = Z/2mp$ và $\beta = \frac{y}{\tau}$ tương ứng với những hệ số dây quấn ta sẽ dựng được những đường cong biểu thị quan hệ giữa σ_{t1} và q với những trị số β khác nhau. Hình 5-14 biểu thị quan hệ



Hình 5-15. Quan hệ giữa $100 \sigma_{t1}$ với bước dây quấn $\beta = y/\tau$

giữa σ_1 với q của dây quấn ba pha với $y = \tau$ và $y = 5.6 \tau$ và của dây quấn kiểu lồng sóc. Hình 5-15 biểu thị quan hệ giữa $100\sigma_1$ với q và β

Bảng 5.2a ghi trị số của $100\sigma_1$ của dây quấn ba pha theo bước dây với q là số nguyên. Khi q là phân số thì trị số $100\sigma_1$ được tra trong bảng 5.2b hay hình 5-15 khi $q > 3^{1/2}$.

Hệ số σ_{12} của rôto khi dây quấn là ba pha hay kiểu lồng sóc được xác định theo các bảng 5.2a, b và c

Hệ số từ dẫn tản tạp λ_1 được xác định từ các công thức (5-37) và (5-18), (5-19). Nếu lấy $k_{\alpha\delta} = 1\sqrt{2}$; $\tau = 3q_1t_1$; $\delta'' = \delta k_\delta$ thì được:

Với dây quấn stato:

$$\lambda_{11} = 0,9 \frac{t_1(q_1k_{\delta 1})^2 \rho_{11} k_{t1}}{\delta k_\delta} \sigma_{11} \quad (5-39)$$

Với dây quấn rôto:

$$\lambda_{12} = 0,9 \frac{t_2(q_2k_{\delta 2})^2 \rho_{12} k_{t2}}{\delta k_\delta} \sigma_{12} \quad (5-40)$$

ở đây khi dây quấn rôto kiểu lồng sóc thì $q_2 = \frac{Z_2}{3 \times 2p}$; $k_\delta = 1$

Trị số của σ_1 được xác định theo bảng 5.2a, 5.2b và 5.2c. Với máy điện không đồng bộ rôto dây quấn $\rho_{11} \approx 1$, với máy có rôto lồng sóc ρ_{11} tra trong bảng 5.3. Với dây quấn của rôto: $\rho_{12} \approx 1$.

Hệ số k_t của dây quấn stato và rôto phụ thuộc vào quan hệ giữa chiều rộng miệng rãnh với khe hở không khí và bước rãnh,

nghĩa là $\frac{b_{41(2)}}{\delta}$ và $\frac{b_{41(2)}}{t_{1(2)}}$. Trị số gần đúng của k_t khi $\frac{b_{41(2)}}{\delta} \leq 20$

và $\frac{b_{41(2)}}{t_{1(2)}} \leq 0,6$ được tính theo công thức sau:

$$k_{t1(2)} \approx 1 - 0,033 \frac{b_{41(2)}^2}{t_{1(2)} \cdot \delta} \quad (5-41)$$

Với rôto lồng sóc rãnh nửa kín hay kín thì $k_{r2} \approx 1$.

Có thể xác định gần đúng λ_{d1} của máy điện đồng bộ theo công thức sau:

$$\lambda_{d1} = 0,03 \frac{\tau \alpha_\delta}{\delta' k_\delta q_1} \quad (5-42)$$

c. Hệ số từ dẫn tản ở phần đầu nối của dây quấn

Hệ số từ dẫn tản tập ở phần đầu nối dây quấn stato được tính theo các công thức sau:

Với dây quấn một lớp hai mặt phẳng và dây quấn đồng khuôn:

$$\lambda_{d1} = 0,67 \frac{q_1}{l_\delta} (l_{d1} - 0,64\tau) \quad (5-43)$$

Với dây quấn một lớp ba mặt phẳng:

$$\lambda_{d1} = 0,47 \frac{q_1}{l_\delta} (l_{d1} - 0,64\tau) \quad (5-44)$$

Với dây quấn hai lớp (xếp hay sóng):

$$\lambda_{d1} = 0,34 \frac{q_1}{l_\delta} (l_{d1} - 0,64\beta_1\tau) \quad (5-45)$$

ở đây $l_\delta = l_1 - 0,5n_g b_g$

Xác định λ_{d2} của dây quấn rôto ba pha cũng giống như đối với dây quấn stato, chỉ việc thay $q_1, l_{d1}, \beta_1 l_\delta$ bằng $q_2, l_{d2}, \beta_2, l_\delta$ trong các công thức trên. Ở đây $l_\delta = l_2 - 0,5n_g b_g$. Đối với rôto lồng sóc, nếu vòng ngắn mạch ở liền sát với đầu lõi sắt rôto (như lồng sóc đúc nhôm) thì λ_{d2} được tính như sau:

$$\lambda_{d2} = \frac{2,3D_v}{Z_2 l_\delta \Delta^2} \lg \frac{4,7D_v}{a + 2b} \quad (5-46a)$$

Nếu lồng sóc có vành ngắn mạch ở xa đầu lõi sắt rôto (như rôto lồng sóc kép) thì λ_{d2} được tính như sau:

$$\lambda_{d2} = \frac{2,3D_v}{Z_2 l_\delta \Delta^2} \lg \frac{4,7D_v}{a + b} \quad (5-46b)$$

trong đó:

$$\Delta = 2\sin\frac{\pi p}{Z_2}; \quad D_v, a, b \text{ là các kích thước trình bày ở}$$

hình 5-5

d. Điện kháng tản

Tương ứng với các công thức (5-20) và (5-21) ta có điện kháng tản của stato (trong các công thức sau chiều dài l tính theo cm):

$$x_1 = 0,158 \frac{f_1}{100} \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \frac{l_{\delta}}{pq_1} (\lambda_{r1} + \lambda_{l1} + \lambda_{d1}); \Omega \quad (5-47)$$

Điện kháng tản của rôto dây quấn:

$$x_2 = 0,158 \frac{f_1}{100} \left(\frac{W_2}{100} \right)^2 \frac{l_{\delta}}{pq_2} (\lambda_{r2} + \lambda_{l2} + \lambda_{d2}); \Omega \quad (5-48)$$

Đối với rôto lồng sóc:

$$x_2 = 7,9f_1 l_{\delta} (\lambda_{r2} + \lambda_{l2} + \lambda_{d2}) \cdot 10^{-8}; \Omega \quad (5-49)$$

Điện kháng của rôto quy đổi về stato:

Với rôto dây quấn:

$$x_2' = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{w_1 k_{d1}}{w_2 k_{d2}} \right)^2; \Omega \quad (5-50)$$

Với rôto lồng sóc:

$$x_2' = x_2 \frac{4m_1 (w_1 k_{d1})^2}{Z_2}; \Omega \quad (5-51)$$

Khi tính trực tiếp x_2 đối với rôto lồng sóc có thể sử dụng công thức sau (ứng với $m_1 = 3$):

$$x_2 = A_x (\lambda_{r2} + \lambda_{l2} + \lambda_{dn2}); \Omega \quad (5-52)$$

$$\text{ở đây} \quad A_x = 0,948 \frac{f_1}{z_2} \left(\frac{w_1 k_{dq1}}{100} \right)^2 \frac{l_{\delta}}{100}; \Omega \quad (5-53)$$

5.2.2. Đối với máy điện đồng bộ

Điện kháng tản x_{σ} của dây quấn stato được tính như sau:

$$x_o = 0,158 \frac{f_l}{100} \left(\frac{w_l}{100} \right)^2 \frac{l_o}{pq} (\lambda_r + \lambda_t + \lambda_d + \lambda_{dr}); \Omega \quad (5-54)$$

Hệ số từ tán λ_r được xác định bằng một trong các công thức đã nêu ở phần trên (mục 5.2.1) tương ứng với kích thước và dạng rãnh có tính đến bước ngắn.

Hệ số λ_t đối với máy điện đồng bộ cực lõi có thể tính theo công thức (5-39) hay (5-42), ở đây trong phép tính gần đúng, kích thước của khe hở không khí phải nhân

thêm một hệ số bằng 0,85 ~ 0,95 (khi $\alpha < 0,7$ và $\delta_m/\delta \geq 1,5$). Trong máy điện đồng bộ cực ẩn thường lấy $\lambda_t = 0$.

Hệ số tán từ đầu nối λ_d có thể được xác định theo các công thức (5-43), (5-44) hoặc (5-44) tùy theo kiểu dây quấn.

Trong công thức (5-54) có đưa vào hệ số từ dẫn giữa các đỉnh rãnh λ_{dr} . Trong máy điện không đồng bộ hệ số này bằng không. Trong máy điện đồng bộ cực lõi, λ_{dr} được xác định theo công thức sau:

$$\lambda_{dr} = [\alpha_m \lambda'_{dr} + (1 - \alpha_m)(0,22 + 0,32 \sqrt{\frac{t_l - b_4}{b_4}})] k_\beta^2 \quad (5-55)$$

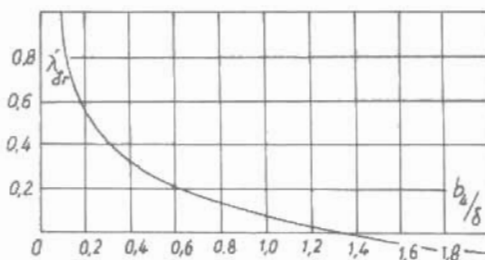
ở đây:

$$\alpha_m = \frac{b_m}{\tau}$$

b_4 - chiều rộng miệng rãnh (bằng chiều rộng rãnh khi rãnh hở);

k_β - hệ số tính theo (5-25) hay (5-26);

λ_{dr} - tra theo đường cong ở hình 5-16 với $\delta' = k_\beta \delta$.



Hình 5-16. Đường cong để xác định λ_{dr} của máy điện đồng bộ

5.3. XÁC ĐỊNH ĐIỆN KHÁNG ĐỐI VỚI RÃNH NGHIÊNG

Để giảm tiếng kêu và những mômen ký sinh, ở những động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc thường người ta làm rãnh nghiêng, nhưng do ảnh hưởng của rãnh nghiêng mà điện kháng tản ở stato hay rôto tăng lên, dẫn đến việc làm giảm mômen khởi động và mômen cực đại của máy. Để thuận tiện cho tính toán ta coi như toàn bộ từ thông tản tăng thêm do rãnh nghiêng đều quy cho sự tăng thêm điện kháng tản của rôto và gọi là điện kháng tản do rãnh nghiêng x_{rn} . Điện kháng tản này được tính theo công thức sau:

$$x_{rn} = 0,5x_{l2} \left(\frac{b_{rn}}{\tau_p} \right)^2 \quad (5-56)$$

Bảng 5.2a. Trị số 100δ, với q là số nguyên

Bước gần theo bước rãnh	q = z/(3 × 2p)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
0	9,7	2,85	1,41	0,89	0,65	0,52	0,44	0,39	0,35	0,31	0,30	0,29
1	9,7	2,35	1,15	0,74	0,53	0,45	0,37	0,33	0,32	0,26	0,28	0,28
2		2,85	1,11	0,62	0,44	0,36	0,32	0,26	0,24	0,23	0,22	0,21
3		2,70	1,41	0,69	0,43	0,30	0,29	0,23	0,22	0,20	0,21	0,20
4			1,38	0,89	0,55	0,31	0,25	0,19	0,18	0,14	0,14	0,13
5				0,86	0,65	0,42	0,31	0,21	0,16	0,12	0,11	0,10
6					0,63	0,52	0,32	0,26	0,17	0,13	0,13	0,13
7					0,60	0,52	0,40	0,32	0,22	0,16	0,16	0,15
8						0,55	0,42	0,39	0,30	0,22	0,22	0,21
9							0,44	0,44	0,37	0,28	0,25	0,24
10								0,45	0,39	0,35	0,32	0,31
11										0,36	0,33	0,32

trong đó

x_{12} - điện kháng tản tập rôto;

b_{in} - khoảng nghiêng của rãnh rôto;

t_2 - bước răng rôto.

Bảng 5.2b. Trị số $100\delta_1$ với q là phân số

q	y $\beta = \frac{y}{r}$	$100\delta_1$ không có sóng điều hòa bậc thấp	$100\delta_1$ có sóng điều hòa bậc thấp	q	y $\beta = \frac{y}{r}$	$100\delta_1$ không có sóng điều hòa bậc thấp	$100\delta_1$ có sóng điều hòa bậc thấp
1	2	3	4	5	6	7	8
$1\frac{1}{10}$	0.909	9,4	-	$2\frac{1}{4}$	0.890	2,0	3,2
	0.609	10,6	-		0.740	2,1	3,1
$1\frac{1}{8}$	0.887	8,8	-	$2\frac{2}{7}$	0.874	2,0	3,1
	0.592	10,4	-		0.730	2,1	3,0
$2\frac{1}{5}$	0.952	6,3	7,5	$2\frac{4}{13}$	0.867	2,0	3,0
	0.714	6,9	7,3		0.723	2,1	3,0
$1\frac{1}{2}$	0.890	4,5	4,7	$2\frac{3}{8}$	0.983	2,3	2,8
	0.667	5,9	6,0		0.842	2,2	2,6
$1\frac{7}{11}$	0.815	3,6	4,5	$2\frac{1}{2}$	0.933	1,7	1,8
	0.612	4,1	4,8		0.800	1,7	1,8
$1\frac{5}{7}$	0.972	3,9	5,7	$2\frac{7}{11}$	0.885	1,7	2,0
	0.778	3,5	5,0		0.760	1,8	2,0

Tiếp bảng 5-2b

1	2	3	4	5	6	7	8
$3\frac{1}{4}$	0,953	3,5	5,4	$3\frac{2}{4}$	0,969	1,5	2,3
	0,760	3,4	4,9		0,850	1,3	2,0
$4\frac{1}{5}$	0,926	3,3	5,2	$6\frac{2}{7}$	0,933	1,4	2,3
	0,742	3,4	4,9		0,817	1,3	2,1
$7\frac{1}{8}$	0,890	3,0	5,1	$7\frac{2}{8}$	0,928	1,4	2,3
	0,712	3,4	5,1		0,812	1,5	2,3
$11\frac{1}{13}$	0,903	3,0	5,0	$10\frac{2}{13}$	0,964	1,5	2,4
	0,723	3,3	5,0		0,842	1,4	2,2
$2\frac{1}{11}$	0,958	2,8	4,4	$3\frac{1}{2}$	0,950	1,1	
	0,798	2,7	3,0		0,857	0,83	
$2\frac{1}{5}$	0,91	2,1	3,4	-	-	-	-
	0,758	2,2	3,4				

Bảng 5.2c. Trị số $100\delta_c$ của dây quần lông sóc

$q_2 = \frac{Z_2}{3 \times 2p}$	1	2	$2\frac{1}{3}$	$2\frac{2}{3}$	3	$3\frac{1}{3}$	$3\frac{2}{3}$	4	>4
$100\delta_t$	9,7	2,29	1,68	1,28	1,02	0,82	0,68	0,57	$\frac{9,15}{q_2^2}$

Bảng 5.3. Trị số của hệ số ρ_t

q_2	Z_2/p									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
2	<u>0.99</u>	<u>0.94</u>	<u>0.87</u>							
	0.94	0.87	0.77							
3	<u>0.98</u>	<u>0.93</u>	<u>0.88</u>	<u>0.85</u>	<u>0.81</u>					
	0.92	0.87	0.84	0.78	0.69					
4	<u>0.97</u>	<u>0.90</u>	<u>0.84</u>	<u>0.80</u>	<u>0.77</u>	<u>0.74</u>				
	0.90	0.81	0.77	0.75	0.72	0.67				
5		<u>0.86</u>	<u>0.81</u>	<u>0.75</u>	<u>0.72</u>	<u>0.70</u>	<u>0.67</u>	<u>0.65</u>		
		0.78	0.71	0.69	0.67	0.65	0.62	0.59		
6		<u>0.82</u>	<u>0.74</u>	<u>0.70</u>	<u>0.66</u>	<u>0.62</u>	<u>0.61</u>	<u>0.60</u>	<u>0.59</u>	
		0.73	0.67	0.62	0.60	0.58	0.57	0.55	0.53	
8		<u>0.78</u>	<u>0.67</u>	<u>0.60</u>	<u>0.56</u>	<u>0.53</u>	<u>0.51</u>	<u>0.49</u>	<u>0.48</u>	0.47
		0.66	0.58	0.52	0.49	0.47	0.46	0.46	0.44	0.43

Chú thích: Trị số ở dưới gạch ngang được dùng cho những máy không rãnh nghiêng, trị số ở trên dùng cho những máy có rãnh nghiêng với $b_{r1} \approx 1_2$

5.4. TRỊ SỐ TƯƠNG ĐỐI CỦA CÁC THAM SỐ MÁY ĐIỆN

Khi máy có công suất, điện áp và tốc độ quay khác nhau thì các trị số tuyệt đối của các tham số cũng khác nhau rất nhiều, nhưng trị số tương đối của các tham số đó nằm trong một phạm vi tương đối hẹp, bởi vậy có thể dùng trị số tương đối để kiểm tra độ chính xác khi tính toán và có thể ở một chừng mực nhất định kiểm nghiệm lại sự chính xác của việc chọn tài điện từ và các kích thước khác.

Chuẩn để tính trị số tương đối của trở kháng là U_{dm}/I_{dm} , do đó trị số tương đối của chúng là:

$$r^* = r \cdot I_{dm} / U_{dm}$$

$$x^* = x \cdot I_{dm} / U_{dm}$$

Tổn hao và hiệu suất

6.1. ĐẠI CƯƠNG

Tổn hao sinh ra trong quá trình làm việc của máy điện về bản chất gắn liền với quá trình điện từ trong máy và chuyển động cơ của rôto. Tổn hao trong máy càng nhiều thì hiệu suất của máy càng thấp. Mặt khác tổn hao thoát ra dưới dạng nhiệt làm nóng máy, trong một chừng mực nhất định làm giảm tuổi thọ và độ tin cậy của cách điện trong máy

Tổn hao năng lượng trong quá trình làm việc của máy điện được xác định ở chế độ xác lập, do đó trong thực tế chỉ cần xét đến tổn hao năng lượng trong một đơn vị thời gian tức là tổn hao công suất. Trong tính toán máy điện, tổn hao công suất không những dùng để xác định hiệu suất mà còn để xác định độ chênh nhiệt ở các bộ phận máy.

Tổn hao trong máy điện có thể phân làm những loại sau:

1. *Tổn hao trong thép* ở stato và rôto do từ trễ và dòng điện xoáy khi từ thông chính biến thiên. Ngoài ra trong tổn hao sắt còn tính đến cả các tổn hao phụ gọi là tổn hao bề mặt và tổn hao đập mạch do sự thay đổi từ trở và sự thay đổi lần lượt vị trí tương đối của răng rãnh stato và rôto.

2. *Tổn hao trong đồng* do hiệu ứng Jun gây nên trong dây quấn và ở nơi tiếp xúc giữa chổi than với vành góp hoặc vành trượt.

3. *Tổn hao phụ* khi có tải do sự đập mạch của từ thông tản ở

máy điện xoay chiều hoặc do sự biến dạng của từ trường. phản ứng phản ứng và từ trường của phần tử đối chiều ở máy điện một chiều

4. *Tổn hao cơ* do ma sát ở vòng bi, ma sát giữa chổi than với vành góp hay vành trượt và ma sát giữa không khí với các bộ phận quay. Tổn hao trên quạt gió cũng kể vào tổn hao cơ.

Ở những máy điện làm việc với điện áp và tốc độ quay không đổi, khi chuyển từ chế độ làm việc không tải đến chế độ tải định mức, tổn hao thép và cơ thay đổi rất ít, vì vậy các tổn hao này được gọi là *tổn hao không tải* và được xác định bằng thí nghiệm không tải.

Các tổn hao trong đồng và tổn hao phụ khí có tải gọi là *tổn hao khi có tải* vì chúng biến đổi theo tải và cũng được xác định bằng thí nghiệm ngắn mạch.

6.2. TỒN HAO TRONG THÉP

6.2.1. Tổn hao chính trong thép

Tổn hao chính trong thép vì từ trễ và dòng điện xoáy xuất hiện đồng thời. Nguyên nhân là do hiện tượng từ hóa xoay chiều xảy ra trong thép khi từ trường biến đổi

Tổn hao chính trong thép phụ thuộc vào loại thép và được đặc trưng bởi suất tổn hao thép p_{Fe} (W/kg). Suất tổn hao này được tính theo suất tổn hao tiêu chuẩn $p_{1/50}$ theo công thức gần đúng sau:

$$p_{Fe} = p_{1/50} B^{\lambda} \left(\frac{f}{50} \right)^{\beta} \quad (6-1)$$

trong đó:

$p_{1/50}$ - suất tổn hao thép ở tần số từ hóa $f = 50 \text{ Hz}$ và mật độ từ thông $B = 1 \text{ Tesla}$;

β - hệ số phụ thuộc vào loại thép.

Có thể tra $p_{1/50}$ và β của một số loại thép Nga trong phụ lục

V, bảng V-13.

Tổn hao thép trong máy điện trên thực tế còn phụ thuộc nhiều vào những thiếu sót trong quá trình gia công lõi thép như bavia, dũa thành rãnh khi đã ghép lõi sắt, mài bề mặt stato và rôto, đóng gông sắt... Do đó khi tính toán tổn hao trên các phần của lõi sắt phải thêm các hệ số xét đến ảnh hưởng của gia công.

Tổn hao thép trong răng và gông phần ứng được tính theo công thức sau:

$$\text{- trong răng: } p_{icz} = k_{icz} \cdot p_{1/50} B_1^2 \left(\frac{f}{50}\right)^\beta G_r \cdot 10^{-3} \quad (6-2)$$

$$\text{- trong gông: } p_{icg} = k_{icg} p_{1/50} B_2^2 \left(\frac{f}{50}\right)^\beta G_g \cdot 10^{-3} \quad (6-3)$$

trong đó:

G_r, G_g - trọng lượng răng và gông phần ứng;

k_{ic} - hệ số gia công.

Đối với máy điện một chiều $k_{icz} = k_{icg} = 2,3$; với máy điện không đồng bộ $k_{icz} = 1,8$, $k_{icg} = 1,6$, còn với máy điện đồng bộ $k_{icz} = 1,7$, $k_{icg} = 1,3$.

6.2.2. Tổn hao phụ trong thép khi không tải

Tổn hao phụ trong thép sinh ra bởi các dòng điện xoáy và hiện tượng từ trễ trong thép ở phần răng và trên bề mặt stato và rôto tạo nên bởi các sóng điều hòa bậc cao và sóng điều hòa răng của từ trường stato và rôto.

a. Tổn hao bề mặt

Khi máy điện quay, đối diện với cực từ của máy điện một chiều, máy đồng bộ hay răng rôto của máy không đồng bộ lần lượt xuất hiện khi thì răng khi thì miệng rãnh của phần ứng, do đó gây ra ở lớp trên mặt của cực từ hoặc trên mặt của răng rôto một sự dao động của mật độ từ thông B . Biên độ dao động của B càng lớn khi khe hở không khí càng nhỏ và miệng rãnh càng to.

Tần số của dao động phụ thuộc vào số răng Z và tốc độ quay n .

$$f_z = \frac{Z \cdot n}{60} \quad (6-4)$$

Vì tần số dao động cao nên các dòng điện xoáy cảm ứng trong thép đều tập trung lên lớp mỏng trên bề mặt lõi thép, vì vậy tổn hao gây nên bởi các dòng điện xoáy này được gọi là tổn hao bề mặt.

Ở máy điện không đồng bộ, tổn hao bề mặt lớn vì khe hở không khí ở nhỏ. Tổn hao chủ yếu tập trung trên bề mặt rôto còn trên bề mặt stato ít hơn do miệng rãnh rôto bé.

Suất tổn hao bề mặt trung bình trên một đơn vị bề mặt stato hay rôto ($1m^2$) được xác định theo công thức:

$$p_{bm(2)} = 0,5k_0 \left(\frac{Z_{2(1)}n}{10.000} \right)^{1,5} (10B_0 t_{2(1)})^2 \quad (6-5)$$

trong đó:

$Z_{2(1)}$ - số răng rôto (stato);

n - tốc độ quay của rôto (vòng/ph). Có thể lấy $n = n_1$;

k_0 - hệ số kinh nghiệm. Đối với stato lấy $k_0 = 1,4 \div 1,8$; với rôto lấy $k_0 = 1,7 \div 2$;

$t_{2(1)}$ - bước răng rôto (stato);

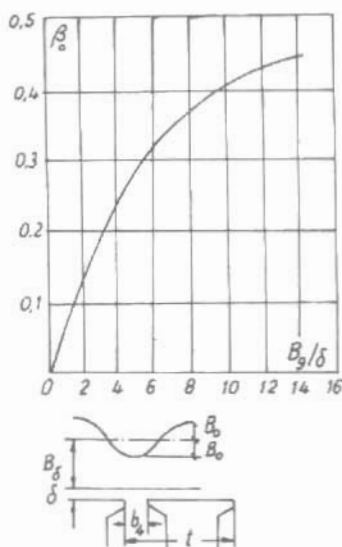
B_0 - biên độ dao động của mật độ từ thông tại khe hở không khí:

$$B_0 = \beta_0 k_\delta B_\delta \quad (6-6)$$

Ở đây β_0 tra theo đường cong ở hình 6-1.

k_δ - hệ số khe hở không khí.

Toàn bộ tổn hao bề mặt



Hình 6-1. Để xác định biên độ dao động mật độ từ thông trên bề mặt stato và rôto

stato hay rôto được tính theo công thức:

$$P_{bm1(2)} = P_{bm1(2)} [t_{1(2)} - b_{1(2)}] Z_{1(2)} l_{1(2)} \cdot 10^{-7} \quad (6-7)$$

Ở đây các đơn vị chiều dài tính theo centimet

Đối với máy điện một chiều và đồng bộ, tổn hao bề mặt xảy ra trên bề mặt cực từ lớn đến mức cần lưu ý khi rãnh hở. Tuy nhiên, khe hở không khí ở các máy này cũng lớn hơn so với máy không đồng bộ, do đó góp phần làm giảm bớt tổn hao bề mặt. Suất tổn hao bề mặt trung bình của các loại máy này được tính theo công thức:

$$P_{bm} = k_n \left(\frac{Z_n}{10.000} \right)^2 (10B_{\delta t})^2 \quad (6-8)$$

và toàn bộ tổn hao bề mặt tại tất cả các mặt cực từ bằng:

$$P_{bm} = 2p(\alpha_m)_{\text{m}} P_{bm} \cdot 10^{-7} \quad (6-9)$$

ở đây:

α_m - hệ số cung cực từ;

l_m - chiều dài mặt cực (có thể lấy $l_m = 1$);

l - chiều dài phần ứng;

τ - bước cực.

b. Tổn hao đập mạch trên răng

Trong các máy điện có răng rãnh cả trên stato và rôto như máy điện không đồng bộ và máy điện đồng bộ có cuộn cảm, ngoài tổn hao bề mặt còn có tổn hao đập mạch do hiện tượng đập mạch đang kể của mật độ từ thông B trong các răng. Nguyên nhân của sự đập mạch này là do dao động của từ trường trong vùng liên thông răng (rãnh) stato và rôto theo vị trí tương đối của răng stato và rôto. Tần số dao động trong răng stato bằng $Z_2 n / 60$ và trong răng rôto là $Z_1 n / 60$

Biên độ dao động của mật độ từ thông trong răng bằng:

$$B_{\delta m1(2)} \approx \frac{\gamma_{2(1)}^{\delta}}{2t_{2(1)}} B_{\tau1(2)} \quad (6-10)$$

Hệ số $\gamma_{2(1)}^{\delta}$ được tính như sau:

$$\gamma_{2(1)} = \frac{\left(\frac{b_{42(1)}}{\delta}\right)^2}{5 + \left(\frac{b_{42(1)}}{\delta}\right)} \quad (6-11)$$

Với rãnh hở, muốn xác định $\gamma_{2(1)}$ cần phải tính chiều rộng miệng rãnh:

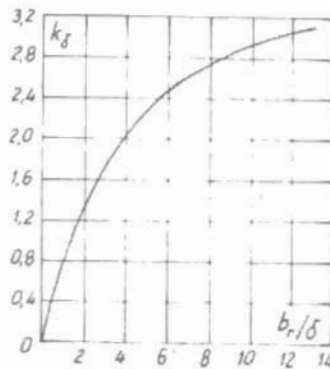
$$b'_{42(1)} \approx \frac{b_{42(1)}}{3} \left(1 + \frac{0,5t_{2(1)}}{t_{2(1)} - b_{42(1)} + k_\delta}\right) \quad (6-12)$$

Hệ số k_δ phụ thuộc vào $b_{4\delta} = b_{r/\delta}$ và có thể tra hình 6-2.

Tổng tổn hao đập mạch trong rãnh bằng:

$$P_{dm(2)} \approx 0,11 \left(\frac{Z_{2(1)} n}{1000} B_{dm(2)}\right)^2 G_{r(2)} \cdot 10^{-3} \quad (6-13)$$

Tổn hao đập mạch tỷ lệ với chiều rộng miệng rãnh b_4 và tỷ lệ với bước rãnh. Các công thức (6-10) và (6-11) cho thấy rằng tổn hao đập mạch trong rãnh rôto của máy điện không đồng bộ có thể rất lớn khi ở stato có rãnh hở và bước rãnh rôto t_2 bé. Do đó ở động cơ điện không đồng bộ chọn $t_1 < t_2$ ($Z_1 > Z_2$) cũng có tác dụng giảm tổn hao đập mạch này.



Hình 6-2. Để xác định chiều rộng tính toán của rãnh hở

6.2.3. Tổng tổn hao trong thép lúc không tải

Trong máy điện một chiều và đồng bộ:

$$P_{lc} = P_{lc'} + P_{leg} + P_{hm} \quad (6-14)$$

Trong máy điện không đồng bộ:

$$P_{\text{Fe}} = P_{\text{Fe1}} + P_{\text{Fe2}} + P_{\text{bm1}} + P_{\text{bm2}} + P_{\text{dm1}} + P_{\text{dm2}} \quad (6-15)$$

6.3. TỐN HAO ĐỒNG

6.3.1. Tổn hao đồng trong dây quấn

Theo định luật Jun-Lenxơ, tổn hao đồng trong dây quấn bằng

$$P_{\text{Cu}} = \sum I_x^2 r_x \cdot 10^{-3} \text{ kW}$$

trong đó:

I_x - dòng điện trong dây quấn x;

r_x - điện trở của dây quấn quy về nhiệt độ làm việc tính toán.

6.3.2. Tổn hao trên chỗ tiếp xúc của chổi than

Tổn hao này do điện áp rơi trên chỗ tiếp xúc giữa chổi than và vành góp hay vành trượt. Tổn hao chỗ tiếp xúc của chổi than ở máy điện một chiều được tính theo công thức:

$$P_{\text{Cutex}} = 2\Delta U_{\text{ch}} I_2 \cdot 10^{-3} \text{ , kW} \quad (6-16)$$

ở đây:

I_2 - dòng điện phản ứng;

ΔU_{ch} - điện áp rơi trên chỗ tiếp xúc của một đôi cực

ΔU_{ch} phụ thuộc vào loại chổi than. Theo tiêu chuẩn Nga, lấy $\Delta U_{\text{ch}} = 2 \text{ V}$ với chổi than graphit và $\Delta U_{\text{ch}} = 0,6 \text{ V}$ với chổi than đồng hay graphit- đồng.

Đối với máy điện không đồng bộ rôto dây quấn thì tổn hao ở chỗ tiếp xúc với vành trượt (khi không nâng chổi than lên) bằng:

$$P_{\text{Cutex}} = m_2 \Delta U_{\text{ch}} I_{2(v)} \cdot 10^{-3} \text{ , kW} \quad (6-17)$$

ở đây:

m_2 - số pha ở rôto;

$I_{2(v)}$ - dòng điện qua vành trượt.

6.4. TỐN HAO CƠ

Tổn hao cơ hay tổn hao ma sát phụ thuộc vào áp suất trên bề

mật ma sát, hệ số ma sát và tốc độ chuyển động tương đối của bề mặt ma sát. Việc tính toán các tổn hao này gặp khó khăn ở phần xác định hệ số ma sát vì hệ số này phụ thuộc vào chất lượng bề mặt ma sát, loại dầu bôi trơn và nhiệt độ. Ở nơi chế tạo thường dùng các số liệu thực nghiệm trên các máy đã chế tạo và các công thức dựa trên cơ sở thực nghiệm để xác định tổn hao cơ. Tổn hao cơ trên hệ thống quạt ở máy điện càng khó xác định hơn nên trong thực tế tổn hao này hoàn toàn xác định theo thực nghiệm. Vì những lý do trên, sau đây chỉ đưa vắn tắt những công thức tính toán thực nghiệm thường dùng.

Tổn hao cơ đối với máy điện không đồng bộ kiểu bảo vệ IP23 thông gió hướng kính được tính như sau:

- khi có rãnh thông gió hướng kính:

$$P_{c0} = (n_g + 11)(n/1000)^2(D/100)^3 \cdot 10^{-3}, \text{ kW} \quad (6-18)$$

- khi không có rãnh thông gió hướng kính :

$$P_{c0} = k_{c0} (n/1000)^2(D/100)^3 \cdot 10^{-3}, \text{ kW}$$

trong đó:

k_{c0} xác định theo đường kính ngoài phần ứng D_n như sau:

$D_n(mm)$	$2p$	k_{c0}
≤ 250	2	5
≤ 250	≥ 4	6
≥ 250	2	6
≥ 250	≥ 4	7

Đối với động cơ điện không đồng bộ kiểu kín IP44:

$$P_{c0} = k_{c0}(n/1000)^2 (D_n/100)^4 10^{-3}, \text{ kW} \quad (6-19)$$

ở đây:

$$k_{c0} = 1,3(1 - D_n/1000) \text{ khi } 2p = 2 \text{ và } k_{c0} = 1 \text{ khi } 2p \geq 4.$$

D, D_n tính theo mm.

Đối với máy điện đồng bộ, tổng tổn hao cơ do ổ bi và quạt có thể tính theo công thức:

$$P_{c\sigma} \approx 3,68p \left(\frac{v_R}{10}\right)^3 \sqrt{\frac{l_1}{100}} \quad , \quad kW \quad (6-20)$$

trong đó :

v_R - tốc độ bề mặt của rôto, m/s ;

l_1 - chiều dài lõi sắt stato, cm .

Tổn hao cơ trong máy điện một chiều gồm tổn hao ma sát ổ bi, quạt gió và tổn hao do tiếp xúc ma sát của chổi than.

Tổn hao ma sát chổi than khi lực ép bằng $0,3 \text{ kg/cm}^2$ bằng :

$$P_{ms} = 5 \sum S_{ch} v_G \cdot 10^{-3} \quad (6-21) \quad kW$$

ở đây :

S_{ch} - diện tích tiếp xúc của chổi, cm^2 ;

v_G - tốc độ bề mặt của vành góp, m/s .

Tổn hao quạt gió và ổ bi của máy một chiều được xác định theo hình 6-3, trong đó nhóm đường cong A là của những máy có quạt nằm trên trục máy, còn nhóm đường cong B là của những máy có quạt không nằm trên trục máy.

Tổn hao ma sát trên vành trượt được tính theo công thức sau :

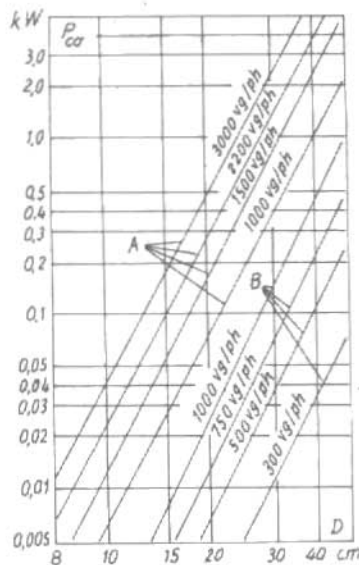
$$P_{ms} = 9,81 k_{ms} \rho_v S_v v_v \cdot 10^{-3} \quad , \quad kW \quad (6-21)$$

trong đó : k_{ms} - hệ số ma sát, $k_{ms} = 0,15 \sim 0,17$

ρ_v - áp suất chổi than, $\rho_v = 0,15 - 0,25 \text{ kg/cm}^2$

S_v - tổng diện tích tiếp xúc của chổi than, cm^2

v_v - tốc độ bề mặt vành, m/sec .



Hình 6-3. Tổn hao ổ bi và quạt trong máy điện một chiều

6.5. TỒN HAO PHỤ LÚC CÓ TÀI

Tồn hao phụ do dòng điện tải sinh ra xuất hiện trong các dây quân phản ứng và trong lõi sắt được xác định bằng thực nghiệm hoặc bằng phương pháp gần đúng vì, rất khó tính chính xác.

Theo tiêu chuẩn Nga, tồn hao phụ của các máy điện được tính gần đúng theo phần trăm công suất định mức của máy (trừ máy điện đồng bộ công suất lớn hơn 100 kW). Tỷ lệ phần trăm theo từng loại máy như sau :

Máy điện một chiều không có cuộn bù	1
Máy điện một chiều có cuộn bù	0,5
Máy điện không đồng bộ	0,5
Máy điện đồng bộ đến 100 kVA	0,5
Máy điện xoay chiều có vành góp	1

Đối với những máy đồng bộ cực lõi công suất đến 1000 kVA có thể lấy tồn hao phụ bằng 0,4 đến 0,5% công suất định mức.

6.6. HIỆU SUẤT

Công thức tính toán hiệu suất của máy điện ở trị số định mức như sau :

- đối với máy phát điện :

$$\eta_1 = \left(1 - \frac{\sum P}{P_{dm} + \sum P} \right) 100\%$$

- đối với động cơ điện :

$$\eta_D = \left(1 - \frac{\sum P}{P_{ldm}} \right) 100\%$$

ở đây :

P_{dm} - công suất tác dụng định mức của máy phát điện, kW;

P_{ldm} - công suất điện tác dụng đưa vào động cơ điện khi tải định mức, kW;

$\sum P$ - tổng tồn hao của máy khi tải định mức, kW.

Tính toán thông gió và làm nguội

Đến nay, trừ một số ít trường hợp đặc biệt, hầu hết các máy điện hiện đại đều có hệ số sử dụng vật liệu cao, nghĩa là tận dụng triệt để về phương diện tải điện từ A và B_A, do đó nhiệt lượng do tổn hao tỏa ra trên đơn vị diện tích bề mặt của máy rất lớn. Như vậy cùng với việc nâng cao tải điện từ cần phải tăng cường làm nguội máy một cách hiệu quả.

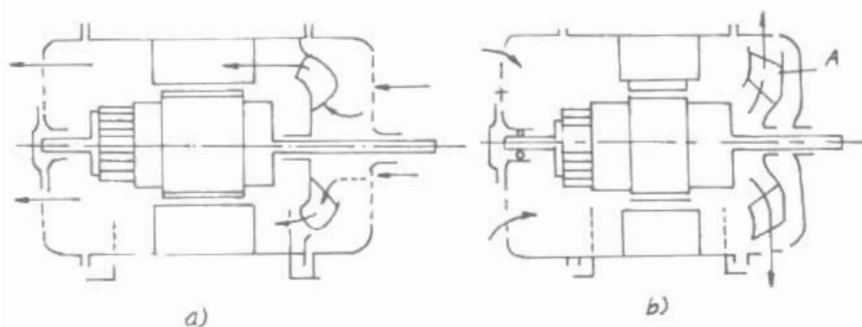
Phương pháp làm nguội trong máy điện chủ yếu là tạo nên sự đối lưu của môi trường làm nguội. Môi trường làm nguội có thể là môi trường khí: không khí, khí hydrô; có thể là môi trường lỏng: dầu biến áp, nước. Trong chương này chủ yếu nghiên cứu vấn đề thông gió bằng không khí.

Làm nguội bằng không khí được phân làm bốn loại sau:

1. Làm nguội tự nhiên (máy có công suất nhỏ hơn 1 kW)
2. Thông gió trên bề mặt vật liệu tác dụng bằng quạt đặt trên trục máy.
3. Thông gió trên mặt ngoài vỏ máy bằng quạt đặt trên trục máy.
4. Thông gió bằng phương tiện bên ngoài (quạt, bơm khí hay chất lỏng). Phương pháp này còn gọi là thông gió cưỡng bức, có ưu điểm giữ được nguyên cường độ làm nguội ở mọi tốc độ của rôto kể cả khi rôto đứng yên.

7.1. HỆ THỐNG THÔNG GIÓ

Hệ thống thông gió có thể là một kết cấu tạo nên chu trình hở hoặc kín. Ở trường hợp thứ nhất, không khí nguội được thổi vào máy, qua bề mặt bộ phận nóng và mang nhiệt ra môi trường xung quanh. Ở trường hợp thứ hai, chỉ cần một lượng khí làm nguội chuyển động theo một chu kỳ kín. Sau khi đi qua máy, khí bị đốt nóng được đưa ra nơi làm nguội rồi lại quay trở vào máy.



Hình 7-1. Quạt trên máy điện
a. quạt nén; b. quạt hút

Tuỳ theo tác dụng, quạt đặt trên trục được chia làm hai loại: quạt nén và quạt hút (hình 7-1).

Ưu điểm của quạt hút so với quạt nén là luồng không khí đi qua máy không bị đốt nóng trước do cọ sát với cánh quạt. Cần chú ý rằng khi qua cánh quạt không khí có thể nóng lên khoảng $3 \div 7^{\circ}\text{C}$, điều đó bắt buộc phải tăng lượng không khí khoảng $15 \div 20\%$ một cách vô ích dẫn đến tăng tổn hao vì thông gió.

Để tăng cường hiệu quả làm nguội của luồng không khí, thường sử dụng các kiểu hệ thống thông gió sau:

- Hệ thống thông gió hướng kính;
- Hệ thống thông gió hướng trục;
- Hệ thống thông gió hỗn hợp (vừa hướng kính vừa hướng trục).

Mỗi hệ thống đều có ưu nhược điểm riêng của nó.

Hệ thống thông gió hướng kính có ưu điểm làm tăng diện tích tỏa nhiệt, làm nguội đều theo chiều dài máy. Nhược điểm của hệ thống này là làm tăng chiều dài của máy và giảm độ chắc chắn của lõi thép vì sự biến dạng của các thép lá thép. Nếu xảy ra xô dịch trong các thép lá thép thì có nguy cơ các cạnh của thép lá thép sẽ cắt đứt cách điện rãnh gây nên chạm vỏ dây quấn. Về mặt khí động lực, phải tốn thêm áp suất cho luồng khí đổi phương đột ngột (90°) khi vào rãnh thông gió hướng kính, tổn hao quạt gió và tổn hao phụ tăng lên v.v.. Ngoài ra, việc lắp ráp lõi sắt cũng phức tạp hơn vì phải đảm bảo rãnh thông gió ở lõi sắt stato và rôto hoàn toàn đối nhau.

Hệ thống thông gió hướng trục có ưu điểm là ít tổn hao áp suất khí, tỏa nhiệt đều theo chiều dài qua bề mặt các ống thông gió hướng trục xuyên qua lõi thép, đặc biệt là tác dụng chuyển động xoáy dọc trục của luồng không khí. Nhược điểm của hệ thống này là khó ứng dụng ở máy dài, đặc biệt ở những máy có kích thước gông lớn, có độ chênh nhiệt độ lớn theo chiều cao gông, bởi vì khó làm nguội đều theo chiều dài của máy.

Hệ thống thông gió trên mặt ngoài vỏ máy được dùng ở loại máy kiểu kín IP44 trở lên, kiểu chống nổ, dùng trong hầm mỏ, những nơi bụi bặm, có khí nổ hoặc hóa chất phá hoại cách điện, v.v. Ở loại máy này bề mặt ngoài của vỏ máy là bề mặt tản nhiệt chính cho nên cần có kết cấu thích hợp để tăng diện tích tản nhiệt như cánh tản nhiệt, ống hướng trục dẫn không khí xuyên qua thân máy...

Tính toán thông gió cuối cùng quy về việc chọn kết cấu máy (kiểu bảo vệ) và hệ thống thông gió, chọn chất làm nguội, sau đó giải các bài toán cơ bản sau:

- 1 Kiểm tra lại hệ thống thông gió.
2. Chọn kết cấu quạt gió thích hợp với lượng không khí đã cho ứng với độ tăng nhiệt quy định.

3. Xác định sự phân bố hiệu quả nhất của chất làm nguội trên hệ thống làm nguội sao cho thoát nhiệt được tốt nhất với tổn hao trên quạt ít nhất.

4. Xác định tổn hao áp suất ít nhất trên đường đi bằng cách làm cho hệ thống thông gió có dạng tốt nhất về mặt khí động học.

5. Thiết kế quạt có hiệu suất và độ tin cậy cao về mặt cơ khí.

7.2. TÍNH TOÁN THÔNG GIÓ

Bài toán về thông gió phải giải quyết hai vấn đề sau:

- Xác định lượng không khí Q cần thiết thổi qua máy, m^3/s .
- Xác định áp suất H đảm bảo đưa lượng khí qua hệ thống thông gió, kg/m^2 .

7.2.1. Xác định lượng không khí cần thiết

Lượng không khí đưa qua máy phải đủ để đưa nhiệt lượng trong máy thoát ra ngoài và đảm bảo độ chênh nhiệt của dây quấn ở mức độ cho phép. Nếu lượng không khí quá nhiều thì sẽ làm tăng công suất quạt một cách vô ích, tổn hao vì thông gió sẽ tăng và hiệu suất của máy giảm. Thông thường dòng không khí qua máy mang hầu hết nhiệt lượng do tổn hao trong máy sinh ra, vì vậy lượng không khí đó được tính theo công thức sau:

$$Q = \frac{\sum P}{C_k \Delta \theta_k} \quad (7-1)$$

trong đó.

$\sum P$ - tổng tổn hao của máy.

$C_k = 1100 \left(\frac{J}{m^3 \cdot ^\circ C} \right)$ - nhiệt dung của không khí;

$\Delta \theta_k = \theta_r - \theta_v$ - độ tăng nhiệt của không khí;

θ_r, θ_v - nhiệt độ không khí nóng ra khỏi máy và nhiệt độ không khí nguội vào máy. Thường lấy $\Delta \theta_k = 20^\circ C$ đối với máy

cách điện cấp A, E, B và có thể đến 30°C đối với cách điện cấp F, H. Đối với máy phát thủy điện hay nhiệt điện lấy $\Delta\theta_k = 25^\circ\text{C}$.

7.2.2. Xác định áp suất mà quạt phải tạo ra để đưa lượng không khí làm mát qua máy

Thực nghiệm trên các hệ thống thông gió trong máy điện cho thấy có thể biểu thị mối quan hệ giữa H và Q theo công thức sau:

$$H = Q^2 Z \quad (7-2)$$

Ở đây Z là hằng số phụ thuộc vào dạng hình học và kích thước ống dẫn không khí của hệ thống thông gió và được gọi là trở lực khí động lực của ống dẫn khí của máy điện.

Như vậy việc xác định áp suất cho một lượng không khí Q đi qua một hệ thống thông gió đã cho quy về việc xác định hằng số Z.

$$Z = \frac{H}{Q^2} \quad (7-3)$$

Áp suất H bằng tổng các tổn hao áp suất H_i trên các đoạn ống của hệ thống dẫn khí làm mát và áp suất tốc độ (hay áp suất động lực) H_d của dòng khí chuyển động có chứa một động năng dự trữ khi thoát ra khỏi hệ thống đi vào môi trường bên ngoài, nghĩa là:

$$H = \sum H_i + H_d \quad (7-4)$$

Áp suất động lực, theo lý thuyết về thủy động lực bằng:

$$H_d = \frac{\gamma}{g} \frac{v^2}{2} = \xi_d v^2 \quad (7-5)$$

ở đây:

$\gamma = 1,2 \text{ kg/m}^3$ - trọng lượng riêng của không khí;

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ - gia tốc trọng trường;

v - tốc độ chuyển động của không khí ;

ξ_d - hệ số áp suất động lực;

$$\xi_d = \frac{\gamma}{2g} = 61.10^{-3} \text{ kg.s}^2/\text{m}^4$$

Tổn hao áp suất H_i trên từng đoạn ống của hệ thống dẫn khí được biểu thị theo dạng áp suất động lực với tốc độ dòng khí chuyển động v_i là:

$$H_i = \xi_i v_i^2 \quad (7-6)$$

ở đây ξ_i - hệ số trở lực khí động lực của đoạn ống.

Do đó ta có:

$$H = \sum H_i + H_d = \sum (\xi_i v_i^2) + \xi_d v_r^2 \quad (7-7)$$

Trên cơ sở của biểu thức (7-3) và (7-7), trở lực khí động lực của hệ thống ống dẫn khí có dạng:

$$Z = \frac{H}{Q^2} = \sum \left(\xi_i \frac{v_i^2}{Q^2} \right) + \xi_d \frac{v_r^2}{Q^2} = \sum \frac{\xi_i}{S_i^2} + \frac{\xi_d}{S_r^2} \quad (7-8)$$

trong công thức (7-8) sử dụng quan hệ $Q_i = v_i S_i = v_r S_r$

trong đó:

S_i, S_r - tiết diện các đoạn ống mà không khí đi qua và thoát ra ngoài;

v_i, v_r - tốc độ dòng không khí đi qua các đoạn ống và ra ngoài;

$$Z_i = \frac{\xi_i}{S_i^2} - \text{trở lực khí động lực của đoạn ống } i.$$

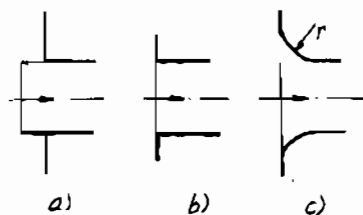
Công thức (7-8) cho thấy trở lực khí động lực Z là hàm của dạng hình học các đoạn ống dẫn không khí

Trong máy điện, hình dạng các đoạn đường đi của dòng không khí rất phức tạp cho nên việc xác định các trị số của hệ số trở lực khí động lực rất khó. Vì thế nên người ta phải dùng các trị số ξ_i tìm được bằng thực nghiệm trên những hình dáng đơn giản của ống dẫn khí. Kết quả tính toán trên cơ sở các hệ số ấy mặc dù gần đúng vẫn cho phép đề ra các yêu cầu đối với quạt gió và xác định được những chỗ cản trở nhiều đến sự chuyển động của

dòng khí trong hệ thống thông gió.

