

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC DUY TÂN



## ĐỒ ÁN MÁY ĐIỆN

Đề tài: “**THIẾT KẾ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ  
BA PHA ROTOR LỒNG SÓC**”

GVHD: Nguyễn Thanh Hùng

SVTH: Nguyễn Đình Đức

Lớp: EE 447 A

Khóa: K24

MSSV: 24216609433

## MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU .....	1
CHƯƠNG 1 .....	2
ĐẠI CƯƠNG VỀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ .....	2
1.1 TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ .....	2
1.1.1. Nguyên lý làm việc của động cơ điện không đồng bộ xoay chiều ba pha.....	3
Hình 1.1.....	3
1.1.2. Cấu tạo của động cơ không đồng bộ.....	5
Hình 1.2 kết cấu stato máy điện không đồng bộ.....	5
Hình 1.3. Dây quấn stato.....	6
Hình 1.4. Cấu tạo rôto động cơ không đồng bộ.....	7
1.1.3. Khe hở.....	8
1.1.4 Phân loại: .....	8
a) Phân loại theo phương pháp bảo vệ máy đối với môi trường bên ngoài .....	9
b) Phân loại theo cách lắp đặt .....	10
1.1.5. Công dụng.....	10
1.1.6. Các đại lượng định mức.....	10
1.2 YÊU CẦU CỦA THIẾT KẾ ĐỘNG CƠ KĐB BA PHA RÔTO LỒNG SÓC.....	11
1.2.1. Nhiệm vụ và phạm vi thiết kế: .....	11
1.2.2. Các bước thiết kế gồm có : .....	11
1.2.3. Vật liệu thường dùng trong thiết kế : .....	12
a. Vật liệu dẫn từ: .....	12
b. Vật liệu dẫn điện: .....	13
c. Vật liệu kết cấu.....	13
d. Vật liệu cách điện: .....	14
1.3. CÁC THÔNG SỐ BAN ĐẦU .....	15
CHƯƠNG 2 .....	17
XÁC ĐỊNH CÁC KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU .....	17
2.1. Số đôi cực từ ( p ): .....	17
2.2. Đường kính ngoài stator ( $D_n$ ): .....	17
2.3. Đường kính trong stato ( D):.....	17
2.4. Công suất tính toán ( $P'$ ) :.....	18
2.5. Chiều dài của lõi sắt stato ( $l_1$ ): .....	18

2.6. Bước cực ( $\tau$ ):	19
2.7. Dòng điện pha định mức:	19
CHƯƠNG 3	20
THIẾT KẾ STATO	20
3.1. Số rãnh stato ( $Z_1$ ):	20
3.2. Bước rãnh stato ( $t_1$ ):	20
3.3. Số thanh dẫn tác dụng của một rãnh ( $u_{r1}$ ):	21
3.4. Số vòng dây nối tiếp của 1 pha ( $w_1$ ):	21
3.5. Tiết diện dây dẫn ( $s_1$ ):	21
3.6. Kiểu dây quấn:	22
3.7. Hệ số dây quấn ( $k_d$ ):	23
Hình 3.1: Sơ đồ quấn dây động cơ	24
3.8. Từ thông khe hở không khí ( $\phi$ ):	24
3.9. Mật độ từ thông khe hở không khí ( $B_\delta$ ):	24
3.10. Sơ bộ chiều rộng của răng ( $b_{Z1}$ ):	25
3.11. Sơ bộ chiều cao gông stato ( $h_{g1}$ ):	25
3.12. Kích thước rãnh stato:	25
Hình 3.2. rãnh stato	25
3.13. Bề rộng răng stato ( $b_{Z1}$ ):	26
3.14. Chiều cao gông stato ( $h_{g1}$ ):	26
3.15. Khe hở không khí ( $\delta$ ):	27
CHƯƠNG 4	28
THIẾT KẾ RÔTO	28
Hình 4.1 Các dạng rãnh rôto lồng sóc.	28
4.1. Số rãnh Rôto ( $Z_2$ ):	29
4.2. Đường kính ngoài rôto	29
4.3. Bước răng rôto ( $t_2$ ):	29
4.4. Sơ bộ bề rộng răng rôto ( $b_{Z2}$ ):	30
4.5. Đường kính trục rôto ( $D_t$ ):	30
4.6. Dòng điện trong thanh dẫn rôto ( $I_{td}$ ):	30
4.7. Dòng điện trong vành ngắn mạch ( $I_v$ ):	30
4.8. Tiết diện thanh dẫn bằng nhôm ( $S_{td}$ ):	30
4.9. Tiết diện vành ngắn mạch ( $S_v$ ):	31
4.10. Sơ bộ chiều cao gông rôto ( $h_{g2}$ ):	31
4.11. Kích thước rôto:	31

Hình 4.2. rãnh rôto. ....	31
4.12. Kích thước vành ngắn mạch: ....	32
4.13. Diện tích rãnh rôto ( $S_{r2}$ ): ....	32
4.14. Chiều cao gông rôto ( $h_{g2}$ ):.....	32
4.15. Bề rộng răng rôto: ....	32
CHƯƠNG 5 .....	34
TÍNH TOÁN MẠCH TỪ VÀ XÁC ĐỊNH THAM SỐ .....	34
CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN Ở CHẾ ĐỘ ĐỊNH MỨC .....	34
5.1. TÍNH TOÁN MẠCH TỪ: .....	34
5.1.1. Hệ số khe hở không khí ( $k_{\delta}$ ): .....	34
5.1.2. Dùng thép kỹ thuật điện cán nguội 2411 .....	35
5.1.3. Sức từ động khe hở không khí ( $F_{\delta}$ ):.....	35
5.1.4. Mật độ từ thông ở răng stato ( $B_{Z1}$ ): .....	35
5.1.5. Cường độ từ trường trên răng stato.....	35
5.1.6. Sức từ động trên răng stato ( $F_{Z1}$ ): .....	35
5.1.7. Mật độ từ thông ở răng rôto: .....	35
5.1.8. Cường độ từ trường trên răng rôto :.....	36
5.1.9. Sức từ thông trên răng rôto: .....	36
5.1.10. Hệ số bão hoà răng:.....	36
5.1.11. Mật độ từ thông trên gông stato ( $B_{g1}$ ):.....	36
5.1.12. Cường độ từ trường ở gông stato :.....	37
5.1.13. Chiều dài mạch từ ở gông stato ( $L_{g1}$ ):.....	37
5.1.14. Sức từ động ở gông stato: .....	37
5.1.15. Mật độ từ thông trên gông rôto: .....	37
5.1.16. Cường độ từ trường ở gông rôto .....	37
5.1.17. Chiều dài mạch từ ở gông rôto: .....	37
5.1.18. Sức từ động trên gông rôto: .....	37
5.1.19. Tổng sức từ động của mạch từ:.....	38
5.1.20. Hệ số bão hoà toàn mạch ( $k_{\mu}$ ):.....	38
5.1.21. Dòng điện từ hoá ( $I_{\mu}$ ): .....	38
5.2. THAM SỐ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN Ở CHẾ ĐỘ ĐỊNH MỨC .....	38
5.2. 1. Chiều dài phần đầu nối của dây quấn stato:.....	39
5.2.2. Chiều dài trung bình nửa vòng dây của dây quấn stato: .....	39
5.2.3. Chiều dài dây quấn một pha của stato : .....	39
5.2.4. Điện trở tác dụng của dây quấn stato: .....	39

5.2.5. Điện trở tác dụng của dây quấn rôto ( $r_{td}$ ):	40
5.2.6. Điện trở vành ngắn mạch ( $r_v$ ):	40
5.2.7. Điện trở rôto ( $r_2$ ):	40
5.2.8. Hệ số quy đổi :	40
5.2.9. Điện trở rôto đã quy đổi ( $r'_2$ ):	40
5.2.10. Hệ số từ dẫn tản stato ( $\lambda_{r1}$ ):	41
5.2.11. Hệ số từ dẫn tập stato:	41
5.2.12. Hệ số từ tản phần đầu nối:	41
5.2.13. Hệ số từ dẫn tản stato:	42
5.2.14. Điện kháng dây quấn stato:	42
5.2.15. Hệ số từ dẫn tản rôto:	42
5.2.16. Hệ số từ dẫn tập rôto ( $\lambda_{r2}$ ) :	43
5.2.17. Hệ số từ tản phần đầu nối:	43
5.2.18. Hệ số từ tản rôto:	43
5.2.19. Điện kháng tản dây quấn rôto ( $x_2$ ):	43
5.2.20. Điện kháng rôto đã quy đổi : ( $x'_2$ ):	43
5.2.21. Điện kháng hồ cảm ( $x_{l2}$ ):	44
5.2.22. Tính lại $k_E$ :	44
5.3. TỶ LỆ THÉP VÀ TỶ LỆ CƠ	44
5.3.1. Trọng lượng răng stato:	45
5.3.2. Trọng lượng gông từ stato :	45
5.3.3. Tỷ lệ sắt trong lõi sắt stato:	46
5.3.4. Tỷ lệ hao bề mặt trên răng rôto:	47
5.3.5. Tỷ lệ hao đập mạch trên răng rôto:	48
5.3.6. Tổng tỷ lệ hao thép:	48
5.3.7. Tỷ lệ hao cơ:	48
5.3.8. Tỷ lệ hao không tải :	49
KẾT LUẬN	50
TÀI LIỆU THAM KHẢO	51

## LỜI NÓI ĐẦU

Động cơ không đồng bộ (KĐB) ba pha rôto lồng sóc được dùng phổ biến trong công nghiệp (vì có ưu điểm là độ tin cậy tốt, giá cả thấp, trọng lượng nhẹ, kết cấu chắc chắn và dễ bảo dưỡng), với dải công suất từ hàng trăm Watts đến vài Megawatts và là bộ phận chính trong các hệ truyền động.

Ngày nay, hiệu suất của động cơ đã dần trở thành một trong những tiêu chí được áp dụng trong công nghiệp. Vấn đề này đặt ra cho lĩnh vực thiết kế và chế tạo động cơ điện là không ngừng nghiên cứu, thiết kế để tạo ra sản phẩm đạt những chỉ tiêu về kinh tế - kỹ thuật nhằm đáp ứng yêu cầu phát triển của nền kinh tế quốc dân. Chính vì vậy em đã chọn thực hiện đề tài : “ ***Thiết kế động cơ điện không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc***” cho đồ án tốt nghiệp cuối khoá của mình.

Nội dung đồ án gồm 7 chương:

*Chương 1: Đại cương về động cơ điện không đồng bộ.*

*Chương 2: Xác định các kích thước chủ yếu.*

*Chương 3: Thiết kế stato.*

*Chương 4: Thiết kế rôto*

*Chương 5: Tính toán mạch từ và xác định tham số của động cơ ở chế độ định mức.*

*Chương 6: Đặc tính làm việc và khởi động.*

*Chương 7: Trọng lượng vật liệu tác dụng và chỉ tiêu sử dụng.*

Em xin bày tỏ lòng biết ơn các Thầy, Cô giáo mà đặc biệt là các Thầy cô giáo trong khoa Điện – Điện Tử đã giúp đỡ chỉ bảo em tận tình trong những năm học tập tại trường Đại Học Duy Tân. Cho em gửi lời cảm ơn chân thành đến thầy giáo **Nguyễn Thanh Hùng** – là người trực tiếp hướng dẫn em hoàn thành bản đồ án tốt nghiệp này. Trong một khoảng thời gian ngắn chắc rằng bản đồ án tốt nghiệp sẽ không tránh khỏi những thiếu sót. Em rất mong được sự chỉ dẫn của Thầy giáo, Cô giáo và các bạn. Em xin chân thành cảm ơn.

Sinh viên  
**Nguyễn Đình Đức**

## **CHƯƠNG 1**

### **ĐẠI CƯƠNG VỀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ**

#### **1.1 TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ**

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, làm việc tin cậy chiếm một số lượng khá lớn trong loại động cơ công suất nhỏ và trung bình. Nhược điểm của động cơ này là điều chỉnh tốc độ khó khăn và dòng điện khởi động lớn thường bằng 5-7 lần dòng điện định mức. Để bổ khuyết cho nhược điểm này, người ta 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 tốc độ trong một phạm vi nhất định, có thể tạo một mômen khởi động lớn mà dòng khởi động không lớn lắm, nhưng chế tạo có khó hơn so với với 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 rôto động cơ điện. Trong các động cơ 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 không đồng bộ công suất từ 0,55 - 90 KW ký hiệu là K theo tiêu chuẩn Việt Nam 1987-1994 được ghi trong bảng 10-1 [3]. Theo tiêu chuẩn này, các động cơ điện không đồng bộ trong dãy điều chế tạo theo kiểu IP44.

Ngoài tiêu chuẩn trên còn có tiêu chuẩn TCVN 315-85, quy định dãy công suất động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc từ 110 kW-1000 kW, gồm có công suất sau: 110,160, 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.

### **1.1.1. Nguyên lý làm việc của động cơ điện không đồng bộ xoay chiều ba pha.**

Động cơ không đồng bộ ba pha có hai phần chính: stato (phần tĩnh) và rôto (phần quay). Stato gồm có lõi thép trên đó có chứa dây quấn ba pha.

Khi đấu dây quấn ba pha vào lưới điện ba pha, trong dây quấn sẽ có các dòng điện chạy, hệ thống dòng điện này tạo ra từ trường quay, quay với tốc độ:

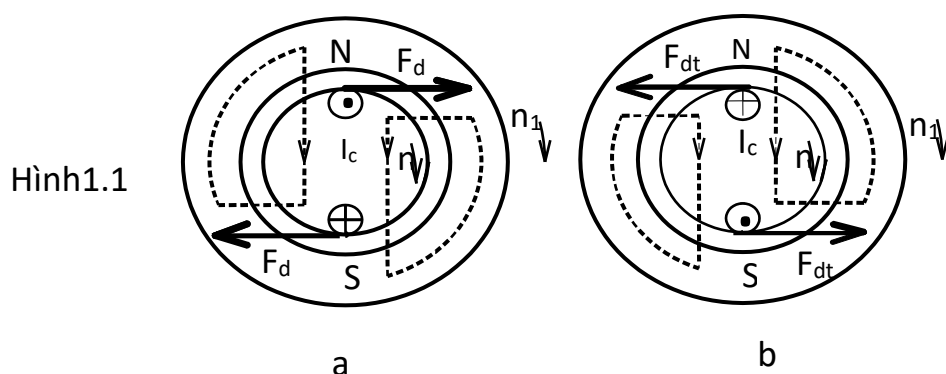
$$n_1 = 60 \cdot \frac{f_1}{p}$$

Trong đó:

$f_1$ : tần số nguồn điện

$p$ : số đôi cực từ của dây quấn

Phần quay, nằm trên trục quay bao gồm lõi thép rôto. Dây quấn rôto bao gồm một số thanh dẫn đặt trong các rãnh của mạch từ, hai đầu được nối bằng hai vành ngắn mạch.



