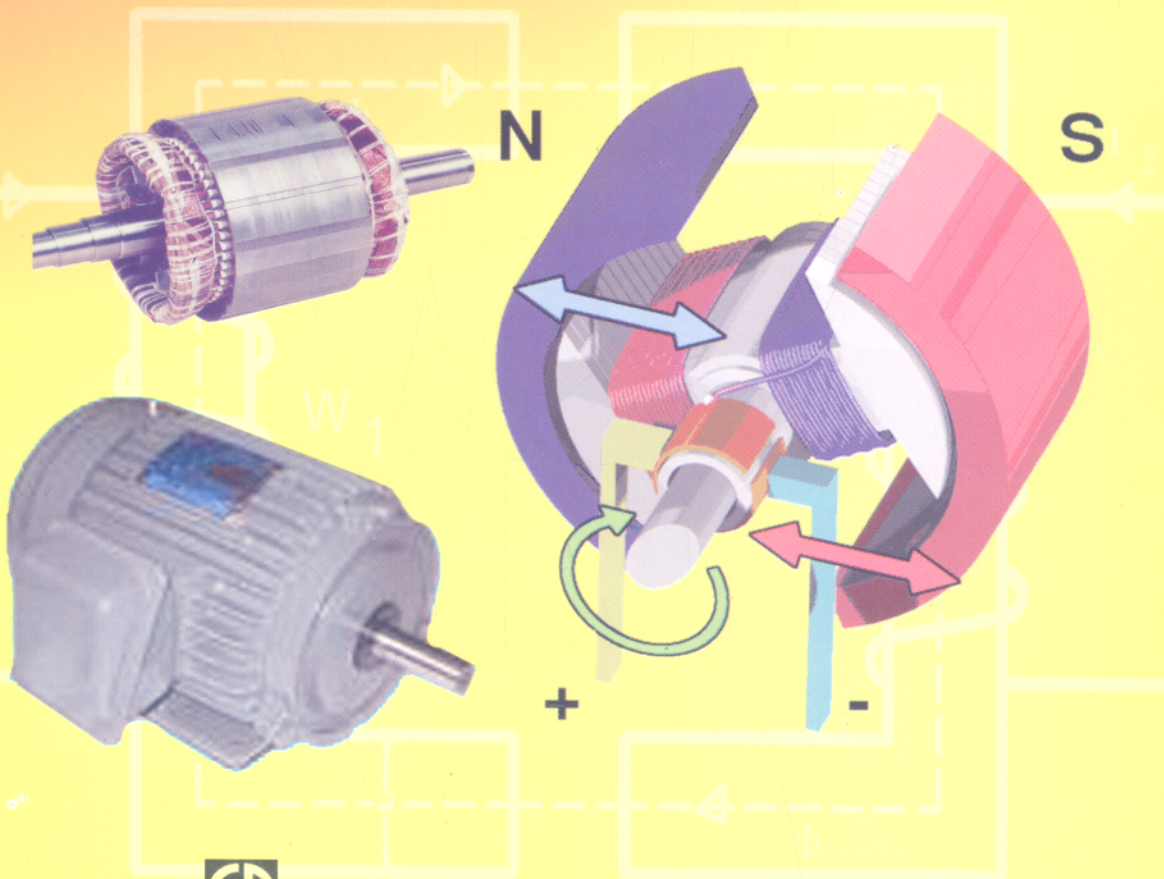


BÙI ĐỨC HÙNG (Chủ biên)
TRIỆU VIỆT LINH

MÁY ĐIỆN

TẬP MỘT

DÙNG CHO SINH VIÊN CÁC TRƯỜNG ĐẠI HỌC VÀ CAO ĐẲNG



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

BÙI ĐỨC HÙNG (Chủ biên)

TRIỆU VIỆT LINH

MÁY ĐIỆN

TẬP MỘT

Dùng cho sinh viên các trường Đại học, Cao đẳng

(Tái bản lần thứ nhất)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Bản quyền thuộc HÉVOBCO – Nhà xuất bản Giáo dục

04--2008/CXB/213-1999/GD

Mã số: 7B666y8 – DAI



Lời nói đầu

Xã hội càng phát triển thì nhu cầu sử dụng điện ngày càng lớn. Máy điện là những thiết bị điện được sử dụng nhiều nhất trong tất cả các lĩnh vực của nền kinh tế, vì vậy việc tìm hiểu, nghiên cứu để có những kiến thức cơ bản trong việc thiết kế, sử dụng, vận hành, khai thác máy điện là vấn đề được nhiều người, nhiều ngành quan tâm, đặc biệt là các kỹ sư, kỹ thuật viên ngành điện.

Cuốn *Máy điện* được biên soạn dựa trên cơ sở tham khảo các tài liệu, giáo trình đang sử dụng để học tập, nghiên cứu tại nhiều trường đại học ở Mỹ, Nga và các giáo trình đang sử dụng giảng dạy cho sinh viên các trường đại học trong nước, kết hợp với kinh nghiệm của các tác giả trong nhiều năm công tác và giảng dạy môn *Máy điện*.