7.2.3. Hệ số trở lực khí động lực

Cùng với tổn hao áp suất do ma sát trên thành ống, bất cứ sự thay đổi nào về dạng hình học của ống dẫn làm thay đổi dòng không khí cũng đều gây ra tổn hao áp suất. Sau đây là trị số trở lực khí động lực thực nghiệm của các dạng thay đổi cơ bản.



HÌNH 7-2. Hình dạng lỗ vào ống dẫn không khí

a. Hệ số trở lực khí động lực tại chỗ vào ống

- Đầu vào có phần thừa nhô ra hoặc sắc cạnh (hình 7-2a)

$$\xi_v = 61 \cdot 10^{-3} \text{ kg.s}^2/\text{m}^4 \quad (7-9)$$

- Đầu vào có cạnh vuông góc (hình 7-2b)

$$\xi_v = 30 \cdot 10^{-3} \text{ kg.s}^2/\text{m}^4 \quad (7-10)$$

- Đầu vào có cạnh cung tròn (hình 7-2c)

$$\xi_v = 12,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg.s}^2/\text{m}^4 \quad (7-11)$$

nếu bán kính cung tròn $r = 0,1d$. (d - đường kính lỗ vào gió)

Trường hợp $r \approx d$ thì $\xi_v = 0$. Công thức (7-11) dùng được cho cả trường hợp không khí qua lưới sắt.

Tổn hao áp suất khi không khí vào ống:

$$H_v = \xi_v v_v^2 \text{ kg/m}^2 \quad (7-12)$$

b. Hệ số trở lực khí động lực tại chỗ tiết diện ống dẫn thay đổi đột ngột

- Tiết diện ống rộng ra đột ngột:

$$\xi_{\text{rộng}} = \xi_d \left(1 - \frac{S_{\min}}{S_{\max}}\right)^2 = 61 \cdot \left(1 - \frac{S_{\min}}{S_{\max}}\right)^2 \cdot 10^{-3} \quad (7-13)$$

- Tiết diện ống hẹp lại đột ngột:

$$\xi_{\text{hẹp}} = 30,5 \left(1 - \frac{S_{\min}}{S_{\max}}\right) \cdot 10^{-3} \quad (7-14)$$

ở đây: $S_{\min}$, $S_{\max}$ - tiết diện nhỏ và lớn hơn tại chỗ thay đổi tiết diện.

Tổn hao áp suất khi tiết diện ống rộng đột ngột và hẹp đột ngột:

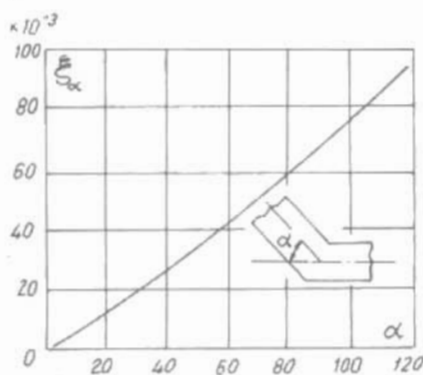
$$H_{rg} = \xi_{rg} \cdot v^2 \quad (7-15)$$

$$H_h = \xi_h \cdot v^2 \quad (7-16)$$

ở đây v - tốc độ không khí tại tiết diện bé hơn nghĩa là tốc độ lớn hơn, m/s .

c. Hệ số trở lực khí động lực tại chỗ ống dẫn gấp khúc với góc α , tiết diện không đổi

Trị số hệ số trở lực khí động lực ξ_{α} trong trường hợp này lấy theo đường cong $\xi_{\alpha} = f(\alpha)$ trên hình 7-3.



Hình 7-3 Hệ số trở lực khí động lực tại chỗ ống dẫn gấp khúc

Tổn hao áp suất tại chỗ ống dẫn gấp khúc:

$$H_{\alpha} = \xi_{\alpha} \cdot v^2 \text{ kg/m}^2 \quad (7-17)$$

d. Hệ số trở lực khí động lực tính đến ma sát trên thành ống

Ở các đoạn ống tiết diện bé và dài phải tính đến tổn hao áp suất vì ma sát giữa dòng không khí với thành ống. Hệ số trở lực khí động lực ma sát ở các ống tròn bằng:

$$\xi_{ms} = \xi_d \lambda \frac{l}{d} = \lambda \frac{l}{d} 61 \cdot 10^{-3} \quad (7-18)$$

trong đó

λ - hệ số ma sát trên thành ống;

l, d - chiều dài và đường kính của ống

Ở ống kim loại thành nhẵn:

$$\lambda = 0,0125 + \frac{1,1}{d} \quad (7-19)$$

ở đây d được tính theo mm

Ở ống kim loại thành ráp

$$\lambda = 2(0,0025 + \frac{1,1}{d}) \quad (7-20)$$

Ở ống thông gió hướng trục của máy điện lấy $\lambda = 0,08$. Trong trường hợp này tính ξ_{ms} theo công thức sau:

$$\xi_{ms} = 5 \frac{l}{d} 10^{-4} \quad (7-21)$$

Nếu ống có tiết diện chữ nhật với cạnh là a và b thì dùng công thức (7-19) hay (7-20) với:

$$d = \frac{2ab}{a + b} \quad (7-22)$$

Nếu ống có tiết diện bất kỳ thì lấy d là đường kính của ống tròn có tiết diện tương đương.

Tổn hao áp suất do ma sát trên thành ống:

$$H_{ms} = \xi_{ms} v^2 \quad kg.m^2 \quad (7-23)$$

trong đó:

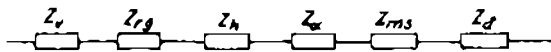
v - tốc độ trong ống (m/s).

7.2.4. Sơ đồ trở lực khí động lực trong một nhánh

Ống dẫn khí

Khi có một dòng khí Q chạy qua một nhánh ống dẫn khí, toàn bộ áp suất H cần thiết sẽ bằng tổng các tổn hao áp suất trên từng đoạn ống và trở lực khí động lực Z , đồng thời toàn bộ trở lực khí động lực trong nhánh ống dẫn khí cũng sẽ là tổng các trở

lực khi động lực của từng đoạn ống (hình 7-4) và có thể viết dưới dạng sau



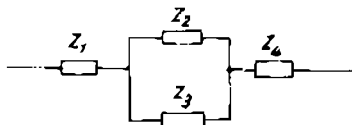
Hình 7-4 Sơ đồ thay thế mạch nối tiếp các đoạn ống dẫn không khí

$$Z = \sum Z_i + Z_d = Z_v + Z_{rg} + Z_h + Z_c + Z_{ms} + Z_d \quad (7-24)$$

trong đó: Z_v , Z_{rg} , Z_h , Z_c , Z_{ms} , Z_d - trở lực khí động lực của dòng khí khi vào ống, đoạn mở rộng ống, thu hẹp ống, gấp khúc, ma sát thành ống và thoát ra khỏi ống

7.2.5. Sơ đồ trở lực khí động lực trong hệ thống thông gió rẽ nhánh

Trong hệ thống thông gió của máy điện, sau khi vào trong thân máy, gió được chia làm hai nhánh thông gió đi qua stato và rôto rồi hợp lại để ra ngoài. Trong trường hợp này phải tính trở lực khí động lực tương đương của các nhánh song song.



Hình 7-5 Sơ đồ thay thế của ống dẫn không khí trong hệ thống ống rẽ nhánh

Do lượng gió tổng bằng tổng các lượng gió của các mạch nhánh:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \sum Q_i$$

Còn áp suất ở hai đầu các đoạn mạch nhánh bằng nhau:

$$H = H_1 = H_2 = \dots = H_n$$

Và trở lực khí động lực tương đương:

$$Z_{td} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{Z_1}} + \frac{1}{\sqrt{Z_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{Z_n}} \right)^2} = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{Z_i}} \right)^2} \quad (7-25)$$

Vì dụ một hệ thống thông gió trong máy điện có sơ đồ thay

thể như ở hình 7-5 thì toàn bộ trở lực khí động lực bằng:

$$Z = Z_1 + \frac{Z_2 \cdot Z_3}{(\sqrt{Z_2} + \sqrt{Z_3})^2} + Z_4 \quad (7-26)$$

7.3. TÍNH TOÁN QUẠT GIÓ

Nhiệm vụ của quạt gió ở máy điện là tạo ra một áp suất đủ lớn để đưa dòng khí cần thiết qua hệ thống thông gió của máy.

Cấu tạo của quạt phụ thuộc vào máy điện nên khi thiết kế quạt phải lưu ý những đặc điểm sau:

- Tốc độ quay của quạt được xác định trước bởi tốc độ quay của máy.
- Kích thước quạt và phổ hướng gió vào máy cũng bị giới hạn bởi kết cấu của máy.
- Những đại lượng cơ bản như Q và H mà quạt phải bảo đảm phụ thuộc vào đặc tính của ống dẫn khí trong hệ thống thông gió đã chọn.
- Vấn đề hiệu suất của quạt và tiếng ồn của quạt cũng có ý nghĩa quan trọng.

Có ba loại quạt điện dùng trong máy điện: quạt ly tâm, quạt hướng trục và quạt hỗn hợp ly tâm và hướng trục, nhưng thông dụng nhất vẫn là quạt ly tâm.

7.3.1. Đặc điểm của quạt ly tâm

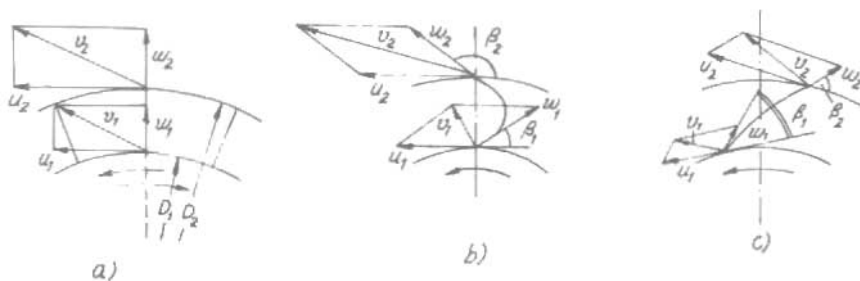
Ở quạt ly tâm, khi cánh quạt quay, không khí ở khe giữa các cánh quạt bị đẩy ra ngoài dưới tác dụng của lực ly tâm, do đó ở vùng vòng trong của cánh quạt nơi lỗ gió vào tạo thành vùng không khí loãng còn vùng vòng ngoài cánh quạt nơi thoát gió ra có áp suất cao.

Quạt ly tâm được dùng nhiều trong máy điện vì tạo được áp suất khí cao phù hợp với đặc tính của hệ thống thông gió trong máy điện. Nhược điểm cơ bản của nó là hiệu suất rất thấp (quạt ly tâm cánh hướng kính có hiệu suất $\eta = 0,2$, trong khi quạt

hướng trục có hiệu suất 0,8).

Tùy theo tốc độ quay và yêu cầu về đổi chiều quay trong máy điện, có thể dùng ba loại quạt ly tâm chính như sau (hình 7-6):

- Ở máy đổi chiều quay, cánh quạt thẳng hướng kính (hình 7-6a).
- Ở máy quay chậm, không đổi chiều quay: đầu ngoài của cánh quạt uốn cong thuận chiều quay của cánh quạt (hình 7-6b).
- Ở máy quay nhanh, không đổi chiều quay : đầu ngoài của cánh quạt uốn cong ngược chiều quay của cánh quạt (hình 7-6c).



Hình 7-6 Các loại cánh quạt và đồ thị tốc độ của quạt ly tâm

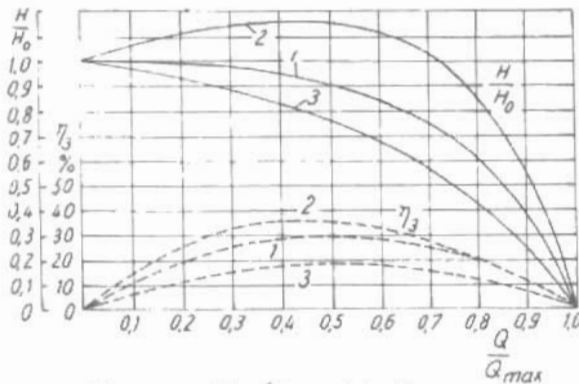
- a. cánh thẳng hướng kính.
- b. cánh nghiêng theo chiều quay.
- c. cánh nghiêng ngược chiều quay

7.3.2. Đặc tính của quạt ly tâm

Đặc tính của quạt là mối quan hệ giữa áp suất tĩnh H mà quạt tạo ra với lượng không khí tiêu hao Q . Ở quạt ly tâm đặc tính đó được biểu thị trong hình 7-7, trong đó cần chú ý đến hai điểm làm việc đặc trưng sau:

- Điểm không tải của quạt ứng với chế độ làm việc khi tạo áp suất tĩnh H_0 và không có lượng không khí tiêu hao ($Q = 0$). Đó là điểm ứng với $H^* = H/H_0 = 1$ và $Q^* = Q/Q_{\max} = 0$.
- Điểm tiêu hao cực đại $Q = Q_{\max}$ khi áp suất $H = 0$. Ở điểm này $H^* = 0$ và $Q^* = 1$ và gọi là điểm ngắn mạch. Chế độ không

tải của quạt xảy ra trong thực tế khi ta bịt kín các lỗ ở phía đường kính ngoài của vòng quạt. Lúc này, không khí nằm giữa các cánh quạt (trong vòng quạt) dưới tác dụng của lực ly tâm sẽ nén lên vòng ngoài của quạt với một áp suất H_0 . Lượng không khí đi qua quạt $Q = 0$. Chế độ ngắn mạch xảy ra khi không có trở lực khí động lực lên ngoài, nghĩa là khi quạt tiếp xúc trực tiếp với môi trường bên ngoài. Lúc đó áp suất bên ngoài $H = 0$, lượng gió qua quạt sẽ lớn nhất, $Q = Q_{\max}$.



Hình 7-7. Đặc tính quạt ly tâm

1. cánh nghiêng về phía sau ($\beta_1 = \beta_2 = 25^\circ$);
2. cánh nghiêng về phía trước ($\beta_1 = 25^\circ$; $\beta_2 = 155^\circ$);
3. cánh thẳng hướng kính ($\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$)

Đặc tính hiệu suất quạt $\eta = f(Q/Q_{\max})$ trong hình 7-7 cho thấy khi $Q \approx 0,5Q_{\max}$ thì hiệu suất lớn nhất. Vì vậy khi thiết kế chọn $Q_{\max} = 2Q_{dm}$ để đạt hiệu suất lớn nhất khi quạt làm việc.

7.3.3. Cách tính H_0 và $Q_{\max}$

Theo lý thuyết về quạt gió, áp lực tĩnh của quạt có thể tính theo công thức:

$$H = \eta_0 \frac{\gamma}{g} [u_2 v_2 \cos(\vec{u}_2, \vec{v}_2) - u_1 v_1 \cos(\vec{u}_2, \vec{v}_{21})] \quad (7-27)$$

trong đó:

η_o - hiệu suất khí động lực của cánh quạt phản ánh tổn hao áp lực trên thân quạt;

$\gamma = 1,2 \text{ kg/m}^3$ - trọng lượng riêng của không khí;

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ - gia tốc trọng trường;

u_1, u_2 - tốc độ đường của các điểm vòng trong và vòng ngoài cánh quạt (m/s) (hình 7-6);

v_1, v_2 - tốc độ tuyệt đối của các hạt không khí tại vùng quanh cánh quạt (m/s) (hình 7-6).

Ngoài ra trên hình 7-6 còn có ω_1 và ω_2 là tốc độ trung bình tương đối của các hạt không khí đối với thành cánh quạt.

Ở chế độ không tải của quạt $Q = 0$, do đó $\omega_1 = \omega_2 = 0$ dẫn đến $\vec{v}_1 = \vec{u}_1$ và $\vec{v}_2 = \vec{u}_2$, góc giữa u và v bằng 0. Vậy áp suất tĩnh lúc không tải bằng:

$$H_o = \eta_{ao} \frac{\gamma}{g} (u_2^2 - u_1^2), \quad (7-28)$$

trong đó:

$\eta_{ao} = 0,6$ ở cánh quạt hướng kính (hình 7-6a);

$\eta_{ao} = 0,75$ ở cánh quạt nghiêng về phía trước (hình 7-6b);

$\eta_{ao} = 0,5$ ở cánh quạt nghiêng về phía sau (hình 7-6c).

Ở chế độ ngắn mạch, lượng không khí tiêu hao lớn nhất có trị số như sau, m³/s :

- Ở cánh quạt nghiêng về phía sau với $\beta_1 = \beta_2 = 25^\circ$

$$Q_{\max} = 0,35 u_2 S_2 \cdot 10^{-4} \quad (7-29)$$

- Ở cánh quạt nghiêng về phía trước với $\beta_1 = 25^\circ; \beta_2 = 155^\circ$.

$$Q_{\max} = 0,5 u_2 S_2 \cdot 10^{-4} \quad (7-30)$$

- Ở cánh quạt thẳng hướng kính: $\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$.

$$Q_{\max} = 0,42 u_2 S_2 \cdot 10^{-4} \quad (7-31)$$

trong đó S_2 - tiết diện mà không khí đi qua tại đường kính ngoài của vòng quạt:

$$S_2 = 0,92 \pi D_2 b, \text{ cm}^2. \quad (7-32)$$

ở đây:

D_2 - đường kính ngoài vành quạt;

b - chiều rộng dọc trục của cánh quạt.

D_2 và b đều tính theo cm.

Hệ số 0,92 xét đến tiết diện chiếm chỗ bởi chiều dày các cánh quạt

Trong quạt ly tâm cánh thẳng, quan hệ $H = f(Q)$ của quạt như sau:

$$H/H_0 = 1 - \left(\frac{Q}{Q_{\max}} \right)^2 \quad (7-33)$$

Công suất quạt tiêu thụ bằng:

$$P_q = 9,81 \frac{HQ}{\eta_c} \quad (7-34)$$

ở đây: η_c là hiệu suất năng lượng của quạt:

$\eta_i = 0,25 \sim 0,30$ ở cánh quạt nghiêng về phía sau;

$\eta_c = 0,30 \sim 0,40$ ở cánh quạt nghiêng về phía trước;

$\eta_c = 0,15 \sim 0,20$ ở cánh thẳng hướng kính

7.3.4. Tính toán quạt ly tâm cánh thẳng hướng kính

Căn cứ vào kết cấu máy chọn đường kính ngoài D của quạt. Tốc độ quay của quạt là tốc độ của máy.

Bài toán quy về tìm đường kính trong D_1 bề rộng b và số cánh của quạt.

Từ đường kính ngoài D_2 tính tốc độ dài của các điểm trên vòng ngoài cánh quạt:

$$u_2 = \frac{\pi}{6000} D_2 n \quad \text{m/s} \quad (7-35)$$

Theo điều kiện hiệu suất cực đại lấy:

$$Q_{\max} = 2Q_{dm} \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (7-36)$$

trong đó:

Q_{dm} - lượng không khí tiêu hao đã chọn trước.

Theo công thức (7-31) tính

$$S_2 = \frac{Q_{max} \cdot 10^4}{0,42u_2} \text{ , cm}^2 \quad (7-37)$$

Theo công thức (7-32) tính:

$$b = \frac{S_2}{0,92\pi D_2} \text{ , cm.} \quad (7-38)$$

Theo điều kiện $Q_{max} = 2Q_{dm}$ và công thức (7-33) tính ra $H_0 = H/0,75$. Trên cơ sở biểu thức (7-28) và $\eta_{a0} = 0,6$ đối với cánh hướng kính tìm ra tốc độ dài của các điểm trên vòng trong cánh quạt.

$$u_1 = \sqrt{u_2^2 - \frac{H_0}{0,0734}} \text{ , m/s} \quad (7-39)$$

Đường kính trong của quạt bằng

$$D_1 = \frac{6000}{\pi n} u_1 \quad (7-40)$$

Thường trong quạt tỷ lệ $D_2/D_1 = 1,2 \sim 1,5$.

Để đảm bảo chắc chắn về cơ, thường chọn chiều cao của cánh quạt bằng khoảng cách trung bình giữa các cánh quạt. Lúc đó số cánh N bằng:

$$N = \pi \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \quad (7-41)$$

Để giảm tiếng kêu của quạt, số cánh nên là số nguyên tố.

Ở hệ thống thông gió với quạt hút, số cánh có thể chọn theo quan hệ ghi trong bảng 7.1.

Bảng 7.1 Chọn số cánh quạt

Đường kính quạt, mm	200	250	300	350	400
Số cánh N	13	17	23	29	31

Nếu cánh quạt đúc liền với vành ngăn mạch của lồng sóc thì có thể chọn theo bảng 7.2.

Bảng 7.2. Số cánh quạt trên vành ngăn mạch của lồng sóc

Chiều cao tâm trục h, mm	Số cánh N (theo số cực)			
	2	4; 6	8	10; 12
50 - 63	6	6	-	-
71 - 100	7	9	9	-
112 - 160	9	11	11	-
180	10	12	12	-
200 - 250	12	14	14	-
280 - 315	17	22	22	22
355	19	22	22	22

Tính toán nhiệt trong máy điện

8.1. ĐẠI CƯƠNG

Khi làm việc, trong máy điện sinh ra các tổn hao, năng lượng tiêu tổn đó biến thành nhiệt năng và làm nóng các bộ phận của máy. Khi trạng thái nhiệt trong máy đã ổn định thì toàn bộ nhiệt lượng phát ra từ máy đều tỏa ra môi trường xung quanh nhờ sự chênh lệch nhiệt độ giữa các bộ phận của máy bị đốt nóng với môi trường.

Tính toán nhiệt và giải quyết vấn đề tản nhiệt cho máy điện là một việc rất quan trọng, nhất là khi thiết kế loại máy mới. Việc tính toán nhiệt liên quan chặt chẽ đến việc làm nguội máy và cuối cùng là xác định độ tăng nhiệt θ cho phép giữa dây quấn máy điện với môi trường.

Độ tăng nhiệt cho phép này phụ thuộc vào tính chất của vật liệu cách điện, chế độ làm việc của máy, môi trường làm việc và công nghệ chế tạo. Tiêu chuẩn Việt Nam quy định nhiệt độ môi trường làm việc chuẩn là $+40^{\circ}\text{C}$ và độ tăng nhiệt của dây quấn theo cấp chịu nhiệt được cho trong bảng 8-1.

Các chế độ làm việc được quy định thành ba chế độ làm việc định mức cơ bản : chế độ làm việc liên tục, chế độ làm việc ngắn hạn và chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại.

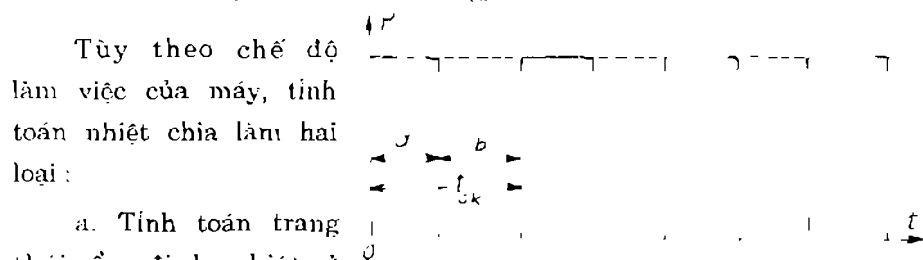
Ở chế độ làm việc liên tục, máy điện có thể chạy liên tục trong thời gian vô hạn định mà nhiệt độ trong các bộ phận của máy không vượt quá nhiệt độ cho phép.

Bảng 8.1 Giá trị độ tăng nhiệt đối với máy điện làm mát gián tiếp bằng không khí đo bằng phương pháp điện trở ($^{\circ}\text{C}$)

Cấp chịu nhiệt: Các loại dây quấn	A	E	B	F	H
1. Dây quấn xoay chiều của máy có công suất $\geq 5000 \text{ kW}$ (hoặc kVA)	60	-	80	100	125
2. Dây quấn xoay chiều của máy có công suất trên 200 đến dưới 5000 kW (hoặc kVA)	60	75	80	105	125
3. Dây quấn xoay chiều của máy có công suất từ 600 W (hoặc VA) đến 200 kW (hoặc kVA)	60	75	80	105	125
4. Dây quấn xoay chiều của máy có công suất $< 600 \text{ W}$ (hoặc VA)	65	75	85	110	130
5. Dây quấn xoay chiều máy tự làm mát không có quạt và/hoặc có cuộn dây bọc kín	65	75	85	110	130
6. Cuộn dây phản ứng cỡ cố góp	60	75	80	105	125
7. Cuộn dây kích từ máy xoay chiều và một chiều	60	75	80	105	125

Ở chế độ làm việc ngắn hạn, khoảng thời gian làm việc được quy định theo tiêu chuẩn như sau: 15, 30, 60 hoặc 90 phút. Trong khoảng thời gian này độ tăng nhiệt độ không vượt quá trị số cho phép với điều kiện máy bắt đầu làm việc từ trạng thái nguội.

Ở chế độ ngắn hạn lặp lại, các chu kỳ làm việc của máy có thể nối tiếp nhau trong thời hạn vô hạn định bằng những gián đoạn ngắn hạn, trong khi đó độ tang nhiệt trong các bộ phận riêng lẻ không quá mức cho phép. Tỷ số giữa thời gian làm việc a trong một chu kỳ so với toàn bộ chu kỳ (gồm thời gian làm việc và thời gian gián đoạn) gọi là khoảng thời gian đóng máy dưới điện áp (ký hiệu là TGD %). Tỷ số phần trăm này $(\frac{a}{t_{ck}} 100)$ bằng 15; 25; 40; 60% (hình 8-1), khoảng thời gian toàn bộ chu kỳ không quá 10 phút ($t_{ck} \leq 10$ phút).



Hình 8-1. Đồ thị tải ngắn hạn lặp lại

b. Tính toán trạng thái nhiệt quá độ ứng với chế độ làm việc ngắn hạn hay ngắn hạn lặp lại.

8.2. NGUYÊN LÝ CƠ BẢN VỀ DẪN NHIỆT VÀ TRUYỀN NHIỆT TRONG MÁY ĐIỆN

Nguồn nhiệt chủ yếu trong máy điện là tổn hao trong dây quấn và lõi sắt. Một số bộ phận khác cũng phát nóng (mặt cực từ máy điện đồng bộ, vành ép lõi sắt v.v...) nhưng là thứ yếu. Nếu cần đi sâu vào quá trình nhiệt quá độ trong dây quấn và lõi sắt thì phải nghiên cứu sự dẫn nhiệt và truyền nhiệt theo nhiều chiều. Nhưng vì thực tế, việc tính toán nhiệt chỉ cho những

kết quả gần đúng cho nên để đơn giản việc tính toán, giả thiết rằng dây quấn lõi sắt stato, rôto là những khối có tính dẫn nhiệt rất lớn, nghĩa là những khối đẳng nhiệt. Giả thiết này không làm giảm ý nghĩa của các số liệu thu được qua tính toán quá trình ổn định nhiệt cũng như quá độ so với thực tế trên máy đã chế tạo.

8.2.1. Phát nóng và làm nguội trong vật thể đồng nhất

Goi Q là nhiệt lượng tỏa ra trong một đơn vị thời gian do tổng tổn hao P sinh ra trong một vật thể đồng nhất. Trong quá trình đốt nóng, một phần nhiệt lượng Q làm tăng nhiệt độ vật thể, một phần khác tản ra môi trường xung quanh qua mặt ngoài của vật thể. Nếu nhiệt lượng Q không đổi, cân bằng năng lượng trong khoảng thời gian dt có dạng:

$$Qdt = Cd\theta + \alpha S\theta dt \quad (8-1)$$

trong đó:

$Cd\theta$ - nhiệt lượng đốt nóng vật thể;

$\alpha S\theta dt$ - nhiệt lượng khuếch tán ra môi trường xung quanh;

C - nhiệt dung của vật thể ($J/^{\circ}C$);

α - hệ số tản nhiệt của bề mặt vật thể nóng;

θ - độ chênh nhiệt độ giữa bề mặt vật thể nóng với môi trường xung quanh.

Khi đã đốt nóng vật thể đến một mức độ nào đó thì nhiệt độ của vật thể không tăng nữa ($\theta = \theta_{\infty} = \text{const}$). Lúc đó phương trình (8-1) có dạng:

$$Qdt = \alpha S\theta_{\infty} \quad (8-2)$$

và nghiệm của phương trình (8-1) là:

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{\infty} - \theta_0)(1 - e^{t/T}) \quad (8-3)$$

Kết quả trên biểu thị quá trình tăng nhiệt độ (hình 8-2) do đốt nóng, trong đó:

θ_0 - độ chênh nhiệt độ ban đầu;

$T = \frac{c}{\alpha S}$ - hằng số thời gian của quá trình đốt nóng vật thể

đồng nhất

Theo công thức (8-3), quá trình nguội dần của vật thể ($\theta_\infty \rightarrow 0$) có dạng:

$$\theta = \theta_0 e^{-t/T} \quad (8-4)$$

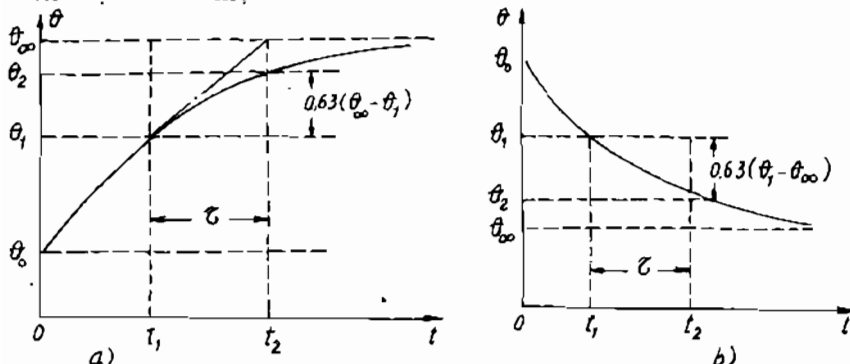
Theo lý thuyết thì nhiệt độ ổn định của sự tăng nhiệt hay giảm nhiệt được thiết lập sau một thời gian dài vô tận ($t = \infty$). Nhưng thực tế có thể xem như chế độ nhiệt đã được ổn định (với độ chính xác 2%) sau khoảng thời gian $t = (3 \div 4)T$.

Theo (8-2), trị số của độ chênh nhiệt độ ổn định bằng:

$$\theta_\infty = \frac{Q}{\alpha S} \quad (8-5)$$

8.1.2. Độ chênh nhiệt độ theo chiều dày lớp cách điện

Dây quấn máy điện được bọc bằng một lớp cách điện khá dày, ở dây quấn cao áp lớp cách điện dày $4 \div 6 \text{ mm}$ và đa số vật liệu cách điện dẫn nhiệt kém.



Hình 8-2. Đường cong quá trình đốt nóng
a) và nguội dần b) của vật thể đồng nhất

Bảng 8.2. Trị số của hệ số dẫn nhiệt λ

Vật liệu	$\lambda (W/\lambda \cdot m)$
Đồng	$380 \cdot 10^{-2}$
Nhôm	$220 \cdot 10^{-2}$
Bạc	$420 \cdot 10^{-2}$
Thép lá kỹ thuật điện (đọc lá thép).	
Ít silic	$(35 \div 40) \cdot 10^{-2}$
Silic trung bình	$(26 \div 30) \cdot 10^{-2}$
Nhiều silic	$(19 \div 20) \cdot 10^{-2}$
Thép lá kỹ thuật điện (ngang lá thép)	
Cách điện bằng giấy	$(0,97 \div 1,2) \cdot 10^{-2}$
Cách điện bằng sơn	$(3,1 \div 4,4) \cdot 10^{-2}$
Vải sơn	$0,5 \cdot 10^{-2}$
Giấy cách điện	$0,23 \cdot 10^{-2}$
Bìa cách điện.	
Khô	$0,18 \cdot 10^{-2}$
Thấm dầu	$0,25 \cdot 10^{-2}$
Mica tẩm	$0,2 \cdot 10^{-2}$
Amiăng	$0,19 \cdot 10^{-2}$
Men (emay)	$(1,5 \div 1,63) \cdot 10^{-2}$
Thủy tinh	$1,1 \div 10^{-2}$
Gỗ (thô ngang)	$0,11 \cdot 10^{-2}$
Tấm gétinax	$(0,226 \div 0,276) \cdot 10^{-2}$
Lớp không khí mỏng ở áp suất 760 mmHg và 40°C	$0,0266 \cdot 10^{-2}$
Hydro ở 40°C	$0,19 \cdot 10^{-2}$
Nước ở 40°C	$0,633 \cdot 10^{-2}$
Dầu máy biến áp ở 40°C	$0,164 \cdot 10^{-2}$
Cách điện rãnh dây quấn phần ứng máy điện một chiều và rôto máy điện xoay chiều.	
Cách điện cấp A, E	$0,10 \cdot 10^{-2}$
Cách điện cấp B, F, H	$0,16 \cdot 10^{-2}$
Cách điện rãnh dây quấn stato máy điện đồng bộ và không đồng bộ.	
Cách điện cấp A, E, B (không dùng cách điện liên tục)	$0,10 \cdot 10^{-2}$
Cách điện cấp B (cách điện liên tục), F, H	$0,16 \cdot 10^{-2}$

Bảng 8.3. Hệ số tản nhiệt bề mặt ở môi trường tĩnh

Tính chất bề mặt	$\alpha, W/m^2$
Mặt gang thép có trát phủ chỗ góc ghê và sơn (vỏ và nắp gối trục của máy)	$142 \cdot 10^{-3}$
Mặt gang thép không trát phủ có sơn	$1,67 \cdot 10^{-3}$
Mặt đồng có phủ sơn	$1,33 \cdot 10^{-3}$

Thực nghiệm cho thấy độ chênh nhiệt độ theo chiều dày lớp cách điện phân bố tuyến tính nếu chất cách điện đồng nhất. Nhiệt lượng Q truyền qua chiều dày lớp cách điện trong một đơn vị thời gian (1 giây) tỷ lệ với độ chênh nhiệt độ θ_c , với tiết diện của đường truyền dòng nhiệt S_c , với hệ số dẫn nhiệt của vật liệu cách điện λ_c và tỷ lệ nghịch với chiều dày lớp cách điện δ_c (chiều dài đường truyền dòng nhiệt):

$$Q = \theta_c \frac{S_c \lambda_c}{\delta_c} \quad (8-6)$$

$$\text{hay} \quad \theta_c = \frac{Q}{S_c} \frac{\delta_c}{\lambda_c} = QR_c \quad (8-7)$$

ở đây R_c gọi là nhiệt trở.

$$R_c = \frac{1}{\lambda_c} \frac{\delta_c}{S_c} \quad (8-8)$$

Biểu thức (8-7) tương tự như định luật Ohm trong mạch điện với sự tương ứng giữa θ_c với U ; Q với I và R_c với R .

Nghịch đảo của nhiệt trở là nhiệt dẫn của vật thể:

$$\frac{1}{R_c} = \lambda_c \frac{S_c}{\delta_c} \quad (8-9)$$

Bảng 8.2 cho biết trị số của hệ số dẫn nhiệt λ của các chất

Khi cách điện có nhiều lớp thì nhiệt trở tổng bằng tổng nhiệt trở của các lớp:

$$R_c = R_{c1} + R_{c2} + \dots + R_{cn} \quad (8-10)$$

và nhiệt dẫn tổng của nhiều lớp cách điện có dạng:

$$\lambda_c = \frac{\delta_c}{\frac{\delta_{c1}}{\lambda_{c1}} + \frac{\delta_{c2}}{\lambda_{c2}} + \dots + \frac{\delta_{cn}}{\lambda_{cn}}} \quad (8-11)$$

trong đó:

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ - chiều dày của từng lớp cách điện;

$\lambda_{c1}, \lambda_{c2}, \dots, \lambda_{cn}$ - hệ số dẫn nhiệt của từng lớp cách điện tương ứng

Cần lưu ý rằng trị số của hệ số dẫn nhiệt của lớp không khí mỏng (bảng 8.2) rất nhỏ. Nếu giữa hai lớp cách điện có xen một lớp không khí mỏng thì theo (8-11) hệ số dẫn nhiệt của toàn bộ các lớp cách điện sẽ giảm xuống rất nhiều ($\frac{\delta_{kk}}{\lambda_{kk}} \rightarrow \infty, \lambda_c \rightarrow 0$).

Kết quả là sự truyền nhiệt qua lớp cách điện không thực hiện được, gây nên tích tụ cục bộ một nhiệt lượng lớn tạo khả năng cháy cách điện. Trong công nghệ máy điện, bằng phương pháp tẩm sơn cách điện cho dây quấn, ngoài mục đích chống ẩm còn loại trừ được các lớp không khí tồn tại giữa các lớp cách điện, nhờ đó tăng cường tính dẫn nhiệt của cách điện.

8.2.3. Tản nhiệt trên bề mặt

Quá trình tản nhiệt trên bề mặt một vật thể đang nóng (có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ môi trường) được thực hiện bằng bức xạ nhiệt và đối lưu. Nhiệt lượng Q bức xạ ra môi trường phụ thuộc vào tính chất của bề mặt bức xạ (đánh bóng, thô, sơn...) và tỷ lệ bậc 4 với nhiệt độ tuyệt đối của bề mặt. Trong trường hợp đối lưu, nhiệt lượng Q tách ra khỏi bề mặt phụ thuộc chủ yếu vào tốc độ không khí thổi qua bề mặt.

Nhiệt lượng Q tản trên bề mặt vật thể nóng do bức xạ và đối lưu được xác định theo công thức sau:

$$Q = \alpha S_{\sigma} \theta_{\text{tr}} \quad (8-12)$$

trong đó:

$\theta_{cc} = \theta - \theta_0$ - độ chênh nhiệt độ của bề mặt nóng so với môi trường.

θ, θ_0 - nhiệt độ bề mặt vật thể nóng và nhiệt độ môi trường

Q - nhiệt lượng tỏa ra trong một giây (W).

α - hệ số tản nhiệt trung bình của bề mặt bức xạ và đối lưu.

Hệ số α phụ thuộc vào tính chất của bề mặt tản nhiệt, tốc độ không khí và độ chênh nhiệt độ θ_{cc} .

Khi tốc độ không khí trên bề mặt tản nhiệt nằm trong khoảng $v = 15 \div 25 \text{ m/s}$, hệ số tản nhiệt bề mặt được xác định theo công thức sau:

$$\alpha = \alpha_0(1 + k_0 v) \quad (8-13)$$

trong đó:

α_0 - hệ số tản nhiệt bề mặt trong môi trường tĩnh (xem bảng 8.3);

$v = \frac{Q_v}{S_Q}$ - tốc độ dòng không khí;

Q_v - lượng không khí làm nguội;

S_Q - tiết diện mà dòng không khí thổi qua;

k_0 - hệ số tính đến sự hoàn hảo của sự chuyển dịch dòng không khí. Ở bề mặt rôto $k_0 = 0,1$; ở bề mặt phần đầu nối dây quấn stato $k_0 = 0,05 \div 0,07$.

Tốc độ không khí qua rôto được xác định theo công thức:

$$v = \sqrt{v_u^2 + v_v^2}$$

ở đây:

v_u - tốc độ bề mặt rôto đang quay;

v_v - tốc độ dòng không khí thổi dọc trục rôto, được xác định sau khi tính toán quạt.

Với phần đứng và dây quấn kích từ của máy điện một chiều, hệ số tản nhiệt bề mặt được xác định theo công thức gần đúng sau:

$$\alpha = 1,4 \cdot 10^{-3}(1 + 0,8v_2) \quad (8-14)$$

ở đây v_2 - tốc độ bề mặt phần ứng (m/s).

Với bề mặt ổ góp hay vành trượt thì hệ số tản nhiệt bề mặt có thể xác định như sau:

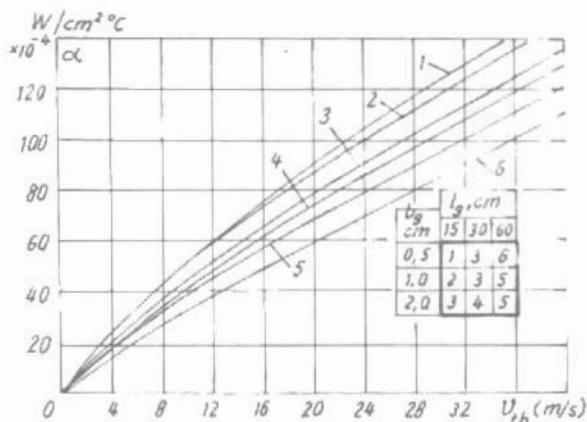
$$\alpha_{G_1} = 5 \cdot 10^{-3} (1 + k \sqrt{v_{G_1}}) \quad (8-15)$$

ở đây:

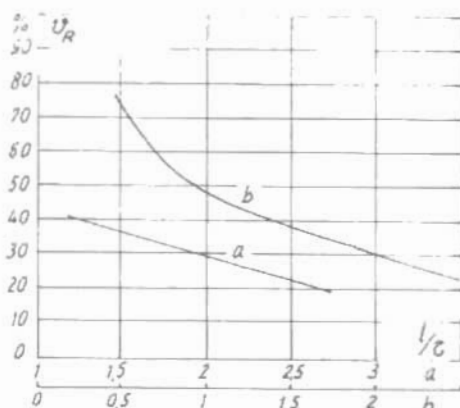
v_{G_1} - tốc độ bề mặt của ổ góp hay rãnh trượt (m/s);

k - hệ số thực nghiệm. Với điều kiện thông gió bình thường $k = 0,7$. Khi có lỗ thông gió trong ổ góp hay vành trượt và có tăng cường bề mặt tản nhiệt thì $k = 1 \div 1,3$.

Có thể xác định hệ số tản nhiệt bề mặt trong các rãnh thông gió ngang trục của lõi sắt stato khi tốc độ trung bình của dòng không khí $v_{tb} \geq 5$ m/s theo hình 8-3. Ở đây tốc độ



Hình 8-3. Hệ số tản nhiệt bề mặt α trong rãnh thông gió ngang trục. Các đường cong ứng với chiều dài và chiều rộng khác nhau của rãnh thông gió



Hình 8-4. Tốc độ gió trung bình theo số phần trăm của tốc độ bề mặt rôto

- a. trong rãnh thông gió của máy điện không đồng bộ
- b. trong rãnh thông gió của máy điện đồng bộ

trung bình v_{th} được xác định theo hình 8-4 nhờ quan hệ giữa tốc độ bề mặt của rôto v_R với tỷ số $\frac{l}{\tau}$ (l - chiều dài hướng trục của rôto, τ - bước cực). Hệ số tản nhiệt của dây quấn cực từ máy điện đồng bộ được trình bày ở mục 12.5 Chương 12.

Trong máy điện kiểu kin, để tăng cường bề mặt tản nhiệt, ngoài vỏ máy còn chế tạo thêm nhiều gân dọc trục. Như vậy nhiệt lượng sẽ tỏa ra ở phần vỏ giữa các gân S_v và ở bề mặt của gân:

$$Q = (\alpha S_v + \alpha_g S_g) \theta = \alpha k_g S \theta \quad (8-16)$$

ở đây k_g - hệ số:

$$k_g = \frac{c}{b+c} + \frac{\alpha_g}{\alpha} \cdot \frac{b}{b+c} \quad (8-17)$$

α - hệ số tản nhiệt trên phần phẳng của vỏ máy;

$S = S_v + S_g$ - diện tích tỏa nhiệt toàn bộ của vỏ máy;

θ - độ chênh nhiệt độ giữa vỏ và môi trường;

α_g - hệ số tản nhiệt trên các gân có chiều dày b (hình 8-5).

Có thể xác định α_g theo công thức sau:

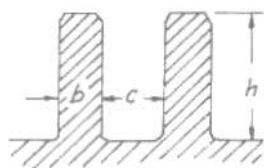
$$\alpha_g = \beta \lambda h (\beta h) \quad (8-18)$$

ở đây: $\beta = \sqrt{\frac{2\alpha}{\lambda b}}$

λ - hệ số dẫn nhiệt của vật liệu gân;

b, h - kích thước gân tính theo cm .

Tuy tăng số gân và chiều cao gân có thể tăng diện tích tản nhiệt nhưng lúc đó hiệu quả tản nhiệt sẽ bị giảm đi. Thường gân theo hướng trục dài vào khoảng $0,2 \div 1 m$, tốc độ dòng không khí từ 1 đến $8 m/s$ thì nên chọn khoảng cách giữa hai gân $c = 1,5 \div 2 cm$.



Hình 8-5. Kích thước cánh tản nhiệt trên thân máy

Theo công thức (8-17), hệ số k_g còn phụ thuộc vào chiều dày của gân, do đó nên chọn b trong khoảng $3 + 12 \text{ mm}$, trong đó đối với gang $b \geq 5 \text{ mm}$ còn nhôm đúc thì $b \geq 3 \text{ mm}$.

Từ công thức (8-12) ta có độ chênh nhiệt độ giữa bề mặt tản nhiệt với môi trường:

$$\theta_{cc} = \frac{Q}{\alpha S} = q \frac{1}{\alpha} \quad (8-19)$$

trong đó $q = \frac{Q}{S}$ là dòng nhiệt qua đơn vị bề mặt tản nhiệt. Tương tự như ở cách điện, ở đây cũng đưa ra khái niệm về nhiệt trở của bề mặt tản nhiệt trên cơ sở của công thức (8-19):

$$R_{cc} = \frac{\theta_{cc}}{Q} = \frac{1}{\alpha S} \quad (8-20)$$

8.3. TÍNH TOÁN ĐỘ TĂNG NHIỆT ĐỘ Ở CHẾ ĐỘ NHIỆT ỔN ĐỊNH

8.3.1. Phương pháp sơ đồ thay thế

Phương pháp sơ đồ thay thế nhiệt được sử dụng rộng rãi trong thiết kế máy điện để tính toán nhiệt. Trong phương pháp này người ta dùng khái niệm về nhiệt trở, nguồn nhiệt để lập sơ đồ nhiệt theo như các định luật về mạch điện.

Để minh họa cho phương pháp lập sơ đồ thay thế nhiệt ta xét một trường hợp cụ thể: Tính toán nhiệt của dây quấn và lõi sắt của một máy điện kiểu bảo vệ IP23 có gió thổi trực tiếp trên bề mặt lõi sắt và phần đầu nối của dây quấn (hình 8-6a).

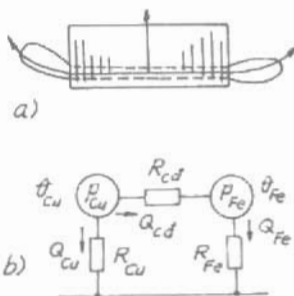
Máy có hai nguồn nhiệt là tổn hao trong đồng của dây quấn và tổn hao sắt của lõi sắt stato :

$$\begin{aligned} Q_{Cu} &= P_{Cu} \\ Q_{lc} &= P_{lc} \end{aligned} \quad (8-21)$$

Để đơn giản hóa, coi dây quấn và lõi sắt là những khối đồng nhất thì dòng nhiệt của dây quấn đi ra môi trường xung quanh theo hai đường:

a. Qua cách điện rãnh vào lõi sắt rồi tản ra bề mặt lõi sắt với nhiệt trở cách điện R_{cd} và nhiệt trở bề mặt lõi sắt R_{Fe} .

b. Từ đầu nối dây quấn với nhiệt trở bề mặt phần đầu nối R_{Cu} vào môi trường. Sơ đồ thay thế nhiệt sẽ như ở hình 8-6b.



Hình 8-6. Sơ đồ thay thế nhiệt của stato máy điện xoay chiều kiểu bảo vệ IP23

Ta có thể lập hệ thống phương trình nhiệt sau:

$$\begin{aligned} Q_{Cu} &= Q_1 + Q_2 \\ Q_3 &= Q_1 + Q_{Fe} \\ \theta_{Cu} &= Q_2 R_{Cu} = \theta_c + \theta_{Fe} \\ \theta_c &= Q_1 R_c \\ \theta_{Fe} &= Q_3 R_{Fe} \end{aligned} \quad (8-22)$$

Giải hệ phương trình sáu ẩn số này ($Q_1, Q_2, Q_3, \theta_{Cu}, \theta_{Fe}, \theta_c$) sẽ được độ tăng nhiệt độ trên các bộ phận của máy.

Độ tăng nhiệt độ của dây quấn bằng:

$$\theta_{Cu} = \frac{[Q_{Cu}(1 + R_c/R_{Fe}) + Q_{Fe}]R_{Fe}}{1 + (R_c/R_{Cu}) + (R_{Fe}/R_{Cu})} \quad (8-23)$$

Độ tăng nhiệt độ của lá sắt stato:

$$\theta_{Fe} = \frac{Q_{Fe}R_c + \theta_{Cu}}{1 + R_c/R_{Fe}} \quad (8-24)$$

Theo nguyên tắc trên có thể thành lập sơ đồ thay thế nhiệt của bất kỳ trạng thái nhiệt phức tạp nào.

8.3.2. Tính toán độ tăng nhiệt độ của động cơ kiểu kín

Độ tăng nhiệt của động cơ điện kiểu kín được tính theo phương pháp sơ đồ thay thế nhiệt.

Ở động cơ điện kiểu kín, nhiệt lượng trong máy được tản ra môi trường xung quanh qua bề mặt ngoài của vỏ máy và nắp gối trục. Để tăng cường hiệu quả tản nhiệt, trên vỏ máy có đặt gần dọc trục có gió thổi qua. Như vậy dòng nhiệt chủ yếu đi từ lõi sắt đến bề mặt ngoài của vỏ máy. Do dòng nhiệt theo hướng này rất lớn nên không thể bỏ qua độ chênh nhiệt độ trên gông lõi sắt stato.