Từ trường quay của stato cảm ứng trong dây rôto sức điện động E, vì dây quấn stato kín mạch nên trong đó có dòng điện chạy, Sự tác dụng tương hỗ



giữa các thanh dẫn mang dòng điện với từ trường của máy tạo ra các lực điện từ  $F_{dt}$  tác dụng lên thanh dẫn có chiều xác định theo quy tắc bàn tay trái.

Tập hợp các lực tác dụng lên thanh dẫn theo phương tiếp tuyến với bề mặt rôto tạo ra mômen quay rôto. Như vậy, ta thấy điện năng lấy từ lưới điện đã được biến thành cơ năng trên trục động cơ. Nói cách khác, động cơ không đồng bộ là một thiết bị điện từ, có khả năng biến điện năng lấy từ lưới điện thành cơ năng đưa ra trên trục của nó. Chiều quay của rôto là chiều quay của từ trường, vì vậy phụ thuộc vào thứ tự pha của điện áp lưới đặt trên dây quấn stato. Tốc độ của rôto  $n_2$  là tốc độ làm việc và luôn luôn nhỏ hơn tốc độ từ trường và chỉ trong trường hợp đó mới xảy ra cảm ứng sức điện động trong dây quấn rôto. Hiệu số tốc độ quay của từ trường và rôto được đặc trưng bằng một đại lượng gọi là hệ số trượt  $s$ :

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Khi  $s=0$  nghĩa là  $n_1 = n_2$ , tốc độ rôto bằng tốc độ từ trường, chế độ này gọi là chế độ không tải lý tưởng (không có bất cứ sức cản nào lên trục). Ở chế độ không tải thực,  $s \approx 0$  vì có một ít sức cản gió, ma sát do ổ bi ...

Khi hệ số trượt bằng  $s = 1$ , lúc đó rôto đứng yên ( $n_2=0$ ), momen trên trục bằng momen mở máy.

Hệ số trượt ứng với tải định mức gọi là hệ số trượt định mức. Tương ứng với hệ số trượt này gọi tốc độ động cơ gọi là tốc độ định mức.

Tốc độ động cơ không đồng bộ bằng:

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - s)$$

Một đặc điểm quan trọng của động cơ không đồng bộ là dây quấn stato không được nối trực tiếp với lưới điện, sức điện động và dòng điện trong rôto có được là do cảm ứng, chính vì vậy người ta cũng gọi động cơ này là động cơ cảm ứng.

Tần số dòng điện trong rôto rất nhỏ, nó phụ thuộc vào tốc độ trượt của rôto so với từ trường:

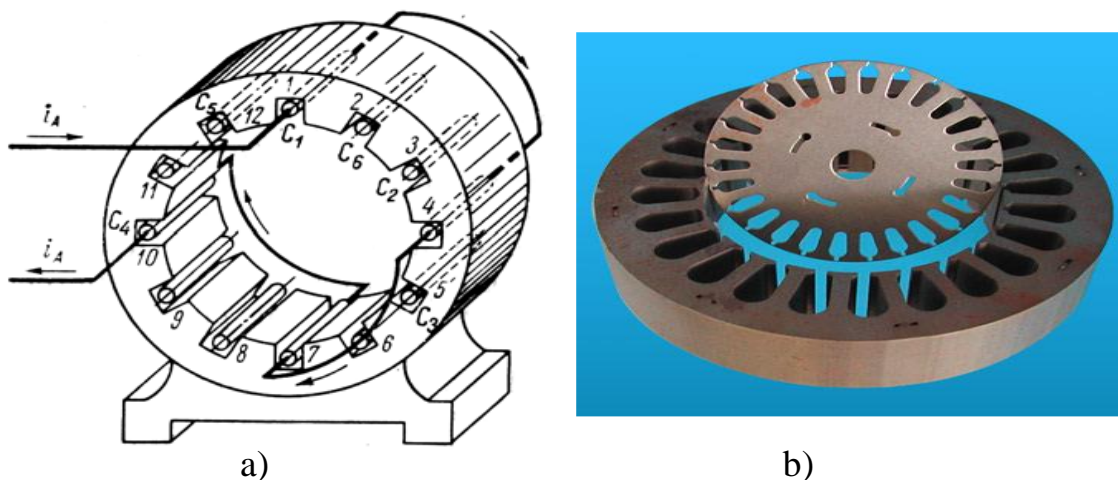
$$f_2 = p \cdot \frac{n_1 - n_2}{60} = \frac{p \cdot n_1 \cdot (n_1 - n_2)}{60 \cdot n_1} = s \cdot f_1$$

Động cơ không đồng bộ có thể làm việc ở chế độ máy phát điện nếu ta dùng một động cơ khác quay nó với tốc độ cao hơn tốc độ đồng bộ, trong khi các đầu ra của nó được nối với lưới điện. Nó cũng có thể làm việc độc lập nếu trên đầu ra của nó được kích bằng các tụ điện.

Động cơ không đồng bộ có thể cấu tạo thành động cơ một pha. Động cơ một pha không thể tự mở máy được, vì vậy để khởi động động cơ một pha cần có các phần tử khởi động như tụ điện, điện trở ...

### **1.1.2. Cấu tạo của động cơ không đồng bộ**

Động cơ không đồng bộ về cấu tạo được chia làm hai loại: Động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc và động cơ rôto dây quấn. Stato của hai loại là như nhau. Ở phần đồ án này ta chỉ nghiên cứu rôto lồng sóc .



Hình 1.2 kết cấu stato máy điện không đồng bộ

a) lá thép stato

b) lõi thép stato.

#### **a) Stato (phần tĩnh)**

Stato bao gồm vỏ máy, lõi thép và dây quấn.

##### **- Vỏ máy**

Vỏ máy là nơi cố định lõi sắt, dây quấn và đồng thời là nơi ghép nối nắp hay gối đỡ trục. Vỏ máy có thể làm bằng gang, nhôm hay thép.

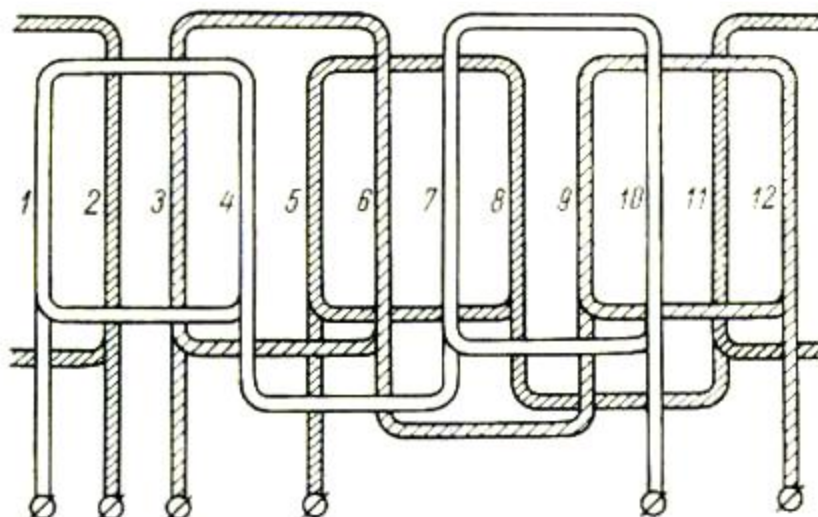
Để chế tạo vỏ máy người ta có thể đúc, hàn, rèn. Vỏ máy có hai kiểu: vỏ kiểu kín và vỏ kiểu bảo vệ. Vỏ máy kiểu kín yêu cầu phải có diện tích tản nhiệt lớn người ta làm nhiều gân tản nhiệt trên bề mặt vỏ máy. Vỏ kiểu bảo vệ thường có bề mặt ngoài nhẵn, gió làm mát thổi trực tiếp trên bề mặt ngoài lõi thép và trong vỏ máy.

Hộp cực là nơi để đấu điện từ lưới vào. Đối với động cơ kiểu kín hộp cực yêu cầu phải kín, giữa thân hộp cực và vỏ máy với nắp hộp cực phải có giăng cao su. Trên vỏ máy còn có bulon vòng để cẩu máy khi nâng hạ, vận chuyển và bulon tiếp mass.

#### - **Lõi sắt**

Lõi sắt là phần dẫn từ. Vì từ trường đi qua lõi sắt là từ trường quay, nên để giảm tổn hao lõi sắt được làm từ những lá thép kỹ thuật điện dày 0,5mm bề mặt các lá thép có phủ một lớp sơn cách điện mỏng để giảm tổn hao do dòng điện xoáy gây nên, các lá thép được ép lại thành khối. Yêu cầu lõi sắt là phải dẫn từ tốt, tổn hao sắt nhỏ và chắc chắn.

#### - **Dây quấn**



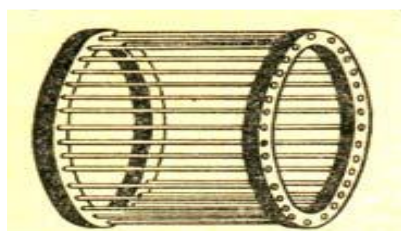
Hình 1.3. Dây quấn stato.

Dây quấn stato được đặt vào rãnh của lõi sắt và được cách điện tốt với lõi sắt. Dây quấn đóng vai trò quan trọng của máy điện vì nó trực tiếp tham gia các quá trình biến đổi năng lượng điện năng thành cơ năng hay ngược lại, đồng thời

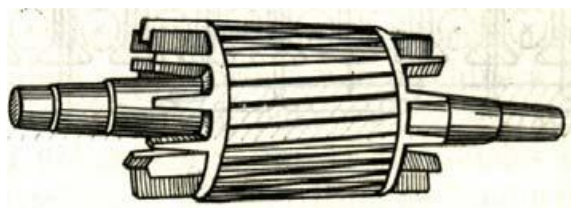
về mặt kinh tế thì giá thành của dây quấn cũng chiếm một phần khá cao trong toàn bộ giá thành máy.

### **b) Phần quay (Rôto)**

Rôto của động cơ không đồng bộ gồm lõi sắt, dây quấn và trục (đối với động cơ rôto dây quấn còn có vành trượt).



a)



b )

Hình 1.4. Cấu tạo rôto động cơ không đồng bộ.

a) Dây quấn lồng sóc. b) Lõi thép rôto;

### ***Lõi sắt***

Lõi sắt của rôto bao gồm các lá thép kỹ thuật điện như của stato, điểm khác biệt ở đây là không cần sơn cách điện giữa các lá thép vì tần số làm việc trong rôto rất thấp, chỉ vài Hz, nên tổn hao do dòng phụ co trong rôto rất thấp. Lõi sắt được ép trực tiếp lên trục máy hoặc lên một giá rôto của máy. Mặt ngoài của lõi thép được dập rãnh (hình 1.2b) để đặt dây quấn và ở giữa có dập lỗ để lắp trục.

### ***Dây quấn rôto***

Phân làm 2 loại chính: loại kiểu rôto dây quấn và loại kiểu rôto lồng sóc.

### ***Loại rôto dây quấn***

Rôto dây quấn giống như giây quấn stato. Máy điện kiểu trung bình trở lên dùng dây quấn kiểu sóng 2 lớp, vì bớt những giây đầu nối, kết cấu trên dây quấn rôto trở nên chặt chẽ. Máy điện cỡ nhỏ dùng dây quấn đồng tâm 1 lớp. Dây quấn 3 pha của rôto thường đấu hình sao.

Đặt điểm của loại động cơ kiểu dây quấn có thể thông qua chổi than để đưa điện trở phụ hay suất điện động phụ vào mạch rôto để tạo tính năng mở máy, điều chỉnh tốc độ hay cải thiện hệ số công suất của máy.

### ***Loại rôto lồng sóc***

Kết cấu của loại dây quấn này rất khác với dây quấn stato (hình 1.4a). Trong mỗi rãnh của lõi sắt rôto, đặt các thanh dẫn bằng đồng hay nhôm dài khỏi lõi sắt và được nối tắt lại ở hai đầu bằng hai vòng ngắn mạch bằng đồng hay nhôm. Nếu là rôto đúc nhôm thì trên vành ngắn mạch còn có các cánh khoáy gió.

Rôto thanh đồng được chế tạo từ đồng hợp kim có điện trở suất cao nhằm mục đích nâng cao mô men mở máy và giảm tổn hao.

Để cải thiện tính năng mở máy, đối với máy có công suất lớn, người ta làm rãnh rôto sâu hoặc dùng lồng sóc kép. Đối với máy điện cỡ nhỏ, rãnh rôto được làm chéo góc so với tâm trục.

Dây quấn lồng sóc không cần cách điện với lõi sắt.

### **Trục**

Trục máy điện mang rôto quay trong lòng stato, vì vậy nó cũng là một chi tiết rất quan trọng. Trục của máy điện tùy theo kích thước có thể được chế tạo từ thép cacbon từ 5 đến 45.

Trên trục của rôto có lõi thép, dây quấn, và quạt gió.

#### **1.1.3. Khe hở**

Vì rôto là một khối tròn nên khe hở đều. Khe hở trong máy điện không đồng bộ rất nhỏ ( $0,2 \div 1$  mm trong máy cỡ nhỏ và vừa) để hạn chế dòng từ hóa, nhờ đó hệ số công suất của máy cao hơn.

#### **1.1.4 Phân loại:**

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...