Trong quá trình biên soạn, tác giả đã cố gắng cập nhật những kiến thức mới có liên quan đến môn học, đồng thời gắn những nội dung lý thuyết với các vấn đề thường gặp trong thực tế sản xuất, bổ sung nhiều ví dụ minh họa để người đọc nắm chắc hơn về *Máy điện*.

Nội dung cuốn sách được phân thành hai tập :

Tập 1 : Bắt đầu từ chương 1 đến chương 6 bao gồm các vấn đề sau :

Chương 1. Những khái niệm cơ bản

Chương 2. Mạch điện một pha và ba pha

Chương 3. Mạch từ

Chương 4. Máy biến áp

Chương 5. Nguyên lý biến đổi năng lượng cơ điện

Chương 6. Dây quấn máy điện quay

Tập 2: Từ chương 7 đến chương 11 bao gồm các vấn đề sau :

Chương 7. Máy điện không đồng bộ

Chương 8. Máy điện đồng bộ

Chương 9. Máy điện một chiều

Chương 10. Động cơ một pha và động cơ đặc biệt

Chương 11. Tiết kiệm điện năng trong vận hành thiết bị điện

Cuốn sách được biên soạn làm tài liệu học tập cho đối tượng là sinh viên trong các trường đại học, cao đẳng ngành Điện và cũng là tài liệu tham khảo bổ ích cho các kỹ sư, kỹ thuật viên đang công tác trong ngành Điện.

Trong quá trình biên soạn cuốn sách, mặc dù đã có nhiều cố gắng, nhưng chắc chắn không tránh khỏi khiếm khuyết. Rất mong nhận được những ý kiến đóng góp của bạn đọc để lần tái bản sau được hoàn chỉnh hơn.

Mọi ý kiến đóng góp xin được gửi về : *Công ty Cổ phần Sách Đại học - Dạy nghề (HEVOBCO), 25 Hàn Thuyên, Hà Nội.*

CÁC TÁC GIẢ

1.1. GIỚI THIỆU

Ở Việt Nam, kể từ năm 1991–1996 khi tốc độ tăng GDP hằng năm bình quân là 8,3% thì mức tiêu thụ năng lượng tăng bình quân 13%. Kinh tế Việt Nam đã và đang phát triển mạnh mẽ, với tốc độ tăng trưởng bình quân hằng năm luôn ở mức cao trong những năm gần đây và dự kiến sẽ duy trì tốc độ tăng trưởng cao trong những năm tới sau khi Việt Nam đã gia nhập WTO. Năm 2005 tốc độ tăng GDP đạt 8,4%. Giai đoạn 2006 - 2010 và 2011 - 2020 dự kiến tăng 8,5%/năm, đây là những thách thức rất lớn cho việc phát triển ngành điện. Năm 2005, điện thương phẩm đạt 45,6 tỷ kWh (tăng trung bình 15,3%/năm). Dự kiến đến năm 2010 đạt 97,1 tỷ kWh (tăng trung bình 16,3%/năm). Nguyên nhân dẫn tới sự phát triển nhanh chóng là ở tính năng của năng lượng điện như: nó là dạng năng lượng thuận lợi nhất trên phương diện sử dụng. Nó có thể được truyền đi bởi các đường dây truyền tải trên những khoảng cách rất xa tới những điểm tiêu thụ và rất dễ chuyển đổi sang các dạng năng lượng khác như: năng lượng cơ làm việc, bức xạ năng lượng, nhiệt năng, ánh sáng v.v... Năng lượng điện là năng lượng không dự trữ được, do đó nó cũng góp phần làm tăng sự sử dụng. Hơn thế nữa, mức sản xuất có thể đạt được trong các nhà máy rất lớn đã tạo ra sự cân bằng cho nền kinh tế, cùng với đó giá điện sẽ tỷ lệ nghịch với dung lượng của nhà máy. Khi truyền năng lượng điện, sẽ có nhiều loại thiết bị chuyển đổi và điều khiển khác nhau lắp đặt vào đường dây truyền dẫn. Cấu trúc của một hệ thống năng lượng điện là rất rộng và hoàn thiện. Tuy nhiên về cơ bản nó có thể được cấu thành bởi 5 phần chính:

- Thứ nhất là nguồn năng lượng: có thể là than, khí ga tự nhiên, dầu, nước trong hồ chứa hoặc tự nhiên, có thể là sự phân rã của vật chất mà phân tử hạt nhân là tác nhân sinh ra nhiệt, có thể là các nguồn năng lượng tái tạo như ánh sáng mặt trời, sức gió.

- Thứ hai là hệ thống phát điện nghĩa là biến đổi các nguồn năng lượng thành năng lượng điện, đó chính là các máy phát điện được kéo bởi các hệ thống tuabin hoặc các hệ tích điện được chuyển hóa từ các nguồn hóa năng hay năng lượng tái tạo.