Sơ đồ nhiệt của động cơ điện kiểu kín như trong hình 8-7, trong đó các nguồn nhiệt do các tổn hao sinh ra gồm: tổn hao đồng dây quấn stato P_{Cu} , tổn hao sắt P_{Fe} và tổn hao trên rôto P_R . Các nhiệt trở gồm có: nhiệt trở cách điện rãnh R_c ; nhiệt trở ở bề mặt phân đầu nối R_j ; nhiệt trở chỗ tiếp giáp giữa lõi sắt stato với vỏ và trên gông stato R_{fc} ; nhiệt trở đặc trưng cho độ chênh nhiệt độ giữa không khí nóng bên trong máy với vỏ máy R'_{ac} và nhiệt trở tản nhiệt bề mặt giữa vỏ và nắp máy với môi trường R_a .

Trong máy điện không đồng bộ công suất đến 250 kW, do lõi sắt ngắn nên coi dây quấn stato là một khối đồng nhất.

Nhiệt trở trên lớp cách điện được tính như sau:

$$R_c = \frac{\delta_c}{\lambda_c S_c} \quad (8-25)$$

trong đó:

δ_c - chiều dày lớp cách điện (cm);

S_c - tiết diện truyền nhiệt của lớp cách điện (cm²);

λ_c - hệ số dẫn nhiệt của vật liệu cách điện rãnh

Nhiệt trở trên gông lõi sắt stato bằng:

$$R_{Feg} = \frac{h_{gl}}{\lambda_{gl} S_{gl}} = \frac{1}{\alpha_g S_{gl}} \quad (8-26)$$

trong đó:

$$\alpha_g = \frac{h_{ge}}{h_{gl}}$$

h_{gl} - chiều cao của gông stato (cm);

λ_{lc} - hệ số dẫn nhiệt của thép lá tra trong bảng 8.1;

S_{gl} - diện tích bề mặt truyền nhiệt của gông, có thể lấy bằng diện tích bề mặt hình trụ ngoài của lõi sắt stato :

$$S_{gl} = S_{Dn} = \pi D_n l_l \quad (8-27)$$

trong đó:

D_n - đường kính ngoài lõi sắt stato;

l_l - chiều dài lõi sắt stato.

Khe hở công nghệ giữa lõi sắt stato và vỏ máy tạo ra nhiệt trở phụ $R_{\delta g}$. Nhiệt trở này rất khó tính chính xác, vì vậy để tính nhiệt trở này ta dùng hệ số truyền nhiệt kinh nghiệm:

$$\alpha_{\delta g} = (0,08 \div 0,1) \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Do đó nhiệt trở trên lõi sắt stato bằng:

$$R_{lc} = R_{lcg} + R_{\delta g} = \frac{1}{S_{Dn}} \left(\frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{\alpha_{\delta g}} \right) \quad (8-28)$$

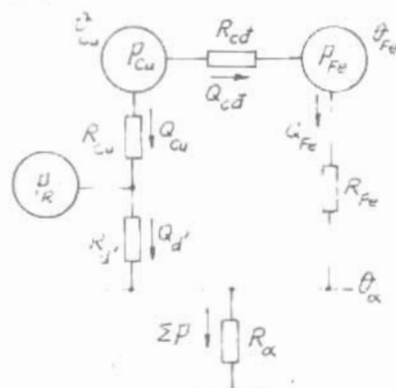
Nhiệt trở phần đầu nối bao gồm nhiệt trở của lớp cách điện phần đầu nối và nhiệt trở đặc trưng cho độ chênh nhiệt độ giữa bề mặt phần đầu nối và không khí bên trong máy bằng:

$$R_d = \frac{\delta_c}{\lambda_c S_d} + \frac{1}{\alpha_d S_d} \quad (8-29)$$

trong đó:

$\alpha_d = (1 + 0,56v^2)10^{-3}$ - hệ số tản nhiệt đầu dây quấn;

v - tốc độ gió thổi ở đầu dây quấn lấy bằng tốc độ bề mặt rôto;



Hình 8-7. Sơ đồ thay thế nhiệt của máy điện kiểu kín IP44

S_d - diện tích tản nhiệt đầu dây quấn. Diện tích này được tính như sau:

$S_d = Z.C_b.l_d$: đối với dây quấn một lớp;

$S_d = 2Z.C_b.l_d$: đối với dây quấn hai lớp. (8-30)

ở đây:

Z - số rãnh stato;

C_b - chu vi của bôi dây (cm),

l_d = chiều dài trung bình của phần đầu nối dây quấn (cm).

Nhiệt trở đặc trưng cho độ chênh nhiệt giữa không khí nóng bên trong máy và vỏ máy được tính như sau:

$$R' = \frac{1}{\alpha S'_{\alpha}} \quad (8-31)$$

trong đó α được xác định theo (8-13) và bảng 8.2 với hệ số $k_{\alpha} = 0,05 \div 0,07$;

S'_{α} - bề mặt bên trong vỏ máy bao gồm phần bề mặt của lõi sắt stato tiếp xúc với không khí và bề mặt trong của hai nắp máy.

Nhiệt trở R_{α} được xác định theo bề mặt tỏa nhiệt bên ngoài của vỏ máy. Bề mặt này gồm có diện tích tỏa nhiệt của các cánh tản nhiệt và các bề mặt ngoài của hai nắp máy. Hệ số tản nhiệt của các cánh tản nhiệt được xác định bằng cách đưa thêm hệ số k_g (công thức 8-17):

$$\alpha'_{\alpha} = k_g \alpha'_{\alpha} \quad (8-32)$$

Có thể xác định:

$$\alpha'_{\alpha} = 3,6d^{0,2}v^{0,8}.10^{-4} \quad (8-33)$$

trong đó:

d - đường kính thủy lực của rãnh tạo bởi các gân tản nhiệt, m;

v - vận tốc không khí, m/s

Nếu rãnh thông gió có tiết diện hình chữ nhật có cạnh là a và b thì lấy $d = \frac{2ab}{a+b}$, nếu tiết diện vuông thì $d = b$, nếu là chữ nhật hẹp với $a > b$ thì $d = 2b$. Nếu bề mặt tản nhiệt hở thì có thể coi d

bằng chiều dài l hoặc chiều cao h của bề mặt tản nhiệt. Trường hợp chung, $d = 4S/C$, với S và C là diện tích và chu vi của rãnh tản nhiệt.

Khi xét đến hệ số truyền nhiệt theo (8-33), cần tính đến hiện tượng tốc độ không khí bị giảm đến $40 \div 60\%$, do các dòng không khí khi vào các cánh tản nhiệt bị tản mạn đi vì không có nắp che bên ngoài.

Hệ số tỏa nhiệt ở bề mặt bên của nắp máy phía có quạt α'_n được tính với tốc độ gió thổi theo (8-33), còn ở bề mặt bên của nắp phía đối diện vì được làm nguội kém hơn nên α''_n có thể lấy bằng hệ số α_n khi không khí không chuyển động (bảng 8.2). Nhiệt trở tổng R_α được tính với tổng các dòng nhiệt ở các bề mặt của vỏ S_v , nắp S'_n, S''_n và các hệ số truyền nhiệt $\alpha'_v, \alpha'_n, \alpha''_n$.

$$R = \frac{1}{(\alpha'_v S'_v + \alpha'_n S'_n + \alpha''_n S''_n)} \quad (8-34)$$

Lập và giải hệ phương trình của sơ đồ nhiệt ở hình 8-7 ta tính được độ tăng nhiệt độ trung bình của các bộ phận trong máy điện.

Độ tăng nhiệt của vỏ máy với môi trường xung quanh:

$$\theta_\alpha = (P_{Cu1} + P_{Fe} + P_R) R_\alpha \quad (8-35)$$

Độ tăng nhiệt của dây quấn stato:

$$\theta_1 = \frac{P_{Cu1}(R_{Fe} + R_c) + P_{Fe} R_{Fe} + P_R R'_\alpha \frac{R_{Fe} + R_c}{P_d + R'_\alpha}}{1 + \frac{R_{Fe} + R_c}{P_d + R'_\alpha}} + \theta_\alpha \quad (8-36)$$

Độ tăng nhiệt của lõi sắt stato:

$$\theta_{Fe} = \frac{P_{Fe} R_{Fe} + (\theta_1 - \theta_\alpha) R_c}{1 + \frac{R_c}{R_{Fe}}} + \theta_\alpha \quad (8-37)$$

8.3.3. Phương pháp tính toán nhiệt đơn giản

Như đã nói ở trên, tính toán nhiệt có thể cho một kết quả khá chênh lệch so với thực tế. Đó là vì những sai khác so với thực tế

do quá trình công nghệ, sự khác nhau giữa tốc độ gió thực so với tốc độ gió thiết kế, do những giả thiết gần đúng, v.v. Nhưng dù là gần đúng thì chúng ta cũng biết được sự phân bố nhiệt độ ở các bộ phận riêng rẽ của máy điện và các số liệu ấy vẫn có giá trị nhất định đối với việc tính nhiệt. Vì vậy trong thực tế vẫn luôn luôn phải tính nhiệt nhưng bao giờ cũng có khuynh hướng đơn giản hóa phương pháp tính toán trong chừng mức có thể.

Sau đây là phương pháp và những công thức tính toán nhiệt đã đơn giản hóa dùng trong các nhà máy. Các công thức này được xây dựng trên giả thiết cho rằng tất cả các tổn hao sinh ra trong vùng giới hạn bởi chiều dài tác dụng của lõi sắt (stator hay rôto) đều tản ra trên mặt trụ của lõi sắt, còn tổn hao trên phần đầu nối dây quấn thì tỏa ra trên bề mặt tản nhiệt của phần đầu nối. Nếu gọi θ_1 là độ tăng nhiệt của dây quấn trong phạm vi chiều dài tác dụng l_1 của lõi sắt và θ_d là độ tăng nhiệt của phần đầu nối dây quấn phân bố trên chiều dài l_d thì độ tăng nhiệt trung bình của dây quấn (đối với không khí thổi trên bề mặt lõi sắt và phần đầu nối của máy kiểu bảo vệ IP23) được xác định theo công thức:

$$\theta_{Cu} = \frac{\theta_1 l_1 + \theta_d l_d}{l_1 + l_d} \quad (8-38)$$

Sau đây là công thức cụ thể để tính độ tăng nhiệt trong từng loại máy theo phương pháp tính đơn giản này.

8.3.3a. Máy điện một chiều

1. Độ tăng nhiệt của dây quấn phần ung

a. Độ tăng nhiệt theo chiều dài lớp cách điện rãnh:

$$\theta_c = \frac{\rho_B A l t_2 \delta_c}{\lambda_c C_2} \quad (8-39)$$

trong đó:

δ_c - chiều dày lớp cách điện rãnh của một phía;

A - tải đường (A/cm);

J - mật độ dòng điện (A/mm^2);

t_2 - bước răng phần ứng (cm);

C_2 - chu vi rãnh phần ứng (cm);

ρ_H - điện trở suất của dây dẫn ở nhiệt độ cho phép. Với cách điện cấp B: $\rho_H = 1/4020$; cấp F: $\rho_H = 1/3800$; cấp H: $\rho_H = 1/3570$ ($\Omega mm^2/cm$).

λ_c - hệ số dẫn nhiệt của cách điện.

b. Độ tăng nhiệt của mặt ngoài lõi sắt phần ứng so với nhiệt độ không khí làm nguội.

Dòng nhiệt qua đơn vị bề mặt ngoài của lõi sắt phần ứng:

$$q_{\alpha} = \frac{\rho_{\theta} A J}{\left(1 + \frac{n_g d_g}{D}\right)} + \frac{P_{Fe}}{\pi D l_1 \left(1 + \frac{n_g d_g}{D}\right)} \quad (8-40)$$

ở đây:

D - đường kính phần ứng;

$n_g; d_g$ - số lỗ và đường kính lỗ thông gió dọc trục;

l_1 - chiều dài phần ứng.

Độ tăng nhiệt của mặt ngoài lõi sắt phần ứng so với nhiệt độ không khí làm nguội:

$$\theta_{\alpha} = \frac{q_{\alpha}}{\alpha_v} \quad (8-41)$$

ở đây α_v - hệ số tản nhiệt bề mặt.

Ở hệ thống thông gió hướng kính: $\alpha_v = 6,6 \cdot 10^{-3} (1 + 0,1 v_R)$.

Ở hệ thống thông gió hướng trục: $\alpha_v = 2,2 \cdot 10^{-3} (1 + 0,1 v_q)$

trong đó:

$$v_R = \frac{\pi D n}{6000} \quad (m/s) \text{ - tốc độ đường phần ứng;}$$

$$v_q = \frac{\pi D_q n}{6000} \quad (m/s) \text{ - tốc độ đường vòng ngoài cánh quạt.}$$

D, D_q - đường kính ngoài phần ứng và vòng ngoài cánh quạt.

c Độ tăng nhiệt của phần đầu nối dây quấn phần ứng so với nhiệt độ không khí làm nguội.

Dòng nhiệt qua đơn vị diện tích bề mặt của phần đầu nối dây quấn:

$$q_d = 1,4\rho_\theta AJ \quad (8-42)$$

Độ tăng nhiệt của phần đầu nối dây quấn:

$$\theta_d = \frac{q_d}{\alpha_v} \quad (8-43)$$

trong đó: $\alpha_v = 3.10^{-3}(1 + 0,1v)$.

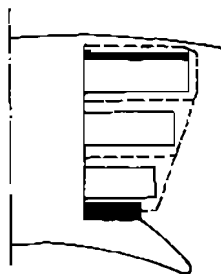
ở đây: v - tốc độ đường của bề mặt phần ứng ở hệ thống thông gió hướng kính hay tốc độ vòng ngoài cánh quạt ở hệ thống quạt dọc trục (m/s).

d. Độ tăng nhiệt của dây quấn phần ứng:

$$\theta_{cu} = \frac{(\theta_c + \theta_c')l_1 + \theta_d l_d}{l_1 + l_d} \quad (8-44)$$

2. Độ tăng nhiệt của dây quấn kích từ

Độ tăng nhiệt của dây quấn kích từ so với môi trường gồm độ tăng nhiệt bên trong bản thân dây quấn và giữa bề mặt dây quấn với môi trường. Dây quấn kích từ của máy điện một chiều là loại dây quấn đồng tâm nhiều lớp nên xác định độ tăng nhiệt trong bản thân dây quấn rất khó. Qua thực nghiệm trên các máy điện một chiều có kết cấu thông thường ta nhận thấy độ tăng nhiệt bên trong bản thân dây quấn nhiều lớp bằng khoảng 25% độ tăng nhiệt bề mặt dây quấn. Vì vậy



Hình 8-8. Mặt tản nhiệt của dây quấn kích từ

độ tăng nhiệt dây quấn kích thích của cực từ chính cũng như cực từ phụ được tính theo công thức (8-19) và nhân thêm với hệ số 1,25.

$$\theta_l = 1,25 \frac{P_{\text{Cút}}}{S_l \alpha_v} \quad (8-45)$$

trong đó:

$P_{\text{Cút}}$ - tổn hao trong dây quấn kích từ;

S_l - diện tích tản nhiệt của dây quấn kích từ (hình 8-8);

$\alpha_v = 2,2(1 + 0,25 v_2) \cdot 10^{-4}$

v_2 - tốc độ đường của bề mặt phần ứng.

8.1.3b. Máy điện không đồng bộ

Những công thức sau đây chỉ áp dụng với máy kiểu bảo vệ IP23.

1. Độ tăng nhiệt của dây quấn stato

a. Độ tăng nhiệt theo chiều dày lớp cách điện rãnh Sử dụng công thức (8-39).

b. Độ tăng nhiệt của mặt ngoài lõi sắt stato θ so với môi trường:

Dòng nhiệt qua đơn vị diện tích bề mặt bằng:

Trong hệ thống thông gió hướng kính:

$$q_{\alpha} = \rho_{\theta} A J + \frac{P_{\text{Fe1}} + 0,5P_f}{\pi D l_1} \quad (8-46)$$

Trong hệ thống thông gió hướng trục:

$$q_{\alpha} = \rho_{\theta} A J \frac{D}{D_n} + \frac{P_{\text{Fe1}} + 0,5P_f}{\pi D_n l_1} \quad (8-47)$$

trong đó:

P_{Fe1} - tổn hao sắt của stato lúc không tải;

P_f - tổn hao phụ khi có tải;

D_1, D_n - đường kính trong và ngoài lõi sắt stato.

Hệ số tản nhiệt bề mặt được xác định theo công thức:

$$\alpha_v = \alpha_0 (1 + 0.1v) \quad (8-48)$$

ở đây:

$\alpha_0 = 6.6 \cdot 10^{-3}$ khi thông gió hướng kính.

$\alpha_0 = 3.3 \cdot 10^{-3}$ khi thông gió hướng trục;

v - tốc độ dài ở bề mặt rôto hay vành ngoài của quạt khi thông gió hướng trục.

Độ tăng nhiệt của mặt ngoài lõi sắt stato bằng.

$$\theta_{stl} = \frac{q_{st}}{\alpha_v} \quad (8-49)$$

c. Độ tăng nhiệt độ θ_d của mặt ngoài phần đầu nối dây quấn stato so với nhiệt độ môi trường:

$$\theta_d = \frac{q_d}{1.33 \cdot 10^{-3} (1 + 0.05v)} \quad (8-50)$$

ở đây:

$$q_d = \rho_{\theta} A J \frac{t_1}{C_1} \quad (8-51)$$

t_1 - bước răng stato (cm);

C_1 - chu vi rãnh stato (cm);

v - tốc độ dài ở bề mặt rôto hay vành ngoài của quạt khi thông gió hướng trục.

d. Độ tăng nhiệt của dây quấn stato:

$$\theta_{cu1} = \frac{(\theta_c + \theta_{st1})l_1 + (\theta_c + \theta_d)l_d}{l_1 + l_d} \quad (8-52)$$

2. Độ tăng nhiệt của dây quấn rôto

a. Độ tăng nhiệt theo chiều dày lớp cách điện rãnh rôto.

Tính theo công thức (8-39)

b. Độ tăng nhiệt mặt ngoài lõi sắt rôto so với nhiệt độ môi trường:

$$q_{a2} = \frac{\theta_{a2}}{\alpha_v} \quad (8-53)$$

trong đó:

$$q_{a2} = \frac{\rho_\theta A_2 J_2}{1 + \frac{n_g d_g}{D}} + \frac{P_{fc2} + 0,5P_f}{\pi D l_2 (1 + \frac{n_g d_g}{D})} \quad (8-54)$$

ở đây:

P_{fc2} - tổn hao sắt rôto lúc không tải (W);

P_f - tổn hao phụ lúc có tải (W);

A_2 - tải đường của dây quấn rôto;

J_2 - mật độ dòng điện của dây quấn rôto;

D - đường kính ngoài của rôto, lấy gần đúng bằng đường kính trong stato;

l_2 - chiều dài lõi sắt rôto;

n_g, d_g - số lỗ và đường kính lỗ thông gió dọc trục của rôto;

$\alpha_v = \alpha_0(1 + 0,1v)$ - hệ số tản nhiệt bề mặt;

$\alpha_0 = (4 + 3,3)10^{-3}$;

v - tốc độ bề mặt rôto hay quạt.

c. Độ tăng nhiệt mặt ngoài phần đầu nối dây quấn rôto so với nhiệt độ môi trường. Tính theo (8-42) và (8-43).

d. Độ tăng nhiệt dây quấn rôto:

$$\theta_{Cu2} = \frac{(\theta_c + \theta_{a2}l_2 + \theta_d l_d)}{l_2 + l_d} \quad (8-55)$$

8.3.3c. Máy điện đồng bộ

a. Độ tăng nhiệt theo chiều dày lớp cách điện dây quấn stato. Sử dụng công thức (8-39).

b. Độ tăng nhiệt mặt ngoài lõi sắt stato so với nhiệt độ môi trường:

$$\theta_{a1} = q_a / \alpha_a \quad (8-56)$$

trong đó:

$$q_a = \rho_a A J \left(1 + k_1 \frac{l_{tb}}{l_1} \right) + \frac{P_{Fcl}}{\pi D l_1} \quad (8-57)$$

P_{Fcl} - tổn hao sắt lúc không tải (W);

k_1 - hệ số tổn hao phụ lúc có tải. Với máy nhỏ và trung bình có thể lấy $k_1 = 1$;

D_1, l_1 - đường kính trong và chiều dài lõi sắt stato;

l_{tb} - chiều dài bình quân 1/2 vòng dây dây quấn stato (cm);

$$\alpha_a = \alpha_0 (1 + 0,1v)$$

$$\alpha_0 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ khi } \frac{l_1}{\tau} \leq 2$$

$$\alpha_0 = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ khi } 2 \leq \frac{l_1}{\tau} \leq 4$$

$$\alpha_0 = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ khi } 4 \leq \frac{l_1}{\tau} \leq 5$$

v - tốc độ bề mặt của rôto (m/s)

c. Độ tăng nhiệt θ_d mặt ngoài phần đầu nối dây quấn stato so với nhiệt độ môi trường:

$$\theta_d = \frac{q_d}{\alpha (1 + 0,07v)} \quad (8-58)$$

trong đó:

q_d được xác định theo (8-51);

$$\alpha = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ khi } \tau \leq 40 \text{ cm};$$

$$\alpha = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ khi } 40 < \tau < 60 \text{ cm};$$

$$\alpha = 0,66 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ khi } \tau > 60 \text{ cm}.$$

d. Độ tăng nhiệt của dây quấn stato:

$$\theta_1 = \frac{(\theta_c + \theta_a)l_1 + (\theta_c + \theta_d)l_d}{l_1 + l_d} \quad (8-59)$$

8.4. TÍNH TOÁN ĐỘ TĂNG NHIỆT Ở CHẾ ĐỘ NHIỆT QUÁ ĐỘ

Khi tính toán nhiệt ở chế độ nhiệt quá độ, có thể áp dụng các công thức (8-1) và (8-3) với giả thiết là toàn bộ máy điện hay từng bộ phận riêng biệt của máy điện là khối đồng nhất. Máy điện kiểu kín có thể coi gần giống với một khối đồng nhất. Ở các máy điện kiểu hở hay bảo vệ thì từng bộ phận như phần ứng, dây quấn kích từ... có thể coi như khối đồng nhất. Giả thiết trên đơn giản hóa được phương pháp nghiên cứu mà vẫn đạt được độ chính xác thực tế cần thiết.

Sau đây sẽ xét độ tăng nhiệt khi máy làm việc ngắn hạn hay ngắn hạn lặp lại.

Cơ sở của phương pháp này là phương trình (8-3):

$$\theta = \theta_0 + (\theta_\infty - \theta_0)(1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

Để có thể tính được độ tăng nhiệt trong quá trình nhiệt chưa ổn định trên phần ứng máy điện cần biết trước các điều kiện sau: kết cấu, độ tăng nhiệt ban đầu θ_0 , chế độ tải theo thời gian $P = f(t)$.

Các bước tính như sau:

a. Xây dựng sơ đồ nhiệt thay thế, xác định các nhiệt trở và tính độ tăng nhiệt ổn định θ_∞ theo phương pháp đã nghiên cứu ở mục 8.2.1.

b. Xác định hằng số thời gian T theo công thức:

$$T = \frac{C}{\alpha S} = \frac{(C_{Cu}G_{Cu} + C_cG_c + C_{Fe}G_{Fe})\theta_\infty}{\Sigma P}$$

trong đó:

C_{Cu} , C_c , C_{Fe} - tỷ nhiệt của đồng, cách điện và thép;

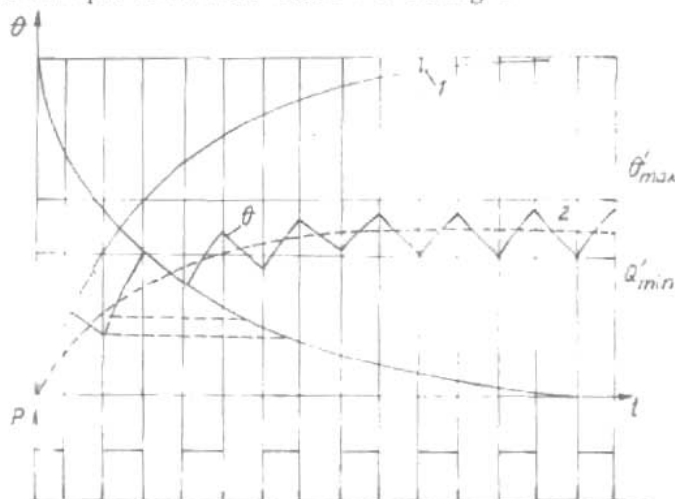
G_{Cu} , G_c , G_{Fe} - trọng lượng đồng, cách điện và thép;

ΣP - tổn hao trong dây quấn và lõi thép.

Trong tính toán này có thể lấy $G_c = (0,1 + 0,2)G_{Cu}$. Để tính đến ảnh hưởng của nhiệt dung của các bộ phận kết cấu khác của

phản ứng (như phản ứng của máy điện một chiều) có thể tăng trọng lượng thép tác dụng lên khoảng 10 + 20%.

c. Dựng đường cong của phương trình (8-3) từ các điều kiện đã cho và kết quả tính toán (hình 8-9 đường 1)



Hình 8-9. Đường cong độ tăng nhiệt ở chế độ tải ngắn hạn lặp lại

d. Trong trường hợp chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại, quá trình nguội dần trong khoảng thời gian $b = t_{ck} - a$ được tính theo công thức (8-4):

$$\theta_{ng} = \theta e^{-\frac{t}{T}}$$

trong đó θ là độ tăng nhiệt tức thời lúc chấm dứt thời gian làm việc trong chu kỳ. Đến chu kỳ tiếp theo, quá trình tăng nhiệt lại tiếp tục theo phương trình (8-3) với độ tăng nhiệt ban đầu θ_0 bằng độ tăng nhiệt tức thời lúc bắt đầu chu kỳ mới (hình 8-9 đường 2).

Phương pháp này có thể áp dụng để tính độ tăng nhiệt ở các bộ phận khác của máy điện cũng như ở máy kiểu kín. Trong trường hợp máy kiểu kín, công thức (8-3) xác định độ tăng nhiệt mặt ngoài vỏ máy.

Kết cấu và tính toán cơ các bộ phận chủ yếu của máy điện

9.1. KẾT CẤU CỦA MÁY ĐIỆN

Mặc dù kích thước của các bộ phận vật liệu tác dụng và đặc tính của máy phụ thuộc phần lớn vào tính toán điện từ và tính toán thông gió tản nhiệt, nhưng cũng có phần liên quan đến kết cấu của máy. Thiết kế kết cấu phải bảo đảm sao cho máy gọn nhẹ, thông gió tản nhiệt tốt mà vẫn có độ cứng vững và độ bền nhất định. Thường căn cứ vào điều kiện làm việc của máy để thiết kế ra một kết cấu thích hợp, sau đó tính toán cơ các bộ phận để xác định độ cứng và độ bền của các chi tiết máy. Vì vậy thiết kế kết cấu là một phần quan trọng trong toàn bộ thiết kế máy điện.

Máy điện có rất nhiều kiểu kết cấu khác nhau. Sở dĩ như vậy vì những nguyên nhân chính sau:

- Có nhiều loại máy điện và công dụng cũng khác nhau như máy một chiều, máy đồng bộ, máy không đồng bộ v.v. cho nên yêu cầu đối với kết cấu máy cũng khác nhau.

- Công suất máy khác nhau nhiều. Ở những máy công suất nhỏ thì giá đỡ trục đồng thời là nắp máy. Đối với máy lớn thì phải có trụ giá đỡ riêng.

- Tốc độ quay khác nhau. Máy tốc độ cao thì rôto cần phải chắc chắn hơn, máy tốc độ thấp thì đường kính rôto thường lớn...

- Sự khác nhau của động cơ sơ cấp kéo nó (đối với máy phát điện) hay tải (đối với động cơ điện) như tuabin nước, tuabin hơi, máy diesel, bơm nước hay máy công tác... Phương thức truyền động hay lắp ghép cũng khác nhau.

- Cách thức thông gió và bảo vệ khác nhau.

- Vật liệu kết cấu và quá trình công nghệ khác nhau.

Thiết kế kết cấu là xác định kích thước ngoài của máy điện do đó cần phải vẽ ra. Đây là một phần quan trọng của thiết kế kết cấu máy điện và không nên coi đó chỉ là một sự kết hợp hình học giữa các chi tiết. Căn cứ vào tính toán điện từ và thông gió có thể đưa ra nhiều phương án kết cấu khác nhau. Những phương án này về kích thước, trọng lượng, tính tiện lợi khi sử dụng, độ tin cậy khi làm việc, tính giản đơn khi chế tạo và giá thành của máy có thể không giống nhau. Vì vậy khi thiết kế cần chú ý đến tất cả các yếu tố đó.

Nguyên tắc chung để thiết kế kết cấu là:

- Đảm bảo độ tin cậy của máy lúc làm việc.

- Đảm bảo bảo dưỡng máy thuận tiện.

- Đảm bảo chế tạo đơn giản, giá thành hạ.

Sau đây sẽ trình bày những kết cấu cơ bản của máy điện để có thể hiểu một cách khái quát về thiết kế kết cấu nhưng khi thiết kế thực sự cần phải kết hợp với những kinh nghiệm của cơ sở sản xuất vì kết cấu máy điện có quan hệ mật thiết với khả năng công nghệ và tính kinh tế, với tính thông dụng của các công cụ gá lắp và khuôn dập, khuôn đúc, với các chi tiết tiêu chuẩn hóa.

9.1.1. Phân loại các kiểu kết cấu máy điện đã định hình

Kết cấu của những máy điện hiện nay được định hình theo cách bảo vệ, cách lắp ghép, thông gió, đặc tính của môi trường

bên ngoài v v

a. Phân loại theo phương pháp bảo vệ máy

đôi với môi trường bên ngoài

Cấp bảo vệ máy có ảnh hưởng rất lớn đến kết cấu của máy. Cấp bảo vệ được ký hiệu bằng chữ IP và hai chữ số kèm theo, trong đó chữ số thứ nhất chỉ mức độ bảo vệ chống sự tiếp xúc của người và các vật khác rơi vào máy, được chia làm 7 cấp đánh số từ 0 đến 6 trong đó số 0 chỉ rằng máy không được bảo vệ (kiểu hở hoàn toàn) còn số 6 chỉ rằng máy được bảo vệ hoàn toàn không cho người tiếp xúc, đồ vật và bụi không lọt vào. Chữ số thứ hai chỉ mức độ bảo vệ chống nước vào máy gồm 9 cấp đánh số từ 0 đến 8 trong đó số 0 chỉ rằng máy không được bảo vệ còn số 8 chỉ máy có thể ngâm trong nước trong thời gian vô hạn định

Thường có thói quen chia cấp bảo vệ theo phương pháp làm nguội máy. Theo cách này máy điện được chia thành các kiểu kết cấu chính sau:

- Kiểu hở

Loại này không có trang bị bảo vệ sự tiếp xúc ngẫu nhiên các bộ phận quay và bộ phận mang điện, cũng không có trang bị bảo vệ các vật bên ngoài rơi vào máy. Loại này được chế tạo theo kiểu tư lăm nguội. Theo cấp bảo vệ thì đây là loại IP00. Loại này thường đặt trong nhà, có người trông coi và không cho người ngoài đến gần

- Kiểu bảo vệ

Có trang bị bảo vệ chống sự tiếp xúc ngẫu nhiên các bộ phận quay hay mang điện, bảo vệ các vật ở ngoài hoặc nước rơi vào theo các góc độ khác nhau. Loại này thường là tự thông gió. Theo cấp bảo vệ thì kiểu này thuộc các cấp từ IP11 đến IP33.

- Kiểu kín

Là loại máy mà không gian bên trong máy và môi trường bên ngoài được cách ly. Tùy theo mức độ kín mà cấp bảo vệ là từ

IP44 trở lên. Kiểu kín thường là tu thông gió bằng cách thổi gió ở mặt ngoài vỏ hay thông gió độc lập bằng cách đưa gió vào trong máy bằng đường ống. Thường dùng loại này ở môi trường nhiều bụi, ẩm ướt v.v..

- Kiểu bảo vệ đặc biệt như loại chống nổ, bảo vệ chống môi trường hóa chất.

b. Phân loại theo cách lắp đặt

Theo cách lắp đặt máy, ký hiệu bằng chữ IM kèm theo 4 chữ số tiếp theo. Ở đây: số thứ nhất chỉ kiểu kết cấu gồm 9 số danh số từ 1 đến 9 trong đó số 1 chỉ ổ bị được lắp trên nắp máy và số 9 chỉ cách lắp đặt đặc biệt. Số thứ hai và ba chỉ cách thức lắp đặt và hướng của đầu trục máy. Số thứ tư chỉ kết cấu của đầu trục gồm 9 loại đánh số từ 0 đến 8 trong đó số 0 chỉ máy không có đầu trục, số 1 chỉ máy có một đầu trục hình trụ, số 8 chỉ đầu trục có các kiểu đặc biệt khác.

9.1.2. Kết cấu stato của máy điện xoay chiều

a. Vô stato

Khi thiết kế kết cấu vô stato phải phối hợp với yêu cầu về truyền nhiệt và thông gió, đồng thời phải có đủ độ cứng và độ bền, không những sau khi lắp lõi sắt mà cả khi gia công vỏ. Thường đủ độ cứng thì cũng đủ độ bền. Vỏ có thể chia làm hai loại: loại gang đúc và loại thép tấm hàn lại. Loại gang đúc lại phân làm hai loại: loại có gân trong và không có gân trong (hình 9-1). Loại không có gân trong thường dùng đối với máy điện cơ nhỏ hoặc kiểu kín, lúc đó lưng lõi sắt áp sát vào mặt trong của vỏ và nhiệt truyền trực tiếp lên vỏ máy. Loại có gân trong có đặc điểm là lúc gia công, tốc độ cắt gọt chậm nhưng phối liệu bỏ đi ít hơn loại không có gân trong.

Phương pháp cố định lõi sắt trong máy điện cỡ nhỏ và vừa thường là đai lõi thép lại rồi ép vào vỏ hoặc xếp trực tiếp các lá

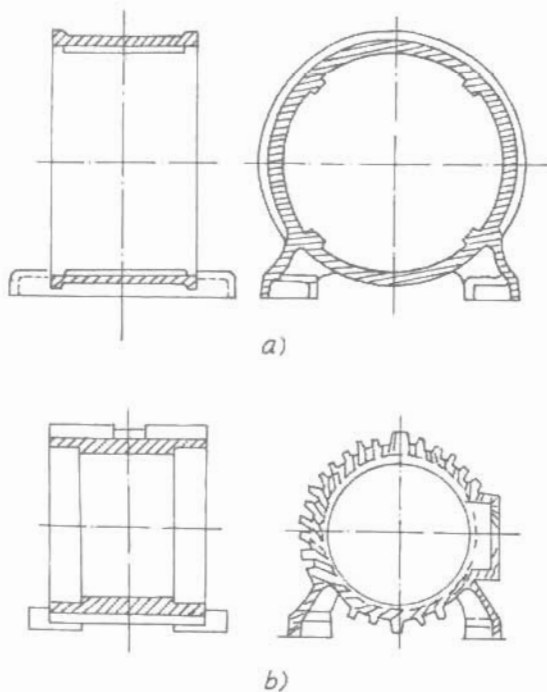
tôn silic vào vỏ rồi chốt hai đầu. Ở máy điện lớn thì xếp các lá tôn silic vào vỏ rồi dùng bulông ép chặt (hình 9-2).

Loại vỏ bằng thép tấm hàn gồm ít nhất là hai vòng thép tấm trở lên và những gân ngang làm thành khung. Những dạng khác đều xuất phát từ dạng cơ bản đó.

b. Lõi sắt stato

Khi đường kính ngoài lõi sắt nhỏ hơn 1 m thì dùng tấm nguyên để làm lõi sắt. Lõi sắt sau khi ép vào vỏ sẽ có một chốt cố định với vỏ để khỏi bị quay dưới tác dụng của mômen điện từ.

Nếu đường kính ngoài lõi sắt lớn hơn 1 m thì dùng các tấm hình rẻ quạt ghép lại. Khi ấy, để ép chặt lõi sắt, thường dùng hai

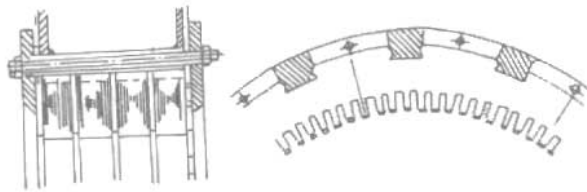


Hình 9-1. Vỏ máy đúc bằng gang
a. gân trong; b. không có gân trong



Hình 9-2. Cố định lõi sắt lên vỏ bằng gỗ và chốt

tấm thép dày ép hai đầu. Để tránh lực hướng tâm và lực hút các tấm, thường làm những cánh đuôi nhận hình rẻ quạt trên các tấm để ghép các tấm vào các gân trên vỏ máy (hình 9-3).



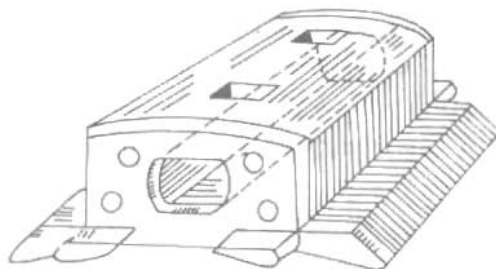
Hình 9-3. Ghép lõi sắt bằng các tấm hình rẻ quạt

9.1.3. Kết cấu stato của máy điện một chiều

Stato máy điện một chiều có vỏ, cực từ chính và cực từ phụ.

Vỏ thường là thép đúc hoặc thép tấm uốn lại. Đối với máy lớn, có thể chia làm hai phần để đúc và vận chuyển cho tiện lợi. Đường phân chia không nằm trên đường tâm ngang mà cao hơn hoặc thấp hơn một chút để tránh chỗ bắt cực từ phụ.

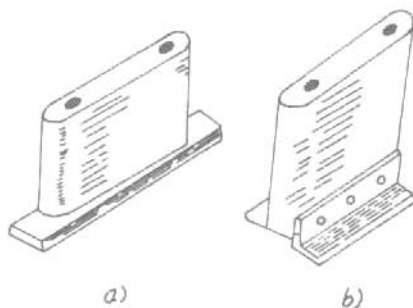
Máy điện cỡ nhỏ và vừa dùng ổ trục đặt trên nắp máy và nắp được cố định lên vỏ máy bằng gờ. Cực từ chính có thể làm bằng thép khối hoặc bằng thép tấm ép lại. Hiện nay thường dùng thép tấm hay thép kỹ thuật điện của Nga ký hiệu 3411 dày 1 mm ép và tán lại. Cực từ chính được cố định lên vỏ máy bằng bulông. Đối với những cực từ lớn, để cho lực kéo của bulông tác dụng đều lên các lá tôn của cực từ, ở giữa cực từ đặt một thanh thép dài xuyên suốt cực từ và



Hình 9-4. Cực từ chính

bulông bắt lên thanh thép ấy (hình 9-4).

Cực từ phụ thường làm bằng thép khối và trong máy lớn còn làm bằng thép kĩ thuật điện 3411. Đối với máy nhỏ, cực từ phụ có hình dạng như ở hình 9-5a, với máy lớn như ở hình 9-5b để tăng bề mặt tiếp xúc giữa cực từ phụ với vỏ máy.



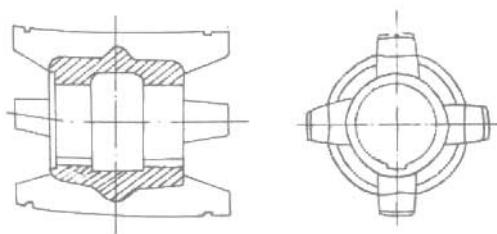
Hình 9-5. Cực từ phụ

Cực từ phụ được bắt vào vỏ máy bằng bulông.

9.1.4. Kết cấu rôto của máy điện xoay chiều và một chiều

Về kết cấu, rôto máy điện một chiều và xoay chiều có nhiều điểm giống nhau. Khi xét đến kết cấu của rôto cần chú ý đến các lực tác dụng lên rôto khi máy làm việc.

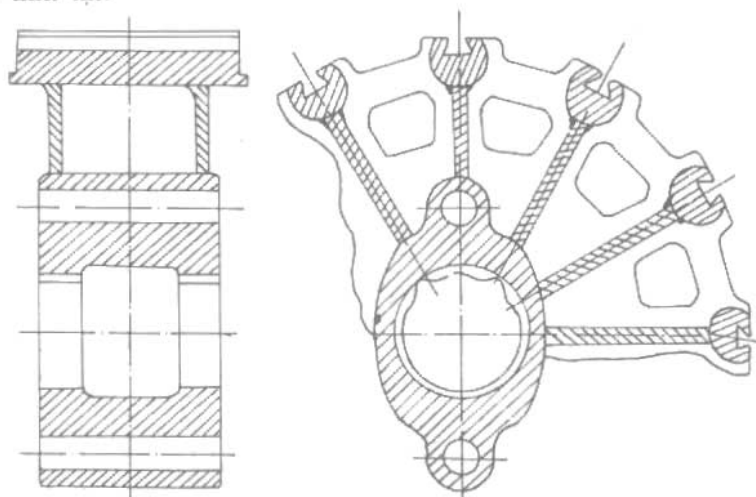
Nếu đường kính rôto nhỏ hơn 350 mm thì lõi sắt rôto thường được ép trực tiếp lên trục hoặc ống lồng trục. Đó là vì đường kính rôto không lớn, phần trong của lõi thép cắt ra không dùng được vào việc gì có giá trị kinh tế lớn mà kết cấu rôto lại được đơn giản hóa. Việc dùng ống lồng cũng rất hạn chế, chỉ dùng khi cần thiết như ở động cơ điện trên tàu điện để thay trục được dễ dàng. Khi đường



Hình 9-6. Giá đỡ rôto

kính rôto lớn hơn 350 mm, đường kính trong rôto cố gắng lấy lớn để dùng lõi lấy ra làm việc khác, do đó cần có giá đỡ rôto (hình 9-6).

Khi đường kính rôto lớn hơn 1000 mm thì dùng các tấm tôn silic hình rẻ quạt ép lại. Lúc đó dùng giá đỡ rôto hình cánh sao (hình 9-7). Giá đỡ rôto trong các máy lớn thường làm bằng thép tấm hàn lại.



Hình 9-7. Giá đỡ rôto hình cánh sao

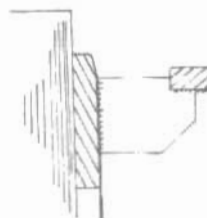
Lõi sắt cần được ép chặt với áp suất từ 5 kg/cm^2 đối với máy cỡ trung, đến 10 kg/cm^2 với máy cỡ nhỏ và phải có những vòng ép để đảm bảo giữ áp suất đó. Để tránh lõi sắt ở hai đầu bị tán ra thì trong máy nhỏ dùng những tấm thép dày 1,5 mm ép lại. Trong máy lớn dùng tấm ép có răng. Răng phải tán hay hàn vào tấm thép ép để đảm bảo khi quay không văng ra.

Vòng ép của máy điện một chiều và máy không đồng bộ rôto dây quấn một mặt dùng để ép chặt lõi sắt, một mặt dùng để làm giá đỡ đầu dây quấn nên có dạng như ở hình 9-8. Trong máy điện cỡ nhỏ thường đúc bằng gang, trong máy lớn thường dùng thép tấm hàn lại. Dùng giá đỡ liền vành ép sẽ dễ dàng cho việc

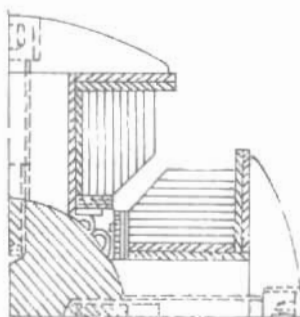
đai đầu dây cho khỏi văng ra khi quay.

Rôto máy điện không đồng bộ thường có rãnh nửa kín và dùng nêm cố định dây trong rãnh. Trong máy điện một chiều dùng rãnh hở, có khi không nêm mà dùng đai bằng dây thép. Dây đai có ưu điểm là hiệu suất sử dụng rãnh cao, đỡ tổn công nhưng có khuyết điểm là khi cần sửa một phần từ dây quấn thì phải tháo hết dây đai ra, đồng thời làm tang tổn hao sắt, tăng điện kháng tản. Vì vậy chiều rộng mỗi bội dây đai không quá $1,5 + 2 \text{ cm}$. Dưới chỗ đai dây có đệm giấy cứng dày 1 mm và một lớp băng mica dày $0,3 \div 0,5 \text{ mm}$. Thường đai dây ở những rôto có đường kính nhỏ hơn 20 đến 25 cm .

Đầu dây quấn cũng cần phải đai dây, chiều rộng của đai có thể đến 4 cm . Nếu khi tính toán cần đai rộng hơn thì phải chia đoạn. Dưới đai dây, ngoài cách điện ra còn đặt nhiều tấm đồng cách quãng theo chu vi, dày $0,3 \text{ mm}$ rộng từ 8 đến 15 mm . Khi đai xong thì bẻ cong hai đầu tấm đồng lại để ôm lấy đai. Có khi hàn thiếc bôi dây đai hoặc dùng cả hai phương pháp.



Hình 9-8. Vành ép lõi sắt là giá đỡ đầu dây quấn



Hình 9-9. Rôto máy điện đồng bộ công suất nhỏ, dưới 100 kW

9.1.5. Kết cấu rôto máy điện đồng bộ cực lõi

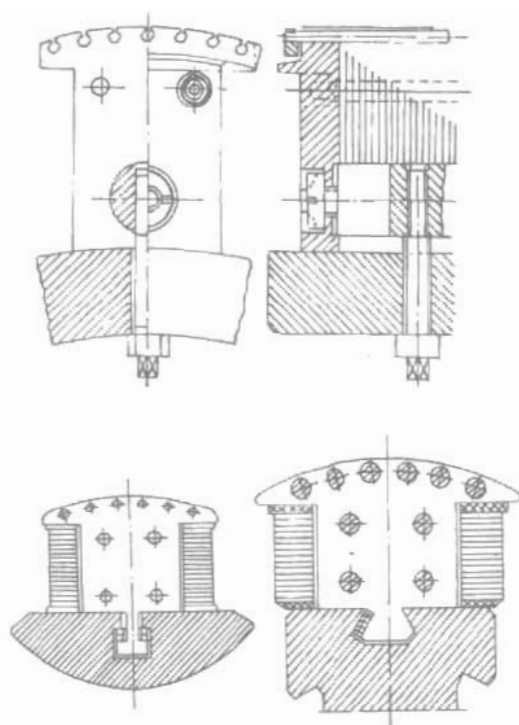
Rôto máy điện đồng bộ cực lõi gồm có gông từ, cực từ và dây quấn kích từ. Trong máy đồng bộ nhỏ, gông từ và trục làm thành một khối, gông từ có thể có dạng trụ tròn hoặc trụ có số cạnh

bằng số cực từ và cực từ cùng dây quấn kích từ được bắt vào gông từ bằng bulông (hình 9-9). Khi công suất máy lớn lên, gông từ được chế tạo riêng và lồng nóng vào trục.

Với rôto có đường kính lớn thì gông từ và giá đỡ gông từ làm thành hình cánh sao bằng gang hoặc bằng thép hàn. Cực từ được cố định lên gông từ bằng bulông hoặc bằng rãnh đuôi nhạn (hình 9-10).

Trong máy đồng bộ tuabin nước, dùng loại rôto kiểu xếp tấm. Gông từ được ghép bằng các tấm thép dày hình rẻ quạt và dùng bulông bắt chặt.

Cực từ thường được ghép bằng nhiều tấm ép và tán chặt với lực ép đến $20\text{--}25\text{ kg/cm}^2$ và hai đầu dùng những tấm thép dày ép lại.



Hình 9-10. Rôto máy điện đồng bộ có đường kính lớn

9.1.6. Kết cấu rôto máy phát tuabin hơi

Kết cấu rôto máy phát tuabin hơi thường làm nguyên khối và dùng cho máy hai cực. Thành phần tạp chất (S, P) của vật liệu không được quá một tỷ lệ nhất định vì lưu huỳnh làm giảm độ cứng còn photpho làm giòn trục. Tâm trục phải được khoan suốt,

một mặt để kiểm nghiệm, một mặt để tránh ứng suất tập trung.

Vòng ép đầu dây ²⁰ và nêm là nơi ứng suất tập trung lớn nhất. Để giảm điện kháng tản, một phần vòng ép và nêm được chế tạo bằng vật liệu phi từ tính. Nêm còn làm thành dây quấn cản và vòng ép đầu dây lam vành ngăn mạch. Để tránh tiếp xúc không tốt có thể dùng một vòng ngăn mạch.

Rãnh thường có hai loại: loại rãnh hướng tâm và rãnh song song. Hiện nay ít dùng loại rãnh song song.

9.2. TÍNH TOÁN TRỤC

Ngoài việc phải chịu toàn bộ trọng lượng của rôto ra, trục còn chịu mômen xoắn và mômen uốn trong quá trình truyền động tải (bánh răng, curoa...). Trục còn chịu lực hướng trục, thường là lực kéo như ở các máy kiểu trục đứng. Ngoài những tải trên còn phải chú ý đến lực từ một phía do khe hở không đều sinh ra. Cuối cùng trục còn phải chịu lực do cân bằng động không tốt gây nên, nhất là khi quá tốc độ giới hạn.

Muốn thiết kế tốt một trục cần phải đảm bảo ba yêu cầu cơ bản sau:

- 1 Phải có đủ độ bền ở tất cả các tiết diện của trục khi máy làm việc, kể cả lúc có sự cố ngắn mạch.
2. Phải có đủ độ cứng để tránh sinh ra độ võng quá lớn làm chạm rôto với stato.
- 3 Tốc độ giới hạn của trục phải khác nhiều với tốc độ lúc máy làm việc bình thường.