### **a) Phân loại theo phương pháp bảo vệ máy đối 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 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 sau:

#### ***Kiểu hở***

Loại này không có trang bị bảo vệ sự tiếp xúc tự 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 tự làm 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 bảo vệ từ IP11 đến IP33

#### ***Kiểu kín***

Là loại máy mà không gian bên trong máy và môi trường bên ngoài máy được cách ly. Tùy theo mức độ kín mà cấp bảo vệ là từ IP44 trở lên. Kiểu kín thường là tự thông gió bằng cách thổi gió ở mặt ngoài vỏ máy 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 ...

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 chữ IM kèm theo 4 chữ số tiếp theo. Ở đây, chữ số thứ nhất chỉ kiểu kết cấu gồm 9 số đánh từ 1 đến 9 trong đó số 1 chỉ ổ bi được lắp trên nắp máy và số 9 chỉ cách lắp đặt biệt. Chữ số thứ hai và ba chỉ cách thức lắp đặt và hướng của 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 có một đầu trục hình trụ, số 8 chỉ đầu trục có các kiểu đặc biệt khác.

### **1.1.5. Công dụng**

Máy điện không đồng bộ là máy điện chủ yếu dùng làm động cơ điện. Do kết cấu đơn giản, làm việc chắc chắn, hiệu quả cao, giá thành rẻ, dễ bảo quản ... Nên động cơ không đồng bộ là loại máy điện được sử dụng rộng rãi nhất trong các ngành kinh tế quốc dân với công suất vài chục W đến hàng chục kW. Trong công nghiệp thường dùng máy điện không đồng bộ làm nguồn động lực cho máy cán thép loại vừa và nhỏ, động lực cho các máy công cụ ở các nhà máy công nghiệp nhẹ ... Trong hầm mỏ dùng làm máy tưới hay quạt gió. Trong nông nghiệp dùng làm máy bơm hay máy gia công nông phẩm. Trong đời sống hàng ngày, máy điện không đồng bộ cũng đã chiếm một vị trí quan trọng như quạt gió, động cơ trong tủ lạnh, máy giặt, máy bơm nước ... nhất là loại rôto lồng sóc. Tóm lại sự phát triển của nền sản xuất điện khí hóa, tự động hóa và sinh hoạt hằng ngày, phạm vi của máy điện không bộ ngày càng được rộng rãi.

Máy điện không đồng bộ có thể dùng làm máy phát điện, nhưng đặc tính không tốt so với máy điện đồng bộ, nên chỉ trong vài trường hợp nào đó (như trong quá trình điện khí hóa nông thôn) cần nguồn điện phụ hay tạm thời thì nó cũng có một ý nghĩa rất quan trọng.

### **1.1.6. Các đại lượng định mức**

Cũng như tất cả các loại động cơ điện khác, động cơ điện không đồng bộ có các trị số định mức đặc trưng cho điều kiện kỹ thuật của máy. Các trị số này

do nhà máy thiết kế, chế tạo quy định ghi trên nhãn máy. Vì động cơ điện không đồng bộ chủ yếu làm việc ở chế độ động cơ điện nên trên nhãn máy ghi các trị số định mức của động cơ điện khi tải định mức. Các trị số đó thường bao gồm:

Công suất có ích trên trục	$P_{dm}$
Điện áp dây stato	$U_{1dm}$
Dòng điện dây stato	$I_{1dm}$
Tần số dòng điện stato	$f$
Tốc độ quay rôto	$n_{dm}$
Hệ số công suất	$\cos\varphi_{dm}$
Hiệu suất	$\eta_{dm}$

## **1.2 YÊU CẦU CỦA THIẾT KẾ ĐỘNG CƠ KĐB BA PHA RÔTO LỒNG SÓC.**

### **1.2.1. Nhiệm vụ và phạm vi thiết kế:**

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

Yêu cầu từ phía nhà nước, bao gồm các tiêu chuẩn nhà nước, các yêu cầu kỹ thuật do nhà nước quy định.

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 để 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.

### **1.2.2. Các bước thiết kế gồm có :**

#### ***Thiết kế điện từ :***

Nhiệm vụ của tính toán điện từ một động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc 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. Trong giai đoạn này, người thiết kế xác định một phương án điện từ hợp lý, có thể tính bằng tay, có thể nhờ vào máy tính. Quá trình này sẽ tiến hành tính toán, thiết kế các thành phần:



Xác định các kích thước chủ yếu.

Thiết kế stato.

Thiết kế rôto.

Xác định tham số của động cơ điện ở chế độ định mức.

Tính toán đặc tính làm việc và khởi động.

***Thiết kế kết cấu:***

Trong giai đoạn này phải tiến hành tính toán nhiệt để xác định kết cấu cụ thể về phương thức thông gió và làm nguội, kết cấu cụ thể về cách bôi trơn ổ đỡ, kết cấu thân máy và nắp máy.

Để chế tạo được động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc 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, dùng để kiểm tra công nghệ trong quá trình gia công.

**1.2.3. Vật liệu thường dùng trong thiết kế :**

Khi thiết kế động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc, vấn đề chọn vật liệu để chế tạo động cơ có một vai trò rất quan trọng và ảnh hưởng rất lớn đến giá thành và tuổi thọ làm việc của nó.

*Ta có các loại vật liệu sau:*

**a. Vật liệu dẫn từ:**

Để chế tạo các phần của hệ thống mạch từ của động cơ, người ta thường dùng các loại thép lá kỹ thuật điện hay còn gọi là tôn silíc. Hàm lượng silíc trong thép lá kỹ thuật điện có ảnh hưởng quyết định đến tính năng của nó. Cho silíc 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 silíc thì cường độ từ

cảm cũng hạ thấp, độ cứng và độ giòn cũng tăng lên, vì vậy lượng silíc 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 silíc dày 0,5mm. Chỉ trong trường hợp đặc biệt mới dùng tôn dày 0,35mm.

*Tùy theo công nghệ cán, người ta chia tôn silíc thành 2 loại:*

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

Tôn cán nguội: So với tôn cán nóng, tôn cán nguội có nhiều ưu điểm như 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. Tùy theo sự sắp xếp các tinh thể silíc trong tôn cán nguội mà phân thành hai loại: đẳng hướng và dị hướng. Ở tôn silíc 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  $B$  có thể đạt 1,7-1,85T), 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.

## **b. 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.

## **c. Vật liệu kết cấu**

### **- Kim loại đen:**

Kim loại đen thường dùng 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.

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 dùng nhiều loại thép khác nhau.

- ***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.

- ***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 gỉ.

**d. Vật liệu cách điện:**

Vật liệu cách điện là một trong những vật liệu chủ yếu dùng để chế tạo động cơ. Khi thiết kế động cơ, chọn vật liệu cách điện là một khâu rất quan trọng vì phải đảm bảo động cơ làm việc tốt với tuổi thọ nhất định, đồng thời giá thành của nó lại không cao. Khi chọn vật liệu cách điện cần chú ý những điểm sau:

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

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

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

Một trong những yếu tố cơ bản nhất làm giảm tuổi thọ của vật liệu cách điện 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 chất cách điện.

### **1.3. CÁC THÔNG SỐ BAN ĐẦU**

Công suất định mức:  $P_{dm} = 4kW$

Điện áp định mức:  $U_{dm} = 380/220V$

Tần số định mức:  $f_{dm} = 50Hz$

Cách đấu dây: Y/ $\Delta$

Tốc độ đồng bộ:  $n_1 = 3000$  vòng/phút

Kiểu máy: Máy kiểu kín

Cấp bảo vệ: IP44

Cấp cách điện: Cách điện cấp B

Chế độ làm việc: Liên tục

Kết cấu rôto: Rôto lồng sóc

#### **Chiều cao tâm trục:**

Tra Bảng IV. 2, phụ lục IV [3] chiều cao tâm trục theo dây công suất của động cơ điện KĐB rôto lồng sóc 4A (Nga) kiểu IP44 cấp cách điện B là  $h = 112$  mm

#### **Hiệu suất và hệ số công suất:**

Tra Bảng 10-1 [3] hiệu suất và  $\cos\varphi$  dây động cơ điện KĐB 3K ứng với công suất  $P_{dm}=4$  kW và tốc độ  $n_{db}=3000$  vòng/phút ta có hiệu suất:  $\eta = 86,5\%$  và hệ số công suất:  $\cos\varphi = 0,89$

#### **Bội số momen cực đại:**

Tra bảng 10-10 [3] bội số momen cực đại  $m_{max}$  của dây động cơ 3K ta có:

$$m_{max} = \frac{M_{max}}{M_{dm}} = 2,2$$

#### **Bội số momen khởi động:**

Theo bảng 10-11 [3] bội số momen khởi động dây động cơ điện 3K ta chọn:

$$m_k = \frac{M_k}{M_{dm}} = 2$$

#### **Bội số dòng khởi động:**

Tra bảng 10-12 [3] bội số dòng khởi động dây động cơ điện 3K ta có:

$$i_k = I_{\max}/I_{\text{dm}} = 7,5$$

## CHƯƠNG 2

### XÁC ĐỊNH CÁC KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU

Những kích thước chủ yếu của động cơ điện không đồng bộ là đường kính trong stato  $D$  và chiều dài lõi sắt  $l$ . Mục đích của việc chọn kích thước này là để chế tạo ra máy kinh tế hợp lý nhất mà tính năng phù hợp với tiêu chuẩn nhà nước. Tính kinh tế của máy không 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 hoá ...

#### **2.1. Số đôi cực từ ( $p$ ):**

$$p = \frac{60.f}{n_1} = \frac{60.50}{3000} = 1$$

trong đó:

$n_1$  : Tốc độ đồng bộ (vòng/phút)

$f$  : tần số (Hz)

#### **2.2. Đường kính ngoài stator ( $D_n$ ):**

Đường kính ngoài  $D_n$  có liên quan mật thiết với kết cấu động cơ, cấp cách điện và chiều cao tâm trục  $h$  đã được tiêu chuẩn hóa. Vì vậy thường chọn  $D_n$  theo  $h$ . Ở nước ta hay dùng quan hệ giữa đường kính ngoài và chiều cao tâm trục  $h$  của các động cơ điện không đồng bộ Hungary dây VZ cách điện cấp E và của Nga dây 4A cách điện cấp F.

Với chiều cao tâm trục  $h = 112$  mm. Theo bảng 10.3 [1] ta có đường kính chuẩn:

$$D_n = 170 \text{ (mm)} = 17,0 \text{ (cm)}$$

#### **2.3. Đường kính trong stato ( $D$ ):**

Ta có:  $D = k_D \cdot D_n$

Theo bảng 10.2 với  $2p = 2$  ta có  $k_D = 0,52 \div 0,58$

Vậy:

$$D = k_D \cdot D_n = (0,52 \div 0,58) \cdot 17 = 8,84 \div 9,86 \text{ (cm)}$$

Chọn:  $D = 9,8 \text{ (cm)}$

#### **2.4. Công suất tính toán (P') :**

$$P' = \frac{k_E \cdot P}{\eta \cdot \cos \phi} = \frac{0,98.4}{0,865.0,89} = 5,091 \text{ (kW)}$$

*Trong đó :*

$k_E$  là hệ số công suất định mức.

Chọn  $k_E = 0,98$  theo hình 10-2 [1].

#### **2.5. Chiều dài của lõi sắt stato ( $l_1$ ):**

Chiều dài của lõi sắt stato được xác định:

$$l_1 = \frac{6,1.10^7 \cdot P'}{\alpha_\delta \cdot k_s \cdot k_d \cdot A \cdot B_\delta \cdot D^2 \cdot n}$$

*trong đó:*

$k_d$  : hệ số dây dẫn

$\alpha_\delta$  : hệ số cung cực từ

$k_s$  : hệ số dạng sóng

$A$  : Tải điện từ

$B_\delta$  : Mật độ từ thông khe hở không khí

*Chọn sơ bộ :*

$$k_d = 0,9, \text{ theo trang 231 [1]}$$

$$\alpha_\delta = \frac{2}{\pi} = 0,64$$

$$k_s = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$$

Việc chọn  $A$  và  $B_\delta$  ảnh hưởng rất nhiều đến kích thước chủ yếu của  $D$  và  $l$ . Đúng về mặt tiết kiệm vật liệu thì nên chọn  $A$  và  $B_\delta$  lớn, nhưng nếu  $A$  và  $B_\delta$  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  $B_\delta$  cần xét đến chất liệu vật liệu sử dụng. Nếu sử dụng vật liệu sắt từ tốt (có tổn hao ít hay độ từ thẩm cao) thì có thể chọn  $B_\delta$  lớn. Dùng dây đồng có cấp cách điện cao thì có thể chọn  $A$  lớn. Ngoài ra tỷ số giữa  $A$  và  $B_\delta$  cũng ảnh hưởng đến đặt tính làm việc và khởi động của động cơ không đồng bộ, vì  $A$  đặt trung cho mạch điện,  $B_\delta$  đặt trung cho mạch từ.

Tra bảng 10-3a [1], chọn:  $A = 244$  (A/cm) ;  $B_\delta = 0,59$  (T)

Thay các giá trị vào biểu thức:

$$l_1 = \frac{6,1 \cdot 10^7 \cdot P'}{\alpha_\sigma \cdot k_S \cdot k_d \cdot A \cdot B_\sigma \cdot D^2 \cdot n}$$
$$= \frac{6,1 \cdot 10^7 \cdot 5,091}{0,64 \cdot 1,11 \cdot 0,9 \cdot 0,59 \cdot 244 \cdot 9,8^2 \cdot 3000} = 11,71 \text{ (cm)}$$

Chọn  $l_1 = 11,7$  (cm)

Do lõi sắt ngắn nên làm thành 1 khối nên chiều dài lõi sắt stato, rôto bằng:  $l_1 = l_2 = l_\delta = 11,7$  (cm)

## **2.6. Bước cực ( $\tau$ ):**

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot 9,8}{2 \cdot 1} = 15,393 \text{ (cm)}$$

## **2.7. Dòng điện pha định mức:**

$$I_1 = \frac{P \cdot 10^3}{3 \cdot U_1 \cdot \eta \cdot \cos \phi} = \frac{4 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,865 \cdot 0,89} = 7,872 \text{ (A)}$$

trong đó:

P: Công suất định mức (kW)

$U_1$ : điện áp định mức

$\eta$ : hiệu suất

$\cos \phi$  : hệ số công suất



## CHƯƠNG 3

### THIẾT KẾ STATO

#### **3.1. Số rãnh stato ( $Z_1$ ):**

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 khoản từ 2 đến 5, thường lấy  $q_1 = 3 - 4$ . 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 vậy diện tích cách điện rãnh chiếm chỗ so với số rãnh ít sẽ nhiều hơn, do đó hệ số lợi dụng rãnh sẽ giảm đi. Mặt khác về phương diện độ bền cơ mà nói rằng sẽ yếu. Ít răng quá sẽ làm cho dây quấn phân bố không đều trên bề mặt lõi sắt nên sức từ động phản ứng có nhiều sóng bậc cao.

Trị số  $q_1$  nên chọn theo số nguyên vì cải thiện được đặt tính làm việc và khả năng làm giảm tiếng kêu của máy. Chỉ trong trường hợp không thể tránh được mới dùng  $q_1$  với mẫu số phân bố là 2 số lẻ như vậy là vì sức từ động sóng bậc cao và sóng răng của dây quấn với  $q$  là phân bố trong động cơ điện không đồng bộ là máy có sự phân bố nhỏ, dễ sinh ra rung, mômen phụ làm tăng tổn hao phụ.

**Số rãnh stato :**

$$Z_1 = 2 \cdot m \cdot p \cdot q_1$$

*trong đó:*

$m$  : số pha

$q_1$  : số rãnh của một pha dưới mỗi cực. Lấy  $q_1 = 6$

$p$  : số đôi cực từ,

$p = 1$  thay vào ta được

$$Z_1 = 2 \cdot m \cdot p \cdot q_1 = 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 6 = 36 \text{ (rãnh)}$$

#### **3.2. Bước rãnh stato ( $t_1$ ):**

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{Z_1} = \frac{\pi \cdot 9,8}{36} = 0,855 \text{ (cm)}$$

### 3.3. Số thanh dẫn tác dụng của một rãnh ( $u_{r1}$ ):

$$u_{r1} = \frac{At_1 a_1}{I_1} = \frac{244.0,855.2}{7,872} = 53$$

Lấy:  $u_{r1} = 54$

trong đó:

$a_1$  là số mạch nhánh song song, chọn  $a_1 = 2$ .

$I_1$ : Dòng điện định mức, tính ở 2.7

### 3.4. Số vòng dây nối tiếp của 1 pha ( $w_1$ ):

$$w_1 = p \cdot q_1 \cdot \frac{u_{r1}}{a_1} = 1.6 \cdot \frac{54}{2} = 162 \text{ (vòng)}$$

### 3.5. Tiết diện dây dẫn ( $s_1$ ):

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 ra 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  $AJ$ .

Theo hình 10-4 [1] ta chọn tích số :  $AJ = 1300 \text{ (A}^2 / \text{cm.mm}^2\text{)}$

Sơ bộ mật độ dòng điện ( $J'_1$ ):

$$J'_1 = \frac{A \cdot J}{A} = \frac{1300}{244} = 5,327 \left( \frac{A}{\text{mm}^2} \right)$$

trong đó:

$n_1$ : số sợi chập, chọn  $n_1 = 2$  sợi

$$S'_1 = \frac{I_1}{a_1 \cdot n_1 \cdot J'_1} = \frac{7,872}{2.2.5,327} = 0,369 (\text{mm}^2)$$

Theo bảng VI.1 [1]. Chọn dây đồng tráng men PETV có các thông số:

$$d / d_{cd} = 0,69 / 0,75 \text{ (mm); } S = 0,374 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Với:

$d$ : đường kính dây không kể cách điện (mm)

$d_{cd}$ : đường kính dây kể cả cách điện (mm)

$S$ : tiết diện dây (mm<sup>2</sup>)

### **3.6. Kiểu dây quấn:**

Dây quấn stato đặt vào rãnh của lõi thép stato và được cách điện với lõi thép. Dây quấn có nhiệm vụ cảm ứng được sức điện động nhất định, đồng thời cũng tham gia vào việc chế tạo nên từ trường cần thiết cho sự biến đổi năng lượng điện có trong máy.

Các yêu cầu của dây quấn:

Đối với dây quấn ba pha điện trở và điện kháng của các pha bằng nhau và của mạch nhánh song song cũng bằng nhau.

Dây quấn được thực hiện sao cho có thể đấu thành mạch nhánh song song một cách dễ dàng.

Dây quấn được chế tạo và thiết kế sao cho tiết kiệm được lượng đồng, dễ chế tạo, sửa chữa, kết cấu chắc chắn, chịu được ứng lực khi máy bị ngắn mạch đột ngột.

Việc chọn dây quấn stato phải thỏa mãn tính kinh tế và kỹ thuật:

Tính kinh tế: tiết kiệm vật liệu dẫn điện, vật liệu cách điện, thời gian lồng dây.

Tính kỹ thuật: dễ thi công, hạn chế những ảnh hưởng xấu đến đặc tính điện của động cơ.

Từ yêu cầu trên ta chọn dây quấn hai lớp dạng xếp bởi dây bước ngắn. Công dụng là để giảm lượng đồng sử dụng, khử sóng bậc cao, giảm từ trường tản ở phần bởi dây và trong rãnh stato, làm tăng  $\cos\phi$ , cải thiện đặc tính mở máy động cơ, giảm tiếng ồn điện từ lúc động cơ vận hành.

Các hệ quả xấu tồn tại trong động cơ khi sóng bậc cao không bị khử:

Tính năng mở máy xấu do các trường trên đặc tuyến momen (do sóng bậc 5 và 7 gây ra) làm cho động cơ không đạt đến tốc độ định mức.

Nếu số răng của stato và roto không phù hợp động cơ gây ra tiếng ồn điện từ khi vận hành, có khi roto bị hút lệch tâm (do lực hút điện từ tạo nên).

Sóng bậc cao gây tổn hao nhiệt trong lõi thép dưới tác dụng do dòng phuco.

Thực ra việc chọn bước ngắn thích hợp không có tác dụng khử hoàn toàn các sóng bậc cao mà chỉ có tác dụng giảm nhỏ chúng xuống đến một giá trị chấp nhận được. Trong thiết kế, bước bồi dây có tác dụng khử sóng bậc 5 và 7 cách đầu dây hình sao ba pha có tác dụng khử sóng bậc 3.

Tiêu chuẩn xét sự tổn hao sóng bậc cao  $\leq 5\%$  xem như sóng bậc cao không đáng kể, từ 5-10% chấp nhận được,  $>10\%$  có tồn tại sóng bậc cao. Sóng bậc cao không bị khử không cho phép khả thi.

Để khử triệt hoàn toàn sóng bậc 3 ta dùng hệ số  $\beta = \frac{2}{3}$ , khử sóng bậc 5 ta dùng hệ số  $\beta = \frac{4}{5}$ , khử sóng bậc 7 ta dùng hệ số  $\beta = \frac{6}{7}$ . Tuy nhiên ta không khử triệt hoàn toàn một sóng bậc cao nào cả mà ta chọn bước bồi dây để làm nhỏ các sóng bậc cao 3, 5, 7 cùng một lúc.

$$\beta = \frac{y_1}{\tau_1} = \frac{15}{18} = 0,833$$

Trong đó:

$$\tau_1 = \frac{Z_1}{2.p} = \frac{36}{2.1} = 18 \text{ (rãnh)} \text{ là bước cực từ}$$

$$y_1 \text{ là bước bồi dây} \Rightarrow \text{chọn } y_{\min} \leq y_1 \leq y_{\max}$$

$$y_{\min} = \frac{2}{3} \cdot \tau_1 = \frac{2}{3} \cdot 18 = 12$$

$$y_{\max} = \tau_1 - 1 = 18 - 1 = 17$$

$$\Rightarrow \text{ta chọn } y_1 = 15$$

### 3.7. Hệ số dây quấn ( $k_d$ ):

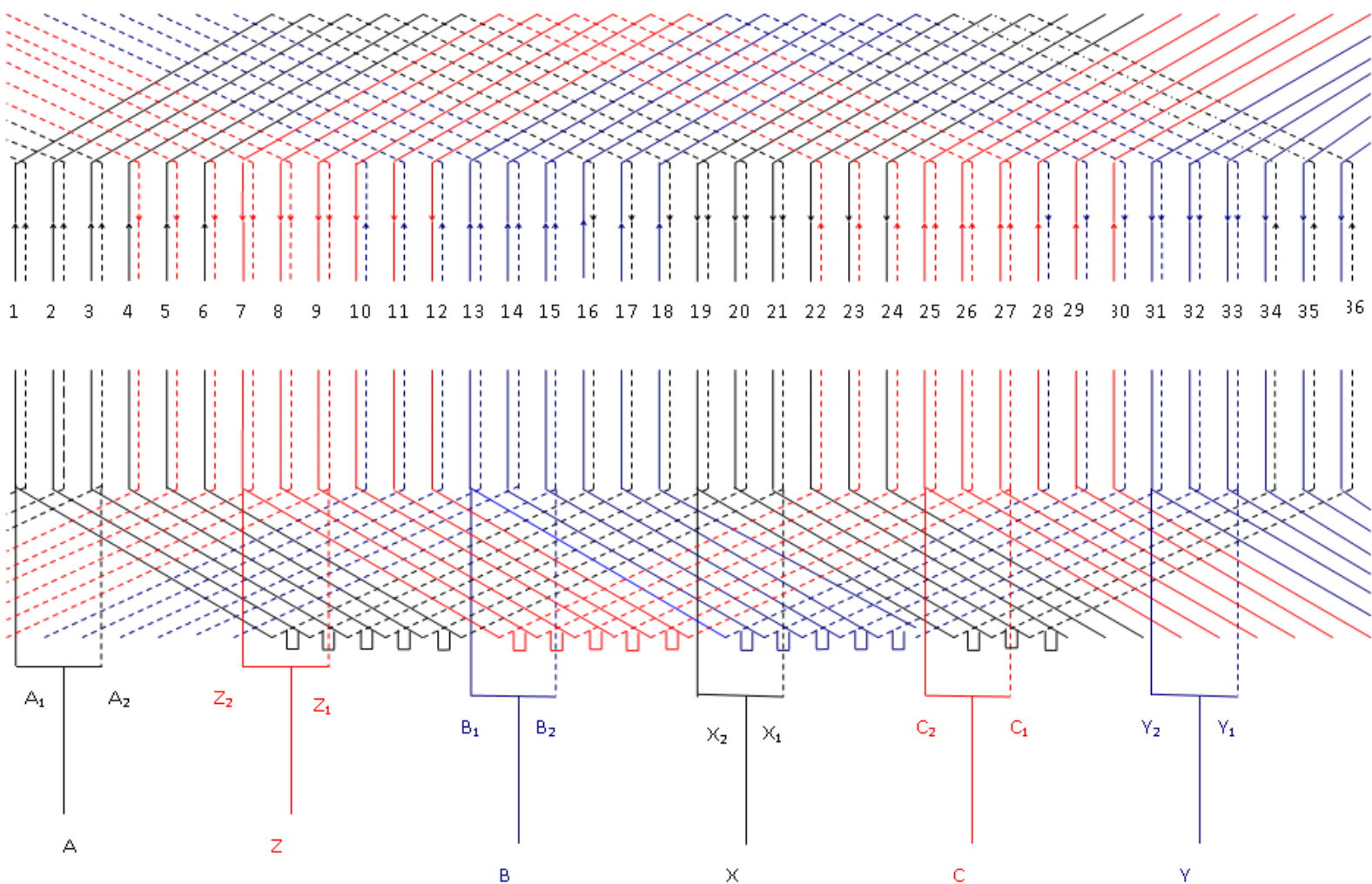
$$\text{Hệ số bước ngắn : } k_y = \sin \beta \cdot \frac{\pi}{2} = \sin \left( \frac{15}{18} \cdot \frac{\pi}{2} \right) = 0,966$$

Hệ số bước rải:

$$k_r = \frac{\sin q_1 \cdot \frac{\alpha}{2}}{q_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin 6 \cdot \frac{10}{2}}{6 \cdot \sin \frac{10}{2}} = 0,956$$

$$\text{Hệ số dây quấn: } k_d = k_r \cdot k_y = 0,923$$

$$\text{Trong đó } \alpha = \frac{p \cdot 360}{Z_1} = \frac{1 \cdot 360}{36} = 10^\circ$$



Hình 3.1: Sơ đồ quấn dây động cơ.