Khi tính toán trục phải tính ở chế độ làm việc xấu nhất

Đường kính trục ở chỗ đặt lõi sắt đối với máy $1 \div 250 \text{ kW}$ có thể chọn gần đúng theo công thức sau:

$$D_1 \approx 0,25D \text{ đối với máy một chiều và đồng bộ;}$$

$$D_1 = 0,3D \text{ đối với máy không đồng bộ}$$

trong đó: D là đường kính ngoài rôto.

Trục được chế tạo bằng thép tốt, số 40 hay 45

Đối với các đường kính đến 100 mm thì dùng phôi liệu là thép cán, còn của máy lớn thì được chế tạo bằng thép rèn có hình dạng tương ứng với trục thực, có dư lượng để gia công. Trên trục máy thường có nhiều bậc và đôi với máy điện hiện đại có đường kính đến 100 mm thường thiết kế đường kính các bậc thang kế nhau khác nhau rất ít và cố gắng càng ít bậc càng tốt để tăng cường sức bền của trục và tính kinh tế lúc gia công. Trong lòng trục lúc đó tuy có tăng nhưng không đáng kể vì trục chỉ chiếm từ 6 đến 10% trọng lượng của máy. Đối với trục đường kính lớn, do làm bằng thép rèn nên thiết kế các bậc thang theo sức bền và độ cứng của từng bậc.

Trên trục máy thường có then. Bề rộng của then chọn theo bề rộng của then ở phần đầu trục máy và được tiêu chuẩn hóa. Ở đầu trục có lỗ tâm. Khi chọn kích thước tiêu chuẩn của lỗ tâm phải chọn lớn hơn một cấp vì trong máy điện không những lỗ tâm dùng để gia công trục mà còn để gia công những chi tiết lắp trên trục như tiện đường kính ngoài lõi sắt rôto, vành đổi chiều...

Trên trục cần tránh dùng then nghiêng để tạo ra rãnh nghiêng trên lõi sắt vì như vậy sẽ gặp khó khăn lúc chế tạo.

Đối với trục có đường ép lõi sắt nhỏ hơn 50 mm thì có thể không dùng then để cố định lõi sắt mà dùng phương pháp làm nhám.

Kích thước đầu trục được tiêu chuẩn hóa (xem phụ lục VIII).

9.2.1. Tính đồ vòng của trục

Trên trục thường có những lực tác dụng sau: trọng lượng G do bản thân lõi sắt và dây quấn sinh ra; trọng lượng K của các bộ phận khác lõi sắt như cổ góp, cánh quạt; lực kéo đầu trục P do phương thức truyền động gây nên; lực từ một phía Q do khe hở không đều sinh ra.

Thực tế là trọng lượng G và K tác dụng lên trục ở những chỗ

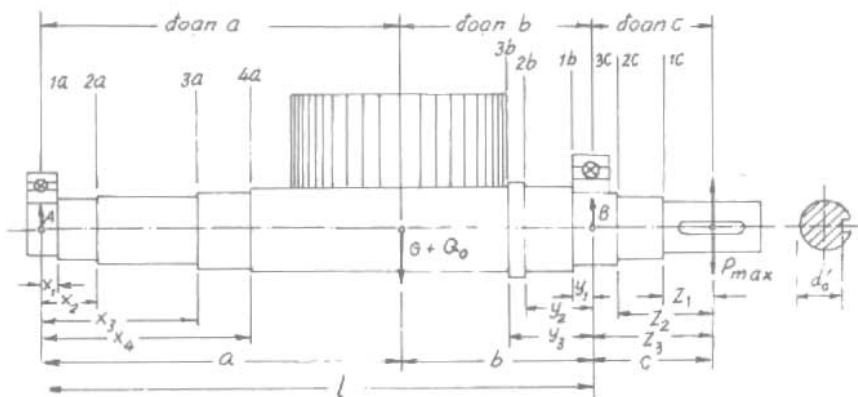
khác nhau, nhưng để đơn giản hóa tính toán ta coi như tác dụng lên cùng một chỗ ở chính giữa lõi sắt rôto và tổng trọng lượng rôto đó được tính theo công thức sau:

$$G = 6.3(D^2 l + D_G^2 l_G) 10^{-3} \quad (9-1)$$

trong đó:

D_G, l_G - đường kính và chiều dài của cổ góp;

D, l - đường kính và chiều dài lõi sắt rôto.



Hình 9-11. Để tính toán trục

Thường khi tính độ võng của trục chỉ tính ở điểm giữa chiều dài lõi sắt rôto vì thực tế là độ võng ở đây thường lớn nhất và có thể gây nguy hại làm rôto chạm vào stato.

Theo tính toán về sức bền vật liệu, nếu trục có kết cấu như ở hình 9-11 thì độ võng ở tiết diện 1-1' do tổng trọng lượng rôto G sinh ra bằng:

$$f_G = \frac{G}{3EI^2} (S_b a^2 + S_a b^2) \quad (9-2)$$

trong đó:

E - môđun đàn tính của thép. $E = 2,1.10^6 \text{ kg/cm}^2$

$$S_b = \sum \frac{y_i^3 - y_{i-1}^3}{J_i} \quad (9-3)$$

$$S_{\alpha} = \frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i}$$

ở đây $J_i = \frac{\pi}{64} d_i^4$ là mômen quán tính của tiết diện ở các bậc thang.

Lực kéo đầu trục P phải được tính lúc chịu uốn nhiều nhất nghĩa là chiều của lực P hướng lên trên (hình 9-12) theo công thức sau:

$$P = k_2 \frac{M_x}{R} \quad (9-4)$$

trong đó:

M_x - mômen xoắn điện từ (kg.m);

R - bán kính của bánh răng, trục nối hay puli (cm);

k_2 - hệ số truyền động.

Khi truyền động bằng trục nối tiếp thì $k_2 = 0,3$, truyền động bằng bánh răng thì $k_2 = 1,5$, truyền động bằng đai hình thang thì $k_2 = 1,8$ và đai dẹt thì $k_2 = 3$.

Độ võng do tác dụng của lực kéo đầu trục P ở tiết diện giữa lõi sắt bằng:

$$f_p = \frac{P_c}{3El^2} [(1,5]S_o - S_b)a + bS_a] \quad (9-5)$$

trong đó:
$$S_o = \sum \frac{y_i^2 - y_{i-1}^2}{J_i}$$

Giả thiết e_o là độ lệch tâm ban đầu của rôto khi máy chưa có dòng điện do công nghệ và độ võng do lực G và P sinh ra. Thường lấy e_o bằng:

$$e_o = 0,1\delta + f_{ct} + f_p \quad (9-6)$$

Lực từ một phía do cố độ lệch tâm ban đầu sinh ra bằng:

$$Q_o = 3DI \frac{e_o}{\delta} \quad (9-7)$$

Lực từ một phía này được tính với mật độ từ thông khe hở không khí $B_\delta \approx 0.7 T$. Dưới tác dụng của lực từ một phía này trục sẽ có độ võng là:

$$f_o = f_G \frac{Q_o}{G} = \frac{Q_o}{K} \quad (9-8)$$

trong đó $K = \frac{G}{f_G}$ gọi là độ cứng vững của trục (là lực cần thiết để sinh ra một độ võng bằng 1 cm ở điểm tác dụng)

Độ võng này làm trục thêm lệch tâm, do đó lực từ một phía lại tăng thêm và cứ tiếp tục như vậy cho đến khi trục ổn định.

Độ võng cuối cùng do lực từ một phía sinh ra bằng:

$$f_M = \frac{f_o}{1 - \frac{f_o}{e_o}} = \frac{f_o}{1 - m} \quad (9-9)$$

trong đó $m = \frac{f_o}{e_o}$.

Từ công thức trên ta thấy lực từ một phía lúc trục ổn định bằng:

$$Q = \frac{Q_o}{1 - m} \quad (9-10)$$

và điều kiện để trục làm việc ổn định là:

$$m = \frac{f_o}{e_o} < 1$$

Độ võng tổng của trục lúc làm việc ổn định là:

$$f = f_G + f_p + f_M \quad (9-11)$$

Quy định trong máy điện không đồng bộ $f < 10\%$, trong máy đồng bộ $f < 8\%$ và trong máy một chiều $f = 6\%$

9.2.2. Tốc độ giới hạn của trục máy điện

Gọi e là khoảng cách giữa tâm trục với trọng tâm của rôto thì lực ly tâm khi rôto quay với tốc độ ω sẽ bằng $\frac{G}{g}e\omega^2$, trong đó g là gia tốc trọng trường, G là trọng lực của rôto.

Lực ly tâm này làm võng trục một quãng y , y lại sinh ra lực ly tâm lớn hơn và cứ như thế cho đến lúc cân bằng với lực đàn hồi của trục. Nếu xét đến cả lực từ một phía làm trục võng thêm thì phương trình cân bằng về lực khi trục quay bằng:

$$\frac{G}{g}\omega^2(e + y) + Kmy = Ky \quad (9-12)$$

Giải phương trình này ra ta tìm được độ võng y :

$$y = \frac{e}{\frac{(1 - m)Kg}{\omega^2 G} - 1} \quad (9-13)$$

Ta thấy nếu mẫu số bằng 0 nghĩa là $\frac{G}{g}\omega^2 = K(1 - m)$ thì y tiến đến ∞ , trục mất độ bền. Tốc độ ứng với lúc ấy gọi là tốc độ giới hạn và bằng:

$$n_{gh} = 300\sqrt{\frac{1-m}{f_{t1}}} \quad (9-14)$$

Trong máy phát thủy điện thường thiết kế $n_{gh} = 1.2 n_{max}$ mà $n_{max} = 1.3n_{dm}$.

9.2.3. Tính toán độ bền của trục

Mômen xoắn truyền động trên trục bằng:

$$M_x = 97500 \frac{P_2}{n} \quad (9-15)$$

trong đó:

P_2 - công suất đầu trục tính theo kW;

n - tốc độ của máy tính theo vòng/ph

Thực tế là trục còn chịu cả mômen uốn nên ứng suất kéo tổng của hai loại mômen xoắn và uốn bằng:

$$\sigma = \frac{1}{W} \sqrt{M^2 + \alpha k M_x^2} \quad (9-16)$$

trong đó:

$W = 0.1d_0^3$ là mômen kháng uốn;

M - mômen uốn;

k - hệ số quá tải.

Thường lấy $k = 2.0$ đối với máy một chiều và xoay chiều làm việc trong điều kiện bình thường; $k = 2,5$ đối với máy xoay chiều làm việc trong điều kiện nặng nề; $k = 3$ đối với máy một chiều làm việc trong điều kiện nặng nề và $k = 4$ đối với máy phát điện.

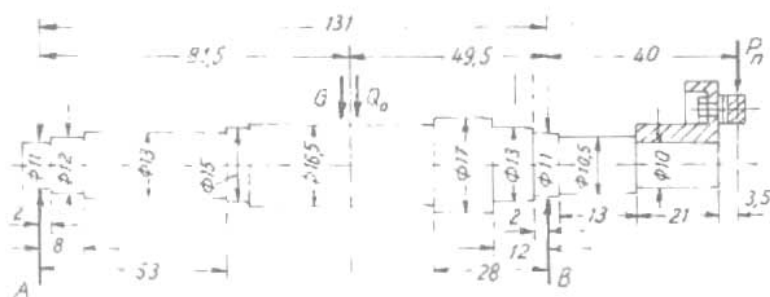
d_0 - đường kính trục trừ đi chiều sâu lỗ then (cm);

α - hệ số tỷ lệ giữa ứng suất uốn và ứng suất xoắn cho phép. Đối với máy quay không thuận nghịch, $\alpha = 0.6$; với máy quay thuận nghịch, $\alpha = 0.8$.

Thường phải nghiệm độ bền trục ở tiết diện sát ổ trục vì ở đây thường nguy hiểm nhất.

9.2.4. Ví dụ về tính toán trục

Một máy điện một chiều công suất $P_2 = 450 \text{ kW}$, tốc độ quay định mức $n = 1000 \text{ vòng/ph}$, được nối trục bằng khớp mềm.



Hình 9-12. Tính toán trục

Đường kính phân ứng $D = 59 \text{ cm}$, chiều dài phân ứng $l = 35 \text{ cm}$, đường kính cổ góp $D_G = 35 \text{ cm}$, chiều dài cổ góp $l_G = 25 \text{ cm}$, khe hở không khí $\delta = 0,4 \text{ cm}$, đường kính ở tâm các vấu của khớp nối $D_{G1} = 28,6 \text{ cm}$. Kích thước thực như ở hình 9-12

a. Tính độ võng

Trọng lượng phần ứng:

$$G = 6,3(D^2 l + D_G l_G) 10^{-3} = 6,3[59^2 \cdot 35 + 35^2 \cdot 25] 10^{-3} = 960 \text{ kg}.$$

Mômen xoắn đầu trục định mức:

$$M_x = 97500 \frac{P_2}{n} = 97500 \frac{450}{1000} = 44.000 \text{ kg.cm}.$$

Lực kéo đầu trục:

$$P = k_2 \frac{M_x}{R_0} = 0,3 \frac{44000}{(28,6 \cdot 2)} = 925 \text{ kg}.$$

Tính S_{11} , S_{12} , S_0 theo bảng sau:

Tiết diện	d cm	J cm ⁴	y cm	y ³ cm ³	y ³ - y _{i-1} ³ cm ³	y _i ³ - y _{i-1} ³ cm ³	y ² cm ²	y ² - y _{i-1} ² cm ²	y _i ² - y _{i-1} ² cm ²
-----------	---------	----------------------	---------	-----------------------------------	---	--	-----------------------------------	---	--

Phần bên phải trục

1b	11	719	2	8	8	0,01	4	4	0,006
2b	13	1425	12	1720	1712	120	144	140	0,01
3b	16	3400	28	22000	20280	516	780	536	0,16
4b	16,5	3700	49,5	121000	99000	26,80	2450	1670	0,45
						$S_D = 33,17$	$S_o = 0,71$		
Tiết	d	J _i	x _i	x _i ³	x _i ³ - x _{i-1} ³	$x_i^3 - x_{i-1}^3$ J _i			
diện	cm	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴			

Phần bên trái trục

1a	11	719	2	8	8	0,01			
2a	12	1080	8	512	504	0,47			
3a	13	1425	53	15.000	14.488	10,10			
4a	15	2530	57	185.000	170.000	67			
5a	16,5	3700	81,5	540.000	355.000	96			
						$S_B = 173,6$			

Độ võng trục f_G do trọng lượng roto gây nên ở tiết diện 1-1':

$$f_G = \frac{G}{3EI^2} (S_b a^2 + S_d b^2) =$$

$$= \frac{960}{3 \times 2,1 \cdot 10^6 \times 131^2} [33,17 \times 81,5^2 + 173,6 \times 49,5^2] = 0,012 \text{ cm.}$$

Độ võng trục f_P do lực đầu trục P gây nên ở tiết diện 1-1':

$$f_P = \frac{P_c}{3EI^2} [(1,5)S_o - S_b)a + bS_d] =$$

$$= \frac{925 \times 40}{3 \times 2,1 \cdot 10^6 \times 131^2} [(1,5 \times 131 \times 0,71 - 33,17)81,5 + 49,5 \times 173,6] =$$

$$= 0,0056 \text{ cm.}$$

Độ lệch tâm ban đầu e_o :

$$e_o = 0,1\delta + f_G + f_P = 0,04 + 0,012 + 0,0056 = 0,058 \text{ cm.}$$

Lực từ một phía ban đầu:

$$Q_o = 3DI \frac{e_o}{\delta} = 3 \times 59 \times 35 \times \frac{0,058}{0,4} = 900 \text{ kg.}$$

Độ võng f_M do lực từ một phía gây ra ở tiết diện 1-1'

$$f_M = \frac{f_o}{1 - m} = \frac{0,011}{1 - 0,2} = 0,0138 \text{ cm.}$$

trong đó:

$$f_o = f_G \frac{Q}{G} = 0,012 \cdot \frac{900}{960} = 0,011 \text{ cm}$$

$$m = \frac{f_o}{e_o} = \frac{0,011}{0,056} = 0,2.$$

Độ võng tổng ở tiết diện 1-1':

$$f = f_G + f_P + f_M = 0,012 + 0,0056 + 0,0138 = 0,0314 \text{ cm}$$

Độ võng này bằng 7,5% δ nên cho phép.

b. Tốc độ giới hạn

$$n_{gh} = 300 \sqrt{\frac{1 - m}{f_c}} = 300 \sqrt{\frac{1 - 0,2}{0,012}} = 7700 \text{ vòng/ph}$$

Tốc độ này cao hơn hẳn tốc độ định mức nên độ cứng của trục coi như đạt yêu cầu.

c. Tính độ bền của trục

. Kiểm nghiệm ở tiết diện 1-c:

Mômen uốn:

$$M = kPl = 2 \times 925 \times 24,5 = 45000 \text{ kg.cm.}$$

ở đây lấy hệ số quá tải $k = 2$.

Mômen kháng uốn:

$$W = 0,1 d_0^3 = 0,1 \times 9,2^3 = 78 \text{ cm}^3.$$

Ứng suất kéo của trục ở tiết diện 1-c:

$$\sigma = \frac{\sqrt{M^2 + (\alpha k M_v)^2}}{W} = \frac{\sqrt{45000^2 + (0,8 \times 2 \times 44000)^2}}{78} \\ = 1070 \text{ kg/cm}^2$$

ở đây lấy $\alpha = 0,8$

. Kiểm nghiệm ở tiết diện 2-c

Mômen uốn:

$$M = 2 \times 925 \times 37,5 = 70\,000 \text{ kg.cm.}$$

Mômen kháng uốn:

$$W = 0,1 \times 10,5^3 = 115 \text{ cm}^3$$

Ứng suất kéo của trục ở tiết diện 2-c:

$$\sigma = \frac{\sqrt{70.000^2 + (0,8 \times 2 \times 44.000)^2}}{115} = 850 \text{ kg/cm}^2.$$

. Kiểm nghiệm các tiết diện trong đoạn b của trục.

Phản lực B trên ổ trục B được tính theo công thức:

$$B = (G + Q) \frac{a}{l} + P \frac{c}{l} =$$

$$= (960 + 1100) \frac{81.5}{131} + 2 \times 925 \frac{171}{131} = 4700 \text{ kg}$$

trong đó:

$$Q = \frac{Q_0}{1-m} = \frac{900}{1-0.2} = 1100 \text{ kg.}$$

Mômen uốn ở tiết diện 1-b:

$$M = kPl_p + Bl_b = 2 \times 925 \times 42 + 4700 \times 2 = 87400 \text{ kg.cm}$$

trong đó l_p và l_b là chiều dài từ điểm tác dụng của lực P và B đến tiết diện 1-b.

Ứng suất ở tiết diện 1-b:

$$\sigma = \frac{\sqrt{87400^2 + (0.8 \times 2 \times 44000)^2}}{133} = 840 \text{ kg cm}^2$$

trong đó:

$$W = 0.1 \times 11^3 = 133 \text{ cm}^3$$

Mômen uốn ở tiết diện 2-b:

$$M = 2 \times 925 \times 52 + 4700 \times 12 = 151000 \text{ kg.cm}$$

Ứng suất ở tiết diện 2-b:

$$\sigma = \frac{\sqrt{151000^2 + (0.8 \times 2 \times 44000)^2}}{220} = 760 \text{ kg.cm}^2$$

trong đó

$$W = 0.1 \times 13^3 = 220 \text{ cm}^3$$

Kiểm nghiệm các tiết diện trong đoạn a của trục

Phản lực A trên ổ trục A được tính theo công thức:

$$A = (G + Q) \frac{b}{l} + P \frac{c}{l} =$$

$$= (960 + 1100) \frac{49.5}{131} + 2 \times 925 \times \frac{40}{131} = 1345 \text{ kg}$$

Mômen uốn ở tiết diện 1-a:

$$M = A l_a = 1345 \times 2 = 2690 \text{ kg.}$$

trong đó l_a là chiều dài từ điểm tác dụng của lực A đến tiết diện 1-a

Ứng suất ở tiết diện 1-a:

$$\sigma = \frac{2690}{133} = 20 \text{ kg/cm}^2$$

trong đó:

$$W = 0,1 \times 11^3 = 133 \text{ cm}^3.$$

Mômen uốn ở tiết diện 2-a:

$$M = 1345 \times 8 = 10800 \text{ kg.cm}$$

Ứng suất uốn ở tiết diện 2-a:

$$\sigma = \frac{10800}{170} = 64 \text{ kg/cm}^2$$

trong đó:

$$W = 0,1 \times 12^3 = 170 \text{ cm}^3$$

Mômen uốn ở tiết diện 3-a:

$$M = 1345 \times 53 = 71500 \text{ kg.cm.}$$

Ứng suất uốn ở tiết diện 3-a:

$$\sigma = \frac{71500}{220} = 325 \text{ kg/cm}^2$$

trong đó:

$$W = 0,1 \times 13^3 = 220 \text{ cm}^3.$$

Mômen uốn ở tiết diện 4-a:

$$M = 1345 \times 57 = 77000 \text{ kg.cm.}$$

Ứng suất uốn ở tiết diện 4-a:

$$\sigma = \frac{77000}{340} = 225 \text{ kg/cm}^2$$

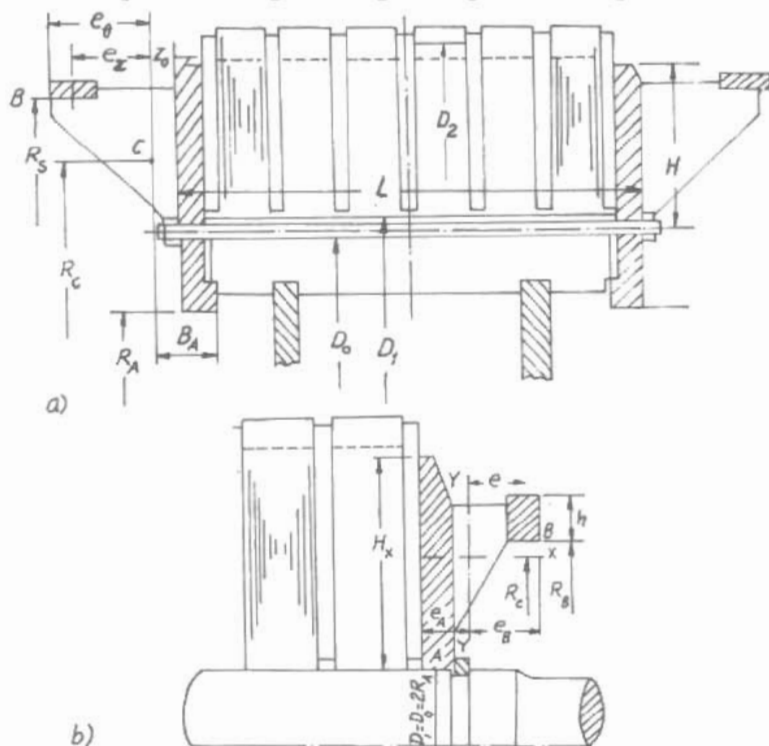
trong đó:

$$W = 0,1 \times 15^3 = 340 \text{ cm}^3.$$

9.3. TÍNH TOÁN VÀNH ÉP RÔTÔ

Vành ép ở hai đầu lõi sắt được giữ chặt bằng bulông xuyên qua chiều dài lõi sắt đối với máy lớn (hình 9-13a) hoặc bằng những vòng chốt đối với máy nhỏ và trung bình (hình 9-13b)

Áp suất của lõi sắt lên vành ép vào khoảng 5 đến 10 kg/cm^2 . Bề mặt của vành ép trên đó chịu tác dụng của lực ép đàn hồi lõi sắt có thể tính theo diện tích hình vành khăn có đường kính ngoài là vòng tròn qua phần giữa của các rãnh (nếu vành ép ép cả các rãnh của lõi sắt) hoặc đường kính qua chân rãnh của lõi sắt và đường kính trong D bằng đường kính trong của lõi sắt.



Hình 9-13. Lõi sắt rôto

a. dùng bulông cố định; b. dùng chốt cố định

Vành ép chịu một mômen xoắn đều trên chu vi. Mômen này được tính theo công thức sau:

$$M = PCR_2 \quad (9-17)$$

trong đó:

$P = \pi(R_2^2 - R_1^2)p$ - áp lực lên vành ép;

p - áp suất lên vành ép;

R_2, R_1 - bán kính ngoài và trong của vành ép;

$C = \left(\frac{2}{3} \frac{1-\alpha^3}{1-\alpha^2}\beta\right)$ là một hệ số

$$\alpha = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{và} \quad \beta = \frac{R_0}{R_2}$$

R_0 - bán kính điểm tác dụng của phản lực ép.

Ứng suất do mômen xoắn sinh ra ở một điểm bất kỳ trên vành ép bằng:

$$\sigma_{1x} = \frac{Me_x}{2\pi J} \frac{R_c}{R_x} \quad (9-18)$$

trong đó:

e_x - hoành độ của điểm x ;

R_x - bán kính ở điểm x ;

R_c - bán kính ở trọng tâm của vành ép

Vành ép khi quay còn chịu lực ly tâm do bản thân trọng lượng của vành ép sinh ra. Ứng suất ở điểm x do lực ly tâm đó sinh ra bằng:

$$\sigma_{2x} = \frac{R_c^2}{10} \left(\frac{n}{1000}\right)^2 \frac{R_c}{R_x} \quad (9-19)$$

Vành ép thường đồng thời làm giá đỡ đầu dây quấn. Dưới tác dụng của mômen xoắn và lực ly tâm, ứng suất lớn nhất tập trung ở điểm có e_x lớn nhất hoặc R_x nhỏ nhất, nghĩa là ở điểm B và A (hình 9-14). Ứng suất ở hai điểm đó bằng:

$$\sigma_A = \left[\frac{M}{2\pi J} e_A + \frac{R_c^2}{10} \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \right] \frac{R_c}{R_A} \quad (9-20)$$

$$\sigma_B = \left[\frac{M}{2\pi J} e_B - \frac{R_c^2}{10} \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \right] \frac{R_c}{R_B}$$

Ứng suất cho phép của vật liệu làm vành như sau:

Gang	12-28	$\sigma_{cp} = 400 \text{ kg/cm}^2$
Thép	CT3	$\sigma_{cp} = 1000 \text{ kg/cm}^2$
	CT5	$\sigma_{cp} = 1200 \text{ kg/cm}^2$

Nếu vành ép làm bằng thép hàn thì phải nghiệm lại ứng suất mối hàn.

9.4. TÍNH TOÁN NÊM VÀ ĐAI TRÊN LỖI SẮT RÔTÔ

9.4.1. Nêm

Khi rô-tô quay, dây đồng đặt trong rãnh sẽ bị lực ly tâm làm văng ra nên nêm phải chịu lực tác dụng. Cần phải tính ứng suất của nêm.

Gọi $n_{\max}$ là tốc độ cao nhất của rô-tô; D là đường kính ngoài rô-tô; h_r là chiều cao của rãnh; b_r là chiều rộng rãnh; h_n là chiều dày của nêm; m , n là chiều cao và chiều rộng dây dẫn trong rãnh; u_r là số thanh dẫn trong rãnh. Dạng nêm và rãnh như ở hình 9-14.

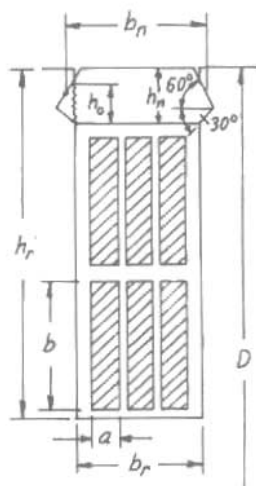
Diện tích phần đồng trong rãnh:

$$F_{Cu} = m.n.u_r$$

Trọng lượng đồng trong rãnh trên 1 cm chiều dài theo trục:

$$G_{Cu} = F_{Cu} \times 8,9.10^{-3}$$

Trọng lượng cách điện trên 1 cm chiều dài theo trục:



Hình 9-14. Nêm và rãnh phần ứng

$$G_{cd} = (b_r \cdot h_r - F_{Cu}) 2,5 \cdot 10^{-3}$$

trong đó $2,5 \text{ kg/dm}^3$ là tỷ trọng trung bình của cách điện.

Lực ly tâm của một trọng lượng G ở bán kính R bằng:

$$C = \frac{G}{9,81} \omega^2 R = 11,2 GR \left(\frac{n}{1000}\right)^2 = 5,6 GD \left(\frac{n}{1000}\right)^2 \quad (9-21)$$

Lực ly tâm của dây quấn đặt trong rãnh trên $l \text{ cm}$ chiều dài bằng:

$$C = 5,6(G_{Cu} + G_{cd})(D - h_r) \left(\frac{n_{\max}}{1000}\right)^2 \quad (9-22)$$

Ứng suất kéo mà nêm phải chịu:

$$\sigma = 1,5 \frac{C b_n}{h_n^2} \quad (9-23)$$

Ứng suất cắt của nêm bằng:

$$\tau = 0,5 \frac{C}{h_n} \quad (9-24)$$

Từ công thức (9-23) được chiều cao nêm:

$$h_n \geq 1,22 \sqrt{\frac{C \cdot b_n}{\sigma_{cp}}} \quad (9-25)$$

Ứng suất cho phép σ_{cp} và τ_{cp} như sau:

Nêm gỗ: $\sigma_{cp} = 60 \div 80 \text{ kg/cm}^2$
 $\tau_{cp} = 20 \text{ kg/cm}^2$

Nêm bakelít: $\sigma_{cp} = 250 \text{ kg/cm}^2$
 $\tau_{cp} = 150 \text{ kg/cm}^2$

Chú ý tỷ số kích thước h_n/b_n không nên nhỏ hơn 0,25.

Kích thước nêm được tiêu chuẩn hóa

9.4.2. Tính toán đai

Tính dây đai ở đầu dây quấn

Lực ly tâm của dây quấn ở phần đầu nối bằng:

$$C_1 = 5,6 G_d D_0 \left(\frac{n_{\max}}{1000} \right)^2 \quad (9-26)$$

trong đó $G_d = 1,2 \times 0,7 \pi a b u_r Z \times 8,9 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ là trọng lượng đầu dây quấn mà đai phải chịu. Trong công thức này hệ số 1,2 xét đến trọng lượng cách điện; 0,7 π là chiều dài phần đầu nối dây quấn; $a \times b$ là tiết diện thanh dẫn; u_r là số vòng dây trong một rãnh; Z là số rãnh; D_0 là đường kính bình quân của dây quấn.

Ứng suất do lực ly tâm của dây quấn tác dụng lên đai bằng:

$$\sigma_1 = 1,13 \frac{G D_0}{d^2 W} \left(\frac{n_{\max}}{1000} \right)^2 \quad (9-27)$$

trong đó:

d - đường kính dây đai;

W - số vòng dây đai

Lực ly tâm của bản thân đai:

$$C_2 = 5,6 \pi D^2 S \gamma \left(\frac{n_{\max}}{1000} \right)^2 \quad (9-28)$$

trong đó:

S - tiết diện của tất cả đai;

γ - tỷ trọng của dây đai.

Ứng suất do lực ly tâm của bản thân đai sinh ra:

$$\sigma_2 = 0,022 D^2 \gamma \left(\frac{n_{\max}}{1000} \right)^2 \quad (9-29)$$

Tổng ứng suất lên đai bằng:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (9-30)$$

Sử dụng các công thức (9-27), (9-29), (9-30) tìm ra số dây đai cần thiết:

$$W = 1,13 \frac{G D_0}{d^2 (\sigma_{cp} - \sigma_2)} \left(\frac{n_{\max}}{1000} \right)^2 \quad (9-31)$$

Thường chọn $\sigma_{cp} = 3000 \text{ kg/cm}^2$ đối với dây thép thường.

9.5. RÔTO CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Ở các máy điện nhỏ, cực từ được bắt chặt lên gông từ bằng bulông. Ứng suất trên bulông không lớn nhưng kết cấu này có bất lợi như đầu bulông cắm ngập vào trong mặt cực làm giảm từ trường của khe hở không khí. Khi máy có công suất trên 100 kW thì người ta dùng rôto có cực từ hình đuôi nhạn hay hình chữ T và cực từ được cố định chặt trên gông từ bằng các nêm đóng vào đuôi nhạn hay đuôi hình chữ T.

Ở các máy có đường kính gông từ lớn, tốc độ chậm, thì gông từ của rôto được chế tạo thành một vành bằng thép hàn trên giá đỡ. Cực từ được cố định trên vành bằng bulông bắt từ phía trong ra.

9.5.1. Tính toán cực từ của máy điện đồng bộ

a. Tính ứng suất kéo của bulông nếu cực từ được cố định bằng bulông

Ứng suất trên bulông bằng:

$$\tau = \frac{C}{mS} \quad (9-32)$$

trong đó:

$$C = \frac{C_l}{2p} - \text{lực ly tâm của một cực từ và dây quấn;}$$

C_l - lực ly tâm của tất cả các cực từ;

m - số bulông của một cực từ;

S - tiết diện bulông ở chỗ nhỏ nhất;

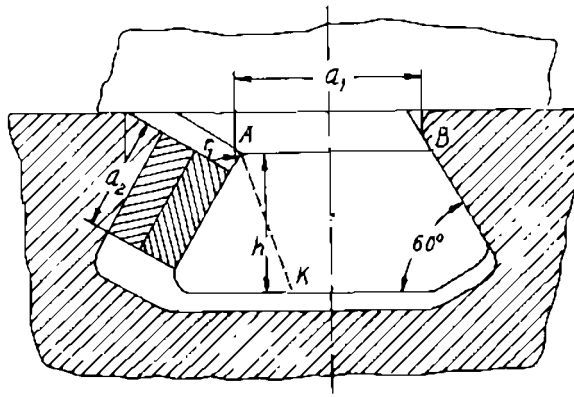
p - số đôi cực.

Ứng suất cho phép σ_{cp} đối với thép 30 bằng 1000 kg/cm^2 và thép 35 là 1200 kg/cm^2 .

Nếu cực từ có đuôi hình chữ T thì phải tính lực ly tâm của cực từ và dây quấn trên 1 cm chiều dài theo hướng trục rồi tra

phụ lục về tiêu chuẩn đuôi chữ T.

Nếu đuôi cực từ hình đuôi nhan (hình thang) như ở hình 9-15 thì phải tính ứng suất ở chỗ hẹp nhất của đuôi (tiết diện theo đường AA trên hình).



Hình 9-15. Đuôi cực hình thang

Ứng suất đo bằng:

$$\sigma_d = 1,65 \frac{C}{a_1}$$

Lực ép lên hai then chèn (nếu mặt nghiêng là 60°):

$$Q = \frac{C}{2 \cos 60^\circ} = C$$

Do đó ứng suất nén lên then chèn bằng:

$$\sigma_{lc} = \frac{C}{a_2} \quad (9-33)$$

trong đó a_1, a_2 là các kích thước ghi trong hình 9-14.

Đuôi cực từ chịu một mômen uốn do đó ứng suất ở tiết diện nguy hiểm AK bằng:

$$\sigma_u = 1,86 \frac{C}{h} \quad (9-34)$$

b. Tính số giá ép dây quấn kích từ và lực trên giá ép

Ứng suất của đoạn dây quấn kích từ nằm giữa các cực từ:

$$\sigma = 0,05 \left(\frac{2r+1}{2b} \right) (2r + L)^2 \left(\frac{n_{max}}{1000} \right)^2 K \quad (9-35)$$

trong đó:

l, L - các phần thẳng của dây quấn kích từ (hình 9-16);

r - bán kính lượn cong của dây quấn kích từ;

b - chiều rộng của dây quấn kích từ.

K là hệ số được xác định theo công thức sau:

$$K = \frac{3\pi\mu^3 + 6(\pi - 1)\mu^2 + 6\mu + 1}{(\pi\mu + 1)(2\mu + 1)^2}$$

ở đây $\mu = \frac{r}{L}$

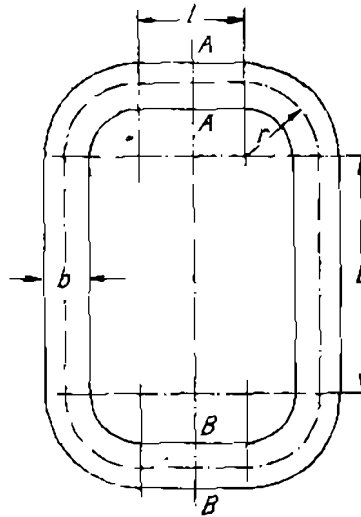
Công thức (9-35) có thể đơn giản hóa như sau:

$$\sigma = K(2r + L)^2$$

Nếu ứng suất tính ra lớn hơn ứng suất cho phép của đồng ($\sigma_{cp} = 500 \text{ kg/cm}^2$) thì phải có giá ép dây quấn kích từ.

Số giá ép cần thiết bằng:

$$m = \sqrt{\frac{\sigma}{500}} - 1 \quad (9-36)$$



Hình 9-16. Dây quấn kích từ

c. Tính ứng suất uốn của đuôi mắt cựa

Mômen uốn tác dụng lên tiết diện BB của mặt cựa (hình 9-17)

$$M = C_o l_o + C_k l_k \quad (9-37)$$

trong đó:

C_o , C_k - lực ly tâm của 1 cm chiều dài dây quấn kích từ và

đuôi cực từ theo hướng trục cực từ.

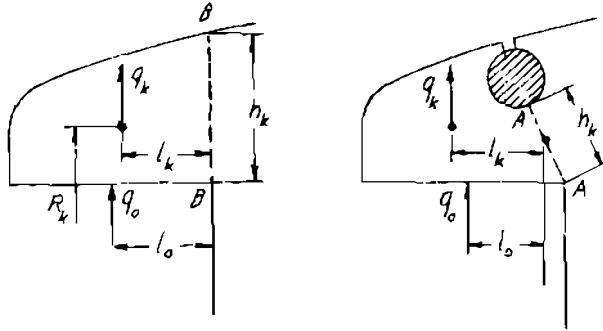
l_0, l_k - khoảng cách từ các lực trên đến tiết diện BB

Ứng suất uốn của đuôi magnet cực từ ở mặt cắt BB bằng:

$$\sigma = \frac{6M}{h_k^2} \quad (9-38)$$

trong đó h_k là chiều cao đuôi magnet cực từ ở tiết diện BB .

Ứng suất cho phép đối với thép dày 1 mm là 700 kg/cm^2 ; với thép dày 1,5 mm là 1000 kg/cm^2 .



Hình 9-17. Lực tác dụng lên đuôi cực từ

Nếu magnet có dây quấn cân thì l_k và h_k phải lấy như trong hình 9-17b.

9.6. TÍNH TOÁN BULÔNG BẮT CỰC TỪ MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

9.6.1. Tính toán bulông bắt cực từ chính

Lực tác dụng lên magnet cực từ do mômen tải sinh ra bằng:

$$Q = \frac{kM_x}{pD} \quad (9-39)$$

trong đó mômen xoắn M_x bằng:

$$M_x = 97500 \frac{P_2}{n}$$

k - hệ số quá tải;

p, D - số đôi cực và đường kính phần ứng.

Lực Q và trọng lượng G của cực từ và dây quấn kích từ không phải dùng để cắt bulông mà làm cho cực từ bị xô dịch đi (hình 9-18).

Hệ số ma sát thường lấy bằng 0,2, do đó lực tác dụng lên bulông bằng:

$$P = \frac{Q + G}{0,2}$$

Ứng suất trên bulông bằng:

$$\sigma = \frac{Q + G}{0,2mF_0} \quad (9-40)$$

trong đó:

m - số bulông;

F_0 - tiết diện bulông trừ đi ren.

Ứng suất cho phép đối với thép CT3 là 600 kg/cm^2

9.6.2. Tính toán cực từ phụ

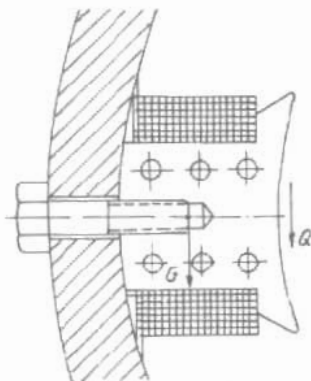
Trên cực từ phụ có các lực tác dụng sau: lực từ giữa nó với các cực từ chính hai bên trọng lượng G' của cực từ phụ và dây quấn (hình 9-17).

Lực từ kéo của các mặt cực từ chính hai bên bằng:

$$Q_1 = hL \frac{F_c F_f}{4.10^6 l_1^2} \quad (9-41)$$

trong đó:

F_c, F_f - sức từ động cực từ chính và phụ;



Hình 9-18 Lực tác dụng lên cực từ chính

L - chiều dài cực từ chính.

Các kích thước khác xem ở hình 9-19.

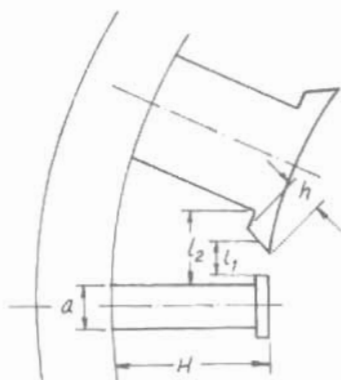
Lực từ kéo của thân cực từ chính ở hai bên cực từ phụ (giả thiết từ tản của thân cực từ phân bố theo hình tam giác):

$$Q_2 = (H - h)L \frac{F_c - F_l}{18 \cdot 10^6 l_1^2} \quad (9-42)$$

Vậy lực kéo của bulông phải lớn hơn trị số sau để cực từ phụ không bị xô dịch:

$$P' = \frac{Q_1 + Q_2 + G'}{0,2} \quad (9-43)$$

Vì chân của cực từ phụ rất hẹp so với cực từ chính nên dưới tác dụng của lực Q_1 (điểm tác dụng cách chân cực $\approx 0,9H$), lực Q_2 (điểm tác dụng cách chân cực $0,7H$) và của trọng lượng bản thân cực từ phụ và dây quấn G' (điểm tác dụng ở giữa cực) có khả năng sinh ra mômen làm lật cực từ phụ. Mômen đó cân



Hình 9-19. Để tính lực tác dụng lên cực từ phụ

bằng với mômen do bulông cực từ phụ kéo lại. Lực đó bằng:

$$P'' = \frac{H}{0,5a} (0,9Q_1 + 0,7Q_2 + 0,5G') \quad (9-44)$$

Ứng suất lớn nhất đối với bulông:

$$\sigma = \frac{P}{mF_0} \quad (9-45)$$

trong đó P - lực lớn nhất trong hai lực P' và P'' .

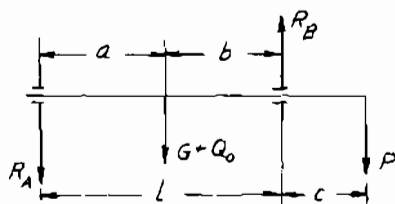
Chú ý: Khi tính F_l phải tính lúc quá tải. Đối với máy điện thường hệ số quá tải $k = 2$; trong máy cân thép $k = 3$.

9.7. TÍNH TOÁN GỠ TRỤC

Máy điện có thể dùng gổ trục là ổ bi hay ổ trượt. Máy điện loại nhỏ và vừa hiện nay dùng ổ bi. Chỉ trong những máy nhỏ yêu cầu không có tiếng ồn mới dùng bạc. Máy cỡ lớn phải dùng ổ trượt.

Ổ bi có những ưu điểm sau: kích thước nhỏ, kết cấu gọn, độ mòn không lớn, bảo dưỡng đơn giản, tổn hao ma sát nhỏ. Điều này rất quan trọng đối với những máy thường khởi động.

Để giữ mỡ trong ổ bi ta dùng hai nắp mỡ đặt hai bên. Để mỡ khỏi chảy ra, trên đường kính trong nắp mỡ có tiện những rãnh rỗng quãng $0,3 \div 0,4 \text{ cm}$. Muốn mỡ lỏng không chảy ra chỉ cần $3 \div 4$ rãnh là đủ.



Hình 9-20 Bố trí lực tác dụng để tính phản lực R của hai ổ bi

Quan hệ giữa tuổi thọ, số vòng quay và tải của ổ bi như sau:

$$C = Q(nh)^{0.3} \quad (9-46)$$

trong đó:

h - tuổi thọ của ổ bi (giờ);

n - tốc độ định mức (vòng/ph);

C - hằng số năng lực làm việc của ổ bi;

Q - tải đẳng trị.

Q được xác định theo công thức sau:

$$Q = (R + mA)k_f \quad (9-47)$$

ở đây: R - tải hướng kính với tải định mức và chịu lực ở điều kiện xấu nhất, nghĩa là phản lực R của ổ bi có chiều như trong hình 9-20.

Với ổ bi ở phía đuôi máy

$$R_A = (G + Q_a) \frac{c}{l} + P \frac{b}{l} \quad (9-48)$$

Ở phía truyền động:

$$R_B = (G + Q_a) \frac{a}{l} + P \frac{l + c}{l} \quad (9-49)$$

Trong công thức (9-47), A là tải hướng trục. Nếu không có tải hướng trục rõ ràng thì lấy $A = 0,1R$.

Cũng trong công thức (9-47), m là hệ số quy đổi từ lực hướng trục ra hướng kính. Với ổ bi $m = 1,5$; k_1 là hệ số xét đến tính chất của tải. Khi tải thay đổi ít, lấy $k_1 = 1,5$; khi tải thay đổi nhiều và rung ít, lấy $k_1 = 2$ và khi tải thay đổi nhiều và rung mạnh thường xuyên thì lấy $k_1 = 3$.

Từ công thức (9-46) rút ra tuổi thọ của ổ bi:

$$h = \frac{1}{n} \left(\frac{C}{Q} \right)^{10/3} \quad (9-50)$$

Khi nghiệm tuổi thọ thường lấy $h \geq (15 + 20)10^3$ giờ.

Tính toán máy điện không đồng bộ

10.1. ĐẠI CƯƠNG

Máy điện không đồng bộ do kết cấu đơn giản, làm việc chắc chắn, sử dụng và bảo quản thuận tiện, giá thành rẻ nên được sử dụng rộng rãi trong nền kinh tế quốc dân, nhất là loại công suất dưới 100 kW.

Động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc cấu tạo đơn giản nhất (nhất là loại rôto lồng sóc đúc nhôm) nên chiếm một số lượng khá lớn trong loại động cơ điện công suất nhỏ và trung bình. Nhược điểm của loại này là điều chỉnh tốc độ khó khăn và dòng điện khởi động lớn (thường bằng $6 \div 7$ lần dòng điện định mức). Để bổ khuyết cho nhược điểm này, người ta đã chế tạo động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc nhiều tốc độ và dùng rôto rãnh sâu, lồng sóc kép để hạ dòng điện khởi động, đồng thời tăng mômen khởi động lên.

Động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn có thể điều chỉnh được tốc độ trong một chừng mực nhất định, có thể tạo một mômen khởi động lớn mà dòng khởi động không lớn lắm, nhưng chế tạo có kho hơn loại rôto lồng sóc, do đó giá thành cao hơn, bảo quản cũng khó hơn.

Động cơ điện không đồng bộ được sản xuất theo kiểu bảo vệ IP23 và kiểu kín IP44. Những động cơ điện theo cấp bảo vệ IP23

dùng quạt gió hướng tâm đặt ở hai đầu của rôto động cơ điện. Trong các rôto lồng sóc đúc nhôm thì cánh quạt nhôm được đúc trực tiếp lên vành ngắn mạch. Loại động cơ điện theo cấp bảo vệ IP44 thường nhờ vào cánh quạt đặt ở ngoài vỏ máy để thổi gió ở mặt ngoài vỏ máy, do đó tản nhiệt có kém hơn so với loại IP23 nhưng bảo dưỡng máy dễ dàng hơn.

Hiện nay các nước đã sản xuất động cơ điện không đồng bộ theo dãy tiêu chuẩn. Dãy động cơ điện không đồng bộ công suất từ 0,55 đến 90 kW ký hiệu K theo Tiêu chuẩn Việt Nam 1987-1994 được ghi trong bảng 10-1. Theo tiêu chuẩn này, các động cơ điện không đồng bộ trong dãy đều chế tạo theo kiểu IP44

Ngoài tiêu chuẩn trên còn có tiêu chuẩn TCVN 315-85, quy định dãy công suất của động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc công suất từ 110 kW đến 1000 kW, gồm các cấp công suất sau: 110, 132, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800 và 1000 kW

Ký hiệu của một động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc được ghi theo ký hiệu về tên gọi của dãy động cơ điện, ký hiệu về chiều cao tâm trục quay, ký hiệu về kích thước lắp đặt dọc trục và ký hiệu về số cực.

Ví dụ 3K 250 M4 là ký hiệu động cơ điện không đồng bộ dãy K thiết kế lại lần thứ 3, chiều cao tâm trục bằng 250 mm, kích thước lắp đặt dọc trục là M và máy có 4 cực. (Kích thước lắp đặt dọc trục có ba cỡ: L (dài), M (trung bình) và S (ngắn).

Nhiệm vụ của tính toán điện từ một động cơ điện không đồng bộ là lựa chọn và tính toán kích thước của lõi sắt stato, rôto, kích thước dây quấn sao cho máy đạt được tính năng mà tiêu chuẩn đã quy định. Ngoài ra còn phải thiết kế kết cấu để tính thông gió tản nhiệt cho độ tăng nhiệt phù hợp với tiêu chuẩn. Vì vậy, tính toán điện từ và kết cấu có liên quan mật thiết trong việc tìm ra một phương án tốt nhất. Trong chương này chủ yếu giới thiệu phần tính toán điện từ.