### **3.8. Từ thông khe hở không khí ( $\phi$ ):**

$$\phi = \frac{k_E \cdot U}{4 \cdot k_s \cdot k_d \cdot f \cdot w_1} = \frac{0,98.220}{4.1,11.0,923.50.162} = 0,006495 \quad (Wb)$$

trong đó:

$w_1$  : số vòng dây nối tiếp một pha, được xác định ở 3.4

$k_d$  : hệ số dây quấn, xác định ở 3.7

### **3.9. Mật độ từ thông khe hở không khí ( $B_\delta$ ):**

$$B_\delta = \frac{\phi \cdot 10^4}{\alpha_\delta \cdot \tau \cdot l_1} = \frac{0,006495.10^4}{0,64.15,393.11,7} = 0,563(T)$$

trong đó:

$\alpha_\delta$  : hệ số cung cực từ, chọn ở 2.5

$\tau$  : bước cực, tính ở 2.6

$l_1$  : chiều dài lõi sắt stato, tính ở 2.5

### **3.10. Sơ bộ chiều rộng của răng ( $b_{z1}$ ):**

$$b'_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot l_1 \cdot t_1}{B_{z1} \cdot l_1 \cdot k_c} = \frac{0,563 \cdot 0,855}{1,75 \cdot 0,96} = 0,286(\text{cm})$$

trong đó :

$B_{z1}$ : mật độ từ thông ở răng stato, Theo bảng 10.5b [1] chọn

$B_{z1}=1,75 \text{ T}$

$k_c$  : hệ số ép chặt lõi sắt,  $k_c = 0,96$

### **3.11. Sơ bộ chiều cao gông stato ( $h_{g1}$ ):**

$$hg'_1 = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2 \cdot B_{g1} \cdot l_1 \cdot k_c} = \frac{0,006495 \cdot 10^4}{2 \cdot 1,51 \cdot 11,7 \cdot 0,96} = 1,91(\text{cm})$$

trong đó :

$B_{g1}$ : mật độ từ thông ở gông stato, theo bảng 10.5a [1] chọn  $B_{g1}=1,51 \text{ (T)}$

$\phi$ : từ thông khe hở không khí, tính ở 3.8

### **3.12. Kích thước rãnh stato:**

$h_{r1} = 1,69 \text{ (cm)}$

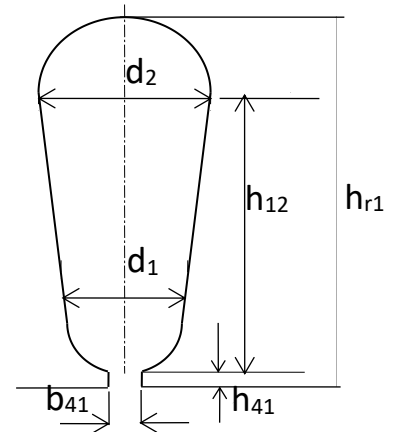
$h_{12} = 1,24 \text{ (cm)}$

$d_1 = 0,63 \text{ (cm)}$

$d_2 = 0,8 \text{ (cm)}$

$b_{41} = 0,22 \text{ (cm)}$

$h_{41} = 0,05 \text{ (cm)}$



Hình 3.2. rãnh stato

Trong đó :

$$d_1 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_{41}) - b'_{z1} \cdot Z_1}{Z_1 - \pi} = \frac{\pi \cdot (9,8 + 2 \cdot 0,05) - 0,286 \cdot 36}{36 - \pi} = 0,633(\text{cm})$$

$$d_2 = \frac{\pi \cdot (D_n - 2h'_{g1}) - b'_{z1} \cdot Z_1}{Z_1 + \pi} = \frac{\pi \cdot (17 - 2 \cdot 1,91) - 0,286 \cdot 36}{36 + \pi} = 0,795(\text{cm})$$

$$h_{r1} = \frac{D_n - D}{2} - h'_{g1} = \frac{17 - 9,8}{2} - 1,91 = 1,69(\text{cm})$$

$$h_{12} = h_{r1} - \frac{d_2}{2} - h_{41} = 1,698 - \frac{0,8}{2} - 0,05 = 1,24(\text{cm})$$

**Tiết diện rãnh stato:**

$$S'_r = \frac{\pi \cdot (d_1^2 + d_2^2)}{8} + \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot \left(h_{12} - \frac{d_1}{2}\right)$$

$$= \frac{\pi \cdot (6,3^2 + 8^2)}{8} + \frac{6,3 + 8}{2} \cdot \left(12,4 - \frac{6,3}{2}\right) = 106(mm^2)$$

**Diện tích cách điện của rãnh stato**

$$S_{cd} = c \cdot \left(2 \cdot h_{12} + \pi \cdot \frac{d_{2r}}{2} + d_{1r} + d_{2r}\right) + \frac{\pi}{2} d_{1r} \cdot c'$$

$$= 0,4 \cdot \left(2 \cdot 12,4 + \frac{\pi \cdot 8}{2} + 6,3 + 8\right) + \frac{\pi \cdot 6,3}{2} \cdot 0,5 = 25(mm^2)$$

Trong đó:

c, c' là chiều dày cách điện rãnh, theo bảng VIII.1 ở phụ lục VIII [1] ta có  
c = 0,4 mm, c' = 0,5 mm.

**Diện tích có ích rãnh stato (S<sub>r1</sub>):**

$$S_{r1} = S'_r - S_{cd} = 106 - 25 = 81(mm^2)$$

**Hệ số lấp đầy rãnh (k<sub>ld</sub>):**

$$k_{ld} = \frac{u_r \cdot n_1 \cdot d_{cd}^2}{S_{r1}} = \frac{54 \cdot 2 \cdot 0,75^2}{81} = 0,75$$

**3.13. Bề rộng răng stato (b<sub>Z1</sub>):**

$$b_{Z1}^* = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{41} + d_1)}{Z_1} - d_1$$

$$= \frac{\pi \cdot (9,8 + 2 \cdot 0,05 + 0,63)}{36} - 0,63 = 0,289(cm)$$

$$b_{Z1}^{**} = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot (h_{41} + h_{12}))}{Z_1} - d_2$$

$$= \frac{\pi \cdot (9,8 + 2 \cdot (0,05 + 1,24))}{36} - 0,8 = 0,28(cm)$$

$$b_{Z1} = \frac{b_{Z1}^* + b_{Z1}^{**}}{2} = \frac{0,289 + 0,28}{2} = 0,285(cm)$$

**3.14. Chiều cao gông stato (h<sub>g1</sub>):**

$$h_{g1} = \frac{D_n - D}{2} - h_{r1} + \frac{1}{6} \cdot d_2$$

$$= \frac{17 - 9,8}{2} - 1,69 + \frac{1}{6} \cdot 0,8 = 2,043(cm)$$

### **3.15. Khe hở không khí ( $\delta$ ):**

Khi chọn khe hở không khí  $\delta$  ta cố gắng lấy nhỏ để 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 dễ chạm với rôto làm tăng thêm tổn hao phụ và điện kháng tản tạp của máy cũng tăng.

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. Có thể dùng những công thức sau để chọn hệ số khe hở của không khí:

Với những máy công suất  $P \leq 20$  kW:

$$\text{Khi } 2p \geq 4 \quad \delta = 0,25 + D \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\text{Khi } 2p = 2 \quad \delta = 0,3 + \frac{1,5 \cdot D}{1000} \quad \text{mm}$$

Với những máy công suất  $P > 20$  kW:

$$\delta = \frac{D}{1200} * \left(1 + \frac{9}{2p}\right) \text{ mm}$$

Trong các công thức trên,  $D$  tính theo mm. Trị số  $\delta$  tính ra phải làm tròn con số thứ hai sau dấu phẩy thành 0 hoặc 5.

Theo những máy đã chế tạo bảng 10.8 [1]:

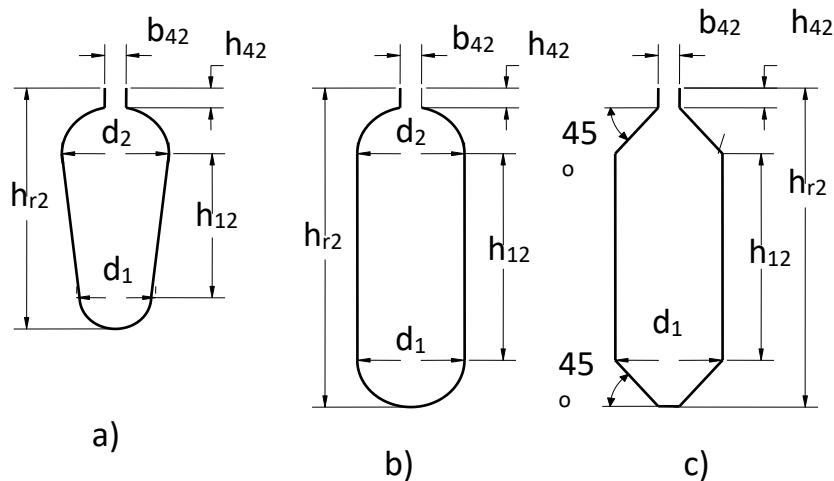
$$\text{Với } h = 112 \text{ mm ta có } \delta = 0,6 \text{ mm} = 0,06 \text{ cm}$$



## CHƯƠNG 4

### THIẾT KẾ RÔTÔ

Thiết kế dạng rãnh cũng là xác định diện tích rãnh (tức là diện tích thanh dẫn của lồng sóc). Do điện trở  $r$  và điện kháng tản  $x$  của rô-tô có quan hệ với hình dạng rãnh rô-tô, nên khi rô-tô đã thiết kế xong thì việc thiết kế dạng rãnh rô-tô trực tiếp ảnh hưởng đến tính năng của máy. Ngày nay, với những máy có chiều cao tâm trục  $h=50 - 250$  mm thường lồng sóc được đúc bằng nhôm, trong đó khi  $h = 50 - 250$  mm thường đúc bằng áp lực, khi  $h \geq 280$  mm thì đúc rung hay trọng lực. Rãnh trong hình 4. 1a thường dùng trong máy không đồng bộ rô-tô lồng sóc có chiều cao tâm trục  $h \leq 160$ mm, trong đó thường lấy  $b_{42} = 1$ mm,  $h_{42} = 0,5 - 1$ mm,  $d_1/d_2 = 6,5 - 7,5/4 - 6$ mm,  $h_{r1} = 10 - 20$  mm. Khi  $h \geq 180$ mm dùng rãnh sâu hình ôvan như hình 4 -1b hoặc 4-1c, trong đó  $b_{42} = 1,5$ mm,  $h_{42} = 0,5 - 1,5$ mm,  $d_1 = d_2 = b_{r2} = 3,5 - 6$ mm,  $h_{r2} = 25 - 45$ mm. Máy càng lớn tốc độ càng cao thì  $b_{r2}$  càng sâu.



*Hình 4.1 Các dạng rãnh rô-tô lồng sóc.*  
 Ta chọn rãnh rô-tô hình quả lê với miệng rãnh  $b_{42} = 1$  (mm).

#### **4.1. Số rãnh Rôto ( $Z_2$ ):**

Việc chọn số rãnh rôto lồng sóc  $Z_2$  là một vấn đề quan trọng vì khe hở không khí của máy nhỏ, khi mở máy momen phụ do từ thông sóng bậc cao gây nên ảnh hưởng đến quá trình mở máy và ảnh hưởng cả đến đặc tính làm việc.

Để loại trừ momen phụ đồng bộ khi mở máy, cần chọn:

$$Z_2 \neq Z_1 \quad Z_2 \neq 0,5 \cdot Z_1$$

$$Z_2 \neq 2 \cdot Z_1 \quad Z_2 \neq 6 \cdot p \cdot g \quad \text{với } g=1,2,3\ldots$$

Để tránh momen đồng bộ khi quay, ta chọn:

$$Z_2 \neq 6 \cdot p \pm 2 \cdot p \cdot g \quad Z_2 \neq Z_1 \pm 2 \cdot p$$

$$Z_2 \neq 2 \cdot Z_1 \pm 2 \cdot p \quad Z_2 \neq 0,5 \pm p$$

$$Z_2 \neq Z_1 \pm p$$

Để tránh lực hướng tâm do momen không đồng bộ sinh ra trong khi quay, cần chọn:

$$|Z_2 - Z_1| \neq 0,1,2$$

$$|Z_2 - Z_1| \neq p, p+1$$

$$|Z_2 - Z_1| \neq 2 \cdot p, 2 \cdot p \pm 1, 2 \cdot p \pm 2$$

$$|Z_2 - Z_1| \neq 2 \cdot p$$

Dựa vào các điều kiện trên và bảng 10-6 trang 246 TKMĐ

Chọn  $Z_2 = 28$  rãnh.

#### **4.2. Đường kính ngoài rôto**

$$D' = D - 2 \cdot \delta = 9,8 - 2 \cdot 0,06 = 9,68(cm)$$

trong đó:

D: đường kính trong stato, tính ở 2.3

$\delta$ : khe hở không khí, chọn ở 3.15

#### **4.3. Bước răng rôto ( $t_2$ ):**

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D'}{Z_2} = \frac{\pi \cdot 9,68}{28} = 1,086(cm)$$

#### **4.4. Sơ bộ bề rộng răng rôto ( $b_{z2}$ ):**

$$b'_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot l_2 \cdot t_2}{B_{z2} \cdot l_2 \cdot k_c} = \frac{0,563 \cdot 1,086}{1,75 \cdot 0,96} = 0,364(\text{cm})$$

trong đó :

$B_{z2}$ : mật độ từ thông ở răng rôto, theo bảng 10.5b [1] chọn  $B_{z2} = 1,75 \text{ T}$

$k_c$ : hệ số ép chặt lõi sắt,  $k_c = 0,96$

$B_{\delta}$ : mật độ từ thông khe hở không khí, tính ở 3.9

$t_2$ : bước răng rôto, tính ở 4.3

$l_2$ : chiều dài lõi sắt rôto, tính ở 2.5

#### **4.5. Đường kính trục rôto ( $D_t$ ):**

$$D_t = 0,3 \cdot D = 0,3 \cdot 9,8 = 2,94(\text{cm})$$

#### **4.6. Dòng điện trong thanh dẫn rôto ( $I_{td}$ ):**

$$\begin{aligned} I_{td} = I_2 &= k_I \cdot I_1 \cdot \frac{6 \cdot w_1 \cdot k_d}{Z_2} \\ &= 0,89 \cdot 0,872 \cdot \frac{6 \cdot 162 \cdot 0,923}{28} = 224,483(\text{A}) \end{aligned}$$

trong đó:

Hệ số  $k_I$  lấy theo hình 10-5 [3]:  $k_I = 0,89$

$k_d$ : hệ số dây quấn stato, tính ở 3.7

$Z_2$ : số rãnh rôto

#### **4.7. Dòng điện trong vành ngắn mạch ( $I_V$ ):**

$$I_V = I_{td} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot P}{Z_2}} = 224,483 \cdot \frac{1}{2 \cdot \sin \frac{180^\circ \cdot 1}{28}} = 1002,474(\text{A})$$

#### **4.8. Tiết diện thanh dẫn bằng nhôm ( $S_{td}$ ):**

Đối với động cơ 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.

$$S_{td} = \frac{I_{td}}{J_2} = \frac{224,483}{3,5} = 64(\text{mm}^2)$$

Trong đó :

$J_2$  là mật độ dòng điện thanh dẫn rôto, lấy  $J_2 = 3,5 \text{ (A/mm}^2\text{)}$

$I_{td}$  dòng điện trong thanh dẫn, tính ở 4.6

#### **4.9. Tiết diện vành ngăn mạch ( $S_V$ ):**

Chọn mật độ dòng điện trong vành ngăn mạch ở [1]

$$J_V = 2,5 \text{ (A/mm}^2\text{)}$$

Tiết diện vành ngăn mạch ( $S_V$ ):

$$S_V = \frac{I_V}{J_V} = \frac{1002,474}{2,5} = 401 \text{ (mm}^2\text{)}$$

#### **4.10. Sơ bộ chiều cao gông rôto ( $h_{g2}$ ):**

$$h_{g2} = \frac{\Phi \cdot 10^4}{2 \cdot B_{g2} \cdot l_2 \cdot k_c} = \frac{0,006495 \cdot 10^4}{2 \cdot 1,51 \cdot 11,7 \cdot 0,95} = 1,81 \text{ (cm)}$$

trong đó:

$B_{g2}$ : mật độ từ thông ở gông rôto, theo bảng 10.5a [1]

chọn  $B_{g2} = 1,51 \text{ (T)}$

$\phi$ : từ thông khe hở không khí, tính ở 3.8

#### **4.11. Kích thước rôto:**

$$h_{r2} = 1,56 \text{ (cm)}$$

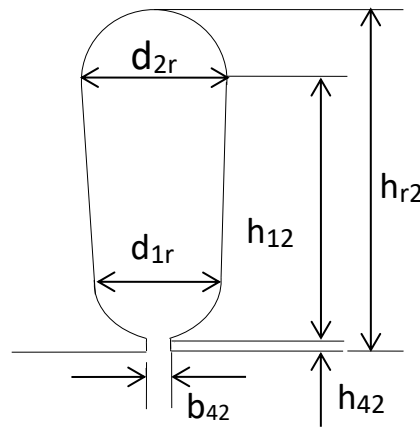
$$h_{12} = 0,98 \text{ (cm)}$$

$$d_{1r} = 0,64 \text{ (cm)}$$

$$d_{2r} = 0,42 \text{ (cm)}$$

$$b_{42} = 0,1 \text{ (cm)}$$

$$h_{41} = 0,05 \text{ (cm)}$$



Hình 4.2. rãnh rôto.

$$\text{Với : } h_{r2} = \frac{D' - D_t}{2} - h_{g2} = \frac{9,68 - 2,94}{2} - 1,81 = 1,56 \text{ (cm)}$$

$$d_{1r} = \frac{\pi \cdot D' - 2\pi \cdot h_{42} - b_{z2} \cdot Z_2}{\pi + Z_2} = \frac{\pi \cdot 9,68 - 2 \cdot \pi \cdot 0,05 - 0,364 \cdot 28}{28 + \pi} = 0,64 \text{ (cm)}$$

$$d_{2r} = \frac{\pi \cdot D' - 2\pi \cdot h_{r2} - b'_{z2} \cdot Z_2}{Z_2 - \pi} = \frac{\pi \cdot 9,68 - 2\pi \cdot 1,56 - 0,364 \cdot 28}{28 - \pi} = 0,42 \text{ (cm)}$$

$$h_{12} = h_{r2} - \frac{d_1}{2} - \frac{d_2}{2} - h_{42} = 1,56 - \frac{0,64}{2} - \frac{0,42}{2} - 0,05 = 0,98 \text{ (cm)}$$

#### **4.12. Kích thước vành ngăn mạch:**

Chiều cao vành ngăn mạch thường lấy cao hơn chiều cao rãnh rôto:

$$a \geq 1,2 \cdot h_{r2} = 1,2 \cdot 15,6 = 1,872 \text{ (cm)} = 18,72 \text{ (mm)}$$

$$b = \frac{S_V}{a} = \frac{401}{18,72} = 21,42 \text{ (mm)}$$

Lấy :  $a = 20 \text{ mm}$

$$b = 20 \text{ mm}$$

Đường kính vành ngăn mạch:

$$D_V = D - (a + 1) = 98 - (20 + 1) = 77 \text{ (mm)}$$

Tiết diện vành ngăn mạch:

$$S_V = a \cdot b = 20 \cdot 20 = 400 \text{ (mm}^2\text{)}$$

#### **4.13. Diện tích rãnh rôto ( $S_{r2}$ ):**

$$\begin{aligned} S_{r2} &= \frac{\pi \cdot (d_1^2 + d_2^2)}{8} + \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot \left( h_{12} - \frac{d_2}{2} \right) \\ &= \frac{\pi \cdot (0,64^2 + 0,42^2)}{8} + \frac{0,64 + 0,42}{2} \cdot \left( 0,98 - \frac{0,42}{2} \right) \\ &= 0,64 \text{ (cm}^2\text{)} = 64 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

#### **4.14. Chiều cao gông rôto ( $h_{g2}$ ):**

$$\begin{aligned} h_{g2} &= \frac{D' - D_t}{2} - h_{r2} + \frac{1}{6} \cdot d_{1r} \\ &= \frac{9,68 - 2,94}{2} - 1,56 + \frac{1}{6} \cdot 0,64 = 1,916 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

#### **4.15. Bề rộng răng rôto:**

$$\begin{aligned} b_{z2}^* &= \frac{\pi \cdot (D' - 2 \cdot h_{g2} - d_{r1})}{Z_2} - d_{r1} \\ &= \frac{\pi \cdot (9,68 - 2 \cdot 0,05 - 0,64)}{28} - 0,64 = 0,363 \text{ (cm)} \\ b_{z2}^{**} &= \frac{\pi \cdot (D' - 2 \cdot h_{r2} + d_{r2})}{Z_2} - d_{r2} \\ &= \frac{\pi \cdot (9,68 - 2 \cdot 1,56 + 0,42)}{28} - 0,42 = 0,363 \text{ (cm)} \\ b_{z2} &= \frac{b_{z2}^* + b_{z2}^{**}}{2} = \frac{0,363 + 0,363}{2} = 0,363 \text{ (cm)} \end{aligned}$$



## CHƯƠNG 5

### TÍNH TOÁN MẠCH TỪ VÀ XÁC ĐỊNH THAM SỐ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN Ở CHẾ ĐỘ ĐỊNH MỨC

#### 5.1. TÍNH TOÁN MẠCH TỪ:

##### 5.1.1. Hệ số khe hở không khí ( $k_{\delta}$ ):

Do bề phản ứng có rãnh dẫn đến từ dẫn trên khe hở của bề mặt phản ứng có rãnh khác nhau.

Trên răng, từ trở nhỏ hơn trên rãnh do sức từ động khe hở không khí của phản ứng có răng rãnh lớn hơn so với bề mặt phản ứng nhẵn.

Khi thiết kế phải dung một khe hở không khí tính toán, như vậy cần phải tính hệ số khe hở không khí. Hệ số khe hở không khí nói lên ảnh hưởng của răng stato và rôto tới khe hở.

##### **Hệ số khe hở không khí stato ( $k_{\delta 1}$ ):**

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - v_1 \cdot \delta} = \frac{0,855}{0,855 - 1,551 \cdot 0,06} = 1,122$$

trong đó:

$t_1$  : bước rãnh stato, tính ở 3.2

$\delta$  : khe hở không khí, tính ở 3.15

$$v_1 = \frac{\left(\frac{b_{41}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{41}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{0,22}{0,06}\right)^2}{5 + \frac{0,22}{0,06}} = 1,551$$

Với :  $b_{41}$  là bề rộng miệng rãnh stato, tính ở 3.12

##### **Hệ số khe hở không khí rôto ( $k_{\delta 2}$ ):**

$$k_{\delta 2} = \frac{t_2}{t_2 - v_2 \cdot \delta} = \frac{1,086}{1,086 - 0,416 \cdot 0,06} = 1,023$$

trong đó

$t_2$  là bước rãnh rôto , tính ở 4.3

$$v_2 = \frac{\left(\frac{b_{42}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{42}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{0,1}{0,035}\right)^2}{5 + \frac{0,1}{0,06}} = 0,416$$

Với :  $b_{42}$  là miệng rãnh rôto, tính ở 4.11

Hệ số khe hở không khí:

$$k_{\delta} = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} = 1,122 \cdot 1,023 = 1,1478$$

#### **5.1.2. Dùng thép kỹ thuật điện cán nguội 2411**

#### **5.1.3. Sức từ động khe hở không khí ( $F_{\delta}$ ):**

$$\begin{aligned} F_{\delta} &= 1,6 \cdot B_{\delta} \cdot k_{\delta} \cdot \delta \cdot 10^4 \\ &= 1,6 \cdot 0,563 \cdot 1,1478 \cdot 0,06 \cdot 10^4 \\ &= 620,362 \text{ (A)} \end{aligned}$$

trong đó :

$B_{\delta}$  : mật độ từ thông khe hở không khí, tính ở 3.9

$k_{\delta}$  : hệ số khe hở không khí

#### **5.1.4. Mật độ từ thông ở răng stato ( $B_{z1}$ ):**

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot l_1 \cdot t_1}{b_{z1} \cdot l_1 \cdot k_c} = \frac{0,563 \cdot 0,855}{0,285 \cdot 0,96} = 1,759(T)$$

trong đó :

$B_{\delta}$ : Mật độ từ thông khe hở không khí, tính ở 3.9

$t_1$ : bước rãnh stato, tính ở 3.2

$b_{z1}$  : bề rộng răng stato, tính ở 3.13

$l_1$  : chiều dài lõi sắt stato

#### **5.1.5. Cường độ từ trường trên răng stato**

Theo bảng V.7 ở phụ lục V [1] có:  $H_{z1} = 23 \text{ (A/cm)}$

#### **5.1.6. Sức từ động trên răng stato ( $F_{z1}$ ):**

$$F_{z1} = 2 \cdot h'_{z1} \cdot H_{z1} = 2 \cdot 1,423 \cdot 23 = 65,458(A)$$

trong đó:

$$h'_{z1} = h_{r1} - \frac{d_2}{3} = 1,69 - \frac{0,8}{3} = 1,423(mm) = 1,423(cm)$$

#### **5.1.7. Mật độ từ thông ở răng rôto:**

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot l_2 \cdot t_2}{b_{z2} \cdot l_2 \cdot t_2} = \frac{0,563 \cdot 1,086}{0,363 \cdot 0,96} = 1,754(T)$$

trong đó :



$B_{\delta}$ : Mật độ từ thông khe hở không khí, tính ở 3.9

$t_2$ : bước rãnh rôto, tính ở 4.3

$b_{Z2}$ : bề rộng răng rôto, tính ở 4.15

$l_2$ : chiều dài lõi sắt rôto, tính 2.5

#### **5.1.8. Cường độ từ trường trên răng rôto :**

Theo bảng V.7 ở phụ lục V [1] có:  $H_{Z2} = 23$  (A/cm)

#### **5.1.9. Sức từ thông trên răng rôto:**

$$\begin{aligned} F_{Z2} &= 2 \cdot h'_{Z2} \cdot H_{Z2} \\ &= 2 \cdot 1,346 \cdot 23 = 61,916(A) \end{aligned}$$

trong đó:

$$\begin{aligned} h'_{Z2} &= h_{r2} - \frac{d_{1r}}{3} \\ &= 15,6 - \frac{6,4}{3} = 13,46(mm) = 1,346(cm) \end{aligned}$$

#### **5.1.10. Hệ số bảo hoà răng:**

$$\begin{aligned} k_z &= \frac{F_{\delta} + F_{Z1} + F_{Z2}}{F_{\delta}} \\ &= \frac{620,362 + 65,458 + 61,916}{620,362} = 1,2059 \end{aligned}$$

trong đó:

$F_{\delta}$ : sức từ động khe hở không khí.

$F_{Z1}$ : sức từ động trên răng stato.

$F_{Z2}$ : sức từ động trên răng rôto

#### **5.1.11. Mật độ từ thông trên gông stato ( $B_{g1}$ ):**

$$\begin{aligned} B_{g1} &= \frac{\phi \cdot 10^4}{2 \cdot h_{g1} \cdot l_1 \cdot k_c} \\ &= \frac{0,006495 \cdot 10^4}{2 \cdot 2,043 \cdot 11,7 \cdot 0,96} = 1,415(T) \end{aligned}$$

trong đó:

$\phi$ : từ thông khe hở không khí, tính ở 3.8

$h_{g1}$ : chiều cao gông stato, tính ở 3.14

$k_C$ : hệ số ép chặt.

#### **5.1.12. Cường độ từ trường ở gông stato :**

Theo bảng V.10 ở phụ lục V [1] có:  $H_{g1} = 4,4$  (A/cm)

#### **5.1.13. Chiều dài mạch từ ở gông stato ( $L_{g1}$ ):**

$$L_{g1} = \frac{\pi \cdot (D_n - h_{g1})}{2p} = \frac{\pi \cdot (17 - 2,043)}{2} = 23,494(\text{cm})$$

trong đó :

$D_n$  : Đường kính ngoài stato, tính ở 2.2

$p$  : số đôi cực.

#### **5.1.14. Sức từ động ở gông stato:**

$$F_{g1} = L_{g1} \cdot H_{g1} = 23,506 \cdot 4,4 = 103,373(A)$$

#### **5.1.15. Mật độ từ thông trên gông rôto:**

$$B_{g2} = \frac{\phi \cdot 10^4}{2 \cdot h_{g2} \cdot l_2 \cdot k_c} = \frac{0,006495 \cdot 10^4}{2 \cdot 1,916 \cdot 11,7 \cdot 0,96} = 1,509(T)$$

trong đó:

$\phi$  : từ thông khe hở không khí, tính ở 3.8

$h_{g2}$ : chiều cao gông rôto, tính ở 4.14

$k_C$ : hệ số ép chặt.

#### **5.1.16. Cường độ từ trường ở gông rôto**

Theo bảng V.10 ở bảng phụ lục V [1] có:  $H_{g2} = 8,2$  (A/cm)

#### **5.1.17. Chiều dài mạch từ ở gông rôto:**

$$L_{g2} = \frac{\pi \cdot (D_t + h_{g2})}{2p} = \frac{\pi \cdot (2,94 + 1,916)}{2} = 7,627(\text{cm})$$

trong đó:

$D_t$  : Đường kính trục, tính ở 4.5

$h_{g2}$ : chiều cao gông rôto, tính ở 4.14

#### **5.1.18. Sức từ động trên gông rôto:**

$$F_{g2} = L_{g2} \cdot H_{g2} = 7,627 \cdot 8,2 = 62,541(A)$$

#### **5.1.19. Tổng sức từ động của mạch từ:**

$$\begin{aligned} F &= F_{\delta} + F_{Z_1} + F_{Z_2} + F_{g_1} + F_{g_2} \\ &= 620,362 + 65,458 + 61,916 + 103,373 + 62,541 \\ &= 913,65 \text{ (A)} \end{aligned}$$

trong đó:

$F_{\delta}$  : sức từ động khe hở không khí, tính ở 5.1.3.