Bảng 10.1. Hiệu suất và $\cos\varphi$ dây động cơ điện không đồng bộ 3K

Cấp công suất: kW	Hiệu suất: %					$\cos\varphi$				
	Tốc độ n: vòng/ph					Tốc độ n: vòng/ph				
	3000	1500	1000	750	600	3000	1500	1000	750	600
0.55	73.0	70.5	67.5	64.0	-	0.86	0.70	0.71	0.65	-
0.75	77.0	72.0	69.0	68.0	-	0.87	0.73	0.74	0.62	-
1.1	77.5	75.0	74.0	70.0	-	0.87	0.81	0.74	0.68	-
1.5	81.0	77.0	75.0	74.0	-	0.85	0.83	0.74	0.65	-
2.2	83.0	80.0	81.0	76.5	-	0.87	0.83	0.73	0.71	-
3.0	84.5	82.0	81.0	79.0	-	0.88	0.83	0.76	0.74	-
4	86.5	84.0	82.0	83.0	-	0.89	0.84	0.81	0.70	-
5.5	87.5	85.5	85.0	83.0	-	0.91	0.86	0.86	0.74	-
7.5	87.5	87.5	85.5	86.0	-	0.88	0.86	0.81	0.75	-
11.0	88.0	87.5	86.0	87.0	-	0.90	0.87	0.86	0.75	-
15.0	88.0	89.0	87.5	87.0	-	0.91	0.88	0.87	0.82	-
18.5	88.5	90.0	88.0	88.5	-	0.92	0.88	0.87	0.84	-
22.0	88.5	90.0	90.0	88.5	-	0.91	0.90	0.90	0.81	-
30.0	90.5	91.0	90.5	90.0	88.0	0.90	0.89	0.90	0.83	0.81
37.0	90	91.0	91.0	90.0	91.0	0.90	0.90	0.89	0.82	0.81
45.0	91.0	92.0	91.5	91.5	91.5	0.90	0.90	0.89	0.84	0.78
55.0	91.0	92.5	92.0	92.0	92.0	0.92	0.90	0.88	0.85	0.79
75.0	91.0	93.0	92.0	92.5	92.0	0.89	0.90	0.89	0.85	0.80
90.0	92.0	93.0	92.0	93.0	92.5	0.90	0.91	0.89	0.85	0.83

Khi tính toán điện từ các động cơ điện không đồng bộ ba pha phải biết các lượng định mức sau : công suất trên trục P_{dm} (W hay kW), điện áp định mức dây U_{dm} (V), cách đấu dây (Y hay Δ), tần số f_1 (Hz), tốc độ đồng bộ n_{db} (vòng/ph) hay số cực $2p$, cấp cách điện, kiểu máy, điều kiện sử dụng (nếu có)...

Nếu trong nhiệm vụ thiết kế không có yêu cầu đặc biệt thì các tính năng kỹ thuật của máy phải tuân theo quy định của tiêu chuẩn nhà nước, trong đó có tiêu chuẩn về hiệu suất, $\cos\varphi$, bội số mômen cực đại m_{max} , bội số mômen khởi động m_k và bội số dòng khởi động i_k (đối với máy không đồng bộ rôto dây quấn không có hai tiêu chuẩn sau). Ngoài ra còn có tiêu chuẩn về độ chênh nhiệt của dây quấn phần ứng.

10.2. XÁC ĐỊNH KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU

10.2.1. Xác định đường kính D và chiều dài l

Những kích thước chủ yếu của máy điện không đồng bộ là đường kính trong stato D và chiều dài lõi sắt l . Mục đích của việc chọn kích thước chủ yếu này là để chế tạo ra máy kinh tế hợp lý nhất mà tính năng phù hợp với các tiêu chuẩn nhà nước. Tính kinh tế của máy không phải chỉ là vật liệu sử dụng để chế tạo ra máy **mà** còn xét đến quá trình chế tạo trong nhà máy, như tính thông dụng của các khuôn dập, vật đúc, các kích thước và chi tiết tiêu chuẩn hóa...

Khi tính toán kích thước chủ yếu phải dựa vào hàng số máy điện như đã trình bày ở Chương 1:

$$\frac{D^2 l n}{P'} = \frac{6,1 \cdot 10^7}{\alpha_\delta k_s k_d A B_\delta} = C_A$$

Ngoài ra khi xác định kích thước kết cấu của máy điện không đồng bộ, giữa hai đường kính trong ngoài của lõi sắt stato có một quan hệ nhất định:

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

Quan hệ này phụ thuộc vào số đôi cực và được nêu trong bảng 10.2.

Bảng 10.2. Trị số của k_D

2p	2	4	6	8 - 12
k_D	0.52 - 0.57	0.64 - 0.68	0.7 - 0.72	0.74 - 0.77

Đường kính ngoài D_n có liên quan mật thiết với kết cấu máy, cấp cách điện và chiều cao tâm trục máy h đã được tiêu chuẩn hóa. Vì vậy thường chọn D_n theo h và từ đó tính ngược lại D . Ở nước ta hay dùng quan hệ giữa đường kính ngoài tiêu chuẩn D_n và công suất theo chiều cao tâm trục h của các động cơ điện không đồng bộ Hungari dây VZ cách điện cấp E và của Nga dây 4A cách điện cấp F. Quan hệ đó được cho trong bảng 10.3 và hình 10-1.

Bảng 10.3. Trị số của D_n theo h

$h, \text{ cm}$	5.0	5.6	6.3	7.1	8	9	10	11.2	13.2	16
$D_n \text{ (VZ), cm}$	-	-	-	-	13.2	13.2	17	17	20	24.5
$D_n \text{ (4A), cm}$	8.1	8.9	10	11.6	13.1	14.9	16.8	19.1	22.5	27.2

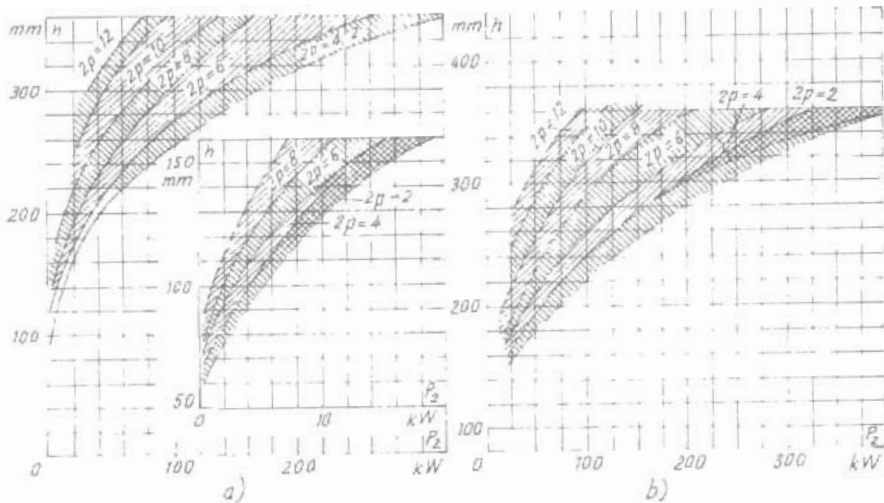
$h, \text{ cm}$	18	20	22.5	25	28	31.5	35.5	40	45	56
$D_n \text{ (VZ), cm}$	28	32	37	39	42.5	52	54	-	-	-
$D_n \text{ (4A), cm}$	31.3	34.9	39.2	43.7	52	59	66	74	85	99

Chiều dài phản ứng được tính theo công thức:

$$l = \frac{6,1 \cdot P' \cdot 10^7}{\alpha_\delta k_s k_d AB_\delta D^2 n_{dh}} \quad (10-2)$$

ở đây: $P' = \frac{k_F}{\eta} \cdot \frac{P_{dm}}{\cos \varphi}$; (10-3)

trong đó η , $\cos \varphi$ là hiệu suất, hệ số công suất định mức của máy và có thể tra ở bảng 10.1; $k_F = \frac{E}{U}$ lúc đầu tra theo hình 10-2.

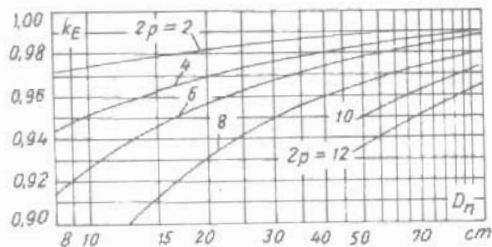


Hình 10-1. Quan hệ giữa chiều cao tâm trục h của dây 4A Nga theo công suất và số đôi cực.

a. Kiểu kín ; b. Kiểu bảo vệ IP23

Dùng từ trường hình sin để tính hệ số xung cực từ α_δ và hệ số dạng sóng k_s của máy điện không đồng bộ và ảnh hưởng của sự bằng đầu của sóng sẽ được xét đến bằng cách dùng các đường cong từ hóa riêng cho các bộ phận mạch từ. Lấy $\alpha_\delta = 2/\pi = 0,64$; $k_s = \pi/2\sqrt{2} = 1.11$.

Hệ số dây quấn k_d lúc đầu chọn theo kiểu dây quấn. Đối với dây quấn một lớp lấy $k_d = 0,95 \sim 0,96$; với dây quấn hai lớp hoặc một lớp mà $2p = 2$ thì $k_d = 0,9 \sim 0,91$, còn ở máy nhiều cực thì $k_d = 0,91 \div 0,92$.



Hình 10-2. Trị số k_E

Trong máy điện không đồng bộ, khi chiều dài lõi sắt ngắn hơn 250 ~ 300 mm, việc tản nhiệt không khó khăn lắm nên lõi thép có thể ép thành một khối, do đó chiều dài tính toán của phần ứng trên khe hở bằng chiều dài lõi sắt l_1 . Khi lõi sắt dài hơn thì phải có rãnh thông gió hướng kính, nên lúc đó chiều dài lõi sắt bằng :

$$l_1 = l + n_g b_g \quad (10-4)$$

trong đó n_g và b_g là số rãnh và chiều rộng rãnh thông gió hướng kính. Thường lấy $b_g = 1 \text{ cm}$, còn n_g thì chọn sao cho chiều dài mỗi đoạn lõi sắt vào khoảng 4 đến 6 cm.

10.2.2. Chọn A và B_δ

Việc chọn A và B_δ ảnh hưởng rất nhiều đến kích thước chủ yếu D và l. Đứng về mặt tiết kiệm vật liệu thì nên chọn A và B_δ lớn, nhưng nếu A và B_δ quá lớn thì tổn hao đồng và sắt tăng lên, làm máy quá nóng, ảnh hưởng đến tuổi thọ sử dụng máy. Do đó khi chọn A và B_δ cần xét đến chất lượng vật liệu sử dụng. Nếu dùng vật liệu sắt từ tốt (có tổn hao ít hay độ từ thẩm cao) thì có thể chọn B_δ lớn. Dung dây đồng có cấp cách điện cao thì có thể chọn A lớn. Ngoài ra tỷ số giữa A và B_δ cũng ảnh hưởng đến đặc tính làm việc và khởi động của động cơ không đồng bộ, vì A đặc trưng cho mạch điện, B_δ đặc trưng cho mạch từ.

Hệ số $\cos\varphi$ của máy chủ yếu phụ thuộc vào tỷ lệ giữa dòng điện từ hóa với dòng điện định mức.

Do dòng điện từ hóa bằng :

$$I_\mu = \frac{p \cdot F}{0,9 m_1 w_1 k_{d1}}$$

trong đó :

$F = k_\mu k_\delta F_\delta = 1,6 k_\mu k_\delta B_\delta$ là sức từ động toàn mạch;

k_μ - hệ số bão hòa của mạch từ;

k_δ, δ - hệ số khe hở và khe hở không khí;

m_1, w_1 và k_{d1} - số pha, số vòng dây và hệ số dây quấn của dây quấn stato.

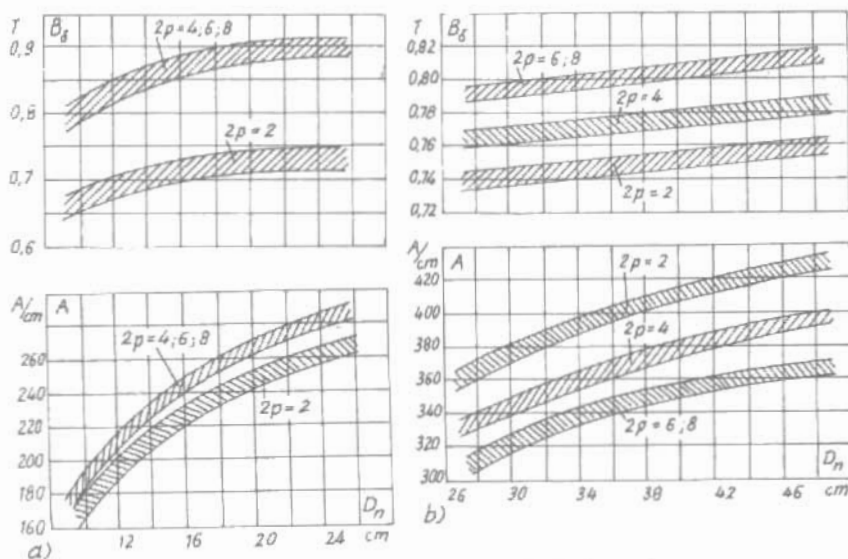
Vì tải đường $A = \frac{2m_1 w_1}{2p\tau} I_{dm}$ nên ta có:

$$\frac{I_{\mu}}{I_{dm}} = 1,78 \frac{k_{\mu} k_{\delta}}{k_{dl}} \frac{\delta}{\tau} \frac{B_{\delta}}{A} \quad (10-5)$$

Từ công thức (10-5) ta thấy khi tỷ số $\frac{B_{\delta}}{A}$ tăng, nghĩa là B_{δ} tăng hay A giảm thì I_{μ}/I_{dm} tăng, dẫn đến $\cos\varphi$ của máy giảm.

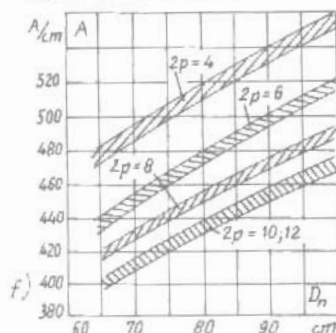
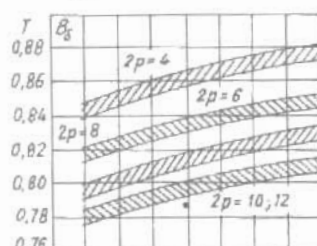
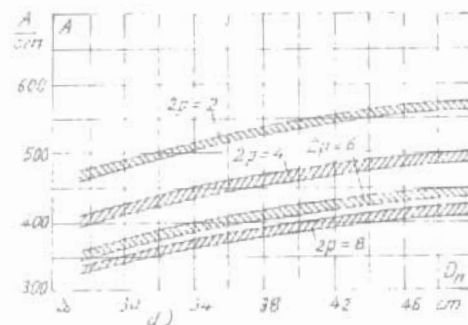
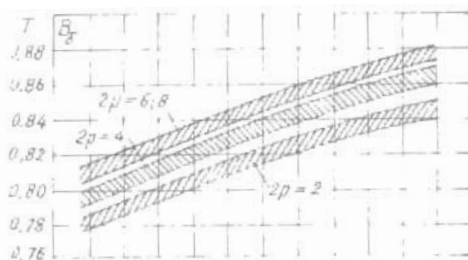
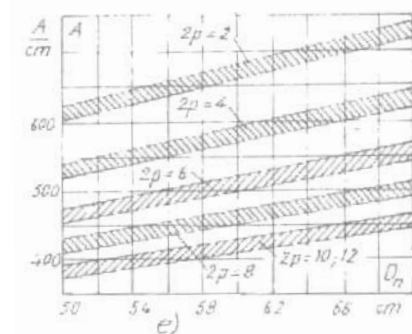
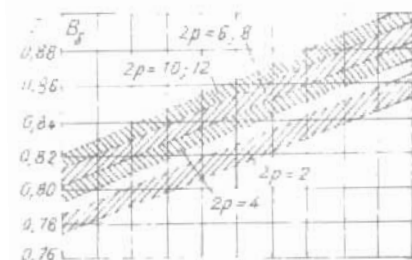
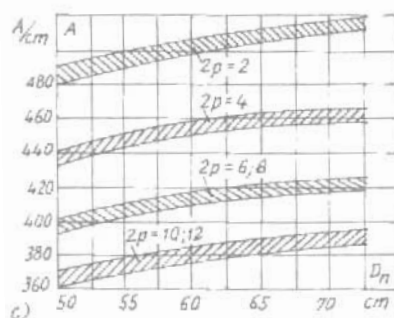
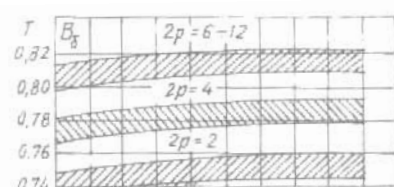
Cũng từ công thức này ta thấy đối với động cơ điện tốc độ thấp, do τ giảm nhỏ, δ/τ tương đối lớn nên I_{μ}/I_{dm} lớn, vì vậy $\cos\varphi$ của những máy tốc độ thấp sẽ thấp hơn những máy tốc độ cao.

Như đã biết, mômen khởi động M_k và mômen cực đại M_{max} tỷ lệ nghịch với diện kháng ngắn mạch x_n . Trị số x_n càng nhỏ thì M_k và M_{max} càng lớn. Trị số tương đối của diện kháng ngắn mạch x_n^* sau khi tính toán bằng:



Hình 10-3a. Tải điện từ máy điện không đồng bộ

- a. kiểu kín, tâm cao $h \leq 132 \text{ mm}$;
- b. kiểu kín, $h = 160 \div 250 \text{ mm}$;



Hình 10-3 Tải điện từ máy điện không đồng bộ

c. kiểu kín, $h \geq 280 \text{ mm}$:

d. Kiểu bảo vệ IP23 $h = 160 + 225 \text{ mm}$

e Kiểu bảo vệ IP23 $h \geq 250 \text{ mm}$

f kiểu bảo vệ IP23 $U = 6.000 \text{ V}$

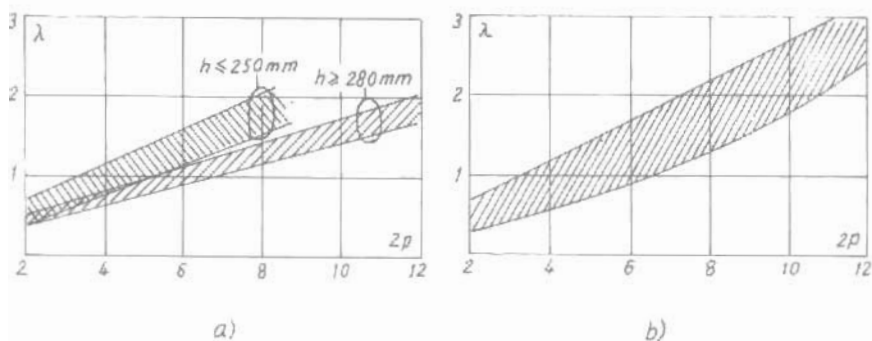
$$x_n^* = \frac{I_{dm} x_n}{U_{dm}} = \lambda \frac{A}{B_\delta} \quad (10-6)$$

trong đó λ là hệ số chỉ từ thông tản. Khi τ và tích số AB_δ không đổi thì giá trị của λ cũng là một số không đổi, vì vậy muốn giảm nhỏ x_n^* thì phải tăng B_δ và giảm A .

Quan hệ giữa A và B_δ trong máy điện không đồng bộ theo đường kính ngoài D_n được biểu thị trong hình 10-3a.

Cũng giống như các máy điện khác, việc chọn D và l cho một máy không phải chỉ có một nhóm trị số, vì vậy khi thiết kế phải cân cứ vào tình hình sản xuất mà tiến hành so sánh phương án một cách toàn diện để được một phương án kinh tế hợp lý nhất. Quan hệ giữa D và l như đã nói ở Chương 1 được biểu thị trong quan hệ $\lambda = \frac{l}{\tau}$. Ở máy điện không đồng bộ, qua những máy đã

thiết kế chế tạo và có tính năng tốt, tính kinh tế cao thì λ nên nằm trong phạm vi gạch chéo của hình 10-3b. Vì vậy khi bắt đầu thiết kế một máy mới nên nghiệm lại λ sau khi đã xác định D và l .



Hình 10-3b. Quan hệ $\lambda = l/\tau$ trong máy điện không đồng bộ
a. kiểu kín IP44; b. kiểu bảo vệ IP23

10.3. THIẾT KẾ STATO

10.3.1. Dây quấn stato

Việc chọn kiểu dây quấn và kiểu rãnh stato có thể theo cách sau :

Với điện áp $\leq 660 \text{ V}$, chiều cao tâm trục $h \leq 160 \text{ mm}$ có thể chọn dây quấn một lớp đồng tâm đặt vào rãnh 1/2 kín. Với $h = 180 - 250 \text{ mm}$ dùng dây quấn hai lớp đặt vào rãnh 1/2 kín. Với $h \geq 280 \text{ mm}$, dùng dây quấn hai lớp phần tử cứng đặt vào rãnh 1/2 hở.

Với điện áp cao, $U = 6000 \text{ V}$ dùng dây quấn hai lớp phần tử cứng đặt vào rãnh hở. Dây dẫn tiết diện tròn hiện nay thường dùng dây men cách điện cấp E trở lên. Dây dẫn tiết diện chữ nhật thường dùng loại bọc hai lớp sợi thủy tinh cách điện cấp B trở lên.

Muốn chọn kích thước dây trước hết phải chọn mật độ dòng điện J của dây dẫn. Căn cứ vào dòng điện định mức để tính ra tiết diện cần thiết. Việc chọn mật độ dòng điện ảnh hưởng đến hiệu suất và sự phát nóng của máy mà sự phát nóng này chủ yếu phụ thuộc vào tích số AJ . Tích số này tỷ lệ với suất tải nhiệt của máy. Do đó theo kinh nghiệm thiết kế chế tạo, người ta căn cứ vào cấp cách điện để xác định AJ . Trong máy điện không đồng bộ cấp F, tích số AJ_1 theo đường kính ngoài lõi sắt D_n được nêu trong hình 10-4. Nếu máy có cấp cách điện B hoặc E thì tích số AJ sẽ được lấy thấp hơn, vào khoảng $25 \div 30\%$.

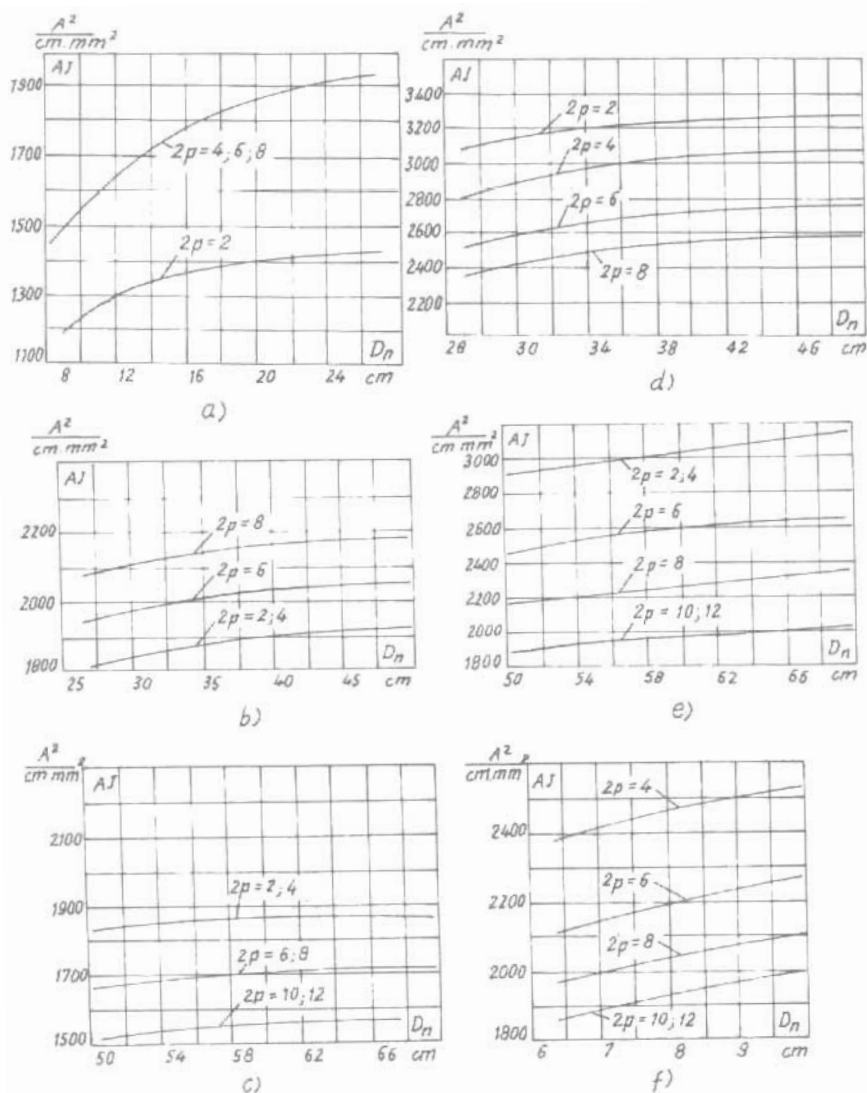
Biết được AJ_1 tính ra mật độ dòng điện J_1 theo công thức :

$$J_1 = \frac{AJ_1}{A} \quad (10-7)$$

bộ tính tiết diện dây dẫn thành phần bằng :

$$s'_1 = \frac{I_{dm}}{a_1 n_1 J_1} \quad (10-8)$$

trong đó :



Hình 10-4 Trị số AJ của máy điện không đồng bộ

- a. kiểu kín IP44 với $h \leq 132 \text{ mm}$; b. kiểu kín IP44 với $h = 160 \div 200 \text{ mm}$;
 c. kiểu kín IP44 với $h = 280 \div 355$; d. kiểu bảo vệ IP23 với $h=160 \div 250 \text{ mm}$;
 e. kiểu IP23 với $h = 280 \div 355 \text{ mm}$; f. kiểu IP23 với $U = 6000 \text{ V}$

a_1 - số mạch nhánh song song của dây quấn,

n_1 - số sợi ghép song song.

Căn cứ vào s_1 chọn tiết diện dây quy chuẩn s_1 , từ đó được đường kính dây tiêu chuẩn. Đường kính dây và tiết diện dây tiêu chuẩn có ghi trong phụ lục VI.

Chọn a_1 và n_1 thích đáng để đường kính dây không kể cách điện $d \leq 1,8 \text{ mm}$. Đối với dây men thì đường kính không lớn hơn $1,7 \text{ mm}$ khi lồng dây bằng tay và không lớn hơn $1,4 \text{ mm}$ khi lồng bằng máy để khỏi ảnh hưởng đến độ bền cơ của lớp men cách điện. Cần chú ý a phải là ước số chung của số cực.

Đối với dây dẫn tiết diện chữ nhật, phải chọn các cạnh $a \times b$ sao cho thanh dẫn đặt vừa vào bệ rãnh b_r .

10.3.2. Xác định số rãnh stato

Khi thiết kế dây quấn stato cần phải xác định số rãnh của một pha dưới mỗi cực q_1 . Nên chọn q_1 trong khoảng từ 2 đến 5. Thường lấy $q_1 = 3 \sim 4$. Với máy công suất nhỏ hoặc tốc độ thấp, lấy $q_1 = 2$. Máy tốc độ cao, công suất lớn có thể chọn $q_1 = 6$. Chọn q_1 nhiều hay ít có ảnh hưởng đến số rãnh stato Z_1 . Số rãnh này không nên nhiều quá, vì như vậy diện tích cách điện rãnh chiếm chỗ so với số rãnh ít sẽ nhiều hơn, do đó hệ số lợi dụng rãnh sẽ kém đi. Mặt khác, về phương diện độ bền cơ mà nói, rãnh sẽ yếu. Ít rãnh quá sẽ làm cho dây quấn phân bố không đều trên bề mặt lõi sắt nên sức từ động phần ứng có nhiều sóng bậc cao.

Tri số q_1 nên chọn số nguyên vì cải thiện được đặc tính làm việc và có khả năng làm giảm tiếng kêu của máy. Chỉ trong trường hợp không thể tránh được mới dùng q_1 là phân số với mẫu số là 2. Sở dĩ như vậy vì sức từ động sóng bậc cao và sóng răng của dây quấn với q là phân số trong máy điện không đồng bộ là máy có khe hở rất nhỏ, dễ sinh ra rung, mômen phụ và làm tăng tổn hao phụ.

Sau khi chọn q_1 thì số vành stato bằng:

$$Z_1 = 2mpq_1 \quad (10-9)$$

Và bước răng stato:

$$t_1 = \frac{\pi D}{Z_1} \quad (10-10)$$

Đối với rãnh 1/2 hở hoặc hở, có thể chọn Z_1 theo bước răng stato t_1 , trong đó t_1 có thể xác định theo bảng 10.4.

Bảng 10.4. Trị số t_1 theo bước cực τ

τ - cm	Điện áp U V		
	≤ 660	3000	6000
< 15	16 - 20	22 - 25	24 - 30
15 - 40	17 - 22	24 - 27	26 - 34
> 40	20 - 28	26 - 32	28 - 38

Số vòng dây tác dụng trong một rãnh bằng:

$$u_{11} = \frac{At_1 a_1}{I_{dm}} \quad (10-11)$$

trong đó A - tải đường.

Số vòng dây trong một rãnh u_{r1} phải được quy về số nguyên (nếu là dây quấn hai lớp thì phải là số nguyên chẵn)

Số vòng dây của một pha bằng:

$$w_1 = pq_1 \frac{u_{11}}{a_1} \quad (10-12)$$

Sau khi xác định chính xác w_1 thì tính lại Φ , A, B_s của máy và dùng các trị số đó để tính toán sau này.

$$\Phi = \frac{k_L \bar{U}_1}{4k_s k_{d1} w_1}$$

$$B_s = \frac{\Phi}{\alpha_s l}$$

$$A = \frac{2mw_1 l_{dm}}{\pi D}$$

10.3.3. Dạng rãnh stato

Dạng rãnh phụ thuộc vào thiết kế điện từ và loại dây dẫn. Rãnh phải được thiết kế sao cho có thể cho vừa số dây dẫn thiết kế cho một rãnh kể cả cách điện và công nghệ chế tạo dễ, mật độ từ thông trên rãnh và gông không lớn hơn một trị số nhất định để đảm bảo tính năng của máy.

Mật độ từ thông trong các phân mạch từ được chọn theo các bảng 10.5.

Bảng 10.5a. Mật độ từ thông trong gông stato

Chiều cao tâm trục h mm	Điện áp U, V	Số cực 2p	Mật độ từ thông gông B _g T	
			Kiểu máy IP44	Kiểu máy IP23
50-132	< 660	2,4	1,5 - 1,65	-
		6	1,45 - 1,6	-
		8	1,20 - 1,35	-
160 - 250	≤ 660	2,4	1,45 - 1,60	1,55 - 1,7
		6	1,35 - 1,50	1,45 - 1,6
		8	1,10 - 1,20	1,20 - 1,30
280 - 355	≤ 660	2,4, 6	1,35 - 1,50	1,45 - 1,60
		8, 10	1,30 - 1,45	1,40 - 1,55
		12	1,15 - 1,30	1,25 - 1,40
400 - 500	6000	4, 6, 8	1,30 - 1,40	1,40 - 1,50
		10	1,10 - 1,20	1,20 - 1,30
		12	0,9 - 1,00	1,00 - 1,10

Bảng 10.5b. Trị số trung bình của mật độ từ thông B , trên răng có cạnh song song

Chiều cao tâm trục h, mm	Số cực $2p$	Mật độ từ thông răng B_z, T	
		Kiểu IP44	Kiểu IP23
50 - 132	2, 4, 6	175 - 195	-
	8	170 - 190	-
160 - 250	2	175 - 195	190 - 210
	4, 6, 8	170 - 185	180 - 200
280 - 315	10 - 12	160 - 180	170 - 190

Bảng 10.5c. Trị số mật độ từ thông răng ở chỗ hẹp nhất khi rãnh có cạnh song song

Chiều cao tâm trục h, mm	Kiểu rãnh	Số cực $2p$	Mật độ từ thông răng cực đại B_{zmax}, T	
			Kiểu IP44	Kiểu IP23
280-355	nửa hở	2	175 - 195	190 - 210
		4 - 12	170 - 185	18 - 200
400 - 500	hở	4 - 12	160 - 180	170 - 190

Đối với rãnh 1/2 kín với dây dẫn tiết diện tròn, để xác định mức độ lấp đầy rãnh khi lồng dây vào rãnh thường dùng hệ số lấp đầy k_d

$$k_d = \frac{u_r d_{cd}^2}{S_{ich}} \quad (10-13)$$

trong đó:

u_r - số thanh dẫn trong rãnh;

d_{cd} - đường kính dây kể cả cách điện;

S_{rch} - tiết diện có ích của rãnh. Đó là diện tích thực của rãnh trừ đi tiết diện cách điện trong rãnh và tiết diện nêm

Thường khi thiết kế lấy $k_d = 0,7 - 0,75$ là thích hợp nhất

Miêng rãnh b_{r1} (hình 5-7) phải chọn sao cho dây dẫn vào được một cách dễ dàng. Thường chọn $b_{r1} = d_{cd} + 1,5 \text{ mm}$ trong đó d_{cd} là đường kính dây kể cả cách điện. Chiều cao miêng rãnh h_{r1} thường lấy trong khoảng $0,4 \sim 0,8 \text{ mm}$. Đối với rãnh 1/2 hờ hoặc hờ, quan hệ giữa bước rãnh t_1 và chiều rộng rãnh b_{r1} như sau:

$$t_1 = (1,8 \sim 2,2)b_{r1} \quad (10-14)$$

10.3.4. Lõi sắt stato

Lõi sắt stato máy điện không đồng bộ thường làm bằng thép lá kỹ thuật điện dày $0,5 \text{ mm}$. Trong máy có chiều cao tâm trục $h \leq 250 \text{ mm}$ thường dùng thép cán nguội ký hiệu 2211, 2212, khi $h = 280 \div 355 \text{ mm}$ dùng thép 2312 có phủ sơn bề mặt và khi $h \geq 400$ điện áp 6000 V dùng thép 2411 phủ sơn bề mặt. Tùy theo cách xử lý bề mặt lá thép mà hệ số ép chặt lá thép k_c cũng khác nhau và thường có trị số ghi trong bảng 2.2

10.4. THIẾT KẾ LỖI SẮT RÔTÔ

Sự khác nhau giữa các kiểu máy không đồng bộ là ở rô-tô. Tính năng của máy tốt hay xấu cũng là ở rô-tô. Để thỏa mãn các yêu cầu khác nhau có thể chế tạo thành loại rô-tô dây quấn, rô-tô lồng sóc đơn, rô-tô rãnh sâu, rô-tô lồng sóc kép...

Loại rô-tô dây quấn không có yêu cầu về khởi động mà chỉ phải thỏa mãn tiêu chuẩn nhà nước về hiệu suất, $\cos \varphi$, bội số mômen cực đại trong điều kiện làm việc định mức. Đối với loại rô-tô lồng sóc, tính năng của máy còn phải thỏa mãn tiêu chuẩn về khởi động là bội số mômen khởi động và bội số dòng khởi động

10.4.1. Rôto dây quấn

a. Xác định số rãnh của một pha dưới một cực

Số rãnh của một pha dưới một cực của rôto dây quấn q_2 thường lấy bằng:

$$q_2 = q_1 \pm 1$$

Rất ít khi dùng $q_2 = q_1 \pm 2$ vì q_2 càng khác xa q_1 thì tổn hao phụ trong thép càng tăng lên. Không nên chọn q_2 là phân số, chỉ trong trường hợp đặc biệt với máy nhỏ và tốc độ thấp mới thỉnh thoảng dùng $q_2 = 2\frac{1}{2}$ hoặc $q_2 = 1\frac{1}{2}$.

b. Kiểu dây quấn

Động cơ công suất đến $10 \div 15 \text{ kW}$ trước đây dùng dây quấn tiết diện tròn một lớp đồng tâm hai mặt phẳng (với $2p = 4$) hay ba mặt phẳng ($2p = 2$). Khi ấy rôto chọn rãnh $1/2$ kín hình oval hay quá lẻ với miệng rãnh $b_{j2} = 1.5 \div 2 \text{ mm}$; số pha rôto $m_2 = 3$ và nối hình sao.

Trong những năm gần đây, dây quấn rôto thường dùng loại xếp hai lớp và sơ đồ dây quấn không khác với dây quấn stato. Trong động cơ điện không đồng bộ dây 4A rôto dây quấn, dùng loại dây quấn xếp hai lớp phần tử mềm với các máy có chiều cao tâm trục $h = 160 \div 200 \text{ mm}$. Khi $h \geq 225 \text{ mm}$ dùng dây quấn sóng kiểu thanh dẫn. Ưu điểm của loại dây quấn này, ngoài việc giảm khối lượng đồng ở phần đầu nối ra còn cho phép nâng cao điện áp ở vành trượt và như vậy sẽ làm giảm nhỏ dòng điện qua chổi than. Điều này có ý nghĩa thực tế đối với các máy hiện đại không có giá nâng chổi than và ngăn mạch vành trượt.

c. Tính toán dây quấn rôto

Số vòng dây w_2 của một pha được xác định theo sức điện động

E_2 lúc rôto đứng yên
Điện áp dây trên vành
trượt lúc đứng yên $U_V = \sqrt{3}E_2$ có thể lấy trong
khoảng 150 ~ 250 V (có
thể đến 500 V).

Với dây quấn sóng
kiểu thanh dẫn, để giảm
nhỏ dòng điện qua vành
trượt có thể lấy E_2 cao hơn, nhưng U_V không nên vượt quá 1200 V.

Dòng điện pha I_2 trong rôto khi tải định mức bằng:

$$I_2 = k_l I_1 \frac{m_1 w_1 k_{d1}}{m_2 w_2 k_{d2}} \quad (10-15)$$

trong đó:

$$m_1 = m_2 = 3;$$

k_{d1}, k_{d2} - hệ số dây quấn stato và rôto;

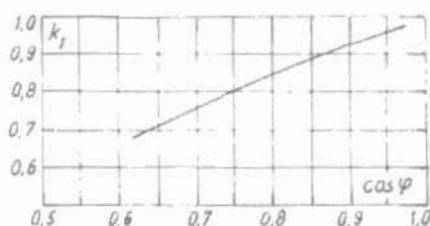
k_l - hệ số phụ thuộc chủ yếu vào $\cos \varphi$ của máy và được xác
định theo hình 10-5. Mật độ dòng điện của dây quấn một lớp và
xếp hai lớp có thể chọn trong khoảng $J_2 = 5 \div 6,5 \text{ A/mm}^2$, còn
đối với dây quấn sóng kiểu thanh dẫn thì $J_2 = 4,5 \div 5,5 \text{ A/mm}^2$
đối với cách điện cấp B và F.

d. Chọn kích thước rãnh rôto

Chọn kích thước rãnh có cạnh song
song cũng như kích thước tiết diện thanh
dẫn xuất phát từ mật độ từ thông cho
phép ở tiết diện nhỏ nhất của rãnh.
Thường chiều rộng rãnh có quan hệ với
bước rãnh rôto như sau:

$$b_{r2} = (0,4 \sim 0,45) \tau_2 \quad (10-16a)$$

Với rãnh như ở hình 10-6. miệng rãnh



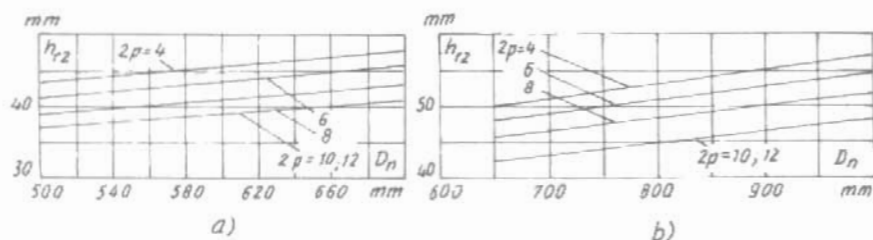
Hình 10-5. Hệ số k_l theo $\cos \varphi$



Hình 10-6. Rãnh rôto
cho thanh dẫn

thường bằng $b_{42} = 1,5 \text{ mm}$, chiều cao miệng rãnh $h_{42} = 1 \text{ mm}$.

Chiều cao rãnh h_{12} có thể chọn theo hình 10-7 và chiều cao nệm $h_n = 2,5 \text{ mm}$ khi chiều cao tâm trục $h = 280 \div 355 \text{ mm}$ và $h_n = 3,5 \text{ mm}$ khi chiều cao tâm trục $h \geq 400 \text{ mm}$.



Hình 10-7. Chiều cao rãnh rôto dây quấn theo D_n

a. $U \leq 600 \text{ V}$; $D_n = 500 \div 700 \text{ mm}$; b. $U = 6000 \text{ V}$; $D_n = 650 \div 1000 \text{ mm}$

10.4.2. Động cơ lồng sóc thường

a. Chọn số rãnh rôto Z_2

Việc chọn số rãnh rôto lồng sóc Z_2 là một vấn đề rất quan trọng, vì khe hở của máy rất nhỏ, khi khởi động mômen phụ do từ trường sóng bậc cao gây nên ảnh hưởng rất lớn đến quá trình khởi động và ảnh hưởng cả đến đặc tính làm việc. Vì vậy, để có tính năng tốt, khi chọn Z_2 phải tuân theo một sự hạn chế nhất định. Kết quả của việc nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm cho phép chọn Z_2 thích hợp có thể hạn chế các mômen phụ đồng bộ, không đồng bộ cũng như mômen phụ gây rung và ồn.

Sự phối hợp số rãnh stato Z_1 và rôto Z_2 được ghi trong bảng 10.6.

Để giảm lực ký sinh tiếp tuyến và hướng tâm, người ta thường làm nghiêng rãnh rôto hay stato, vì như vậy có thể triệt tiêu sóng điều hòa răng. Thường làm nghiêng rãnh ở rôto và nghiêng một bước răng stato.

$$b_n = \frac{\pi D}{Z_1} \quad (10-16b)$$

Bảng 10.6. Sự phối hợp số rãnh Z_1 và Z_2 theo 2p

2p	Z_1	Z_2	
		rãnh thẳng	rãnh nghiêng
2	12	9 [*] , 15 [*]	
	18	11 [*] , 12 [*] , 15 [*] 21 [*] , 22 [*]	14 [*] , (18), 19 [*] , 22 [*] 26, 28 [*] , (30), 31, 33, 34, 35
	24	15 [*] , (16 [*]), 17 [*] 19, 32	18, 20, 26, 31, 33, 34, 35
	30	22, 38	(18), 20, 21, 23 24, 37, 39, 40
	36	26, 28, 44, 46	25, 27, 29, 43, 45, 47
	42	32, 33, 34, 50, 52	-
	48	38, 40, 56, 58	37, 39, 41, 55 57, 59
4	12	9 [*]	15 [*]
	18	10 [*] , 14 [*]	18 [*] , 22 [*]
	24	15 [*] , 16 [*] , 17, (32)	16, 18, (20), 30 33, 34, 35, 36
	36	26, 44, 46	(24), 27, 28, 30 (32), 34, 45, 48
	48	34, 38, 56, 58 62, 64	(36), (38), (39), 40 (44), 57, 59
	60	50, 52, 68 70, 74	48, 49, 51, 56, 64, 69, 71
	72	62, 64, 80, 82, 86	61, 63, 68, 76 81, 83
6	36	26, 46, (48)	28 [*] , 33, 47, 49, 50
	54	44, 64, 66, 68	42, 43, 51, 65, 67
	72	56, 58, 62, 82 84, 86, 88	57, 59, 60, 61, 83 85, 87, 90
	90	74, 76, 78, 80 100, 102, 104	75, 77, 79, 101 103, 105

2p	Z_1	Z_2	
		rãnh thẳng	rãnh nghiêng
8	48	(34). 36. 44. 62. 64	35. 44. 61. 63. 65
	72	56. 58. 86. 88. 90	56. 57. 59. 85. 87. 89
	84	66. (68). 70. 98	(68). (69). (71)
	96	100. 102. 104	(97). (99). (101)
10	60	78. 82. 110. 112. 114	79. 80. 81. 83.
	90		109. 111. 113
	120	44. 46. 74. 76	57. 69. 77. 78. 79
		68. 72. 74. 76. 104	70. 71. 73. 87. 93
12		106. 108. 110. 112. 114	107. 109
		86. 88. 92. 94. 96.	99. 101. 103. 117
		98. 102. 104. 106.	123. 137. 139
		134. 136. 138. 140	
14		142. 144. 146	
	72	56. 64. 80. 88	69. 75. 80. 89. 91. 92
	90	68. 70. 74. 88. 98	(71). (73). 86. 87
	108	106. 108. 110	93. 94. (107). (109)
16		86. 88. 92. 100.	84. 89. 91. 104. 105.
		116. 124. 128.	111. 112. 125. 127.
		130. 132	
	144	124. 128. 136.	125. 127. 141
18		152. 160. 164. 166	147. 161. 163
		168. 170. 172	

Chú thích: 1. Những rãnh nằm trong dấu ngoặc kép có thể bị rung nhiễu hơn.

2. Những rãnh có dấu sao có bản dùng trong động cơ công suất nhỏ.

Khi làm nghiêng rãnh thì sự phối hợp số rãnh Z_1 và Z_2 cho phép rộng rãi hơn, tuy vậy nó làm cho mômen cực đại và $\cos\varphi$ hạ thấp xuống một ít, vì vậy không lấy b_n quá lớn.

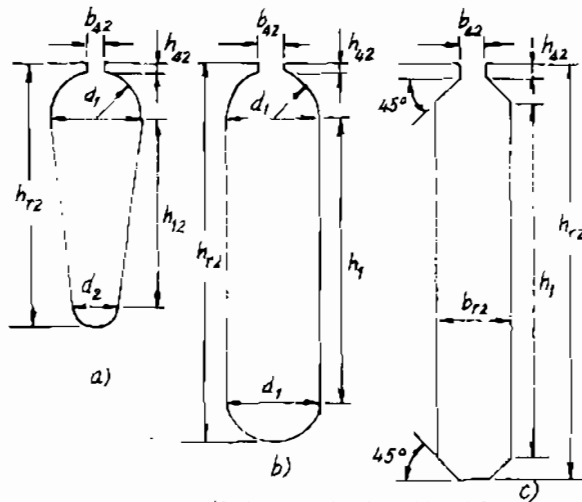
Thường trong các máy không đồng bộ công suất nhỏ chọn $Z_2 < Z_1$ để cho răng rãnh rôto khỏi quá nhỏ. Trong các máy công

suất lớn, để giảm điện kháng tản rôto, chọn $Z_2 > Z_1$

b. Dạng rãnh rôto loại thường

Thiết kế dạng rãnh cũng là xác định diện tích rãnh (tức là diện tích thanh dẫn của lồng sóc). Do điện trở r_2 và điện kháng tản x_2 của rôto có quan hệ với hình dạng rãnh rôto, nên khi stato đã thiết kế xong thì việc thiết kế dạng rãnh rôto trực tiếp ảnh hưởng đến tính năng của máy. Ngày nay, với những máy có chiều cao tâm trục $h = 50 \sim 355 \text{ mm}$ thường lồng sóc được đúc bằng nhôm, trong đó khi $h = 50 \sim 250 \text{ mm}$ thường đúc bằng áp lực, khi $h \geq 280 \text{ mm}$ thì đúc rung hay trọng lực.

Hình 10-8 là một vài dạng rãnh rôto thông dụng để tham khảo khi thiết kế. Rãnh trong hình 10-8a thường dùng trong máy không đồng bộ rôto lồng sóc có chiều cao tâm trục $h \leq 160 \text{ mm}$ trong đó thường lấy $b_{42} = 1 \text{ mm}$, $h_{42} = 0,5 \sim 1 \text{ mm}$, $d_1/d_2 = 6,5 \sim 7,5/4 \sim 6 \text{ mm}$, $h_{r2} = 10 \sim 20 \text{ mm}$



Hình 10-8. Vài dạng rãnh rôto đúc nhôm

Khi $h \geq 180 \text{ mm}$ dùng rãnh sâu hình ôvan như hình 10-8b hoặc c, trong đó $b_{42} = 1,5 \text{ mm}$, $h_{42} = 0,5 \sim 1,5 \text{ mm}$, $d_1 = d_2 = b_{r2} = 3,5 \sim 6 \text{ mm}$, $h_{r2} = 25 \sim 45 \text{ mm}$. Máy càng lớn tốc độ càng cao thì h_{r2} càng sâu.

Thiết kế rãnh rôto phải làm sao cho mật độ từ thông ở răng và gông rôto phải nằm trong phạm vi thích hợp ghi trong các

bảng 10-5. Vì vậy trước khi thiết kế rãnh, phải định kích thước tối thiểu của rãnh và gông rôto.

Mặt khác, đối với máy không đồng bộ rôto lồng sóc, tiết diện rãnh rôto đồng thời là tiết diện thanh dẫn rôto, vì vậy phải làm sao cho mật độ dòng điện trong thanh dẫn rôto thích hợp. Chọn mật độ dòng điện trong thanh dẫn $J_{td} = (2.5 \sim 3.5) A/mm^2$ khi thanh dẫn đúc nhôm và $J_{td} = (4 \sim 8) A/mm^2$ khi thanh dẫn bằng đồng, trong đó trị số lớn dùng cho máy công suất nhỏ. Mật độ dòng điện ở vành ngắn mạch J_v chọn thấp hơn J_{td} khoảng $20 \div 25\%$.

Dòng điện thanh dẫn bằng:

$$I_{td} = I_2 = k_1 I_1 \frac{m_1 w_1 k_{d1}}{m_2 w_2 k_{d2}} = k_1 I_1 \frac{6 w_1 k_{d1}}{Z_2} \quad (10-17)$$

trong đó k_1 tra ở hình 10-5.