$F_{Z_1}$  : sức từ động trên răng stato, tính ở 5.1.6.

$F_{Z_2}$  : sức từ động trên răng rôto, tính ở 5.1.9.

$F_{g_1}$  : Sức từ động trên gông rôto, tính ở 5.1.14.

$F_{g_2}$  : Sức từ động trên gông stato, tính ở 5.1.18.

#### **5.1.20. Hệ số bão hoà toàn mạch ( $k_{\mu}$ ):**

$$k_{\mu} = \frac{F}{F_{\delta}} = \frac{913,65}{620,362} = 1,472$$

trong đó:

$F$  : Tổng sức từ động của mạch từ.

$F_{\delta}$  : sức từ động khe hở không khí, tính ở 5.1.3

#### **5.1.21. Dòng điện từ hoá ( $I_{\mu}$ ):**

$$I_{\mu} = \frac{p \cdot F}{2,7 \cdot w_1 \cdot k_{d1}} = \frac{1.913,65}{2,7.162.0,923} = 2,263(A)$$

trong đó :

$w_1$  : số vòng dây quấn 1 pha stato, tính ở 3.4

$k_d$  : hệ số dây quấn, tính ở 3.7

**Dòng điện từ hoá phần trăm:**

$$I_{\mu}^0 = \frac{I_{\mu}}{I_{dm}} \cdot 100\% = \frac{2,263}{7,872} \cdot 100\% = 28,74\%$$

### **5.2. THAM SỐ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN Ở CHẾ ĐỘ ĐỊNH MỨC**

Điện trở và điện kháng của dây quấn là những tham số chủ yếu của máy điện.

Điện kháng xác định bởi từ thông móc vòng của cảm ứng tương hỗ xuyên qua các khe hở không khí và móc vòng vào cả hai cuộn dây stato và rôto

động cơ, sinh ra điện kháng cơ bản, đó là điện kháng hồ cảm. Từ thông móc vòng tản chỉ móc vòng mỗi bản than cuộn dây, sinh ra điện kháng tản  $x_1$  đối với stato và  $x_2$  đối với roto,  $x_1+x_2$  là điện kháng tổng của dây quấn động cơ.

Điện trở động cơ giúp xác định những tổn hao của dây quấn động cơ ở chế độ xác lập và quá trình quá độ.

### **5.2. 1. Chiều dài phần đầu nối của dây quấn stato:**

$$L_{d1} = k_{d1} \cdot \tau_y + 2 \cdot B = 1,2 \cdot 15,04 + 2 \cdot 1 = 20,048 \text{ (cm)}$$

trong đó:

$$\tau_y = \frac{\pi \cdot (D + h_{r1}) \cdot y}{Z_1} = \frac{\pi \cdot (9,8 + 1,69) \cdot 15}{36} = 15,04 \text{ (cm)}$$

Với :  $h_{r1}$  là chiều cao rãnh stato, tính ở 3.12

### **5.2.2. Chiều dài trung bình nửa vòng dây của dây quấn stato:**

$$L_{tb} = l_1 + L_{d1} = 11,7 + 20,048 = 31,748 \text{ (cm)}$$

### **5.2.3. Chiều dài dây quấn một pha của stato :**

$$L_1 = 2 \cdot L_{tb} \cdot W_1 \cdot 10^{-2} = 2 \cdot 31,748 \cdot 162 \cdot 10^{-2} = 102,863 \text{ (m)}$$

### **5.2.4. Điện trở tác dụng của dây quấn stato:**

$$\begin{aligned} r_1 &= \rho_{75} \cdot \frac{L_1}{n_1 \cdot a_1 \cdot s_1} \\ &= \frac{1}{46} \cdot \frac{102,863}{2 \cdot 2 \cdot 0,374} = 1,494 (\Omega) \end{aligned}$$

trong đó:

$\rho_{75}$ : điện trở suất của đồng ở  $75^\circ$  [1]

$n_1$  : số sợi chập

$s_1$  : tiết diện dây dẫn chọn, chọn ở 3.5

$L_1$ : tính ở 5.2.3

$a_1 = 2$  số mạch nhánh song song, chọn ở 3.3

Tính theo đơn vị tương đối:

$$r_1^* = r_1 \frac{I_1}{U_1} = 1,494 \cdot \frac{7,872}{220} = 0,0534$$

### **5.2.5. Điện trở tác dụng của dây quấn rôto ( $r_{td}$ ):**

$$r_{td} = \rho_{Al} \cdot \frac{l_2 \cdot 10^{-2}}{S_{r2}} = \frac{1}{23} \cdot \frac{11,7 \cdot 10^{-2}}{64} = 0,794 \cdot 10^{-4} (\Omega)$$

trong đó:

$\rho_{Al}$  : điện trở suất của nhôm [1]

$S_{r2}$  : diện tích rãnh rôto, tính ở 4.13

$l_2$  : chiều dài lõi sắt rôto, tính ở 2.5

### **5.2.6. Điện trở vành ngắn mạch ( $r_v$ ):**

$$r_v = \rho_{Al} \frac{\pi \cdot D_v \cdot 10^{-2}}{Z_2 \cdot S_v} = \frac{1}{23} \cdot \frac{\pi \cdot 7,7 \cdot 10^{-2}}{28 \cdot 401} = 0,936 \cdot 10^{-6} (\Omega)$$

trong đó:

$D_v$  : Đường kính vành ngắn mạch, tính ở 4.12.

$S_v$  ; diện tích vành ngắn mạch, tính ở 4.12.

### **5.2.7. Điện trở rôto ( $r_2$ ):**

$$\begin{aligned} r_2 &= r_{td} + \frac{2 \cdot r_v}{\Delta^2} = 0,794 \cdot 10^{-4} + \frac{2 \cdot 0,00936 \cdot 10^{-4}}{0,223^2} \\ &= 1,169 \cdot 10^{-4} (\Omega) \end{aligned}$$

trong đó:

$$\Delta = 2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2} = 2 \cdot \sin \frac{180 \cdot 1}{28} = 0,223$$

### **5.2.8. Hệ số quy đổi :**

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{4 \cdot m_1 \cdot (w_1 \cdot k_d)^2}{Z_2} = \frac{4 \cdot 3 \cdot (162 \cdot 0,923)^2}{28} \\ &= 9582,01 \end{aligned}$$

trong đó:

$k_d$  : Hệ số dây quấn, tính ở 3.7

$w_1$  : số vòng dây nối tiếp một pha, tính ở 3.7

### **5.2.9. Điện trở rôto đã quy đổi ( $r'_2$ ):**

$$r'_2 = \gamma \cdot r_2 = 9582,01 \cdot 1,169 \cdot 10^{-4} = 1,12 (\Omega)$$

Tính theo vị trí tương đối

$$r_2'^* = r'_2 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 1,12 \cdot \frac{7,872}{220} = 0,04 (\Omega)$$

#### **5.2.10. Hệ số từ dẫn tản stato ( $\lambda_{r1}$ ):**

$$\lambda_{r1} = \frac{h_1}{3b} \cdot k_\beta + (0,785 - \frac{b_{41}}{2b} + \frac{h_2}{b} + \frac{h_4}{b_{41}}) \cdot k'_\beta$$
$$\lambda_{r1} = \frac{14,8}{3,6,3} 0,91 + (0,785 - \frac{2,2}{2,6,3} - \frac{1,85}{6,3} + \frac{0,5}{2,2}) \cdot 0,875 = 1,188$$

trong đó:

$$\beta = \frac{y}{\tau_r} = \frac{15}{18} = 0,833$$
$$k'_\beta = \frac{1 + 3 \cdot \beta}{4} = \frac{1 + 3 \cdot 0,833}{4} = 0,875$$
$$k_\beta = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cdot k'_\beta = 0,91$$
$$h_1 = h_{r1} - 0,1 \cdot d_2 - 2 \cdot c - c' = 1,69 - 0,1 \cdot 0,8 - 2 \cdot 0,4 - 0,5$$
$$= 14,8 \text{ (mm)}$$
$$- h_2 = - \left( \frac{d_1}{2} - 2 \cdot c \right) = - \left( \frac{6,3}{2} - 2 \cdot 0,4 - 0,5 \right) = -1,85 \text{ (mm)}$$
$$b = d_1 = 6,3 \text{ (mm)}$$
$$b_{41} = 2,2 \text{ (mm)}$$

#### **5.2.11. Hệ số từ dẫn tập stato:**

$$\lambda_{t1} = 0,9 \cdot \frac{t_1 \cdot (q_1 \cdot k_d)^2 \cdot k_{41} \cdot \rho_{t1}}{k_\delta \cdot \delta}$$
$$= 0,9 \cdot \frac{0,855 \cdot (6,0,923)^2 \cdot 0,969 \cdot 0,675}{1,1478 \cdot 0,06} \cdot 0,0045 = 1,008$$

trong đó:

$$k_{41} = 1 - 0,033 \cdot \frac{b_{41}^2}{t_1 \cdot \delta} = 1 - 0,033 \cdot \frac{0,22^2}{0,855 \cdot 0,06} = 0,969$$

Với :  $k_d$  : hệ số dây quấn  
 $t_1$  : bước rãnh stato, tính ở 3.2  
 $q_1$  : rãnh một pha dưới mỗi cực

#### **5.2.12. Hệ số từ tản phần đầu nối:**

$$\lambda_{d1} = 0,34 \cdot \frac{q_1}{l_1} \cdot (L_{d1} - 0,64 \cdot \beta \cdot \tau)$$
$$= 0,34 \cdot \frac{6}{11,7} \cdot (20,048 - 0,64 \cdot 0,833 \cdot 15,393) = 2,026$$

trong đó:

$l_1$  : chiều dài lõi sắt stato, tính ở 2.5

$\tau$  : bước cực, tính ở 2.6

### **5.2.13. Hệ số từ dẫn tản stato:**

$$\begin{aligned}\Sigma \lambda_1 &= \lambda_{r1} + \lambda_{t1} + \lambda_{d1} \\ &= 1,188 + 1,008 + 2,026 = 4,222\end{aligned}$$

trong đó:

$\lambda_{r1}$  : hệ số từ dẫn tản, tính ở 5.2.10

$\lambda_{t1}$  : hệ số từ dẫn tản, tính ở 5.2.11

$\lambda_{d1}$  : hệ số từ dẫn tản đầu nối, tính ở 5.2.12

### **5.2.14. Điện kháng dây quấn stato:**

$$\begin{aligned}x_1 &= 0,158 \cdot \frac{f_1}{100} \cdot \left(\frac{w_1}{100}\right)^2 \cdot \frac{l_1}{p \cdot q_1} \cdot \Sigma \lambda_1 \\ &= 0,158 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{162}{100}\right)^2 \cdot \frac{11,7}{2 \cdot 3} \cdot 4,222 = 1,706(\Omega)\end{aligned}$$

trong đó:

$\Sigma \lambda_1$  : hệ số từ dẫn tản stato, tính ở 5.2. 13.

$l_1$  : chiều dài lõi sắt stato, tính ở 2.5

Tính theo đơn vị tương đối:

$$x_1^* = x_1 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 1,706 \cdot \frac{7,872}{220} = 0,061$$

### **5.2.15. Hệ số từ dẫn tản rôto:**

$$\begin{aligned}\lambda_{r2} &= \left[ \frac{h_1}{3 \cdot b} \cdot \left( 1 - \frac{\pi \cdot b^2}{8 \cdot S_r} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_{42}}{2 \cdot b} \right] + \frac{h_{42}}{b_{42}} \\ &= \left[ \frac{11,26}{3 \cdot 6,4} \cdot \left( 1 - \frac{\pi \cdot 6,4}{8 \cdot 64} \right)^2 + 0,66 - \frac{1}{2 \cdot 6,4} \right] + \frac{0,5}{1} = 1,41\end{aligned}$$

trong đó:

$$h_1 = h_{12} + \frac{d_2}{2} - \frac{1}{10} \cdot d_1 = 9,8 + \frac{4,2}{2} - 0,1 \cdot 6,4 = 11,26(\text{mm})$$

$$b = d_1 = 0,64(\text{cm}) = 6,4(\text{mm})$$

$$S_r = 64(\text{mm}^2), \text{ tính ở 4.13}$$

$$b_{42} = 1(\text{mm}), \text{ tính ở 4.11}$$

$$h_{42} = 0,5(\text{mm}), \text{ tính ở 4.11}$$

#### **5.2.16. Hệ số từ dẫn tap rôto ( $\lambda_{t2}$ ) :**

$$\lambda_{t2} = 0,9 \cdot \frac{t_2 \cdot (q_2 \cdot k_{\delta 2})^2 \cdot k_{42} \cdot \rho_{t2}}{k_{\delta} \cdot \delta} \cdot \sigma_2$$
$$= 0,9 \cdot \frac{1,086 \cdot (\frac{28}{3,2} \cdot 1,023)^2 \cdot 1,1}{1,1478 \cdot 0,06} \cdot 0,0042 = 1,358$$

trong đó:

$t_2$  : bước rãnh rôto, tính ở 4.3.

$q_2$  : rãnh một pha dưới mỗi cực

$k_{\sigma 2}$ : hệ số khe hở không khí, tính ở 5.1.1.

$\delta$  : khe hở không khí, chọn ở 3.15.

#### **5.2.17. Hệ số từ tản phần đầu nối:**

$$\lambda_{d2} = \frac{2,3 \cdot D_V}{Z_2 \cdot l_2 \cdot \Delta^2} \cdot \lg \frac{4,7 \cdot D_V}{a + 2 \cdot b}$$
$$= \frac{2,3 \cdot 7,7}{28 \cdot 15 \cdot 0,0223^2} \cdot \lg \frac{4,7 \cdot 7,7}{2 + 2 \cdot 2} = 0,848$$

trong đó:

$D_V$ ,  $a$ ,  $b$  : tính ở 4.12

#### **5.2.18. Hệ số từ tản rôto:**

$$\Sigma \lambda_2 = \lambda_{r2} + \lambda_{t2} + \lambda_{d2}$$
$$= 1,41 + 1,358 + 0,848 = 3,616$$

#### **5.2.19. Điện kháng tản dây quấn rôto ( $x_2$ ):**

$$x_2 = 7,9 \cdot f_1 \cdot l_2 \cdot \Sigma \lambda_2 \cdot 10^{-8}$$
$$= 7,9 \cdot 50 \cdot 11,7 \cdot 3,616 \cdot 10^{-8} = 1,67 \cdot 10^{-4} \text{ (}\Omega\text{)}$$

trong đó:

$f_1$  : tần số định mức.

$\Sigma \lambda_2$ : hệ số từ tản rôto, tính ở 5.2.18

$L_2$ : chiều dài lõi sắt rôto, tính ở 2.5

#### **5.2.20. Điện kháng rôto đã quy đổi : ( $x'_2$ )**

$$x'_2 = \gamma \cdot x_2 = 9582,01 \cdot 1,67 \cdot 10^{-4} = 1,6 \text{ (}\Omega\text{)}$$

trong đó:



$\gamma$  : hệ số quy đổi, tính ở 5.2.8

$x_2$ : điện kháng tản dây quấn rôto, tính ở 5.2.19

Tính theo vị trí tương đối ( $x_2^*$ ):

$$x_2^* = x_2 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 1,6 \cdot \frac{7,872}{220} = 0,057$$

#### **5.2.21. Điện kháng hồ cảm ( $x_{12}$ ):**

$$x_{12} = \frac{U_1 - I_\mu \cdot x_1}{I_\mu} = \frac{220 - 2,263 \cdot 1,706}{2,263} = 95,51(\Omega)$$

trong đó:

$U_1$  : điện áp định mức

$I_\mu$  : dòng điện từ hoá, tính ở 5.1.21.

$x_1$  : điện kháng dây quấn stato, tính ở 5.2. 14.

Tính theo đơn vị tương đối:

$$x_{12}^* = x_{12} \cdot \frac{I_1}{U_1} = 95,51 \cdot \frac{7,872}{220} = 3,417$$

#### **5.2.22. Tính lại $k_E$ :**

$$k_E = \frac{U_1 - I_\mu \cdot x_1}{220} = \frac{220 - 2,263 \cdot 1,706}{220} = 0,982$$

trong đó:

$U_1$  : điện áp định mức

$I_\mu$  : dòng điện từ hoá, tính ở 5.1.21.

$x_1$  : điện kháng dây quấn stato, tính ở 5.2.14.

Trị số này không sai khác nhiều so với trị số ban đầu nên không cần tính lại.

### **5.3. TỔN HAO THÉP VÀ TỔN HAO CƠ**

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 trong máy động cơ điện có thể phân thành những loại sau:

**Tổn hao trong sắt** 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 các tổn hao phụ gọi là tổn hao bề mặt và tổn hao đập mạch do sự thay đổi từ trễ và sự thay đổi lần lượt vị trí tương đối của rãnh stato và rôto.

**Tổn hao trong đồng** do hiệu ứng Jun gây nên trong dây quấn và ở nơi tiếp xúc giữa chổi than và vành góp hoặc vành trượt.

**Tổn hao phụ** khi có tải do sự đập mạch của từ thông tản ở động cơ điện xoay chiều hoặc do sự biến dạng của từ trường phản ứng phản ứng và từ trường của phần tử đổi chiều ở động cơ điện một chiều.

**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 động cơ 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 tổn hao cơ thay đổi rất ít, vì vậy tổn hao này gọi là **tổn hao không tải**. Các tổn hao trong đồng và tổn hao phụ khi có tải gọi là **tổn hao khi có tải** vì chúng biến đổi theo tải.

### **5.3.1. Trọng lượng răng stato:**

$$\begin{aligned} G_{Z1} &= \gamma_{Fe} \cdot Z_1 \cdot b_{Z1} \cdot h'_{Z1} \cdot l_1 \cdot k_{c1} \cdot 10^{-3} \\ &= 7,8 \cdot 36 \cdot 0,285 \cdot 1,423 \cdot 11,7 \cdot 0,96 \cdot 10^{-3} = 1,279 \text{ (kg)} \end{aligned}$$

trong đó:

$Z_1$  : số răng stato, tính ở 3.1

$b_{Z1}$  : chiều rộng răng stato, tính ở 3.10.

$h'_{Z1} = h_{r1} - d_2/3 = 1,69 - 0,8/3 = 1,423 \text{ (cm)}$  với  $h_{r1}$ , tính ở 3.12

$k_c$  : hệ số ép chặt

### **5.3.2. Trọng lượng gông từ stato :**

$$\begin{aligned} G_{g1} &= \gamma_{Fe} \cdot l_1 \cdot L_{g1} \cdot h_{g1} \cdot 2 \cdot p \cdot k_c \cdot 10^{-3} \\ &= 7,8 \cdot 11,7 \cdot 23,494 \cdot 2,043 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,96 \cdot 10^{-3} = 8,41 \text{ (kg)} \end{aligned}$$

trong đó:

$l_1$  : chiều dài lõi sắt, tính ở 2.5

$L_{g1}$ : chiều dài mạch từ ở gông stato, tính ở 5.1.13.

$h_{g1}$  : chiều cao gông stato, tính ở 3.11.

$k_c$  : hệ số ép chặt

$p$  : số đôi cực từ

### **5.3.3. Tổn hao sắt trong lõi sắt stato:**

Tổn hao chính trong thép vì từ trễ và dòng điện xoáy xuất hiện đồng thời. Nguyên nhân là do dòng điện từ hoá chạy trong thép khi từ trường biến đổi. Tổn hao phụ trong thép sinh ra bởi dòng điện xoáy và hiện tượng từ trễ trong máy trong thép ở phần răng và trên bề mặt stato và rôto tạo nên bởi các sóng điều hoà bậc cao và sóng điều hoà răng của từ trường stato và rôto

#### **Trong răng:**

$$\begin{aligned} P_{FeZ1} &= k_{gc} \cdot P_{FeZ} \cdot B_{Z1}^2 \cdot G_{Z1} \cdot 10^{-3} \\ &= 1,8 \cdot 2,5 \cdot 1,759^2 \cdot 1,279 \cdot 10^{-3} = 0,0178 \text{ (kW)} \end{aligned}$$

trong đó:

$P_{FeZ}$  : suất tổn hao thép trong răng [1] trang 618.

$k_{gc}$  : hệ số gia công [1] trang 140

$G_{Z1}$  : trọng lượng răng phần ứng, tính ở 5.3.1.

$B_{Z1}$  : mật độ từ thông ở răng stato, tính ở 5.1.4.

#### **Trong gông:**

$$\begin{aligned} P_{Feg1} &= k_{gc}' \cdot P_{Feg1} \cdot B_{g1}^2 \cdot G_{g1} \cdot 10^{-3} \\ &= 1,6 \cdot 2,5 \cdot 1,415^2 \cdot 8,41 \cdot 10^{-3} = 0,067 \text{ (kW)} \end{aligned}$$

trong đó:

$P_{FeZ}$  : suất tổn hao thép trong gông [1] trang 618.

$k_{gc}$  : hệ số gia công [1] trang 140.

$G_{g1}$  : trọng lượng gông phần ứng, tính ở 5.3.2.

$B_{Z1}$  : mật độ từ thông ở gông stato, tính ở 5.1.4.

#### **Trong cả lõi sắt stato:**

$$P'_{Fe} = P_{FeZ1} + P_{Feg1}$$

$$= 0,0178 + 0,067 = 0,0848 \text{ (kW)}$$

#### **5.3.4. Tổn hao bề mặt trên răng rôto:**

Khi máy điện quay, đối diện với răng roto của máy không đồng bộ lần lượt xuất hiện sự dao động của mật độ từ thông, biên độ dao động của từ thông càng lớn thì khe hở không khí càng nhỏ và miệng rãnh càng to. Tần số dao động phụ thuộc vào số răng và tốc độ quay.

Vì tần số dao động cao nên các dòng điện xoáy cảm ứng trong thép điều 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 nhỏ. Tổn hao chủ yếu tập trung trên bề mặt roto còn trên bề mặt stato ít hơn do miệng rãnh roto bé.

$$\begin{aligned} P_{bm} &= 2 \cdot p \cdot \tau \cdot \frac{t_2 - b_{42}}{t_2} \cdot L_2 \cdot P'_{bm} \cdot 10^{-7} \\ &= 2 \cdot 1 \cdot 15,393 \cdot \frac{1,086 - 0,1}{1,086} \cdot 11,7 \cdot 47,286 \cdot 10^{-7} \\ &= 0,0015 \text{ (kW)} \end{aligned}$$

trong đó:

$\tau$  : bước cực, tính ở 2.6.

$t_2$  : bước răng, tính ở 4.3.

$P'_{bm}$ : Suất tổn hao trung bình trên một đơn vị ( $m^2$ ) bề mặt stato :

$$\begin{aligned} P'_{bm} &= 0,5 \cdot k_0 \cdot \left( \frac{Z_1 \cdot n_1}{10000} \right)^{1,5} \cdot (10 \cdot B_0 \cdot t_1)^2 \\ &= 0,5 \cdot 2 \cdot \left( \frac{36 \cdot 3000}{10000} \right)^{1,5} \cdot (10 \cdot 0,135 \cdot 0,855)^2 = 47,286 \end{aligned}$$

Với :  $k_0$  : hệ số kinh nghiệm

$B_0$  : biên độ dao động của mật độ từ thông tại khe hở không khí

$$B_0 = \beta_0 \cdot k_\delta \cdot B_\delta = 0,21 \cdot 1,1478 \cdot 0,563 = 0,135 \text{ (T)}$$

$\beta_0$  : tra theo hình 6-1 [1]

$$\beta_0 = 0,21$$

$$\frac{b_{41}}{\delta} = \frac{0,22}{0,06} = 3,667$$

$k_s$  : hệ số khe hở không khí, tính ở 5.1.1.

### **5.3.5. Tổn hao đập mạch trên răng rôto:**

Trong các động cơ điện có răng rãnh trên cả stato và rôto như động cơ điện không đồng bộ và động cơ điện có cuộn cảm, ngoài tổn hao bề mặt còn có tổn hao đập mạch do hiện tượng đập mạch đáng kể của mật độ từ thông 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 rãnh stato và rôto.

$$P_{dm} = 0,11 \cdot \left( \frac{Z_1 \cdot n_1}{10000} \cdot 10 \cdot B_{dm} \right)^2 \cdot G_{Z2} \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,11 \left( \frac{36 \cdot 3000}{10000} \cdot 10 \cdot 0,075 \right)^2 \cdot 1,248 \cdot 10^{-3} = 0,009 (kW)$$

trong đó:

$$B_{dm} = \frac{v_1 \cdot \delta}{2 \cdot t_2} \cdot B_{Z2} = \frac{1,551 \cdot 0,06}{2 \cdot 1,086} \cdot 1,754 = 0,075 (T)$$

$B_{Z2}$  : mật độ từ thông ở răng rôto, tính ở 5.1.7.

**Trọng lượng răng rôto:**

$$G_{Z2} = \gamma_{Fe} \cdot Z_2 \cdot h'_{Z2} \cdot b_{Z2} \cdot L_2 \cdot k_c \cdot 10^{-3}$$

$$= 7,8 \cdot 28 \cdot 1,346 \cdot 0,363 \cdot 11,6 \cdot 0,96 \cdot 10^{-3} = 1,237 (kg)$$

### **5.3.6. Tổng tổn hao thép:**

$$P_{Fe} = P'_{Fe} + P_{bm} + P_{dm}$$

$$= 0,0848 + 0,0015 + 0,009 = 0,095 (kW)$$

trong đó:

$P'_{Fe}$ : tổn hao cả lõi sắt stato, tính ở 5.3.3

$P_{bm}$ : tổn hao bề mặt trên răng rôto, tính ở 5.3.4

$P_{dm}$ : tổn hao đập mạch trên răng rôto, tính ở 5.3.5.

### **5.3.7. Tổn hao cơ:**

Tổn hao cơ hay tổn hao ma sát phụ thuộc vào áp suất trên bề mặt 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

$$P_{\text{cơ}} = k \cdot \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_n}{10}\right)^4 \cdot 10^{-3}$$

$$= 1.079 \left(\frac{3000}{1000}\right)^2 \cdot \left(\frac{17}{10}\right)^4 \cdot 10^{-3} = 0,081(kW)$$

*trong đó:*

k : xác định theo phản ứng  $D_n$

$n_1$  : tốc độ định mức.

$D_n$  : đường kính ngoài stato, tính ở 2.2.

#### **5.3.8. Tổn hao không tải :**

$$P_0 = P_{\text{Fe}} + P_{\text{cơ}} = 0,095 + 0,081 = 0,176 (kW)$$

## KẾT LUẬN

Sau một thời gian làm việc khẩn trương và nghiêm túc, bản đồ án đã hoàn thành các nhiệm vụ đặt ra cho việc tính toán thiết kế động cơ không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc công suất 4 kW;  $2p = 2$ . Kết quả đạt được của bản đồ án thỏa mãn các tiêu chuẩn kỹ thuật như:

$\cos\varphi = 0,92$  yêu cầu là 0,

$\eta = 86,51$  yêu cầu là 86,5 %

Bội số mômen khởi động  $m_k = 2,813$ ; yêu cầu là 2,0.

Bội số mômen max  $m_{\max} = 3,248$  ; yêu cầu là 2,2.

Bội số dòng điện khởi động  $\frac{I_k}{I_{dm}} = 7,229$ ; yêu cầu là  $\frac{I_k}{I_{dm}} = 7,5$ .

Các chỉ tiêu về vật liệu tác dụng đạt được cũng nằm trong phạm vi cho phép so với các máy đã chế tạo tại Việt Nam.

## **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Trần Khánh Hà, Nguyễn Hồng Thanh; *Thiết kế máy điện*; Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà nội, 2006.