Dòng điện trong vành ngắn mạch bằng:

$$I_v = \frac{I_{td}}{2 \sin \frac{\pi p}{Z_2}} \quad (10-18)$$

Tiết diện sơ bộ của thanh dẫn S_{td} và vành ngắn mạch S_v bằng:

$$S_{td} = \frac{I_{td}}{J_{td}} \quad (10-19)$$

$$S_v = \frac{I_v}{J_v}$$

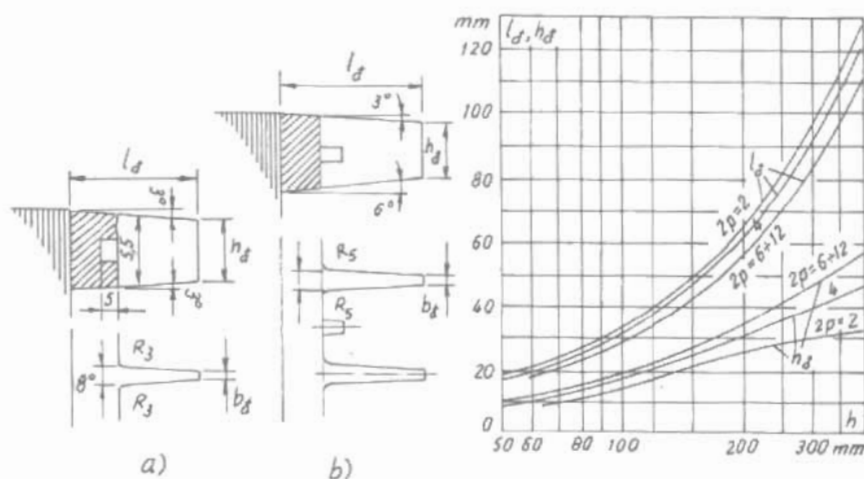
Chiều cao vành ngắn mạch thường lấy cao hơn chiều cao rãnh rôto:

$$b_v \geq 1.2 h_{r2}$$

Ở hai vành ngắn mạch thường đúc liền cánh quạt. Kích thước cánh như ở hình 10-9 và số cánh theo bảng 10-7.

Bảng 10.7. Số cánh quạt trên vành ngăn mạch

Chiều cao tâm trục h , mm	Số cánh N_c (theo số cực)			
	2	4; 6	8	10; 12
50 - 63	6	6	-	-
71 - 100	7	9	9	-
112 - 160	9	11	11	-
180	10	12	12	-
200 - 250	12	14	14	-
280 - 315	17	22	22	22
355	19	22	22	22



Hình 10-9. Kích thước cánh quạt đầu vành ngăn mạch.

a. với $h = 50 \div 132$ mm; b. với $h = 160 \div 355$ mm.

Điều cần chú ý là khi tính chiều cao gông h_{g2} cần phải biết đường kính trục. Đường kính này được xác định qua tính toán cơ vè trục, cách tính xem ở Chương 9. Khi rôto có giá đỡ trục thì

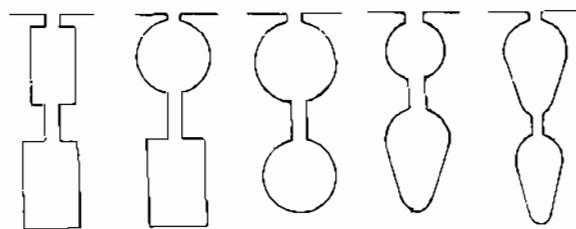
đường kính trong lõi sắt rôto được thiết kế theo yêu cầu đảm bảo mật độ từ thông ở gông rôto nằm trong phạm vi cho phép.

Đối với lõi sắt rôto của động cơ điện cao áp $U = 6000\text{ V}$ với chiều cao tâm trục $h \geq 400\text{ mm}$, cũng như lõi sắt rôto động cơ điện rôto dây quấn, bề mặt các lá tôn đều được phủ sơn cách điện.

Chiều dài lõi sắt rôto l_2 thường thiết kế bằng chiều dài lõi sắt stato l_1 hoặc dài hơn 4 đến 10 mm.

c. Dạng rãnh rôto đặc biệt

Dạng rãnh rôto hai lồng sóc như ở hình 10-10. Kích thước rãnh phụ thuộc vào mômen khởi động và dòng khởi động. Cũng



Hình 10-10. Vài dạng rãnh rôto hai lồng sóc

như rãnh sâu, loại hai lồng sóc làm cho $\cos\varphi$ xấu đi và $\cos\varphi$ càng

thấp khi tỷ số $k_{pc} = \frac{m_k}{i_k}$ càng lớn,

trong đó m_k - bội số mômen khởi

động, i_k - bội số dòng điện khởi

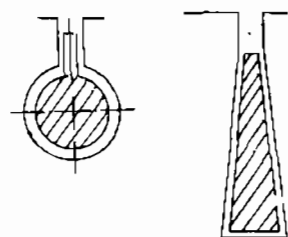
động, k_{pc} gọi là hệ số phẩm chất khi

khởi động. Với loại hai lồng sóc có

thể có hệ số phẩm chất lớn mà trên

thực tế với loại dây quấn rôto khác

khó đạt được. Thường dùng rôto hai



Hình 10-11. Vài dạng rãnh lồng sóc đặc biệt

lồng sóc khi yêu cầu m_k lớn và v_k nhỏ.

Đối với những máy quay nhanh hay công suất lớn, có khi dùng rãnh rôto hình chai hoặc hình chêm (hình 10-11). Cấu tạo các kiểu này đơn giản hơn loại hai lồng sóc mà tính năng khởi động cũng tốt.

10.5. KHE HỖ KHÔNG KHÍ

Khi chọn khe hở không khí ở ta cố gắng lấy nhỏ để cho dòng điện không tải nhỏ và $\cos\varphi$ cao, nhưng khe hở quá nhỏ làm cho việc chế tạo và lắp ráp thêm khó khăn, stato rất dễ chạm với rôto làm tăng thêm tổn hao phụ và điện kháng tản tạp của máy cũng tăng.

Khi chọn khe hở không khí có thể tham khảo kinh nghiệm chế tạo của các nhà máy. Theo kết cấu thì khe hở phụ thuộc vào kích thước đường kính ngoài rôto, khoảng cách giữa hai ổ bi và đường kính trục. Nguyên nhân là đường kính D ảnh hưởng đến dung sai lắp ghép của vỏ, nắp, lõi sắt, từ đó quyết định độ lệch tâm cho phép và lực từ một phía của máy. Đường kính trục và khoảng cách giữa hai ổ bi quyết định độ võng của trục. Về mặt chế tạo và vận hành thì độ đồng tâm, độ ô van của các chi tiết gia công, độ lệch tâm do lắp ghép, khe hở trong ổ bi và độ mòn của ổ bi sau một thời gian làm việc cũng ảnh hưởng rất lớn đến việc quyết định khe hở không khí. Có thể dùng những công thức sau để chọn trị số của khe hở không khí.

- Với những máy công suất $P \leq 20 \text{ kW}$:

$$\text{Khi } 2p \geq 4 \quad \delta = 0,25 + \frac{D}{1000} \text{ mm} \quad (10-20)$$

$$\text{Khi } 2p = 2 \quad \delta = 0,3 + \frac{1,5D}{1000} \text{ mm}$$

- Với máy công suất $P > 20 \text{ kW}$:

$$\delta = \frac{D}{1200} \left(1 + \frac{9}{2p} \right) \text{ mm} \quad (10-21)$$

Trong các công thức trên, D tính theo mm. Trị số δ tính ra phải làm tròn con số thứ hai sau dấu phẩy thành 0 hay 5

Với những động cơ điện làm việc trong điều kiện khắc khe phải tăng khe hở không khí lên.

Có thể tham khảo khe hở không khí dây đồng cơ 4A của Nga trong bảng 10.8

Bảng 10.8. Khe hở không khí ở dây đồng cơ 4A (mm)

Chiều cao tâm trục h mm	Số cực 2p			
	2	4	6	8
50	0.25	0.25	-	-
56	0.25	0.25	-	-
63	0.3	0.25	0.25	-
71	0.35	0.25	0.25	0.25
80	0.35	0.25	0.25	0.25
90	0.4	0.25	0.25	0.25
100	0.45	0.3	0.3	0.3
112	0.6	0.3	0.3	0.3
132	0.6	0.35	0.35	0.35
160	0.8	0.5	0.45	0.45
180	0.9	0.6	0.45	0.45
200	0.9	0.7	0.5	0.5
225	1.0	0.85	0.6	0.6
250	1.2	1.0	0.7	0.7

10.6. THAM SỐ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ TRONG QUÁ TRÌNH KHỞI ĐỘNG

Đối với các máy điện thông dụng, ta có thể cho rằng những tham số r_1 , r_2 , x_1 , x_2 của máy là hằng số khi máy làm việc từ không tải đến định mức. Khi hệ số trượt lớn hơn trị số s_m ứng với mômen cực đại, do dòng điện bây giờ đã lớn hơn 2,5 lần dòng điện định mức, lúc đó bắt đầu có hiện tượng bão hòa răng do từ thông tản vì vậy x_1 và x_2 giảm. Mặt khác do hiện tượng hiệu ứng mặt ngoài trong thanh dẫn rôto nên những tham số r_2 , x_2 cũng thay đổi

Trong mục này sẽ xét đến các hiện tượng đó có ảnh hưởng đến các tham số như thế nào, nhất là trường hợp có ý nghĩa nhất, đó là lúc khởi động ($s = 1$). Cần chú ý rằng đối với động cơ điện rôto dây quấn, khi khởi động có biến trở khởi động R_k nối với mạch rôto nên dòng điện khởi động không vượt quá $(1 + 1,5)I_{dm}$, do đó không cần xét đến các hiện tượng trên và coi như tham số không thay đổi

Đối với động cơ rôto lồng sóc, khi khởi động thường đóng trực tiếp động cơ vào lưới điện với điện áp định mức, vì vậy dòng điện khởi động lớn $(4 - 7)I_{dm}$ làm cho điện kháng x_1 , x_2 và r_2 thay đổi rõ rệt. Sau đây sẽ xét đến sự thay đổi của các tham số đó.

10.6.1. Sự thay đổi các tham số do hiện tượng hiệu ứng mặt ngoài của dòng điện

Để cải thiện đặc tính khởi động bằng cách lợi dụng hiện tượng hiệu ứng mặt ngoài của dòng điện, thường người ta dùng rãnh sâu.

Dùng rãnh sâu có thể tăng điện trở r_2 lúc khởi động nhưng cũng giảm điện kháng vì tổng các ống cảm ứng tư tán rãnh giảm xuống.

Khi khởi động, do tần số rôto cao nên do hiện tượng hiệu ứng

mặt ngoài, dòng điện tập trung lên phía trên rãnh. Vì vậy ta cần xác định độ sâu quy đổi h_r của rãnh trong đó quy ước dòng điện phân bố đều và trên cơ sở đó xác định điện trở thanh dẫn đặt trong rãnh. Cũng lập luận như vậy sẽ tìm được chiều sâu quy đổi của rãnh h_v và theo đó xác định điện kháng của thanh dẫn.

Trị số của h_r và h_v (hình 10-12) được xác định theo công thức sau:

$$h_r = \frac{a}{1 + \varphi} \quad (10-22)$$

$$h_v = a\varphi$$

ở đây:

a - chiều cao của đồng hay nhôm trong rãnh (mm).

Hệ số φ và φ' được xác định theo đường cong ở hình 10-13 và phụ thuộc vào chiều cao tương đối ξ của rãnh:

$$\xi = 2\pi a \cdot 10^{-1} \sqrt{\frac{b}{b_r} \frac{sf_1}{\rho}} \cdot 10^{-5} \quad (10-23)$$

ở đây: s - hệ số trượt;

b/b_r - tỷ số bề rộng thanh dẫn và rãnh. Khi rãnh sâu và thanh đồng hẹp thì $b/b_r = 0,9$. Với rôto đúc nhôm thì $b/b_r = 1$;

ρ - điện trở suất của vật liệu thanh dẫn

Khi $f_1 = 50 \text{ Hz}$ và nhiệt độ dây quấn là 75°C thì với thanh dẫn bằng đồng ta có $\rho = 1,46$, do đó:

$$\xi = 0,090 a \sqrt{s} \quad (10-24)$$

Với thanh dẫn bằng nhôm ($\rho = 1,23$) thì

$$\xi = 0,067 a \sqrt{s} \quad (10-25)$$

Theo công thức (10-22) và hình 10-18, khi $\xi \geq 2$ ta có:

$$\varphi = \xi - 1; \quad h_r = \frac{a}{\xi} \quad (10-26)$$

$$\varphi' = \frac{1,5}{\xi}; \quad h_v = \frac{1,5a}{\xi}$$

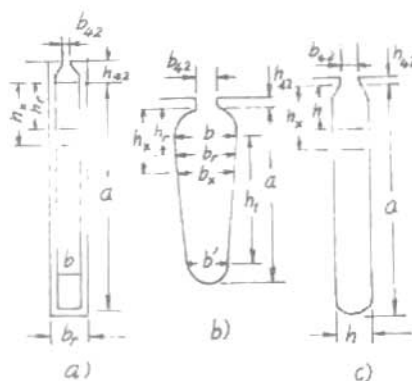
Với thanh dẫn bằng đồng, khi $\xi = 2$ và $s = 1$ thì $a = 22 \text{ mm}$

và
$$h_r = \frac{a}{\xi} = 11 \text{ mm}; h_x = 16,7 \text{ mm}.$$

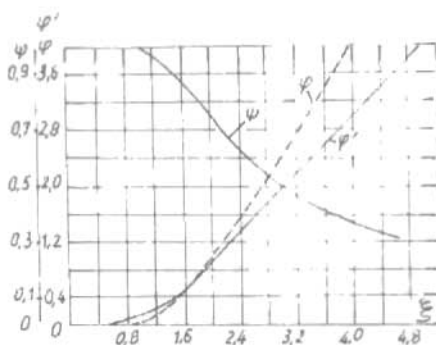
Với thanh dẫn bằng nhôm, khi $\xi = 2$, $s = 1$ thì $a = 30 \text{ mm}$ và

$$h_r = \frac{a}{\xi} = 15 \text{ mm}; h_x = 22,5 \text{ mm}.$$

Do đó, nếu bỏ qua điện trở vòng ngắn mạch thì có thể coi điện trở thanh dẫn rôto tăng gấp đôi khi khởi động ($s = 1$) nếu chiều cao của thanh dẫn bằng 22 mm với thanh dẫn bằng đồng và bằng 30 mm với thanh dẫn bằng nhôm.



Hình 10-12. Kích thước rãnh rôto dùng để xác định chiều sâu quy đổi h_x, h_r .



Hình 10-13. Đường cong $\psi, \psi' = f(\xi)$

a. Cách xác định điện trở r_2 của dây quấn rôto khi tính đến dòng điện mặt ngoài

Trước hết phải xác định điện trở của thanh dẫn khi tính đến dòng điện mặt ngoài $r_{l\xi}$

Với rãnh như ở hình 10-12a và c:

$$r_{l\xi} = r_{ld} k_R \quad (10-27)$$

$$\text{Ở đây} \quad k_R = 1 + \frac{l_{2r}}{l_2} \varphi \quad (10-28)$$

trong đó:

l_2 - chiều dài thanh dẫn;

l_{2r} - chiều dài của phần thanh dẫn nằm trong rãnh trừ các rãnh thông gió ngang trục;

φ - hệ số tra theo hình 10-13 với ξ tính theo công thức (10-23).

Khi rôto đúc nhôm thì $l_2 = l_{2r}$.

Với rãnh như ở hình 10-12b thì phải tính tiết diện rãnh ứng với chiều cao h_r :

$$S_{hr} = \frac{\pi b^2}{8} + \frac{b + h_r}{2} \left(h_r - \frac{b}{2} \right) \quad (10-29)$$

$$b_r = b - \frac{b - b'}{h_1} \left(h_r - \frac{b}{2} \right) \quad (10-30)$$

hệ số k_R được xác định theo công thức sau:

$$k_R = \frac{S_{td}}{S_{hr}} \quad (10-31)$$

S_{td} - tiết diện thanh dẫn.

Với rãnh tròn thì người ta xét đến hiệu ứng mật ngoài khi $\xi > 1$, ở đây ξ tính theo công thức (10-23) trong đó a được thay bằng đường kính thanh dẫn d_{td} . Lúc đó:

$$k_R = 1 + \frac{l_{2l}}{l_2} \varphi'$$

φ' tra theo hình 10-13.

Điện trở rôto khi xét đến hiệu ứng mật ngoài:

$$r_{2\xi} = r_{td\xi} + \frac{2r_v}{\left(2 \sin \frac{\pi p}{Z_2} \right)^2} \quad (10-32)$$

**b. Cách xác định kháng tản $x_{2\xi}$ của rôto khi xét đến
hiện tượng hiệu ứng mặt ngoài**

Dòng điện mặt ngoài chỉ gây ra sự thay đổi hệ số từ dẫn tản rãnh $\lambda_{12\xi}$. Với rãnh hình quả lê như ở hình 5-12b, $\lambda_{12\xi}$ được xác định theo công thức (5-30). Ở đây phần trong dấu ngoặc vuông được nhân thêm với hệ số ψ . Hệ số này được tính theo ξ tra ở đường cong trong hình 10-13.

Với những dạng rãnh khác, có thể xác định $\lambda_{12\xi}$ theo các công thức (5-29), (5-32) đến (5-35), ở đây phần trong dấu ngoặc được nhân thêm với hệ số ψ . Hệ số này được tính theo ξ .

Tổng hệ số từ dẫn khi xét đến dòng điện mặt ngoài bằng:

$$\sum \lambda_{2\xi} = \lambda_{12\xi} + \lambda_{12} + \lambda_{d2} \quad (10-33)$$

Điện kháng rôto khi xét đến dòng điện mặt ngoài bằng:

$$x_{2\xi} = x_2 \frac{\sum \lambda_{2\xi}}{\sum \lambda_2} \quad (10-34)$$

trong đó x_2 , $\sum \lambda_2$ là điện kháng rôto và hệ số từ dẫn rôto khi không xét đến hiệu ứng mặt ngoài.

**10.6.2. Tính toán ảnh hưởng của bão hòa răng
đến điện kháng tản**

Khi dòng điện trong dây quấn lớn, sẽ sinh ra hiện tượng bão hòa mạch từ, chủ yếu ở phần đầu răng do từ trường tản rãnh và từ trường tản tập làm cho x_1 và x_2 thay đổi.

Sự thay đổi của x_1 và $x_{2\xi}$ do bão hòa của từ trường cũng có thể tính gần đúng theo phương pháp sau:

Trị số thực của dòng điện ngắn mạch có thể tính bằng:

$$I_{n\text{bh}} = k_{\text{bh}} I_{\text{nf}} \quad (10-35)$$

Ở đây I_{nf} là dòng điện ngắn mạch khi không xét đến bão hòa của mạch từ tản. Có thể bằng thí nghiệm chọn sơ bộ trị số k_{bh} .

Đối với động cơ điện, rôto rãnh 1/2 kín, với rãnh stato miêng 1,2 kín thì lấy $k_{bh} = 1,3 \sim 1,4$, với rãnh stato miêng 1/2 hở hay hở lấy $k_{bh} = 1,2 \sim 1,3$ (trị số lớn dùng cho rãnh 1/2 hở). Với động cơ điện rôto hai lồng sóc $k_{bh} = 1,2 \sim 1,25$ (trị số nhỏ dùng cho rãnh hở ở stato). Với động cơ điện có rãnh rôto kín $k_{bh} = 1,3 \sim 1,45$.

Sức từ động trung bình của một rãnh stato:

$$F_{rth} = 0,7 \frac{I_{nbh} u_{r1}}{a_1} (k_\beta + k_y |k_{dt}| \frac{Z_1}{Z_2}) \quad (10-36)$$

ở đây:

u_{r1} - số thanh dẫn tác dụng trong rãnh stato;

a_1 - số mạch nhánh song song;

k_β - hệ số tính đến sức từ động nhỏ do bước ngắn (lấy theo đường cong trong hình 10-14) k_β phụ thuộc vào $\beta = y/\tau$;

k_y - hệ số bước ngắn của dây quấn;

k_{dt} - hệ số dây quấn;

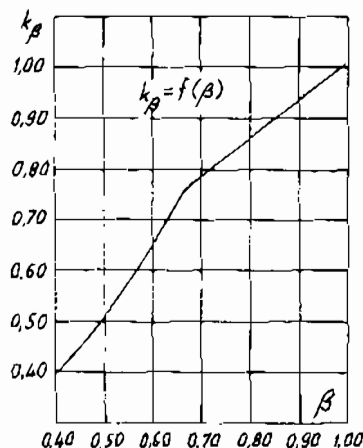
Z_1, Z_2 - số rãnh stato và rôto

Mật độ từ thông quy đổi trong khe hở không khí:

$$B_{\delta\Phi} = \frac{F_{rth}}{1,6\delta C_{bh}} \quad (10-37)$$

ở đây δ - khe hở không khí.

$$C_{bh} = 0,64 + 2,5\sqrt{\frac{\delta}{t_1 + t_2}} \quad (10-38)$$

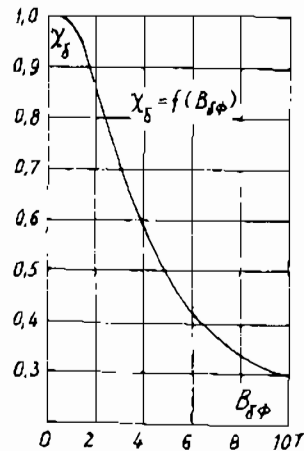


Hình 10-14 Hệ số k_β

ở đây t_1 và t_2 là bước rãnh stato và rôto

Theo mật độ từ thông quy đổi $B_{\delta\phi}$, căn cứ vào đường cong trong hình 10-15 tìm ra hệ số χ_δ đặc trưng cho tỷ số giữa từ thông tản khi xét đến bão hòa và không bão hòa.

Do bão hòa phần trên của răng, hệ số từ dẫn của từ trường tản rãnh giảm xuống. Căn cứ vào đó tìm ra sự biến đổi tương đương của rãnh hở tính toán từ thông tản khi bão hòa.



Hình 10-15 Hệ số χ_δ

Đối với stato, sự biến đổi tương đương đó bằng:

$$C_l = (t_1 - b_{\delta l})(1 - \chi_\delta) \quad (10-39)$$

ở đây t_1 và $b_{\delta l}$ đều tính theo mm.

Sự giảm nhỏ của hệ số từ dẫn của từ thông tản do bão hòa có thể xác định như sau:

Đối với rãnh hở (hình 10-16a):

$$\Delta\lambda_{rhh} = \frac{h_n}{b_r} \left(\frac{C_l}{C_l + b_r} \right) \quad (10-40)$$

Với rãnh 1/2 hở (hình 10-16b):

$$\Delta\lambda_{rhh} = C_l \left[\frac{h_{\delta l}}{b_{\delta l}(C_l + b_{\delta l})} + \frac{h_3}{(b_r + b_{\delta l})(C_l + b_{\delta l} + b_r)} \right] \quad (10-41)$$

Với rãnh 1/2 kín (hình 10-16c)

$$\Delta\lambda_{rhh} = \frac{h_{\delta l} + 0.58h_3}{b_{\delta l}} \frac{C_l}{C_l + 1.5b_{\delta l}} \quad (10-42)$$

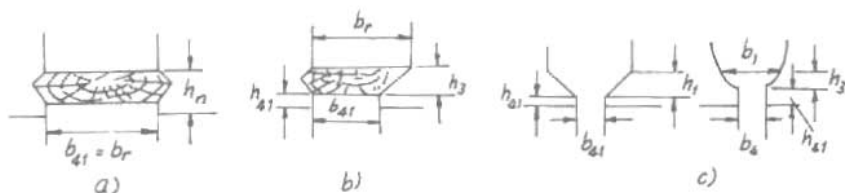
Do đó hệ số từ dẫn tản rãnh ở stato bằng:

$$\lambda_{rlhh} = \lambda_{rl} - \Delta\lambda_{rlhh}$$

ở đây λ_{r1} là hệ số từ dẫn tản rãnh không xét đến bão hòa

Do sự bão hòa vùng rãnh, hệ số từ dẫn tản tạp giảm xuống và bằng:

$$\lambda_{11bh} = \lambda_{11} \chi_\delta \quad (10-43)$$



Hình 10-16. Kích thước miệng rãnh stato để xác định sự giảm nhỏ của hệ số từ dẫn của từ trường tản do bão hòa

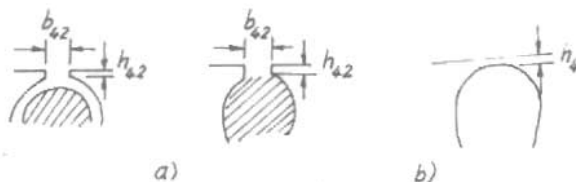
Tổng hệ số từ dẫn tản của stato khi bão hòa bằng:

$$\Sigma \lambda_{1bh} = \lambda_{r1bh} + \lambda_{11bh} + \lambda_{d1} \quad (10-44)$$

Điện kháng tản stato khi xét đến bão hòa:

$$x_{1bh} = x_1 \frac{\Sigma \lambda_{1bh}}{\Sigma \lambda_1} \quad (10-45)$$

Cách xác định điện kháng tản rôto khi xét đến bão hòa mạch từ tản cũng tương tự như vậy.



Hình 10-17. Kích thước miệng rãnh rôto

Với rôto lồng sóc thường, sự biến đổi tương đương của miệng rãnh lấy bằng:

$$C_2 = (t_2 - b_{42})(1 - \chi_\delta) \quad (10-46)$$

Sự giảm nhỏ hệ số từ dẫn tản rãnh do bão hòa bằng:

Với rãnh 1/2 kín (hình 10-17a):

$$\Delta \lambda_{r2bh} = \frac{h_{42}}{b_{42}} \left(\frac{C_2}{C_2 + b_{42}} \right) \quad (10-47)$$

Với rãnh kín (hình 10-17b):

$$\Delta\lambda_{r2bh} = \lambda_4 - \lambda_{4bh} \quad (10-48)$$

ở đây λ_4 được xác định theo (5-31) hay (5-34), với dòng điện rôto định mức I_{2dm} và λ_{4bh} với dòng điện $I_{2dbh} = k_{bh} I_{2dm}$.

Rãnh rôto chịu ảnh hưởng của cả hiệu ứng mật ngoài lẫn bão hòa mạch từ tán do đó hệ số từ dẫn tán rãnh rôto khi xét đến cả hai yếu tố đó bằng:

$$\lambda_{r2\xi bh} = \lambda_{r2\xi} - \Delta\lambda_{2bh} \quad (10-49)$$

Tính toán hệ số từ dẫn tán tạp của rôto cũng giống như stato:

$$\lambda_{t2bh} = \lambda_{t2} \chi_d \quad (10-50)$$

Tổng hệ số từ dẫn khi xét đến hiệu ứng dòng điện mật ngoài và độ bão hòa mạch từ tán rãnh bằng:

$$\sum\lambda_{2\xi bh} = \lambda_{r2\xi bh} + \lambda_{t2bh} + \lambda_{d2} \quad (10-51)$$

Trị số điện kháng tán tương ứng bằng:

$$x_{2\xi bh} = x_2 \frac{\sum\lambda_{2\xi bh}}{\sum\lambda_2} \quad (10-52)$$

ở đây x_2 và $\sum\lambda_2$ là các tham số tính toán khi không xét đến hiệu ứng mật ngoài và bão hòa mạch từ tán rãnh.

Sau khi tính r_1 , $r_{2\xi}$, x_{1bh} , $x_{2\xi bh}$, ta có thể tìm được các tham số ngắn mạch khi xét đến hiệu ứng mật ngoài và bão hòa mạch từ tán rãnh:

$$x_{n\xi bh} = x_{1bh} + x_{2\xi bh}$$

$$r_{n\xi} = r_1 + r_{2\xi}$$

$$z_{n\xi bh} = \sqrt{r_{n\xi}^2 + x_{2\xi bh}^2}$$

Dòng điện ngắn mạch bằng:

$$I_{nbh} = \frac{U_1}{Z_{n\xi bh}} \quad (10-53)$$

Trị số I_{nbh} này không được khác dòng điện ngắn mạch giả thiết ban đầu ($I_{nbh} = k_{bh} I_n$) đã chọn trong phần đầu của tính

toàn quá 10-15%. Nếu sai khác nhiều thì phải giả thiết lại I_{nbh} và tính lại.

10.6.3. Trị số tương đối của các tham số máy điện không đồng bộ

Các tham số của máy điện không đồng bộ thường được biểu thị bằng trị số tương đối. Chuẩn của trở kháng thường lấy bằng $\frac{U_{ldm}}{I_{ldm}}$

Vì vậy:

$$\begin{aligned} r_1^* &= \frac{I_{ldm} r_1}{U_{ldm}} & x_1^* &= \frac{I_{ldm} x_1}{U_{ldm}} \\ r_2^* &= \frac{I_{ldm} r_2}{U_{ldm}} & x_2^* &= \frac{I_{ldm} x_2}{U_{ldm}} \\ r_{l2}^* &= \frac{I_{ldm} \cdot r_{l2}}{U_{ldm}} & x_{l2}^* &= \frac{I_{ldm} x_{l2}}{U_{ldm}} \end{aligned}$$

Trong máy điện không đồng bộ, trị số tương đối của các tham số thường ở trong khoảng sau:

$$\text{Với điện trở tác dụng: } r_1^* \approx r_2^* = 0,01 \div 0,08$$

Ở đây trị số lớn dành cho máy điện nhỏ. Với những máy công suất rất nhỏ ($P = 0,03 \sim 0,4 \text{ kW}$) thường $r_1^* = 0,12 \div 0,2$; $r_2^* = 0,08 \div 0,12$. Nếu chia r_1^* cho $\cos\varphi$ thì có thể áng chừng được tổn hao đồng của dây quấn stato so với công suất đưa vào định mức P_{ldm} .

Trị số của r_2^* có thể coi gần đúng bằng hệ số trượt khi tải định mức:

$$s_{dm} = \frac{I_{2dm} r_2}{E_2} = r_2^*$$

Với điện kháng: $x_1^* \approx x_2^* = 0,08 \div 0,14$ ($0,09 \div 0,12$) ở đây trị số lớn dành cho những máy nhiều cực. Trong động cơ điện rôto lồng sóc rãnh sâu hay hai lồng sóc $x_2 \approx (1,1 \div 1,7)x_1$

Điện kháng từ hóa bằng:

$$x_{12}^* = 1,2 - 4(2,3 - 4)$$

trị số nhỏ dùng cho máy nhiều cực hay công suất nhỏ. Trị số trong ngoặc thường dùng cho những máy thông thường với $2p=2 \div 10$. Ở những máy này khi không tải có thể coi $I_0 x_{12} \approx E_1$

$$\approx U_{ldm} \text{ hay } x_{12}^* \approx \frac{I_{ldm}}{I_0}$$

Điện trở trong nhánh từ hóa bằng:

$$r_{12}^* = 0,05 - 0,35$$

$$\text{ở đây } r_{12} = \frac{P_{Fe1}}{m_1 I_\mu^2} ; \Omega$$

Những trị số tương đối trên không xét đến hiệu ứng mật ngoài trong thanh dẫn rôto và ảnh hưởng của bão hòa mạch từ tần đến điện kháng tản.

10.7. XÁC ĐỊNH ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC VÀ KHỞI ĐỘNG

10.7.1. Đặc tính làm việc

Sau khi đã chọn các kích thước và dây quấn của động cơ điện, tính toán các tham số, dòng điện từ hóa và các tổn hao, có thể tìm được các đặc tính của máy ở chế độ làm việc bình thường. Các đặc tính này có thể xác định bằng giải tích dựa vào mạch điện thay thế (hình 10-18) và đồ thị vectơ tương ứng (hình 10-19)

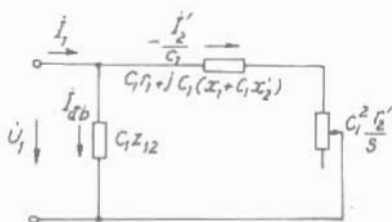
Trên mạch điện thay thế ta đã biết các tham số r_1, r_2, x_1, x_2 ,

$$P_{Fe}, P_{co}, I_{dbx} = I_\mu, I_{dbr} = \frac{P_{Fe} \cdot 10^3 + 3I_\mu^2 r_1}{3U_1} \quad (\text{thành phần phản}$$

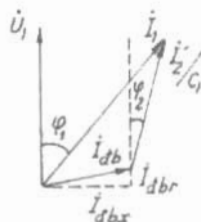
kháng và tác dụng của dòng điện ở tốc độ đồng bộ.

$$r_{12} = \frac{P_{Fe1}}{m_1 I_\mu^2} ; x_{12} = \frac{U_1 - I_\mu x_1}{I_\mu}$$

Thực ra hệ số C_1 là một số phức $C_1 = 1 + \frac{z_1}{z_{12}} = C_1 e^{j\gamma_1}$



Hình 10-18. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ



Hình 10-19. Đồ thị vectơ để xác định đặc tính làm việc của động cơ điện không đồng bộ

Thường có thể coi $\gamma_1 = 0$, lúc đó $C_1 = 1 + \frac{x_1}{x_{12}}$ và trong công thức ở bảng tính toán 10-9, lấy $a' = C_1^2$, $b' = 0$; $a = C_1 r_1$, $b = C_1 x_1 + C_1^2 x_2'$. Nếu phải tính đến góc γ_1 (ví dụ khi $\gamma_1 > 3 \div 4^\circ$) thì phải xét đến hệ số phức trong đó C_1 tính như sau:

$$C_1 = \sqrt{\frac{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}{r_{12}^2 + x_{12}^2}} \quad (10-54)$$

và góc γ_1 theo công thức:

$$\gamma_1 = \arctg \frac{r_{12} x_1 - r_1 x_{12}}{r_{12} (r_1 + r_{12} + x_{12} (x_1 + x_{12}))} \quad (10-55)$$

Lúc đó các tham số trong bảng 10.9 bằng:

$$a' = C_1^2 \cos 2\gamma_1; \quad b' = C_1^2 \sin 2\gamma_1$$

$$a = C_1 (r_1 \cos \gamma_1 - x_1 \sin \gamma_1 - C_1 x_2' \sin 2\gamma_1)$$

$$b = C_1 (x_1 \cos \gamma_1 + r_1 \sin \gamma_1 + C_1 x_2' \cos 2\gamma_1)$$

Việc tính toán đặc tính làm việc của động cơ điện được thực hiện theo trình tự như trong bảng 10-9, trong đó chọn một hệ số

trượt trong giới hạn $s = (0,2 - 1,3) s_{dm}$, s_{dm} sơ bộ chọn bằng:

$$s_{dm} = \frac{I_2 r_2}{E'_2} = r'_2$$

sau đó theo các điểm đã tính vẽ đường cong I_1 , $\cos\varphi_1$, η , s , I_2 theo P_2 và tương ứng với công suất định mức P_{2dm} xác định các lượng định mức.

Bảng 10.9. Công thức tính toán đặc tính làm việc

Số thứ tự	Công thức	Đơn vị	Hệ số trượt s				
			s_1	s_2	...	...	s_m
1	$a' r'_2 / s$	Ω					
2	$b' r'_2 / s$	Ω					
3	$R = a + a' r'_2 / s$	Ω					
4	$X = b + b' r'_2 / s$	Ω					
5	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ω					
6	$\cos\varphi'_2 = R/Z$						
7	$\sin\varphi'_2 = X/Z$						
8	$I''_2 = U_1/Z$	A					
9	$I'_2 = C_1 I''_2$	A					
10	$I_{1r} = I_{dbr} + I'_2 \cos\varphi'_2$	A					
11	$I_{1x} = I_{dbr} + I'_2 \sin\varphi'_2$	A					
12	$I_1 = \sqrt{I_{1r}^2 + I_{1x}^2}$	A					
13	$\cos\varphi_1 = \frac{I_{1r}}{I_1}$						
14	$P_1 = 3U_1 I_{1r} \cdot 10^{-3}$	kW					
15	$P_{Cu1} = 3r_1 I_1^2 \cdot 10^{-3}$	kW					
16	$P_{1Cu2} = 3r'_2 I_2^2 \cdot 10^{-3}$	kW					
17	$P_o = P_{Fe} + P_{c\sigma}$	kW					
18	$P_f = 0.005P_1$	kW					
19	$\Sigma P = P_{Cu1} + P_{Cu2} + P_o + P_f$	kW					
20	$\eta = 1 - \frac{\Sigma P}{P_1}$						
21	$P_2 = P_1 \cdot \eta$	kW					

Bội số mômen cực đại được xác định theo công thức:

$$m_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_{dm}} = \left(\frac{I'_{2\max}}{I'_{2dm}} \right)^2 \frac{s_{dm}}{s_m} \quad (10-56)$$

$$\text{ở đây } s_m = \frac{C_1 r_2^2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2}} \approx \frac{r_2^2}{\frac{x_1}{C_1} + x_2} \quad (10-57)$$

Khi r_1 và γ_1 lớn thì s_m được tính theo công thức:

$$s_m = \frac{C r_2^2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2 - 2C_1 x_2 r_1 \sin \gamma_1}} \quad (10-58)$$

$I'_{2\max}$ - dòng điện rôto đã quy đổi tính theo công thức trong bảng 10-9 đối với hệ số trượt s_m . Trị số định mức I'_{2dm} và s_{dm} lấy từ đường cong làm việc đã vẽ

Xác định $m_{\max}$ như trên là không xét đến hiệu ứng mật ngoài ở thanh dẫn rôto và độ bão hòa của mạch từ tản.

Hiệu ứng mật ngoài trong nhiều trường hợp có thể bỏ qua do tần số thấp nhưng dòng điện stato và rôto khi ấy thường bằng $(2,5 \div 4) I_{dm}$ nên ảnh hưởng của bão hòa mạch từ tản đối với x_1 và x_2 thể hiện rõ. Nếu thừa nhận điều đó ta thấy:

$$I'_{2mbh} = k_{mbh} I'_{2\max}$$

trong đó:

I'_{2mbh} - dòng điện ứng với s_m có xét đến bão hòa;

$I'_{2\max}$ - dòng điện ứng với s_m không xét đến bão hòa;

$k_{mbh} = 1,1 \div 1,2$ (trị số lớn ứng với loại rãnh sâu)

Sau đó có thể theo các công thức (10-45) và (10-52) tìm x_{1bh} và x'_{2bh} (không xét đến hiệu ứng mật ngoài của dòng điện) và thay thế trị số tìm được vào công thức tính s_{mbh} rồi tìm ra I'_{2mbh} theo công thức trong bảng 10.9 (lấy $C_1 = 1$). Nếu tính tốt để I'_{2mbh} tính ra so với giả thiết không khác quá 5% thì không phải giả thiết lại k_{mbh} để tính lại I'_{2mbh} nữa. Độ bão hòa mạch từ tản

răng làm cho bội số m_{max} tăng lên từ 15 đến 25%, còn đối với động cơ nhỏ thì thành thạo cũng lớn hơn so với cách tính theo công thức (10-56).

Đối với động cơ điện công suất nhỏ, do $\cos\varphi$ thấp và r_1 tương đối lớn nên dòng điện từ hóa I_μ lúc đó giảm xuống. Có thể tính I_μ này bằng cách tính mạch từ theo từ thông ứng với sức điện động:

$$E_1 = \sqrt{(U_1 \sin\varphi - I_{dm} x_1)^2 + (U_1 \cos\varphi - I_{dm} r_1)^2} \quad (10-59)$$

sau đó xác định x_{12} và r_{12} theo E_1 đã tìm được. Trong trường hợp này việc xác định các lượng định mức đều sử dụng các đại lượng I_{dbr} , $I_{dbr} \approx I_\mu$, x_{12} , r_{12} có tính đến sự thay đổi của dòng điện từ hóa I_μ lúc có tải.

Bội số mômen cực đại của dây động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc 3K theo TCVN 1967-94 được ghi trong bảng 10.10.

Bảng 10.10. Bội số mômen cực đại m_{max} của dây máy 3K

Cấp công suất $P_{dm} \cdot kW$	Số cực 2p				
	2	4	6	8	10
0,55 - 1,5	2,2	2,2	2,2	1,7	-
2,2 - 7,5	2,2	2,2	2,2	2,2	-
11 - 18,5	2,2	2,2	2,0	2,2	-
22	2,2	2,2	2,0	2,0	-
30 - 37	2,2	2,2	2,0	2,0	1,9
45	2,2	2,2	2,0	2,0	1,8
55	2,2	2,2	2,0	1,9	1,8
75 - 90	2,2	2,2	1,9	1,9	1,8

10.7.2. Đặc tính khởi động

Các lượng đặc trưng cho đặc tính khởi động là mômen khởi động, dòng điện khởi động và mômen cực tiểu trong quá trình khởi động, nhưng tính mômen cực tiểu quá phức tạp và kết quả

không bảo đảm.

Theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 1987-94, bội số mômen khởi động $m_k = \frac{M_k}{M_{dm}}$ và bội số dòng khởi động $i_k = \frac{I_k}{I_{dm}}$ của động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc dây 3K được ghi trong bảng 10.11 và 10.12

Bội số mômen cực tiểu trong quá trình khởi động không nhỏ hơn 0,8.

Bội số mômen khởi động và bội số dòng khởi động của động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc dây 4 A của Nga được ghi trong bảng 10.13

Việc tính toán chính xác đặc tính khởi động có khó khăn lớn vì khi tính toán gặp quan hệ phức tạp giữa dòng điện, hệ số trượt và các tham số của động cơ điện, do đó thường chỉ tính đặc tính khởi động lúc khởi động ($s = 1$)

Phương pháp tính gần đúng như sau:

Khi bỏ qua tổn hao trong thép có thể viết các phương trình sau:

$$U_1 = jI_1x_{11bh} + jI_2x_{12bh} + I_1r_1 \quad (10-60)$$

$$0 = jI_2x_{12bh} + jI_1x_{12n} + I_2r_2$$

ở đây:

$$x_{11bh} = x_{12h} + x_{1bh} \quad (10-61)$$

là điện kháng toàn phần của stato khi xét đến bão hòa mạch từ tán

$$x_{22bh} = x_{12n} + x_{22bh} \quad (10-62)$$

là điện kháng toàn phần của rôto khi xét đến hiệu ứng mặt ngoài và bão hòa mạch từ tán.

x_{12n} - điện kháng hở cảm khi ngắn mạch và được xác định theo quan hệ sau:

$$x_{12n} = x_{12} \frac{F}{F_\delta} = x_{12}k_p \quad (10-63)$$

Trong trường hợp này máy làm việc trên phân đường thẳng của đường từ hóa. Trong giới hạn hệ số trượt thay đổi từ 1 đến 0.1 có thể coi x_{12n} không đổi.

Từ cộng thức (10-61), (10-62) và đẳng thức:

$$1 + \frac{x_{1bh}}{x_{12n}} = c_{1bh} \quad (10-64)$$

$$1 + \frac{x_{2\xi bh}}{x_{12n}} = c_{2\xi bh} \quad (10-65)$$

thì biểu thức dòng điện dưới dạng phức và môđun như sau:

$$I_1 = U_1 \frac{A + jB}{C + jD} \quad \text{và} \quad I_1 = U_1 \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{\sqrt{C^2 + D^2}} \quad (10-66)$$

$$I_2 = U_1 \frac{jF}{C + jD} \quad \text{và} \quad I_2 = U_1 \cdot \frac{F}{\sqrt{C^2 + D^2}} \quad (10-67)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} A &= \frac{r_2}{x_{12n}} \\ B &= C_{2\xi bh} \\ C &= \frac{r_1 r_{2\xi}}{x_{12n}} - s(x_{2\xi bh} C_{1bh} + x_{1bh}) \\ D &= sr_1 C_{2\xi bh} + r_{2\xi} C_{1bh} \\ F &= s \end{aligned} \quad (10-68)$$

Có thể dùng biểu thức đơn giản hơn mà sai số không nhiều bằng cách chia ABCDF với $C_{2\xi bh}$ và thừa nhận $C_{1bh} = C_{2\xi bh}$ (thường các lượng ấy nằm trong giới hạn 1,01 ÷ 1,05).

$$\begin{aligned} A' &= \frac{r_{2\xi}}{x_{12n} C_{2\xi bh}} \approx 0 \\ B' &= s \\ C' &= -s(x_{2\xi bh} + \frac{x_{1bh}}{C_{2\xi bh}}) \end{aligned} \quad (10-69)$$

Bảng 10.11. Bôi số mômen khởi động dây động cơ điện 3K

Công suất P kW	Số cực 2p				
	2	4	6	8	10
0.55 - 1.5	2	2	2	1.6	-
2.2 - 5.5	2	2	2	1.6	-
7.5	2	2	2	1.4	-
11	1.6	2	1.2	1.4	-
15 - 22	1.4	1.4	1.2	1.2	-
30 - 45	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2
55 - 75	1.2	1.2	1.2	1.2	1
90	1.2	1.2	1.2	1	1

Bảng 10.12. Bôi số dòng khởi động dây động cơ điện 3K

Công suất P kW	Số cực 2p				
	2	4	6	8	10
0.55 - 0.75	5.5	4.5	4	3.5	-
1.1	6.5	5	4	3.5	-
1.5	6.5	5	5.5	5.5	-
2.2	6.5	6.5	5.5	6	-
3	6.5	6.5	6	6	-
4	7.5	6.5	6	6	-
5.5 - 11	7.5	7	6.5	6	-
15 - 18.5	7.5	7	6.5	6	-
22	7.5	7	6.5	6	-
30 - 37	7.5	7	6.5	6	6
45	7.5	7	7	6	6
55 - 90	7.5	7	7	6.5	6

Bảng 10.13. Bội số mômen và dòng điện khởi động đầy đồng cơ điện không đồng bộ 4A (Nga)

Chiều cao tâm trục h mm	≤ 112		160 - 250		> 280	
Số cực 2p	m_k	i_k	m_k	i_k	m_k	i_k
2	1,7 - 2,0	6,5 - 7,5	1,2 - 1,4	7,0 - 7,5	1,0 - 1,2	6,5-7,0
4	2,0 - 2,2	5,0 - 7,5	1,2 - 1,4	6,5 - 7,5	1,2 - 1,3	5,5-7,0
6	2,0 - 2,2	4,0 - 6,5	1,2 - 1,3	5,0 - 6,5	1,4	5,5 - 6,5
8	1,6 - 1,9	4,0 - 5,5	1,2 - 1,4	5,5 - 6,0	1,2	5,5 - 6,5
10	-	-	1,2	6,0	1,0	6,0
12	-	-	-	-	1,0	6,0

$$D' = sr_1 + r_{2\zeta}$$

$$F = \frac{s}{C_{2\zeta th}}$$

Ta cho $A' = 0$ vì khi $0,1 < s < 1$ thì A'^2 rất nhỏ so với B'^2 do đó ít ảnh hưởng đến trị số của I_1 . Số hạng đầu tiên trong biểu thức của C rất nhỏ so với số hạng thứ hai nên có thể bỏ qua. Đơn giản hóa như vậy ta có:

$$I_1 = \frac{U_1 s}{\sqrt{C'^2 + D'^2}} \quad \text{và} \quad I_2 = \frac{I_1}{C_{2\zeta th}} \quad (10-70)$$

Bội số mômen khởi động được tính theo công thức:

$$m_k = \frac{M_k}{M_{dm}} = \left(\frac{I_2}{I_{2dm}} \right)^2 \frac{r_{2\zeta}}{r_2} \frac{s_{dm}}{s} \quad (10-71)$$

Chỉ cần thay đổi s có thể tính được đặc tính khởi động của động cơ điện.

Tuy vậy việc xác định chính xác I_1 , $M = f(s)$ là một vấn đề phức tạp vì tham số của máy bị ảnh hưởng của hiệu ứng mật

ngoài và độ bão hòa của mạch từ tản mà bản thân độ bão hòa này phụ thuộc vào I_1 và I_2 , còn hiệu ứng magnet ngoài phụ thuộc vào hệ số trượt s . Do đó thường chỉ xác định M_k , I_k lúc $s = 1$ còn việc xác định I_1 , $M = f(s)$ đối với động cơ điện rôto lồng sóc chỉ tiến hành khi cần thử lại việc chọn kích thước và dạng rãnh rôto.

10.8. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

10.8.1. Tính toán động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc

Công suất định mức $P = 30 \text{ kW}$, điện áp $380/220 \text{ V}$ đấu Y/Δ , tần số 50 Hz , tốc độ đồng bộ $n_1 = 1500 \text{ vg/ph}$. Máy kiểu kín IP44, cách điện cấp B, chế độ làm việc liên tục, chiều cao tâm trục $h = 200 \text{ mm}$, chỉ tiêu kỹ thuật theo TCVN 1987-94 :

$$\eta = 91\%, \cos\varphi = 0,89$$

$$\frac{I_k}{I_{dm}} = 7 ; \frac{M_k}{M_{dm}} = 1,4 ; \frac{M_{max}}{M_{dm}} = 2,2$$

a. Kích thước chủ yếu

1 Số đôi cực :

$$p = \frac{60f_1}{n_1} = \frac{60 \times 50}{1500} = 2$$

2. Đường kính ngoài stato :

Với chiều cao tâm trục $h = 200 \text{ mm}$, theo bảng 10.3 có đường kính ngoài stato tiêu chuẩn $D_n = 34,9 \text{ cm}$.

3. Đường kính trong stato :

Theo bảng 10.2 có $k_D = 0,64 \div 0,68$

$$D = k_D \cdot D_n = (0,64 \div 0,68) 34,9 = 22,34 \div 23,73 \text{ cm}.$$

Lấy $D = 23,5 \text{ cm}$.

4. Công suất tính toán :

$$P' = \frac{k_1 P}{\eta \cos\varphi} = \frac{0,98 \times 30}{0,91 \times 0,89} = 36,3 \text{ kVA}$$

trong đó $k_1 = 0,98$ lấy theo hình 10-2.

5. Chiều dài tính toán của lõi sắt stato :

Sơ bộ chọn $k_d = 0,92$ Lấy $\alpha_\delta = 0,64$, $k_s = 1,11$.

Theo hình 10-3a lấy $A = 370 \text{ A/cm}$, $B_\delta = 0,77 \text{ T}$.

$$I_\delta = \frac{6,1 \times 10^7 \times P'}{\alpha_\delta \cdot k_s \cdot k_d \cdot AB_\delta D^2 n} =$$

$$= \frac{6,1 \times 10^7 \times 36,3}{0,64 \times 1,11 \times 0,92 \times 370 \times 0,77 \times 23,5^2 \times 1500} = 14,35 \text{ cm.}$$

Lấy $I_\delta = 14,4 \text{ cm}$.

Do lõi sắt ngắn nên làm thành một khối.

Chiều dài lõi sắt stato, rôto bằng :

$$I_1 = I_2 = I_\delta = 14,4 \text{ cm.}$$

6. Bước cực :

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi \times 23,5}{4} = 18,46 \text{ cm}$$

7. Lập phương án so sánh :

$$\text{Hệ số } \lambda = \frac{I_\delta}{\tau} = \frac{14,4}{18,46} = 0,78.$$

Trong dây động cơ không đồng bộ K, công suất 30 kW, $2p = 4$ có cùng đường kính ngoài (nghĩa là cùng chiều cao tâm trục h) với máy công suất 37 kW, $2p = 4$ Hệ số tăng công suất của máy này là $\gamma = \frac{37}{30} = 1,23$, do đó λ của máy 37 kW bằng :

$$\lambda_{37} = \gamma \lambda_{30} = 1,23 \times 0,78 = 0,96$$

Theo hình 10-3b, hai hệ số λ_{30} và λ_{37} đều nằm trong phạm vi kinh tế do đó việc chọn phương án trên là hợp lý.

8 Dòng điện pha định mức :

$$I_1 = \frac{P \cdot 10^3}{3U_1 \eta \cos \varphi} = \frac{30 \times 10^3}{3 \times 220 \times 0,91 \times 0,89} = 56,1 \text{ A}$$

b. Dây quấn, rãnh stato và khe hở không khí

9. Số rãnh stato :

Lấy $q_1 = 4$.

$$Z_1 = 6pq_1 = 6 \cdot 2 \times 4 = 48.$$

10. Bước rãnh stato

$$t_1 = \frac{\pi D}{Z_1} = \frac{\pi \times 23.5}{48} = 1.538 \text{ cm.}$$

11. Số thanh dẫn tác dụng của một rãnh:

Chọn số mạch nhánh song song $a_1 = 4$.

$$u_{r1} = \frac{At_1 a_1}{I_1} = \frac{370 \times 1.538 \times 4}{56.1} = 40.5$$

Lấy $u_{r1} = 40$.

12. Số vòng dây nối tiếp của một pha:

$$w_1 = pq_1 \frac{u_{r1}}{a_1} = 2 \times 4 \times \frac{40}{4} = 80.$$

13. Tiết diện và đường kính dây dẫn.

Theo hình 10-4 chọn tích số $AJ = 1880 \text{ A}^2/\text{cm.mm}^2$

$$\text{Mật độ dòng điện } J_1 = \frac{AJ}{A} = \frac{1880}{360} = 5.22 \text{ A/mm}^2.$$

$$\text{Tiết diện dây (sơ bộ): } s_1 = \frac{I_1}{a_1 n_1 J_1} = \frac{56.1}{4 \times 2 \times 5.22} = 1.343 \text{ mm}^2$$

Ở đây lấy $n_1 = 2$ sợi.

Theo phụ lục VI, bảng VI.1 chọn dây đồng tráng men PETV có đường kính $d/d_{\text{đ}} = 1.32 \text{ 1.405}$. $s = 1.368 \text{ mm}^2$

14. Kiểu dây quấn

Chọn dây quấn hai lớp bước ngắn với $y = 10$.

$$\beta = \frac{y}{\tau} = \frac{10}{12} = 0.833$$

15. Hệ số dây quấn.

$$\text{Hệ số bước ngắn } k_1 = \sin \beta \cdot \frac{\pi}{2} = \sin \frac{10}{12} \cdot \frac{\pi}{2} = 0.966$$

$$\text{Hệ số bước rai } k_r = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin 4 \cdot \frac{15}{2}}{4 \sin \frac{15}{2}} = 0,958$$

$$\text{trong đó: } \alpha = \frac{p360^\circ}{z_l} = \frac{2 \times 360^\circ}{48} = 15^\circ$$

$$\text{Hệ số dây quấn } k_d = k_y \cdot k_r = 0,966 \times 0,958 = 0,925$$

16 Từ thông khe hở không khí:

$$\Phi = \frac{k_E U_1}{4k_s k_d f w_l} = \frac{0,98 \times 220}{4 \times 1,11 \times 0,925 \times 50 \times 80} = 0,0131 \text{ Wb}$$

17. Mật độ từ thông khe hở không khí:

$$B_\delta = \frac{\Phi \times 10^4}{\alpha_\delta t l_1} = \frac{0,0131 \times 10^4}{0,64 \times 18,46 \times 14,4} = 0,77 \text{ T}$$

18. Sơ bộ định chiều rộng của răng:

$$b_{z1} = \frac{B_\delta l_1 t_1}{B_{z1} l_1 k_c} = \frac{0,77 \times 14,4 \times 1,538}{1,75 \times 14,4 \times 0,95} = 0,712 \text{ cm}$$

ở đây lấy $B_{z1} = 1,75 \text{ T}$ theo bảng 10.5b và hệ số ép chặt lõi sắt $k_c = 0,95$.

19. Sơ bộ định chiều cao gông stato:

$$h_{g1} = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2B_{g1} l_1 k_c} = \frac{0,0131 \cdot 10^4}{2 \times 1,55 \times 14,4 \times 0,95} = 3,00 \text{ cm}$$

ở đây lấy $B_{g1} = 1,55 \text{ T}$ theo bảng 10.5a

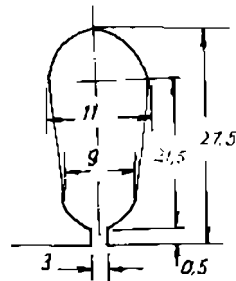
20. Kích thước rãnh và cách điện:

$$h_{r1} = 27,5 \text{ mm}; h_{12} \approx 21,5 \text{ mm}$$

$$d_1 = 9 \text{ mm}; b_{41} = 3 \text{ mm};$$

$$d_2 = 11 \text{ mm}; h_{41} = 0,5 \text{ mm}.$$

Theo bảng VIII-1 ở phụ lục VIII chiều dày cách điện rãnh là $c = 0,4 \text{ mm}$, của nèm là $c' = 0,5 \text{ mm}$.



Diện tích rãnh trừ nôm :

$$S_r = \frac{\pi(d_1^2 + d_2^2)}{8} + \frac{d_1 + d_2}{2} (h_{12} - \frac{d_1}{2}) =$$

$$= \frac{\pi(9^2 + 11^2)}{8} + \frac{11 + 9}{2} (21 - \frac{9}{2}) = 250 \text{ mm}^2$$

Chiều rộng của miếng cát tông nôm là $(\frac{\pi d_1}{2})$, của tấm cách điện giữa hai lớp là $(d_1 + d_2)$.

Diện tích cách điện rãnh :

$$S_{cd} = \left[\frac{\pi d_2}{2} + 2h_{12} + (d_1 + d_2) \right] c + \frac{\pi d_1}{2} c' =$$

$$= \left[\frac{\pi \cdot 11}{2} + 2 \times 21,5 + (11 + 9) \right] \times 0,4 + \frac{\pi \times 0,9}{2} \times 0,5 = 39 \text{ mm}^2$$

Diện tích có ích của rãnh :

$$S_r' = S_r - S_{cd} = 250 - 39 = 211 \text{ mm}^2.$$

Hệ số lấp đầy rãnh :

$$k_d = \frac{u_r \cdot n_1 \cdot d_{cd}^2}{S_r} = \frac{40 \times 2 \times 1,405^2}{211} = 0,748$$

21. Bề rộng răng stato :

$$b_{z1} = \frac{\pi(D + 2h_{41} + d_1)}{Z_1} - d_1 = \frac{\pi(23,5 + 2 \times 0,05 + 0,9)}{48} - 0,9 = 0,703 \text{ cm}$$

$$b_{z1} = \frac{\pi[D + 2(h_{41} + h_{12})]}{Z_1} - d_2 = \frac{\pi[23,5 + 2(0,05 + 2,15)]}{48} - 1,1 = 0,726 \text{ cm}$$

$$b_{z1} = \frac{b_{z1} + b_{z1}}{2} = \frac{0,703 + 0,726}{2} = 0,714 \text{ cm}$$

22. Chiều cao gông stato :

$$h_{g1} = \frac{D_n - D}{2} - h_{r1} + \frac{1}{6} d_2 = \frac{34,9 - 23,5}{2} - 2,75 + \frac{1}{6} \cdot 1,1 = 3,12 \text{ cm}$$

23. Khe hở không khí :

$$\delta = \frac{D}{1200} \left(1 + \frac{9}{2p}\right) = \frac{235}{1200} \left(1 + \frac{9}{4}\right) = 0,644 \text{ mm}$$

Theo những máy đã chế tạo (bảng 10.8) lấy :

$$\lambda = 0,7 \text{ mm} = 0,07 \text{ cm.}$$

c. Dây quấn, rãnh và gông rôto

24. Số rãnh rôto chọn theo bảng 10.6:

$$Z_2 = 38 \text{ rãnh}$$

25. Đường kính ngoài rôto:

$$D' = D - 2\delta = 23,5 - 2 \times 0,07 = 23,36 \text{ cm}$$

26. Bước răng rôto:

$$t_2 = \frac{\pi D'}{Z_2} = \frac{\pi \times 23,36}{38} = 1,931 \text{ cm}$$

27. Sơ bộ định chiều rộng răng rôto:

$$b_{r2} = \frac{B_{\delta} l_2 t_2}{B_{Z2} l_2 k_c} = \frac{0,77 \times 1,931}{1,75 \times 0,95} = 0,89 \text{ cm}$$

ở đây lấy $B_{Z2} = 1,75 \text{ T}$

28. Đường kính trục rôto :

$$D_t = 0,3D = 0,3 \times 23,5 = 7,05 \text{ cm}$$

Lấy $D_t = 7 \text{ cm.}$

29. Dòng điện trong thanh dẫn rôto:

$$I_{td} = I_2 = k_1 I_1 \frac{6w_1 k_{d1}}{Z_2} = 0,94 \times 56,1 \frac{6 \times 80 \times 0,925}{38} = 616 \text{ A}$$

trong đó $k_1 = 0,94$ lấy theo hình 10-5.

30. Dòng điện trong vành ngắn mạch:

$$I_v = I_{td} \frac{1}{2 \sin \frac{\pi p}{Z_2}} = 616 \frac{1}{2 \sin \frac{180^\circ \times 2}{38}} = 1872 \text{ A}$$

Tiết diện thanh dẫn bằng nhôm :

$$S_{td} = \frac{I_{td}}{J_2} = \frac{616}{3} = 205,3 \text{ mm}^2$$

trong đó chọn $J_2 = 3 \text{ A/mm}^2$

32. Sơ bộ chọn mật độ dòng điện trong vành ngăn mạch $J_v = 2,5 \text{ A/mm}^2$

Tiết diện vành ngăn mạch:

$$S_v = \frac{I_v}{J_v} = \frac{1872}{2,5} = 749 \text{ mm}^2$$

33. Kích thước rãnh rôto và vành ngăn mạch:

$$h_{12} = 32 \text{ mm} \quad b_{42} = 1,5 \text{ mm}$$

$$h_{12} = 24,7 \text{ mm} \quad h_{42} = 0,5 \text{ mm}$$

$$d_1 = d_2 = 6,8 \text{ mm}$$

$$a \times b = 34 \times 23$$

$$D_v = D - (a + 1) = 235 - (34 + 1) = 200 \text{ mm}$$

34. Diện tích rãnh rôto:

$$S_{r2} = \frac{\pi}{4} d^2 + h_{12} \times d = \frac{\pi}{4} 6,8^2 + 24,7 \times 6,8 = 204,2 \text{ mm}^2$$

35. Diện tích vành ngăn mạch:

$$a \times b = 34 \times 23 = 782 \text{ mm}^2$$

36. Bề rộng răng rôto ở 1/3 chiều cao răng:

$$b_{r2 \frac{1}{3}} = \frac{\pi [D' - 2h_{42} - \frac{4}{3}(h_{12} + d)]}{Z_2} - d = \frac{\pi [23,5 - 2 \times 0,05 - \frac{4}{3}(2,47 + 0,68)]}{38} - 0,68$$

$$= 0,896 \text{ cm}$$

37. Chiều cao gông rôto:

$$h_{g2} = \frac{D' - D_1}{2} - h_{r2} + \frac{1}{6} d_2 = \frac{23,36 - 7}{2} - 3,2 + \frac{1}{6} 0,68 = 5,1 \text{ cm}$$

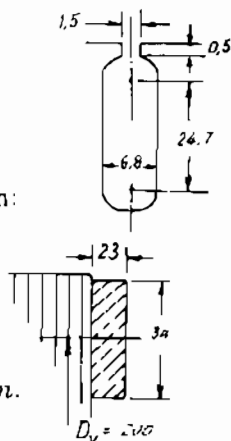
38. Làm nghiêng rãnh ở rôto:

Độ nghiêng bằng một bước rãnh stato:

$$b_n \approx t_1 = 1,54 \text{ cm}$$

d. Tính toán mạch từ

39. Hệ số khe hở không khí:



$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \nu_1 \delta} = \frac{1,538}{1,538 - 1,978 \times 0,07} = 1,099$$

$$\text{trong đó } \nu_1 = \frac{(b_{\delta 1} / \delta)^2}{5 + b_{\delta 1} / \delta} = \frac{(3/0,7)^2}{5 + (3/0,7)} = 1,978$$

$$k_{\delta 2} = \frac{t_2}{t_2 - \nu_2 \delta} = \frac{1,931}{1,931 - 0,643 \times 0,07} = 1,024$$

$$\text{trong đó: } \nu_2 = \frac{(b_{\delta 2} / \delta)^2}{5 + b_{\delta 2} / \delta} = \frac{(1,5/0,7)^2}{5 + (1,5/0,7)} = 0,643$$

$$k_{\delta} = k_{\delta 1} k_{\delta 2} = 1,099 \times 1,024 = 1,125$$

40. Dùng thép kỹ thuật điện cán nguội loại 2212.

41. Sức từ động khe hở không khí:

$$F_{\delta} = 1,6 B_{\delta} k_{\delta} \delta \cdot 10^4 = 1,6 \times 0,7 \times 1,125 \times 0,07 \cdot 10^4 = 970 \text{ A}$$

42. Mật độ từ thông ở răng stato:

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} l_1 t_1}{b_{z1} l_1 k_c} = \frac{0,77 \times 1,538}{0,714 \times 0,95} = 1,745 \text{ T}$$

43. Cường độ từ trường trên răng stato, theo bảng V-6 ở phụ lục V có:

$$H_{z1} = 21,8 \text{ A/cm.}$$

44. Sức từ động trên răng stato:

$$F_{z1} = 2 h_{z1} H_{z1} = 2 \times 2,38 \times 21,8 = 104 \text{ A}$$

$$\text{trong đó } h_{z1} = h_{z1} + \frac{d_2}{3} = 27,5 + \frac{11}{3} = 23,8 \text{ mm}$$

45. Mật độ từ thông ở răng rôto:

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} l_2 t_2}{b_{z2} l_2 k_c} = \frac{0,77 \times 1,931}{0,896 \times 0,95} = 1,745 \text{ T}$$

46. Cường độ từ trường trên răng rôto. Theo bảng V-6 ở phụ

lục V có:

$$H_{r2} = 21,8 \text{ A/cm}.$$

47. Sức từ động trên răng rôto:

$$F_{r2} = 2h_{r2}H_{r2} = 2 \times 2,97 \times 21,8 = 129 \text{ A}$$

$$\text{trong đó } h_{r2} = h_{r2} - \frac{d}{3} = 3,2 - \frac{0,68}{3} = 2,97 \text{ cm}.$$

48. Hệ số bão hòa răng:

$$k_z = \frac{F_\delta + F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} = \frac{970 + 104 + 129}{970} = 1,24$$

49. Mật độ từ thông trên gông stato:

$$B_{g1} = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2h_{g1}l_1k_c} = \frac{0,0131 \cdot 10^4}{2 \times 3,12 \times 14,4 \times 0,95} = 1,53 \text{ T}$$

50. Cường độ từ trường ở gông stato. Theo bảng V-9 ở phụ lục V có:

$$H_{g1} = 10 \text{ A/cm}$$

51. Chiều dài mạch từ ở gông stato:

$$L_{g1} = \frac{\pi(D_n - h_{g1})}{2p} = \frac{\pi(34,9 - 3,12)}{4} = 25 \text{ cm}$$

52. Sức từ động ở gông stato:

$$F_{g1} = L_{g1} H_{g1} = 25 \times 10 = 250 \text{ A}.$$

53. Mật độ từ thông trên gông rôto:

$$B_{g2} = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2h_{g2}l_2k_c} = \frac{0,0131 \cdot 10^4}{2 \times 5,1 \times 14,4 \times 0,95} = 0,91 \text{ T}.$$

54. Cường độ từ trường ở gông rôto Theo bảng V-9 của phụ lục V có:

$$H_{g2} = 2,31 \text{ A/cm}$$

55. Chiều dài mạch từ ở gông rôto:

$$L_{g2} = \frac{\pi(D_t + h_{g2})}{2p} = \frac{\pi(7 + 5,1)}{4} = 9,5 \text{ cm}$$

56. Sức từ động trên gông rôto:

$$F_{g2} = I_{g2} H_{g2} = 9,5 \times 2,31 = 22 \text{ A}$$

57. Tổng sức từ động của mạch từ:

$$\begin{aligned} F &= F_\delta + F_{Z1} + F_{Z2} + F_{g1} + F_{g2} \\ &= 970 + 104 + 129 + 250 + 22 = 1475 \text{ A} \end{aligned}$$

58. Hệ số bão hòa toàn mạch:

$$k_H = \frac{F}{F_\delta} = \frac{1475}{970} = 1,52$$

59. Dòng điện từ hóa:

$$I_H = \frac{pF}{2,7 w_l k_{dl}} = \frac{2 \times 1475}{2,7 \times 80 \times 0,925} = 14,7 \text{ A}$$

Dòng điện từ hóa phần trăm:

$$I_H \% = \frac{I_H}{I_{dm}} 100 = \frac{14,7}{56,1} 100 = 26,3\%$$

e. Tham số của động cơ điện ở chế độ định mức

60. Chiều dài phần đầu nối của dây quấn stato:

$$l_{dl} = K_{dl} r_y + 2B = 1,3 \times 17,2 + 2 \times 1 = 24,4 \text{ cm}$$

$$\text{trong đó } r_y = \frac{\pi(D + h_{rl})y}{Z_1} = \frac{\pi(23,5 + 2,77)10}{48} = 17,2$$

61. Chiều dài trung bình nửa vòng dây của dây quấn stato:

$$l_{tb} = l_l + l_{dl} = 14,4 + 24,4 = 38,8 \text{ cm}$$

62. Chiều dài dây quấn một pha của stato:

$$L_1 = 2 \times l_{tb} \times w_1 \cdot 10^{-2} = 2 \times 38,8 \times 80 \cdot 10^{-2} = 62,08 \text{ m}$$

63. Điện trở tác dụng của dây quấn stato:

$$r_1 = \rho_{75} \frac{L_1}{n_1 a_1 s_1} = \frac{1}{46} \frac{62,08}{2 \times 4 \times 1,368} = 0,1233 \Omega$$

Tính theo đơn vị tương đối:

$$r_1^* = r_1 \frac{I_1}{U_1} = 0,1233 \frac{56,1}{220} = 0,0314$$

64. Điện trở tác dụng của dây quấn rôto

$$r_{rd} = \rho_{Al} \frac{l_2 \cdot 10^{-2}}{S_{r2}} = \frac{1}{23} \frac{14,4 \cdot 10^{-2}}{204,2} = 0,3066 \cdot 10^{-4} \Omega$$

65. Điện trở vành ngắn mạch:

$$r_v = \rho_{Al} \frac{\pi D_v \cdot 10^{-2}}{Z_2 S_v} = \frac{1}{23} \frac{\pi \times 20,3 \cdot 10^{-2}}{38 \times 782} = 0,00923 \cdot 10^{-4} \Omega$$

66. Điện trở rôto:

$$r_2 = r_{rd} + \frac{2r_v}{\Delta^2} = (0,3066 + \frac{2 \times 0,00923}{0,329^2}) \cdot 10^{-4} = 0,477 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$\text{trong đó } \Delta = 2 \sin \frac{\pi p}{Z_2} = 2 \sin \frac{180'' \times 2}{38} = 0,329$$

67. Hệ số quy đổi:

$$\gamma = \frac{4m_1(w_1 k_{d1})^2}{Z_2} = \frac{4 \times 3 \times (80 \times 0,925)^2}{38} = 1730$$

68. Điện trở rôto đã quy đổi:

$$r_2' = \gamma r_2 = 1730 \times 0,477 \times 10^{-4} = 0,0825 \Omega$$

Tính theo đơn vị tương đối:

$$r_2^* = r_2' \frac{I_1}{U_1} = 0,0825 \frac{56,1}{220} = 0,021$$

69. Hệ số từ dẫn tản rãnh stato:

$$\begin{aligned} \lambda_{r1} &= \frac{h_1}{3b} k_\beta + (0,785 - \frac{b_{d1}}{2b} + \frac{h_2}{b} + \frac{h_1}{b_{d1}}) k_\beta \\ &= \frac{25,1}{3 \times 9} 0,9125 + (0,785 - \frac{3}{2 \times 9} - \frac{3,2}{9} + \frac{0,5}{3}) 0,875 = 1,224 \end{aligned}$$

trong đó $\beta = 0,833$; $k_\beta = 0,9125$;

$k_{\beta} = 0,875$ tra theo hình 7-8.

$$h_1 = h_{rs} - 0,1d_2 - 2c - c' = 27,5 - 0,1 \times 11 - 2 \times 0,4 - 0,5 = 25,1 \text{ mm}$$

$$h_2 = - \left(\frac{d_1}{2} - 2 \times c - c' \right) = -(4,5 - 2 \times 0,4 - 0,5) = -3,2 \text{ mm}.$$

$$b = 9 \text{ mm}; h_{41} = 0,5 \text{ mm}; b_{41} = 3 \text{ mm}$$

70. Hệ số từ dẫn tản stato:

$$\lambda_{t1} = 0,9 \frac{t_1 (q_1 k_{d1})^2 \rho_{t1} k_{41}}{k_{\delta} \delta} \sigma_1 =$$

$$= 0,9 \frac{1,538(4 \times 0,925)^2 \times 0,72 \times 0,9728}{1,125 \times 0,07} 0,0062 = 1,045$$

$$\text{trong đó } k_{41} = 1 - 0,033 \frac{b_{41}^2}{t_1 \delta} = 1 - 0,033 \frac{0,3^2}{1,538 \times 0,07} = 0,9728$$

$\rho_{t1} = 0,72$ theo bảng 5.3; $\sigma_1 = 0,0062$ theo bảng 5.2a.

71. Hệ số từ dẫn phần đầu nối:

$$l_{d1} = 0,34 \frac{q_1}{l_{\delta}} (l_{d1} - 0,64\beta r) = 0,34 \frac{4}{14,4} (24,4 - 0,64 \times 0,833 \times 18,46) = 1,375$$

72. Hệ số từ dẫn tản stato:

$$\sum \lambda_1 = \lambda_{r1} + \lambda_{t1} + \lambda_{d1} = 1,224 + 1,045 + 1,375 = 3,65$$

73. Điện kháng dây quấn stato:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0,158 \frac{f_1}{100} \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \frac{l_{\delta}}{pq_1} \sum \lambda_1 = \\ &= 0,158 \frac{50}{100} \left(\frac{80}{100} \right)^2 \frac{14,4}{2 \times 4} 3,65 = 0,332 \Omega \end{aligned}$$

Tính theo đơn vị tương đối:

$$x_1^* = x_1 \frac{I_1}{U_1} = 0,332 \frac{56,1}{220} = 0,0846$$

74. Hệ số từ dẫn tản rãnh rôto:

$$\lambda_{r2} = \left[\frac{h_1}{3b} \left(1 - \frac{\pi b^2}{8S_c} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_{42}}{2b} \right] k + \frac{h_{42}}{b_{42}} =$$

$$\left[\frac{27,4}{3 \times 7} \left(1 - \frac{\pi \times 6,8^2}{8 \times 204,2} \right)^2 + 0,66 - \frac{1,5}{2 \times 7} \right] 1 + \frac{0,5}{1,5} = 2$$

trong đó $h_1 = 27,4 \text{ mm}$; $b = 6,8 \text{ mm}$; $S_c = 204,2 \text{ mm}^2$; $k = 1$;
 $b_{42} = 1,5 \text{ mm}$

75. Hệ số từ dẫn tản tạp rôto:

$$\lambda_{t2} = \frac{0,9 t_2 (q_2 k_{d2})^2 \rho_{t2} k_{42}}{k_\delta \delta} \sigma_2 =$$

$$= \frac{0,9 \times 1,931 \left(\frac{38}{3 \times 4} \right)^2 \times 1 \times 1}{1,125 \times 0,07} \times 0,0092 = 2,036$$

trong đó $\sigma_2 = 0,0092$ theo bảng 5.2c.

76. Hệ số từ tản phần đầu nối:

$$\lambda_{d2} = \frac{2,3D_1}{Z_2 l_2 \Delta^2} \lg \frac{4,7D_1}{a+2b} = \frac{2,3 \times 20}{38 \times 14,4 \times 0,329^2} \lg \frac{4,7 \times 20}{3,2 + 2 \times 2,3} = 0,854$$

77. Hệ số từ tản do rãnh nghiêng:

$$\lambda_{rn} = 0,5 \lambda_{t2} \left(\frac{b_n}{t_2} \right)^2 = 0,5 \times 2,036 \left(\frac{1,538}{1,931} \right)^2 = 0,646$$

78. Hệ số từ tản rôto:

$$\Sigma \lambda_2 = \lambda_{r2} + \lambda_{t2} + \lambda_{d2} + \lambda_{rn} = 2 + 2,036 + 0,854 + 0,646 = 5,54$$

79. Điện kháng tản dây quấn rôto:

$$x_2 = 7,9 f_1 l_2 \Sigma \lambda_2 10^{-8} = 7,9 \times 50 \times 14,4 \times 5,54 \times 10^{-8} = 3,15 \times 10^{-4} \Omega$$

80. Điện kháng rôto đã quy đổi:

$$x_2' = \gamma x_2 = 1730 \times 3,15 \times 10^{-4} = 0,5446 \Omega$$

Tính theo đơn vị tương đối:

$$x_2'^* = x_2' \frac{I_1}{U_1} = 0,5446 \frac{56,1}{220} = 0,139$$

81. Điện kháng hồ cảm:

$$x_{l2} = \frac{U_l - I_{\mu} x_l}{I_{\mu}} = \frac{220 - 14 \times 0,332}{14} = 14,63 \, \Omega$$

Tính theo đơn vị tương đối:

$$x_{l2}^* = x_{l2} \frac{I_1}{U_1} = 14,63 \frac{56,1}{220} = 3,73$$

82. Tính lại k_{l1} :

$$k_{l1} = \frac{U_l - I_{\mu} x_l}{U_l} = \frac{220 - 14,7 \times 0,332}{220} = 0,979$$

Trị số này không sai khác nhiều so với giả thiết ban đầu nên không cần tính lại.

f. Tổn hao thép và tổn hao cơ

83. Trọng lượng rang stato:

$$G_{r1} = \gamma_{Fe} Z_1 b_{z1} h'_{z1} l_1 k_{cl} \cdot 10^{-3} = 7,8 \times 48 \times 0,714 \times 2,38 \times 14,4 \times 0,95 \cdot 10^{-3} \\ = 8,7 \, kg$$

84. Trọng lượng gông từ stato:

$$G_{g1} = \gamma_{Fe} l_{g1} h_{g1} 2pk_c \cdot 10^{-3} = 7,8 \cdot 14,4 \cdot 24,96 \cdot 3,12 \cdot 4 \cdot 0,95 \cdot 10^{-3} \\ = 33,24 \, kg$$

85. Tổn hao sắt (trong lõi sắt stato:

- Trong rang:

$$P_{lcr1} = k_{gc} P_{lcr} B_{z1}^2 G_{r1} \cdot 10^{-3} = 1,8 \times 2,5 \times 1,745^2 \times 8,7 \cdot 10^{-3} \\ = 0,119 \, kW$$

- Trong gông:

$$P_{Fegl} = k_{gc} P_{lcr} B_{g1}^2 G_{g1} \cdot 10^{-3} = 1,6 \times 2,5 \times 1,53^2 \times 33,24 \cdot 10^{-3} \\ = 0,311 \, kW$$

- Trong cả lõi sắt stato:

$$P'_{lc} = P_{lcr1} + P_{lcr2} = 0,119 + 0,311 = 0,43 \, kW$$

86. Tổn hao bề mặt trên rang rôto:

$$P_{hm} = 2pr \frac{t_2 - b_{d1}}{t_2} l_2 p_{hm} 10^{-7} =$$

$$= 4 \times 18,46 \left(\frac{1,931 - 0,15}{1,931} \right) 14,4 \times 259 \cdot 10^{-7} = 0,025 \text{ kW}$$

trong đó $p_{hm} = 0,5k_{\alpha} \left(\frac{Z_1 n_1}{10000} \right)^{1,5} (10B_{\alpha} t_1)^2$

$$= 0,5 \times 2 \left(\frac{48 \times 1500}{10000} \right)^{1,5} (10 \times 0,238 \times 1,538)^2 = 259$$

$$B_{\alpha} = \beta_{\alpha} k_{\beta} B_{\beta} = 0,29 \times 1,125 \times 0,77 = 0,238 \text{ T}$$

$$\beta_{\alpha} = 0,29 \text{ khi } \frac{b_{d1}}{\delta} = \frac{3}{0,7} = 4,285 \text{ (tra ở hình 6-1)}$$

87. Tổn hao đập mạch trên răng rôto:

$$P_{dm} = 0,11 \left(\frac{Z_1 n_1}{10000} \right)^2 10B_{dm}^2 G_{/2} \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,11 \left(\frac{48 \times 1500}{10000} \right)^2 10 \times (0,062)^2 \times 10,6 \cdot 10^{-3} = 0,023 \text{ kW}$$

trong đó: $B_d = \frac{\nu_1 \delta}{2t_2} B_{/2} = \frac{1,978 \times 0,07}{2 \times 1,931} 1,745 = 0,062 \text{ T}$

ở đây ν_1 xem ở mục 39.

$$G_{/2} = \gamma_{Fe} Z_2^2 h_{/2}^3 b_{/2}^2 l_2 k_c \cdot 10^{-3} =$$

$$= 7,8 \times 38 \times 2,97 \times 0,896 \times 14,4 \times 0,95 \cdot 10^{-3} = 10,6 \text{ kg}$$

88. Tổng tổn hao thép:

$$P_{Fe} = P'_{Fe} + P_{hm} + P_{dm} = 0,43 + 0,025 + 0,023 = 0,478 \text{ kW}$$

89. Tổn hao cơ:

$$P_{cơ} = k \left(\frac{n_1}{1000} \right)^2 \left(\frac{D_n}{10} \right)^4 10^{-3} =$$

$$= 1 \left(\frac{1500}{1000} \right)^2 \left(\frac{34,9}{10} \right)^4 10^{-3} = 0,334 \text{ kW}$$

90. Tổn hao không tải:

$$P_o = P_{Fe} + P_{cu} = 0,478 + 0,334 = 0,812 \text{ kW}$$

g. Đặc tính làm việc

$$r_1 = 0,1233 \, \Omega ; x_1 = 0,332 \, \Omega ; x_{12} = 14,63 \, \Omega$$

$$r_2 = 0,0825 \, \Omega ; x_2 = 0,5446 \, \Omega.$$

$$C_1 = 1 + \frac{0,332}{14,63} = 1,023 ; C_1^2 = 1,046; I_{dbr} = I_\mu = 14,7 \text{ A}$$

$$I_{ubr} = \frac{P_{Fe} \cdot 10^3 + 3I_\mu^2 r_1}{3U_1} = \frac{478 + 3 \times 14,7^2 \times 0,1233}{3 \times 220} = 0,845 \text{ A}$$

$$E_1 = U - I_\mu x_1 = 220 - 14,1 \times 0,332 = 215,1 \text{ V}$$

$$k_1 = \frac{6w_1 k_{dl}}{Z_2} = \frac{6 \times 80 \times 0,925}{38} = 11,68$$

$$I_2 = \frac{I_2}{k_1} = \frac{616}{11,68} = 52,72 \text{ A}$$

$$s_{dm} \approx \frac{I_2 r_2}{E_1} = \frac{52,72 \times 0,0825}{215,1} = 0,0205$$

$$s_m = \frac{r_2}{\frac{x_1}{C_1} + x_2} = \frac{0,0825}{\frac{0,332}{1,023} + 0,5446} = 0,095$$

Các số liệu đặc tính làm việc được tính trong bảng 10.14 và hình 10-20.

91. Bội số mômen cực đại:

$$m_{max} = \frac{M_{max}}{M_{dm}} = \left(\frac{I_{2m}}{I_{2dm}} \right)^2 \frac{s_{dm}}{s_m} = \left(\frac{164,2}{51,04} \right)^2 \frac{0,0206}{0,095} = 2,24$$

h. Tính toán đặc tính khởi động

92. Tham số của động cơ điện khi xét đến hiệu ứng mặt ngoài với $s = 1$:

$$\xi = 0,067a\sqrt{s} = 0,067 \times 31,5 \times 1 = 2.$$

$$\text{trong đó } a = (h_{r2} - h_{42}) = 32 - 0,5 = 31,5 \text{ mm}$$

$$\text{Theo hình 10-13, khi } \xi = 2 \text{ tra ra } \Psi = 0,75, \varphi = 1$$

$$k_R = 1 + \varphi = 1 + 1 = 2$$

$$r_{1d\xi} = k_R r_{1d} = 2 \times 0,3066 \times 10^{-4} = 0,644 \times 10^{-4} \Omega.$$

Điện trở của rôto khi xét đến hiệu ứng mật ngoài với $s = 1$

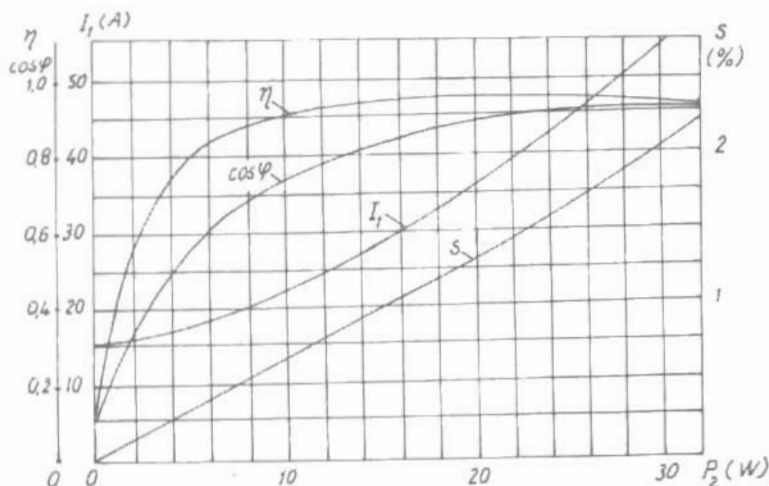
$$r_{2\xi} = r_{1d\xi} + \frac{2r_V}{\Delta^2} = (0,644 + \frac{2 \times 0,00923}{0,329^2}) 10^{-4} = 0,8145 \cdot 10^{-4}$$

Điện trở rôto đã quy đổi :

$$r'_{2\xi} = \gamma r_{2\xi} = 1730 \times 0,8145 \cdot 10^{-4} = 0,141 \Omega.$$

Hệ số từ dẫn rãnh rôto khi xét đến hiệu ứng mật ngoài với $s = 1$:

$$\begin{aligned} \lambda_{r2\xi} &= \left[\frac{h_1}{3b} \left(1 - \frac{\pi b^2}{8S_c} + 0,66 - \frac{b_{42}}{2b} \right) \Psi + \frac{h_{42}}{b_{42}} \right] = \\ &= \left[\frac{27,42}{3 \times 6,8} \left(1 - \frac{\pi 6,8^2}{8 \times 204,2} \right)^2 + 0,66 - \frac{1,5}{2 \times 6,8} \right] 0,75 + \frac{0,5}{1,5} = 1,532 \end{aligned}$$



Hình 10-20. Đặc tính làm việc của động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc 30 kW : $2p = 4$

Tổng hệ số từ dẫn rôto khi xét đến hiệu ứng mặt ngoài với $s = 1$:

$$\sum \lambda_{2\tau} = \lambda_{12} + \lambda_{12} + \lambda_{d2} + \lambda_m = 1,532 + 2,036 + 0,866 + 0,646 = 5,068$$

Điện kháng rôto khi xét đến hiệu ứng mặt ngoài

$$x'_{2\tau} = x_2 \frac{\sum \lambda_{2\tau}}{\sum \lambda_2} = 0,54 \frac{5,068}{5,536} = 0,4986 \, \Omega$$

Tổng trở ngắn mạch khi xét đến hiệu ứng mặt ngoài với $s = 1$:

$$r_{n\tau} = r_1 + r'_{2\tau} = 0,1233 + 0,141 = 0,2643 \, \Omega$$

$$x_{n\tau} = x_1 + x'_{2\tau} = 0,332 + 0,4986 = 0,8306 \, \Omega$$

$$z_{n\tau} = \sqrt{r_{n\tau}^2 + x_{n\tau}^2} = \sqrt{0,2643^2 + 0,8306^2} = 0,8716 \, \Omega$$

Dòng điện ngắn mạch khi chỉ xét đến hiệu ứng mặt ngoài:

$$I_{n\tau} = \frac{U_1}{Z_{n\tau}} = \frac{220}{0,8716} = 252,4 \, A$$

93. Tham số của động cơ điện khi xét cả hiệu ứng mặt ngoài và sự bão hòa của mạch từ tản khi $s = 1$

Sơ bộ chọn hệ số bão hòa $k_{bh} = 1,44$.

. Dòng điện ngắn mạch khi xét cả hiệu ứng mặt ngoài và sự bão hòa của mạch từ tản:

$$I_{nbh\tau} = 1,4 \times 252,4 = 354 \, A$$

. Sức từ động trung bình của một rãnh stato:

$$\begin{aligned} F_{abh} &= 0,7 \frac{I_{nbh\tau} u_T}{a_1} (k_\beta + k_\gamma k_d \frac{z_1}{z_2}) = \\ &= 0,7 \frac{354 \times 40}{4} (0,88 + 0,965 \times 0,925 \frac{48}{38}) = 4980 \end{aligned}$$

ở đây k_γ tra theo hình 10-14

$$C_{bh} = 0,64 + 2,5 \sqrt{\frac{\delta}{t_1 + t_2}} = 0,64 + 2,5 \sqrt{\frac{0,07}{1,538 + 1,931}} = 0,995$$

**Bảng 10.14. Đặc tính làm việc của động cơ điện
không đồng bộ rôto lồng sóc**

s	Đơn vị	0,005	0,01	0,015	0,0206	0,025	0,095
$r_{ns} = C_1^2 \left(\frac{r_1}{C_1} + \frac{r_2}{s} \right)$	Ω	17,386	8,756	5,879	4,315	3,578	1034
$x_{ns} = C_1^2 \left(\frac{x_1}{C_1} + x_2' \right)$	Ω	0,909	0,909	0,909	0,909	0,909	0,909
$Z_{ns} = \sqrt{r_{ns}^2 + x_{ns}^2}$	Ω	17,41	8,80	5,95	4,41	3,69	1,37
$i_2 = C_1 \frac{U_1}{Z_{ns}}$	A	12,92	25,56	37,82	51,04	60,95	164,2
$\cos \varphi_2' = \frac{r_{ns}}{Z_{ns}}$		0,9985	0,9946	0,9881	0,9784	0,9691	
$\sin \varphi_2' = \frac{x_{ns}}{Z_{ns}}$		0,052	0,103	0,153	0,206	0,246	
$I_{1x} = I_{dbr} + \frac{I_2}{C_1} \cos \varphi_2'$	A	13,45	25,7	37,37	49,66	58,58	
$I_{1x} = I_{dbx} + \frac{I_2}{C_1} \sin \varphi_2'$	A	15,35	17,27	20,35	24,98	29,35	
$I_{1x} = \sqrt{I_{1r}^2 + I_{1x}^2}$	A	20,4	30,9	42,5	55,59	65,5	
$\cos \varphi = \frac{I_{1r}}{I_1}$		0,659	0,83	0,878	0,893	0,894	
$P_1 = 3U_1 I_{1r} \cdot 10^{-3}$	kW	8,877	16,962	24,664	32,775	38,662	
$P_{Cu1} = 3I_1^2 r_1 \cdot 10^{-3}$	kW	0,154	0,353	0,668	1,143	1,587	
$P_{Cu2} = 3I_2^2 r_2' \cdot 10^{-3}$	kW	0,041	0,161	0,354	0,644	0,919	
$P_f = 0,005P_1$	kW	0,044	0,085	0,123	0,163	0,193	
P_o	kW	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	
$\Sigma P = P_{Cu1} + P_{Cu2} + P_f + P_o$	kW	1,051	1,411	1,957	2,762	3,511	
$P_2 = P_1 - \Sigma P$	kW	7,826	15,551	22,707	30,013	35,151	
$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100$	%	88,16	91,68	92,06	91,57	90,91	

$$B_{\Phi\delta} = \frac{F_{zlv} 10^{-4}}{1,6 C_{bh} \delta} = \frac{4980 \cdot 10^{-4}}{1,6 \times 0,995 \times 0,07} = 4,5 \text{ T}$$

Theo hình 10-15 tra ra $\chi_{\delta} = 0,51$

$$C_1 = (t_1 - b_{41})(1 - \chi_{\delta}) = (1,538 - 0,3)(1 - 0,51) = 0,6$$

$$\begin{aligned} \Delta\lambda_{1bh} &= \frac{h_{41} + 0,58h_3}{b_{41}} \cdot \frac{C_1}{C_1 + 1,5b_{41}} = \\ &= \frac{0,05 + 0,58 \times 0,45}{0,3} \cdot \frac{0,6}{0,6 + 1,5 \times 0,3} = 0,592 \end{aligned}$$

Hệ số từ dẫn tán rãnh stato khi xét đến bão hòa mạch từ tán:

$$\lambda_{r1bh} = \lambda_{r1} - \Delta\lambda_{1bh} = 1,224 - 0,592 = 0,632$$

Hệ số từ tán tập stato khi xét đến bão hòa mạch từ tán:

$$\lambda_{11bh} = \lambda_{11} \chi_{\delta} = 1,045 \times 0,51 = 0,533$$

Tổng hệ số từ tán stato khi xét đến bão hòa mạch từ tán:

$$\sum \lambda_{1bh} = 0,632 + 0,533 + 1,375 = 2,54$$

Điện kháng stato khi xét đến bão hòa mạch từ tán:

$$x_{1bh} = x_1 \cdot \frac{\sum \lambda_{1bh}}{\sum \lambda_1} = 0,332 \cdot \frac{2,54}{3,644} = 0,231 \text{ } \Omega$$

$$C_2 = (1,931 - 0,15)(1 - 0,51) = 0,873$$

$$\Delta\lambda_{2bh} = \frac{h_{42}}{b_{42}} \cdot \frac{C_2}{C_2 + b_{42}} = \frac{0,05}{0,15} \cdot \frac{0,873}{0,873 + 0,15} = 0,2845$$

Hệ số từ tán rãnh rôto khi xét đến bão hòa mạch từ tán và hiệu ứng mật ngoài:

$$\lambda_{r2\zeta bh} = \lambda_{r2\zeta} - \Delta\lambda_{2bh} = 1,532 - 0,2845 = 1,2475$$

Hệ số từ tán tập rôto khi xét đến bão hòa mạch từ tán:

$$\lambda_{12bh} = \lambda_{12} \chi_{\delta} = 2,036 \times 0,51 = 1,038$$

Hệ số từ tán do rãnh nghiêng rôto khi xét đến bão hòa mạch từ tán:

$$\lambda_{rnbh} = \lambda_{11} Z_o = 0,646 \times 0,51 = 0,33$$

Tổng hệ số từ tản rôto khi xét đến bão hòa mạch từ tản và hiệu ứng mật ngoài:

$$\begin{aligned}\sum \lambda_{2\xi bh} &= \lambda_{2\xi bh} + \lambda_{(2bh)} + \lambda_{d2} + \lambda_{rnbh} = \\ &= 1,2475 + 1,038 + 0,854 + 0,33 = 3,47\end{aligned}$$

Điện kháng rôto khi xét đến hiệu ứng mật ngoài và sự bão hòa của mạch từ tản:

$$x_{2\xi bh} = x_2 \frac{\sum \lambda_{2\xi bh}}{\sum \lambda_2} = 0,546 \frac{3,47}{5,536} = 0,341 \Omega$$

94. Các tham số ngắn mạch khi xét đến hiệu ứng mật ngoài và sự bão hòa của mạch từ tản:

$$r_{n\xi} = r_1 + r_{2\xi} = 0,1233 + 0,141 = 0,2643 \Omega$$

$$x_{n\xi bh} = x_{1bh} + x_{2\xi bh} = 0,231 + 0,341 = 0,572 \Omega$$

$$z_{n\xi bh} = \sqrt{r_{n\xi}^2 + x_{n\xi bh}^2} = \sqrt{0,2643^2 + 0,572^2} = 0,63 \Omega$$

95. Dòng điện khởi động

$$I_k = \frac{U_1}{z_{n\xi bh}} = \frac{220}{0,63} = 349 A$$

Trị số này không sai khác nhiều với trị số giả thiết ở mục 93 nên không cần giả thiết lại.

96. Bội số dòng điện khởi động:

$$i_k = \frac{I_k}{I_{dm}} = \frac{349}{55,6} = 6,32$$

Điện kháng hồ cảm khi xét đến bão hòa:

$$x_{12n} = x_{12} \cdot k_\mu = 14,6 \times 1,52 = 22,2$$

$$C_{2\xi bh} = 1 + \frac{x_{2\xi bh}}{x_{12n}} = 1 + \frac{0,341}{22,2} = 1,015$$

$$I_{2k} = \frac{I_k}{C_{2\xi bh}} = \frac{349}{1,015} = 344 A$$

97. Bội số mômen khối động.

$$m_k = \left(\frac{I_{2k}}{I_{2dm}} \right)^2 \frac{r_{2c}}{r_2} s_{dm} = \left(\frac{344}{51,04} \right)^2 \frac{0,141}{0,0825} 0,0206 = 1,6$$

i. Tính toán nhiệt

Đồng cơ điện không đồng bộ kiểu kín IP44 này được tính toán nhiệt theo sơ đồ thay thế nhiệt ở hình 8-7. Máy có quạt thổi ngoài vỏ máy qua các cánh tản nhiệt, đồng thời có gió tuần hoàn trong vỏ máy nhờ cánh quạt đặt trên vành ngắn mạch của rôto lồng sóc. Tâm cao máy $h = 200 \text{ mm}$ và chiều dài lắp đặt của vỏ là S . Cụ thể máy có ký hiệu 3K 200S-4.

98. Các nguồn nhiệt trong sơ đồ thay thế nhiệt bao gồm:

Tổn hao đồng trên stato:

$$Q_{Cu1} = P_{Cu1} + 0,5 P_I = 1114 + 0,5 \times 169 = 1195 \text{ W}$$

Tổn hao sắt trên stato:

$$Q_{Fe} = P_{Fe} = 430 \text{ W}$$

Tổn hao trên rôto:

$$\begin{aligned} Q_R &= P_{Cu2} + 0,5P_I + P_{ca} + P_{bm} + P_{dm} = \\ &= 625 + 0,5 \times 163 + 334 + 25 + 23 = 1090 \text{ W} \end{aligned}$$

99. Nhiệt trở trên mặt lõi sắt stato:

$$\begin{aligned} R_{Fe} &= R_{Fcg} + R_{Ag} = \frac{1}{S_{Dn}} \left(\frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{\alpha_{Ag}} \right) \\ &= \frac{1}{2193} \left(\frac{1}{0,09} + \frac{1}{0,09} \right) = 1,01 \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C/W} \end{aligned}$$

trong đó $S_{Dn} = \pi D_n l = \pi \cdot 34,9 \times 20 = 2193 \text{ cm}^2$

$$\alpha_g = \frac{\lambda_{Fe}}{h_{gl}} = \frac{30 \cdot 10^{-2}}{3,328} = 0,09 \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{Ag} = 0,09 \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

100. Nhiệt trở phần đầu nối dây quấn stato:

$$R_d = \frac{\delta_c}{\lambda_c S_d} + \frac{1}{\alpha_d S_d} =$$

$$= \frac{0,04}{0,16 \cdot 10^{-2}} + \frac{1}{0,189} \cdot \frac{1}{12597} = 0,24 \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{W}$$

trong đó $\delta_c = 0,02 \text{ cm}$ (cách điện dầu nối bằng băng vải)

$\lambda_c = 0,16 \cdot 10^{-2} \text{ W/}^\circ\text{C}$, đối với cách điện B, F (tra bảng 8.1).

$$\alpha_d = (1 + 0,54 v_R^2) \cdot 10^{-3} = (1 + 0,54 \times 18,33^2) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 0,189 \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$v_R = \frac{r D n}{6000} = \frac{r \cdot 23,8 \times 1470}{6000} = 18,33 \text{ m/s.}$$

$$S_d = 2Z_l C_k l_d = 2 \times 48 \times 5,4 \times 24,3 = 12597 \text{ cm}^2$$

ở đây chu vi của bội dây $C_k = 5,4 \text{ cm}$; $l_d = 24,3 \text{ cm}$

101. Nhiệt trở đặc trưng cho độ chênh nhiệt giữa không khí nóng bên trong máy và vỏ máy

$$R_{\alpha} = \frac{1}{\alpha S_{\alpha}} = \frac{1}{0,298 \cdot 10^{-2} \times 4000} = 8,3 \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{W}$$

$$\text{trong đó } \alpha = \alpha_0 (1 + k_0 v_R^2) \cdot 10^{-3} = 1,42 (1 + 0,06 \times 18,33^2) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 0,298 \cdot 10^{-2} \text{ W/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$S_{\alpha} = 4000 \text{ cm}^2$ xác định theo kết cấu máy.

102. Nhiệt trở bề mặt ngoài vỏ máy:

$$R_{\alpha} = \frac{1}{\alpha_v S_v + \alpha_n S_n + \alpha_n'' S_n''} =$$

$$= \frac{1}{11,6 \cdot 10^{-3} \times 6000 + 10,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 + 1,42 \cdot 10^{-3} \times 1000}$$

$$= 1,226 \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{W}$$

$$\text{ở đây: } K_g = \frac{c}{b+c} + \frac{\alpha_g}{\alpha_v} \cdot \frac{b}{b+c} =$$

$$= \frac{1,5}{0,3+1,5} + \frac{3,85 \cdot 10^{-2}}{6,06 \cdot 10^{-3}} \frac{0,3}{0,3+1,5} = 1,92$$

trong đó: $\alpha'_v = 3,6d^{-0,2}v^{0,8} \cdot 10^{-4} = 3,6 \times 0,024^{-0,2} \times 13,5^{0,8} \cdot 10^{-4} =$
 $= 6,06 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

với đường kính tương đương $d = 2,4 \text{ cm} = 0,024 \text{ m}$.

v_v - tốc độ gió thổi mặt ngoài vỏ máy đã tính đến sự suy giảm 50% theo chiều dài gân tản nhiệt. Đường kính ngoài cánh quạt lấy bằng D_n .

$$v_v = 0,5 \frac{\pi D_n \cdot n}{6000} = 0,5 \frac{\pi \cdot 34,9 \times 1470}{6000} = 13,5 \text{ m/s}$$

$$\alpha_g = \beta \lambda t h (\beta h) = 1 \times 4,10^{-2} t h (1 \times 2,5) = 3,95 \cdot 10^{-2} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ở đây $\beta = \sqrt{\frac{2\alpha'_v}{\lambda b}} = \sqrt{\frac{2 \times 6,06 \cdot 10^{-3}}{4,10^{-2} \times 0,3}} = 1$

$$\alpha_v = K_g \alpha'_v = 1,92 \times 6,06 \cdot 10^{-2} = 11,6 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ở nắp sau, tốc độ gió của cánh quạt không bị suy giảm nên hệ số tản nhiệt trên nắp có gió thổi bằng:

$$\alpha'_n = 3,6d^{-0,2}v^{0,8} \cdot 10^{-4} = 3,6 \times 0,024^{-0,2} \times 269^{0,8} \cdot 10^{-4} =$$

$$= 10,5 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Hệ số tản nhiệt trên nắp không có gió thổi:

$$\alpha''_n = 1,42 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Các diện tích tản nhiệt của vỏ máy (kể cả gân) $S_v = 6000 \text{ cm}^2$, của nắp $S_n = S'_n = 1000 \text{ cm}^2$, chiều cao cánh $h = 2,5 \text{ cm}$, khoảng cách trung bình giữa các gân $c = 1,5 \text{ cm}$, chiều dày gân $b = 0,3 \text{ cm}$ được xác định khi thiết kế kết cấu máy.

103. Nhiệt trở trên lớp cách điện rãnh:

$$R_c = \frac{\delta_c}{\lambda_c \cdot S_c} = \frac{0,03}{0,16 \cdot 10^{-2} \times 5184} = 0,36 \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

trong đó $S_c = Z_1 C_b l_1 = 48 \times 5,4 \times 20 = 5184 \text{ cm}^2$.

104. Độ chênh nhiệt của vỏ máy với môi trường:

$$\theta_{\text{v}} = (Q_{\text{cu}} + P_{\text{lc}} + P_{\text{R}}) R_{\Sigma} = (1195 + 430 + 1090) 1,226 \cdot 10^{-2} = 33,3^{\circ}\text{C}$$

105. Độ tăng nhiệt của dây quấn stato:

$$\theta_1 = \frac{Q_{\text{cu}}(R_{\text{lc}} + R_{\text{c}}) + P_{\text{lc}} R_{\text{lc}} + P_{\text{R}} R_{\text{c}}}{1 + \frac{R_{\text{lc}} + R_{\text{c}}}{R_{\text{d}} + R_{\text{a}}}} + \theta_{\alpha} =$$

$$= \frac{1195 \times 1,37 + 430 \times 1,01 + 1090 \times 8,3 \left(\frac{1,37}{8,54} \right)}{1 + 1,37/8,54} \cdot 10^{-2} + 33,3 = 63^{\circ}\text{C}$$

ở đây $R_{\text{lc}} + R_{\text{c}} = (1,01 + 0,36) 10^{-2} = 1,37 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C/W}$

$$R_{\text{d}} + R_{\text{a}} = (0,24 + 8,3) 10^{-2} = 8,54 \cdot 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

k. Trọng lượng vật liệu tác dụng và chỉ tiêu sử dụng

106. Trọng lượng thép silic cần chuẩn bị:

$$G_{\text{lc}} = (D_{\text{n}} + \Delta)^2 l_{\text{p}} k_{\text{c}} \gamma_{\text{lc}} \cdot 10^{-3} =$$

$$= (34,9 + 0,7)^2 \times 14,4 \times 0,95 \times 7,8 \cdot 10^{-3} = 135 \text{ kg.}$$

107. Trọng lượng đồng của dây quấn stato:

- khi không tính cách điện:

$$G_{\text{Cu}} = Z_{\text{lu}} n \times s_{\text{lu}} \gamma_{\text{Cu}} \cdot 10^{-5} =$$

$$= 48 \times 40 \times 2 \times 1,368 \times 38,8 \times 8,9 \cdot 10^{-5} = 18,14 \text{ kg}$$

- khi kể cả cách điện:

$$G_{\text{Cu}} = [0,876 + 0,124 \left(\frac{d_{\text{cu}}}{d} \right)^2] G_{\text{Cu}} =$$

$$= [0,876 + 0,124 \left(\frac{1,405}{1,32} \right)^2] 18,14 = 18,5 \text{ kg.}$$

108. Trọng lượng nhôm rôto (không kể cánh quạt ở vành ngăn mạch).

- Trọng lượng nhôm ở thanh dẫn :

$$G_{td} = Z_2 S_{td} \gamma_{Al} \cdot 10^{-5} = 38 \times 204,2 \times 14,4 \times 2,6 \cdot 10^{-5} = 2,9 \text{ kg}$$

- Trọng lượng nhôm ở vành ngắn mạch :

$$G_v = 2t D_v S_v \gamma_{Al} \cdot 10^{-5} = 2 \cdot 20,3 \times 782 \times 2,6 \cdot 10^{-5} = 2,57 \text{ kg}$$

- Trọng lượng nhôm ở rôto :

$$G_{Al} = G_{td} + G_v = 2,9 + 2,57 = 5,5 \text{ kg}$$

109. Chỉ tiêu kinh tế về vật liệu tác dụng :

$$\text{Thép kỹ thuật điện : } g_{Fe} = \frac{G_{Fe}}{P} = \frac{135}{30} = 4,5 \text{ kg/kW}$$

$$\text{Đồng : } g_{Cu} = \frac{G_{Cu}}{P} = \frac{18,5}{30} = 0,617 \text{ kg/kW}$$

$$\text{Nhôm : } g_{Al} = \frac{G_{Al}}{P} = \frac{5,5}{30} = 0,183 \text{ kg/kW}$$

10.8.2. Tính toán động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn

Công suất $P = 132 \text{ kW}$, $U = 380/660 \text{ V}$ đấu Δ/Y , $2p = 6$, kiểu bảo vệ IP23, chiều cao tâm trục $h = 315 \text{ mm}$, hiệu suất

$$\eta = 92\%, \cos\varphi = 0,88, \frac{M_{max}}{M_{dm}} = 1,9.$$

a. Kích thước chủ yếu :

1. Đường kính ngoài D_n . Với $h = 315 \text{ mm}$, theo bảng 10.3 có đường kính ngoài $D_n = 59 \text{ cm}$.

2. Đường kính trong D . Theo bảng 10.2, khi $2p = 6$ có :

$$D = k_D D_n = (0,7 \sim 0,72) 59 = 41,3 \sim 42,5 \text{ cm}$$

Lấy $D = 42,5 \text{ cm}$

3. Bước cực :

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi \times 42,5}{6} = 22,25 \text{ cm}$$

4 Công suất tính toán :

$$P' = P \frac{k_l}{\eta \cos \varphi} = 132 \frac{0,98}{0,92 \times 0,98} = 159,8 \text{ kW}$$

trong đó $k_l = 0,98$ theo hình 10-2.

5. Chiều dài lõi sắt :

$$l_\delta = \frac{6,1 \times P' \times 10^7}{\alpha_\delta k_\lambda k_{\lambda_1} A B_\delta D^2 n} =$$

$$= \frac{6,1 \times 159,8 \times 10^7}{0,64 \times 1,11 \times 0,92 \times 570 \times 0,84 \times 42,5^2 \times 1000} = 19,3 \text{ cm}$$

trong đó lấy $\alpha_\delta = 0,64$, $k_\lambda = 1,11$, $k_{\lambda_1} = 0,92$;

Theo hình 10-3 lấy $A = 510 \text{ A/cm}$, $B_\delta = 0,84 \text{ T}$

Lấy $l_\delta = l_1 = 19 \text{ cm}$.

6. Hệ số $\lambda = \frac{l_\delta}{\tau} = \frac{19}{22,25} = 0,85$.

7 Dòng điện pha định mức :

$$I_{\text{ldm}} = \frac{P \cdot 10^3}{m_1 U_1 \eta \cos \varphi} = \frac{132 \cdot 1000}{3 \times 380 \times 0,92 \times 0,88} = 143 \text{ A}$$

b. Dây quấn, rãnh stato và khe hở không khí

8. Số rãnh stato :

Lấy $q_1 = 4$.

$$Z_1 = 6p q_1 = 6 \times 3 \times 4 = 72 \text{ rãnh.}$$

9. Bước rãnh stato :

$$t_1 = \frac{\pi D}{Z_1} = \frac{\pi \times 42,5}{72} = 1,85 \text{ cm}$$

10. Số thanh dẫn tác dụng trong một rãnh :

Chọn số mạch nhánh song song $a_1 = 3$.

$$u_{r1} = \frac{At_1 a_1}{I_{adm}} = \frac{510 \times 1,85 \times 3}{143} = 19,8$$

Lấy $u_{r1} = 20$ vòng.

11. Số vòng dây nối tiếp của một pha

$$w_1 = \frac{u_{r1} Z_1}{2a_1 m_1} = \frac{20 \times 72}{2 \times 3 \times 3} = 80.$$

12. Kiểu dây quấn

Chọn dây quấn hai lớp bước ngắn với $y = 10$

$$\beta = \frac{y}{\tau} = \frac{10}{12} = 0,833$$

13. Hệ số dây quấn :

$$k_d = k_{y1} \cdot k_{r1} = 0,966 \times 0,958 = 0,925$$

$$\text{trong đó } k_{y1} = \sin \beta \frac{\pi}{2} = \sin \frac{10}{12} \frac{\pi}{2} = 0,966.$$

$$k_{r1} = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin 4 \cdot \frac{15}{2}}{4 \sin \frac{15}{2}} = 0,958$$

$$\alpha = \frac{p 360}{Z_1} = \frac{3 \times 360}{72} = 15^\circ.$$

14. Từ thông khe hở không khí :

$$\Phi = \frac{K_E U_1}{4k_{sf} W_1 k_{d1}} = \frac{0,98 \times 380}{4 \times 1,11 \times 50 \times 80 \times 0,925} = 0,02267 \text{ Wb.}$$

15. Mật độ từ thông trong khe hở không khí :

$$B_d = \frac{\Phi \cdot 10^4}{\alpha_s \tau \cdot l_1} = \frac{0,02267 \times 10^4}{0,64 \times 19 \times 22,25} = 0,842 \text{ T}$$

16. Chiều rộng răng nơi nhỏ nhất :

$$b_{z1min} = \frac{B_{\delta} t_l l_{\delta}}{B_{z1max} l_k k_c} = \frac{0,842 \times 1,854 \times 19}{1,9 \times 19 \times 0,95} = 0,865 \text{ cm.}$$

trong đó theo bảng 10-5c lấy $B_{z1max} = 1,9 T$.

Chọn tôn silic 2312, hệ số ép chặt $k_c = 0,95$.

17. Chiều rộng rãnh hình chữ nhật (sơ bộ) :

$$b_{r1} = t_l - b_{z1min} = 1,854 - 0,865 = 0,989 \text{ cm.}$$

18. Tiết diện dây (sơ bộ) :

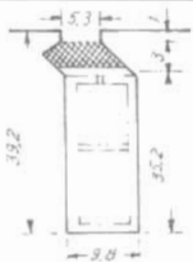
Theo hình 10-4e có $AJ = 260 A^2/mm^2$.

$$\text{Tính ra : } J_1 = \frac{AJ}{A} = \frac{260}{510} = 5,06 A/mm^2.$$

Chọn hai sợi ghép song song $n = 2$. Tiết diện mỗi sợi dây :

$$s'_1 = \frac{I_1}{n_1 a_1 J_1} = \frac{143}{2 \times 3 \times 5,06} = 4,71 \text{ mm}^2.$$

19. Kích thước rãnh stato và sự diện dây rãnh như hình và bảng sau :

Rãnh stato	Các mục	Kích thước rãnh, mm	
		chiều rộng	chiều cao
	- Dây dẫn PETP 155 cỡ $\frac{14 \times 3,55}{152 \times 3,67} 4,755 \text{ mm}^2$	$3,67 \times 2 = 7,34$	$1,52 \times 20 = 30,4$
	(xem Phụ lục VI-2 và VII-b)		
	- Cách điện rãnh (Phụ lục VIII-5) không kể dung sai	2,2	4,5
	- Kích thước rãnh trừ nêm	9,54	34,9

20. Mật độ dòng điện dây quấn stato :

$$J_1 = \frac{I_1}{n_1 a_1 s_1} = \frac{143}{2 \times 3 \times 4,775} = 5,01 \times 10^6 A/mm^2$$

21. Khe hở không khí :

$$\delta = \frac{1}{1200} \left(1 + \frac{9}{2p}\right) = \frac{425}{1200} \left(1 + \frac{9}{6}\right) = 0,885 \text{ mm}$$

Chọn $\delta = 0,9 \text{ mm}$

22. Đường kính ngoài rôto :

$$D' = D - 2\delta = 42,5 - 2 \times 0,09 = 42,32 \text{ cm.}$$

23. Chiều dài lõi sắt rôto :

$$l_2 = l_1 + 0,5 = 19 + 0,5 = 19,5 \text{ cm.}$$

24. Số rãnh rôto :

$$z_2 = 2p \cdot m_2 \cdot q_2 = 6 \times 3 \times 4,5 = 81$$

trong đó lấy $q_2 = 4^{1/2}$.

25. Bước răng rôto :

$$t_2 = \frac{\pi \times 42,32}{81} = 1,64 \text{ cm.}$$

26. Dùng dây quấn kiểu thanh dẫn :

Số vòng dây của một pha rôto :

$$w_2 = 2p \cdot q_2 = 6 \times 4,5 = 27.$$

27. Điện áp trên vành trượt lúc không tải :

$$U_2 = \sqrt{3} U_1 \frac{w_1}{w_2} = \sqrt{3} \times 380 \cdot \frac{27}{80} = 219,4 \text{ V}$$

28. Dòng điện rôto :

$$I_2 = k_I I_1 \nu_1 = 0,91 \times 143 \times 2,87 = 373,4 \text{ A}$$

trong đó theo hình 10-5 có $k_I = 0,91$.

$$V_1 = \frac{m_1 w_1 k_{d1}}{m_2 w_2 k_{d2}} = \frac{3 \times 380 \times 0,925}{3 \times 27 \times 0,955} = 2,87$$

$$k_{d2} = k_{r2} = \frac{0,5}{N \sin \frac{\pi}{2m \cdot N}} = \frac{0,5}{9 \sin \frac{\pi}{2 \times 3 \times 9}} = 0,955$$

ở đây $q = 4^{1/2}$ nên $N = 4 \times 2 + 1 = 9$.

29. Tiết diện thanh dẫn rôto :

$$s_2 = \frac{I_2}{J_2} = \frac{373,4}{5,7} = 65,5 \text{ mm}^2$$

trong đó chọn $J_2 = 5,7 \text{ A/mm}^2$.

30. Kích thước rãnh rôto :

Sơ bộ lấy chiều rộng rãnh :

$$b_{12} = 0,4 \times t_2 = 0,4 \times 16,4 = 6,5 \text{ mm.}$$

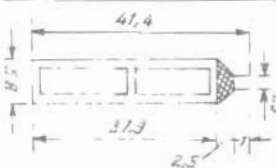
Chọn thanh dẫn $a = 3,8 \text{ mm}$, $b = 16,8 \text{ mm}$.

$$\text{Tiết diện } s_2 = 63,36 \text{ mm}^2$$

31. Mật độ dòng điện rôto :

$$J_2 = \frac{I_2}{s_2} = \frac{373,4}{63,36} = 5,89 \text{ A/mm}^2.$$

32. Kích thước rãnh rôto và sự điện dẫn rãnh :

Rãnh rôto	Các mục	Kích thước rãnh, mm	
		Chiều rộng	Chiều cao
	- Thanh dẫn bằng đồng 3,8 x 16,8 mm ²	3,8	16,8 x 2 = 33,6
	- Cách điện rãnh	1,7	4,0
	- Kích thước rãnh không kế nêm và dung sai	5,5	37,6

33. Đường kính trong rôto :

$$D_2 \approx 0,3D = 0,3 \times 42,5 = 12,75 \text{ cm}$$

Lấy $D_2 = 14 \text{ cm}$

Trong gông rôto có một dây lỗ thông gió dọc trục có đường kính lỗ $d_{g2} = 30 \text{ mm}$.

• Tính toán mạch từ

34. Mật độ từ thông trên răng stato :

$$B_{z1\max} = \frac{B_{\delta} t_1 l_{\delta}}{b_{z1\min} l_{k_c}} = \frac{0,842 \times 1,854 \times 19}{0,864 \times 19 \times 0,95} = 1,88 \text{ T}$$

$$B_{r1min} = \frac{B_{\delta} t_1 l_{\delta}}{b_{r1max} l_1 k_c} = \frac{0,842 \times 1,854 \times 19}{1,216 \times 19 \times 0,95} = 1,35 \text{ T}$$

$$B_{r1tb} = \frac{B_{r1max} + B_{r1min}}{2} = \frac{1,88 + 1,35}{2} = 1,62 \text{ T}$$

$$\text{trong đó } b_{r1min} = t_1 - b_{r1} = 1,854 - 0,98 = 0,874 \text{ cm}$$

$$b_{r1max} = t_1 \left(1 + \frac{2h_{r1}}{D}\right) - b_{r1} =$$

$$= 1,854 \left(1 + \frac{2 \times 3,92}{42,5}\right) - 0,98 = 1,216 \text{ cm}$$

35. Mật độ từ thông trên răng rôto :

$$B_{r2max} = \frac{B_{\delta} t_2 l_{\delta}}{b_{r2min} l_2 k_c} = \frac{0,842 \times 1,64 \times 19}{0,74 \times 19,5 \times 0,95} = 1,91 \text{ T}$$

$$B_{r2min} = \frac{B_{\delta} t_2 l_{\delta}}{b_{r2max} l_2 k_c} = \frac{0,842 \times 1,64 \times 1,9}{1,034 \times 19,5 \times 0,95} = 1,37 \text{ T}$$

$$B_{r2tb} = \frac{B_{r2max} + B_{r2min}}{2} = \frac{1,91 + 1,37}{2} = 1,63 \text{ T}$$

$$\text{ở đây : } b_{r2min} = \frac{\pi(D' \times 2h_{r2})}{Z_2} - b_{r2} =$$

$$= \frac{\pi(42,32 - 2 \times 4,14)}{81} - 0,58 = 0,74 \text{ cm}$$

$$b_{r2max} = \frac{\pi(D' - 2(h_{a2} + h_n))}{Z_2} - b_{r2} =$$

$$= \frac{\pi(42,32 - 2(0,1 + 0,25))}{81} - 0,58 = 1,034 \text{ cm}.$$

36. Mật độ từ thông trên gông stato :

$$B_{g1} = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2h_{g1} l_1 k_c} = \frac{0,02267 \cdot 10^4}{2 \times 4,33 \times 19 \times 0,95} = 1,45 \text{ T}$$

$$\begin{aligned}\text{trong đó } h'_{g1} &= \frac{D_n - D}{2} - h_{r1} - \frac{2}{3} d_{g1} m_{g1} = \\ &= \frac{59 - 42,5}{2} - 3,92 = 4,33 \text{ cm} .\end{aligned}$$

37. Mật độ từ thông gông rôto :

$$B_{g2} = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2h'_{g2} l_2 k_c} = \frac{0,62267 \times 10^4}{2 \times 8,02 \times 19,5 \times 0,95} = 0,75 \text{ T} .$$

$$\begin{aligned}\text{trong đó } h'_{g2} &= \frac{D' - D_2}{2} - h_{r2} - \frac{2}{3} d_{g2} n_{g2} = \\ &= \frac{42,32 - 14}{2} - 4,14 - \frac{2}{3} 3 = 8,02 \text{ cm} .\end{aligned}$$

38. Sức từ động khe hở không khí :

$$F_{\delta} = 1,6 B_{\delta} k_{\delta} \delta = 1,6 \times 0,842 \times 1,21 \times 0,09 = 1459 \text{ A}$$

$$\text{trong đó : } k_{\delta} = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} = 1,183 \times 1,023 = 1,21 .$$

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma_1 \delta} = \frac{18,58}{18,58 - 3,18 \times 0,9} = 1,183$$

$$\gamma_1 = (b_{\delta 1} / \delta)^2 = \frac{(5,3/0,9)^2}{\delta + (5,3/0,9)} = 3,18$$

$$k_{\delta 2} = \frac{t_2}{t_2 - \gamma_2 \delta} = \frac{15,41}{15,41 - 0,417 \times 0,9} = 1,023$$

$$\gamma_2 = \frac{(1,5/0,9)^2}{\delta + (1,5/0,9)} = 0,417 .$$

39. Sức từ động trên răng stato :

$$F_{z1} = 2h_{z1} H_{z1} = 2 \times 3,92 \times 17,72 = 138,9 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}\text{ở đây } H_{z1} &= \frac{1}{6} (H_{z1\max} + H_{z1\min} + 4 H_{z1\text{tb}}) \\ &= \frac{1}{6} (37,10 + 8,04 + 4 \times 15,3) = 17,72 \text{ A/cm}\end{aligned}$$

Với $B_{z1\max} = 1,88 \text{ T}$, $B_{z1tb} = 1,62 \text{ T}$, $B_{z1\min} = 1,35 \text{ T}$,
theo Phụ lục V-6 có

$$H_{z1\max} = 37,1 \text{ A/cm}, H_{z1tb} = 15,3 \text{ A/cm}, H_{z1\min} = 8,04 \text{ A/cm}$$

40. Sức từ động trên răng rôto :

$$F_{z2} = 2h_{z2}H_{z2} = 2 \times 4,14 \times 19,38 = 160,4 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{ở đây } H_{z2} &= \frac{1}{6} (H_{z2\max} + H_{z2\min} + 4H_{z2tb}) = \\ &= \frac{1}{6} (43,5 + 8,4 + 4 \times 16,1) = 19,38 \text{ A/cm} \end{aligned}$$

Với $B_{z2\max} = 1,91 \text{ T}$, $B_{z2tb} = 1,64 \text{ T}$, $B_{z2\min} = 1,37 \text{ T}$,
theo phụ lục ta có : $H_{z2\max} = 43,5 \text{ A/cm}$, $H_{z2tb} = 16,1 \text{ A/cm}$,
 $H_{z2\min} = 8,4 \text{ A/cm}$.

41. Hệ số bão hòa răng :

$$k_r = \frac{F_\delta + F_{r1} + F_{z2}}{F_\delta} = \frac{1459 + 138,9 + 160,4}{1459} = 1,2$$

42. Sức từ động trên gông rôto :

$$F_{g1} = L_{g1}H_{g1} = 28,6 \times 7,63 = 218,2 \text{ A}$$

$$\text{ở đây : } L_{g1} = \frac{\pi(D_n - h_{g1})}{2p} = \frac{\pi(59 - 4,33)}{6} = 28,6 \text{ cm}$$

Với $B_{g1} = 1,45 \text{ T}$, theo Phụ lục V-9 có $H_{g1} = 7,63 \text{ A/cm}$

Với $B_{g2} = 0,76 \text{ T}$, theo Phụ lục V-9 có $H_{g1} = 1,8 \text{ A/cm}$

43. Sức từ động gông rôto :

$$F_{g2} = L_{g2}H_{g2} = 12,6 \times 1,8 = 22,7 \text{ A}$$

$$\text{ở đây } L_{g2} = \frac{\pi(D_2 + h_{g2})}{2p} = \frac{\pi(14 + 10)}{6} = 12,6$$

44. Tổng sức từ động toàn mạch :

$$\begin{aligned} F &= F_\delta + F_{r1} + F_{z2} + F_{g1} + F_{g2} = \\ &= 14,59 + 138,9 + 160,4 + 218,2 + 22,7 = 1999 \text{ A} \end{aligned}$$

45. Hệ số bão hòa toàn mạch :

$$k_{\mu} = \frac{F}{F_{\delta}} = \frac{1999}{1459} = 1,37 .$$

46. Dòng điện từ hóa :

$$I_{\mu} = \frac{pF}{0,9 \times m_1 \times w_1 k_{d1}} = \frac{3 \times 1999}{0,9 \times 3 \times 80 \times 0,925} = 30 \text{ A}$$

$$I_{\mu}^* = \frac{I_{\mu}}{I_1} = \frac{30}{143} = 0,21 .$$

a. *Tính toán tham số*

47. Chiều dài trung bình nửa vòng dây dây quấn stato :

$$l_{tb1} = l_1 + l_{d1} = 19 + 34,5 = 53,5 \text{ cm}$$

$$\text{ở dây : } l_{d1} = A + 1,57H + 2M + N =$$

$$= 21,3 + (1,57 \times 1,52) + (2 \times 2,5) + 6 = 34,5 \text{ cm.}$$

trong

$$\text{đó : } A = \frac{r_y - R - 0,5H}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{c1}}{t_{c1}}\right)^2}} = \frac{20,4 - 1,2 - 0,5 \times 1,52}{\sqrt{1 - 0,54^2}} = 21,3$$

$$\begin{aligned} \text{Theo (3-31) : } r_y &= \frac{\pi(D + 2H + a_3)\beta}{2p} = \\ &= \frac{\pi(42,5 + 2 \times 1,52 + 1,2) 0,833}{6} = 20,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Theo (3-35) } f_{c1} &= B_c + C_{c1} = B_c + (x_1 + x_2) = \\ &= 0,734 + 0,3 = 1,034 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$\text{ở dây } x_1 \approx 0 ; x_2 = 0,3 \text{ cm.}$$

$$\text{Theo (3-44) } t_{c1} = \frac{\pi(D + a_2)}{Z_1} = \frac{\pi(42,5 + 0,8)}{72} = 1,89 \text{ cm} .$$

$$\text{ở dây } a_2 = a_3 - 2h_2 = 1,2 - (2 \times 0,2) = 0,8 \text{ cm.}$$

$$\frac{f_{c1}}{t_{c1}} = \frac{1,034}{1,89} = 0,54 .$$

Theo hình (3-38) $H = 10 \times 1,52 = 15,2 \text{ mm} = 1,52 \text{ cm}$.

Theo bảng (3.7), (3.8) $R = 1,2 \text{ cm}$, $H = 2,5 \text{ cm}$.

Lấy $N = 6 \text{ cm}$.

48. Chiều dài dây quấn một pha của stato :

$$L_1 = 2 l_{\text{th}} W_1 10^{-2} = 2 \times 53,5 \times 80 \times 10^{-2} = 85,6 \text{ m}.$$

49. Chiều dài theo chiều trục của dây quấn stato :

$$l_1 = 0,5 A \frac{f_c}{t_c} + M + N = 0,5 \times 21,3 \times 0,54 + 2,5 + 6 = 14,25 \text{ cm}.$$

50. Điện trở stato :

$$r_1 = \rho_{115} \frac{L_1}{s_1 c_1} = \frac{1}{41} \frac{85,6}{9,51 \times 3} = 0,073 \Omega$$

$$r_1^* = r_1 \frac{l_1}{U_1} = 0,073 \frac{143}{380} = 0,027 .$$

51. Chiều dài trung bình nửa vòng dây rôto :

$$l_{2\text{tb}} = l_2 + l_{d2} = 19,5 + 32 = 51,5 \text{ cm}$$

trong đó $l_{d2} = A + (10 \sim 15) = 22 + 10 = 32 \text{ cm}$.

$$A = \frac{\tau_y}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{t_c}\right)^2}} = \frac{20}{\sqrt{1 - 0,417^2}} = 22 \text{ cm}$$

$$\frac{f_c}{t_c} = \frac{5 + 5}{13,2} = 0,417$$

$$\tau_y = \frac{\pi(D' - h_{r2})}{2p} = \frac{\pi(42,32 - 4,14)}{6} = 20 \text{ cm}$$

$$t_c = \frac{\pi(D' - 2h_{r2})}{z_2} = \frac{\pi(42,32 \times 2 \times 4,14)}{81} = 13,2 \text{ cm}$$

52. Điện trở rôto :

$$r_2 = \rho_{115} \frac{L_2}{s_2 a_2} = \frac{1}{41} \frac{27,81}{63,26} = 0,0107 \Omega$$

trong đó $L_2 = 2l_{2th} \cdot w_2 \cdot 10^{-2} = 2 \times 51,5 \times 27 \times 10^{-2} = 27,81 \text{ m}$.

53. Điện trở rôto đã quy đổi :

$$r'_2 = \gamma \cdot r_2 = 8,24 \times 0,0107 = 0,088 \Omega.$$

$$\begin{aligned} \text{trong đó hệ số quy đổi } \gamma &= \frac{m_1(W_1 k_{d1})^2}{m_2(W_2 k_{d2})^2} = \\ &= \frac{3(80 \times 0,925)^2}{3(27 \times 0,955)^2} = 8,24. \end{aligned}$$

$$r_2^{**} = r'_2 \frac{I_1}{U_1} = 0,088 \times \frac{142}{380} = 0,033.$$

54. Từ tàn rãnh stato :

$$\begin{aligned} \lambda_{r1} &= \frac{h_1 - h_5}{3 b_r} k_\beta + \left(\frac{h_2}{b_r} + \frac{3h_3}{b_r + 2b_4} + \frac{h_4}{b_4} \right) k'_\beta + \frac{h_5}{4b_r} = \\ &= \frac{33,8 - 1,4}{3 \times 9,8} 0,906 + \left(\frac{0,7}{9,8} + \frac{3 \times 3}{9,8 + 2 \times 5,3} \right) + \frac{1}{5,3}) 0,875 = \\ &= 1,612. \end{aligned}$$

trong đó theo Phụ lục VIII-5 về cách điện rãnh :

$$h_5 = 1 + \frac{0,2 + 0,6}{2} = 1,4 \text{ mm}.$$

$$h_1 = 3 \text{ mm}, h_2 = 0,5 + \frac{0,2 + 0,6}{4} = 0,7 \text{ mm}.$$

$$h_1 = 35,2 - (2 \times 0,4) = 33,8 \text{ mm}.$$

$$h_{41} = 1 \text{ mm}, b_{41} = 5,3 \text{ mm}.$$

$$k'_\beta = \frac{1 + 3\beta}{4} = \frac{1 + 3 \times 0,833}{4} = 0,875$$

$$k_\beta = \frac{1}{4} (1 + 3 k'_\beta) = \frac{1}{4} (1 + 3 \times 0,877) = 0,906.$$

55. Từ tàn phân đầu nối stato :

$$\lambda_{d1} = 0,34 \frac{q_1}{l_1} (l_d - 0,64 \beta \tau) =$$

$$= 0,34 \frac{4}{19} (34,5 - 0,64 \times 0,833 \times 22,25) = 1,484.$$

56. Từ tán tập stato :

$$\begin{aligned}\lambda_{d1} &= \frac{0,9 t_1 (q_1 k_{d1})^2 \varphi_1 k_{11}}{\delta k_\delta} \sigma_{11} = \\ &= 0,9 \cdot \frac{18,54 (4 \times 0,925)^2 \times 1 \times 0,944}{0,9 \times 1,21} \cdot 0,0062 = 1,22 \\ \text{trong đó } k_{11} &= 1 - 0,033 \frac{b_{41}^2}{t_1 \cdot \delta} = \\ &= 1 - 0,033 \frac{5,3^2}{18,54 \times 0,9} = 0,944.\end{aligned}$$

57. Điện kháng stato :

$$\begin{aligned}x_1 &= 0,158 \frac{f_1}{100} \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \frac{l_1}{pq} Z\lambda_1 = \\ &= 0,158 \times \frac{50}{100} \left(\frac{80}{100} \right)^2 \frac{19}{3 \times 4} (1,012 \times 1,488 \times 1,22) = 0,345 \Omega. \\ x_1^* &= x_1 \frac{I_1}{U_1} = 0,345 \frac{143}{380} = 0,128\end{aligned}$$

58. Từ tán rãnh rôto :

$$\begin{aligned}\lambda_{r2} &= \frac{h_1 - h_5}{3b_r} k_\beta + \left(\frac{h_2}{b_r} + \frac{3h_3}{b_r + 2b_4} + \frac{h_3}{b_4} \right) k'_\beta + \frac{h_5}{4b_r} = \\ &= \frac{35,5 - 1,6}{3 \times 5,8} + \frac{1,2}{5,8} + \frac{3 \times 2,5}{5,8 + 2 \times 1,5} + \frac{1}{1,5} = 3,674\end{aligned}$$

$$\text{trong đó } h_5 = 0,5 + \frac{2,2}{2} = 1,6 \text{ mm (theo cách điện ở}$$

Phụ lục VIII-10)

$$h_2 = 0,5 + \frac{2,2}{4} + 0,15 = 1,2 \text{ mm}, \quad h_3 = 2,5 \text{ mm}.$$

$$h_1 = 37,9 - 2 \times 1,2 = 35,5 \text{ mm}.$$

$$h_4 = 1,0 \text{ mm}, b_4 = 1,5 \text{ mm}, b_f = 5,8 \text{ mm}.$$

$$k_\beta = k'_\beta = 1.$$

59. Từ tàn đầu nối rôto :

$$\begin{aligned}\lambda_{d2} &= 0,34 \frac{q_2}{l_2} (l_d - 0,64 \beta \tau) = \\ &= 0,34 \frac{4,5}{19,5} (32 - 0,64 \times 22,25) = 1,708.\end{aligned}$$

60. Từ tàn tap rôto :

$$\begin{aligned}\lambda_{t2} &= \frac{0,9 t_2 (q_2 k_{d2})^2 \rho_{12} k_{t2}}{\delta k_\delta} \sigma_{t2} \\ &= \frac{0,9 \times 16,41 (4,5 \times 0,955)^2 \times 1 \times 1}{0,9 \times 1,21} 0,0076 = 1,753\end{aligned}$$

$$\text{ở đây } k_{t2} = 1 - 0,033 \frac{b_{d2}^2}{t_2 \cdot 6} = 1 - 0,033 \frac{1,5^2}{16,4 \times 0,9} \approx 1$$

61. Điện kháng tản rôto :

$$\begin{aligned}x_2 &= 0,158 \frac{f_1}{100} \left(\frac{w_2}{100} \right)^2 \frac{l_2}{p_2 q_2} \sum \lambda_2 = \\ &= 0,158 \frac{50}{100} \left(\frac{27}{100} \right)^2 \frac{19,5}{3 \times 4,5} (3,674 + 1,708 + 1,753) = 0,06 \Omega.\end{aligned}$$

62. Điện kháng tản rôto đã quy đổi :

$$x'_2 = \gamma \cdot x_2 = 8,24 \times 0,06 = 0,494 \Omega$$

$$x'^*_2 = x'_2 \frac{I_1}{U_1} = 0,494 \frac{143}{380} = 0,186.$$

63. Điện kháng từ hóa :

$$x_{12} = \frac{U_1}{I_1} - x_1 = \frac{380}{143} - 0,345 = 12,32 \Omega.$$

$$x^*_{12} = x_{12} \frac{I_1}{U_1} = 12,32 \frac{14,3}{380} = 4,64.$$

64. Điện trở từ hóa :

$$r_{12} = \frac{P_{Fe}}{m I_{\mu}^2} = \frac{977,6}{3 \times 30^2} = 0,361 \, \Omega \, .$$

$$r_{12}^* = r_{12} \frac{I_1}{U_1} = 0,361 \frac{143}{380} = 0,136 \, .$$

a. Tính toán tổn hao

65. Tổn hao sắt chính

$$\begin{aligned} P_{Fe} &= p_{1/50} \left(\frac{f_1}{90} \right)^{\beta} (k_g B_{g1}^2 G_{g1} + k_z B_{z1}^2 G_{z1}) 10^{-3} = \\ &= 1,75 \left(\frac{50}{90} \right)^{1,4} (1,6 \times 1,45^2 \times 104,7 + 1,8 \times 1,62^2 \times 43,7) 10^{-3} = \\ &= 977,6 \, W \end{aligned}$$

ở đây $p_{1/50} = 1,75 \, W/kg$, $\beta = 1,4$, $k_g = 1,6$, $k_z = 1,8$.

$$\begin{aligned} G_{g1} &= \pi(D_n - h_{g1}) h_{g1} l_1 k_c \gamma_{Fe} \cdot 10^{-3} = \\ &= \pi(59 - 4,33) 4,33 \times 19 \times 0,95 \times 7,8 \times 10^{-3} = \\ &= 104,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{z1} &= h_{z1} b_{z1lt} Z_1 l_1 k_c \gamma_{Fe} \cdot 10^{-3} \\ &\approx 3,92 \times 1,045 \times 72 \times 19 \times 0,95 \times 7,8 \times 10^{-3} = \\ &= 43,7 \, kg. \end{aligned}$$

$$\text{trong đó } b_{z1lt} = \frac{b_{z1max} + b_{z1min}}{2} = \frac{12,16 + 8,74}{2} = 10,45 \, mm.$$

66. Hao tổn bé mặt :

$$\begin{aligned} P_{bm2} &= p_{bm2}(t_2 - b_{42}) Z_2 l_2 = 674,7 (1,641 - 0,15) 8 \times 19,5 \\ &= 158,8 \, W. \end{aligned}$$

ở đây :

$$p_{bm2} = 0,5 k_{02} \left(\frac{Z_1 n}{10000} \right)^{1,5} (B_{02} t_1)^2 =$$

$$= 0,5 \times 1,8 \left(\frac{72 \times 1000}{10\,000} \right)^{1,5} (0,336 \times 10 \times 1,854)^2$$

$$\approx 674,7 \text{ W/m}^2.$$

$$B_{\alpha} = \beta_{\alpha 2} k_{\delta} B_{\delta} = 0,33 \times 1,21 \times 0,842 = 0,336 \text{ T}.$$

$$\beta_{\alpha 2} = 0,33 \text{ khi } \frac{b_{41}}{6} = \frac{5,3}{0,9} = 5,9.$$

67. Tổn hao đập mạch :

$$P_{dm} = 0,11 \left(\frac{Z_{1n}}{10\,000} B_{dm2} \right)^2 G_{72} =$$

$$= 0,11 \left(\frac{72 \times 1000}{10000} \times 0,143 \right)^2 \times 42,98 = 501,2 \text{ W}$$

$$\text{ở đây } h_{72} = h_{72} b_{72th} Z_{212} k_c \gamma_{1c} \cdot 10^{-3} =$$

$$= 4,14 \times 0,887 \times 81 \times 19,5 \times 0,95 \times 7,8 \times 10^{-3}$$

$$\approx 42,98 \text{ kg}$$

$$\text{trong đó } b_{72th} = \frac{b_{72max} + b_{72min}}{2} = \frac{10,34 + 7,4}{2} = 8,87 \text{ mm}$$

$$B_{dm2} = \frac{\gamma_1 \delta}{2t_2} B_{72th} = \frac{3,18 \times 0,09}{2 \times 1,641} \cdot 1,64 = 0,143 \text{ T}.$$

ở đây $\gamma_1 = 3,18$ xem mục 38.

68. Tổn hao sắt phụ :

$$P_{lcl} = P_{dm} + P_{bm} = 158,8 + 501,2 = 660 \text{ W}.$$

69. Tổn hao cơ :

$$P_{cơ} = (n_g + 11) (n/1000)^2 (D/100)^3 \times 10^{-3} =$$

$$11 \left(\frac{1000}{1000} \right)^2 \left(\frac{42,5}{100} \right)^3 \cdot 10^{-3} = 0,845 \text{ kW} = 845 \text{ W}.$$

70. Tổn hao ma sát trên vành trượt :

$$P_{ms} = 9,81 k_{ms} \rho_{ms} \rho_v v_v =$$

$$= 9,81 \times 0,16 \times 17 \times 96 \times 10,47 = 273,4 \text{ W}$$

trong đó lấy $k_{ms} = 0,16$, $\rho_{ms} \approx 0,17 \text{ kg/cm}^2$.

Lấy mật độ dòng điện trong chổi than $J_1 = 12 \text{ A/cm}^2$ thì tiết diện chổi than là

$$S'_1 = \frac{I_2}{J_1} = \frac{369,6}{12} = 30,8 \text{ cm}^2.$$

Theo phụ lục vẽ chổi than với $l_1 = 20 \text{ mm}$, $b_1 = 32 \text{ mm}$ thì số chổi trên một vành trượt bằng: $n_1 = \frac{S'_1}{b_1 l_1} = \frac{30,8}{2 \times 3,2} = 4,8$.

Lấy số chổi trên một vành trượt $n_1 = 5$.

Mật độ dòng điện trên chổi $J_1 = \frac{369,6}{2 \times 3,2 \times 5} = 11,56 \text{ A/cm}^2$

Tiết diện tiếp xúc trên cả 3 vành trượt :

$$S_1 = b_1 l_1 n_1 \cdot m_2 = 2 \times 3,2 \times 5 \times 3 = 96 \text{ cm}^2.$$

Với đường kính vành trượt là $D_v = 20 \text{ cm}$ thì tốc độ đường bề mặt rãnh trượt bằng :

$$v_v = \frac{\pi D_v n}{6000} = \frac{\pi \times 20 \times 1000}{6000} = 10,47 \text{ m/s}$$

71. Tổn hao không tải :

$$\begin{aligned} P_o &= P_{Fe} + P_{lcl} + P_{ms} P_{co} = 977,6 + 660 + 273,4 = \\ &= 2820 \text{ W} = 2,82 \text{ kW}. \end{aligned}$$

72. Tổn hao phụ :

$$P_f = 0,005 \frac{P_2}{\eta} = 0,005 \times \frac{132}{0,92} = 0,72 \text{ kW}$$

73. Dòng điện không tải :

$$I_o = \sqrt{I_{or}^2 + I_{ox}^2} = \sqrt{2,64^2 + 30^2} = 30 \text{ A}$$

$$\text{trong đó } I_{or} = \frac{P_o + 3J_\mu^2 r_l}{3U_l} = \frac{2820 + 3 \times 30^2 \times 0,0730}{3 \times 380} = 2,64 \text{ A}$$

$$I_{ox} = I_\mu = 30 \text{ A}.$$

74. Hệ số công suất lúc không tải $\cos \varphi_o$:

$$\cos \varphi_o = \frac{Z_{or}}{I_o} = \frac{2,64}{30} = 0,09$$

g. Đặc tính làm việc

$$r_1 = 0,073 \, \Omega \quad x_1 = 0,345 \, \Omega \quad x_2 = 12,32 \, \Omega$$

$$r'_2 = 0,088 \, \Omega \quad x'_2 = 0,494 \, \Omega$$

$$C_1 = 1 + \frac{x_1}{x_{r2}} = 1 + \frac{0,345}{12,32} = 1,028 C_1^2 = 1,057.$$

$$I_{\alpha 2} = \frac{P_{Fe} + P_{Fcf} + 3I_{\mu}^2 r_1}{3U_1} = \frac{977,6 + 660 + 3 \times 30^2 \times 0,073}{3 \times 380} = 1,603 \, A$$

$$s_m = \frac{r'_2}{\frac{x_1}{C_1} + x'_2} = \frac{0,088}{\frac{0,345}{1,028} + 0,494} = 0,106.$$

$$E_1 = V - I_1 x_1 = 380 - 30 \times 0,345 = 360 \, V.$$

$$Z'_2 = \frac{I_2}{v_1} = \frac{373,4}{2,87} = 130,1 \, A$$

trong đó v_1 lấy ở mục 28

$$x_{dm} = \frac{I_2 r'_2}{E_1} = \frac{130,1 \times 0,088}{360} = 0,032$$

Với $s_m = 0,1$ có:

$$r_{ns} = C_1^2 \left(\frac{r_1}{C_1} + \frac{r'_2}{s} \right) = 1,057 \left(\frac{0,0730}{1,028} + \frac{0,088}{0,1} \right) = 1 \, \Omega$$

$$x_{ns} = C_1^2 \left(\frac{x_1}{C_1} + x'_2 \right) = 1,057 \left(\frac{0,345}{1,028} + 0,494 \right) = 0,877 \, \Omega$$

$$I'_{2m} = C_1 \frac{U_1}{\sqrt{R^2 + X^2}} = 1,028 \frac{380}{\sqrt{1^2 + 0,877^2}} = 293,7 \, A$$

$$m_{\max} = \frac{I_m^2}{I_{2dm}^2} \frac{s_{dm}}{s_m} = \left(\frac{293,7}{136,2} \right)^2 \frac{0,035}{0,1} = 1,63.$$

ở đây $P_2 = 132 \, kW$.

$$I_1 = 146 \, A.$$

$$\eta_1 = 0,91$$

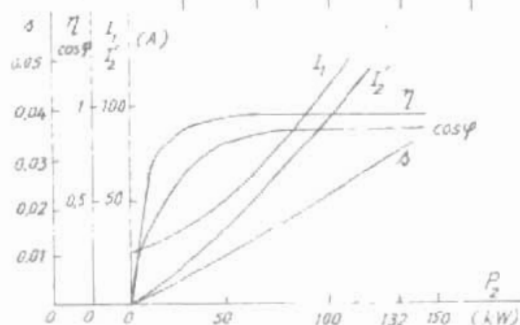
$$\cos \varphi = 0,88.$$

Xem đường đặc tính làm việc ở hình 10-21.

Bảng 10.15. Đặc tính làm việc của động cơ rôto dây quấn với

$$P_2 = 132 \text{ kW}, U_1 = 380/660 \text{ V}, 2p = 6$$

Số TT	s	Đơn vị	0,005	0,01	0,02	0,03	0,035	0,04
1	$R_{ns} = C_1^2 \left(\frac{r_1}{C_1} + \frac{r_2}{s} \right)$	Ω	18,68	9,38	4,72	3,17	2,73	2,4
2	$X_{ns} = C_1^2 \left(\frac{x_1}{C_1} + x_2' \right)$	Ω	0,877	0,877	0,877	0,877	0,877	0,877
3	$Z_{ns} = \sqrt{R_{ns}^2 + X_{ns}^2}$	Ω	18,7	9,4	4,81	3,29	2,87	2,55
4	$I_2' = U_1 / Z_{ns}$	A	20,32	40,36	79,08	115,4	132,5	148,8
5	$\cos \varphi_2' = r_{ns} / Z_{ns}$	—	0,999	0,996	0,983	0,964	0,952	0,939
6	$\sin \varphi_2' = x_{ns} / Z_{ns}$	—	0,043	0,093	0,183	0,266	0,306	0,344
7	$I_{1r} = I_{01} + I_2' \cos \varphi_2'$	A	2132	41,22	78,76	112,3	127,2	140,7
8	$I_{1x} = I_{0x} + \frac{I_2'}{C_1} \sin \varphi_2'$	A	30,87	33,75	44,47	61,54	70,55	81,19
9	$I_1 = \sqrt{I_{1r}^2 + I_{1x}^2}$	A	37,52	53,27	90,45	128,1	145,5	162,6
10	$\cos \varphi = I_{1r} / I_1$	—	0,57	0,77	0,87	0,88	0,88	0,87
11	$P_1 = 3 U_1 I_1 10^{-3}$	kW	24,3	46,99	89,79	128	145	160,4
12	$P_{cu1} = 3 r_1 I_1^2 10^{-3}$	kW	0,3	0,6	1,73	3,48	4,48	5,6
13	$P_{cu2} = 3 r_2' I_2'^2 10^{-3}$	kW	0,12	0,45	1,74	3,71	3,71	6,18
14	$P_{tx} = 3 \Delta U_{cn} I_2' I_{1r} 10^{-3}$	kW	0,05	0,11	0,21	0,31	0,35	0,4
15	$P_f = 0,005 I_1$	kW	0,05	0,1	1,23	0,58	0,75	0,93
16	$\Sigma P = P_{cu1} + P_{cu2} + P_{tx} + P_f + P_o$	kW	3,34	4,08	0,73	10,9	13,3	15,9
17	$P_2 = P_1 - \Sigma P$	kW	20,96	42,92	83,06	117,1	131,7	144,5
18	$\eta = 1 - \Sigma P / P_2$	—	0,86	0,91	0,93	0,92	0,91	0,90



Hình 10-21. Đặc tính làm việc của động cơ điện rôto dây quấn $P=132 \text{ kW}$