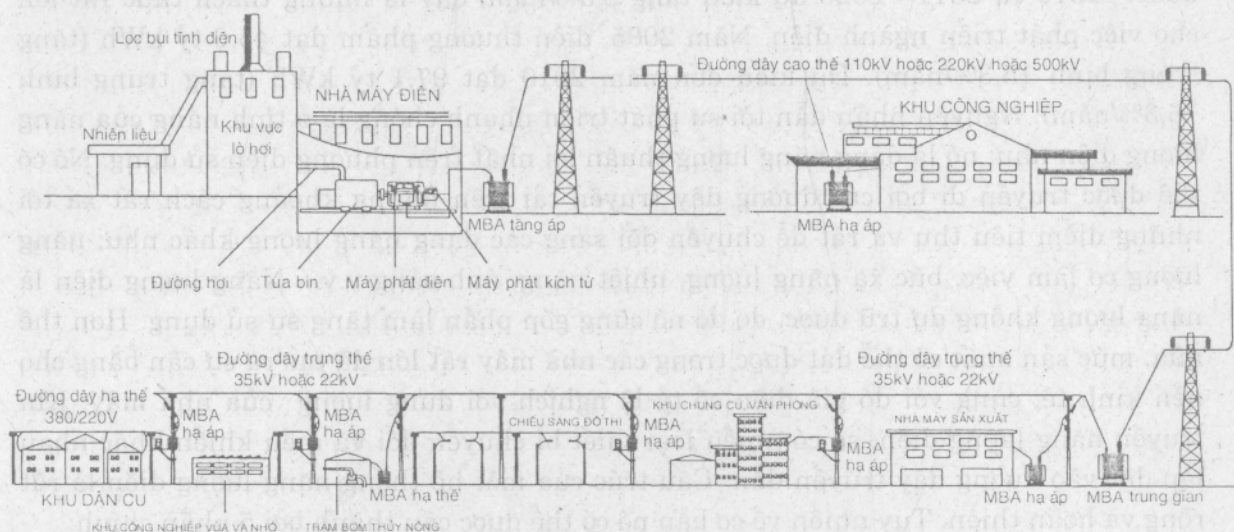
- Thứ ba là hệ thống truyền tải: Đó chính là hệ thống truyền dẫn điện đến hộ tiêu thụ từ nhà máy điện. Đối với các nhà máy điện lớn, điện phát ra được đưa lên điện áp cao và truyền từ nơi sản xuất tới các trung tâm phụ tải.

- Thứ tư là hệ thống phân phối: Phân phối năng lượng điện cho các hộ tiêu thụ sau khi đã chuyển đổi về điện áp thấp.

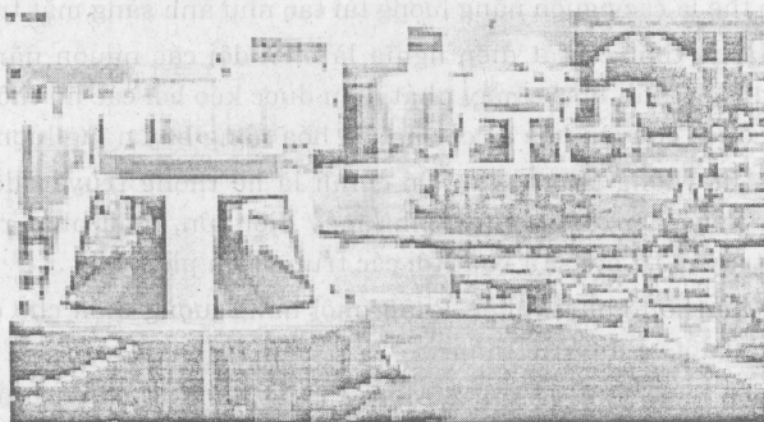
- Thành phần cuối cùng là tải: Sử dụng năng lượng theo yêu cầu biến đổi cho mục đích sử dụng như chiếu sáng, dùng cho động cơ đốt nóng hoặc các thiết bị khác, đơn chiếc hoặc kết hợp.

Hình 1.1 chỉ ra khá rõ một hệ thống năng lượng điện phân phối từ nguồn tới tải. Chú ý rằng máy biến áp đầu tiên trong hệ thống ngay sau nhà máy điện gọi là máy biến áp tăng áp, còn máy biến áp từ thứ hai đến máy cuối cùng trong hệ thống truyền tải gọi là máy biến áp hạ áp.

Theo định luật bảo toàn năng lượng, năng lượng điện không mất đi mà nó chỉ chuyển từ dạng này sang dạng khác. Các dạng năng lượng này có thể được phân thành 4 nhóm. Nhóm thứ nhất là phương pháp chuyển đổi tạo ra tới trên 99% năng lượng ngày nay. Chúng biến đổi năng lượng từ nhiên liệu hoá thạch, năng lượng từ phản ứng phân rã hạt nhân hoặc năng lượng nước thành năng lượng điện. Nhóm thứ 2 bao gồm các phương pháp cho hiệu suất chuyển đổi thấp như sự đốt cháy bên trong các động cơ hoặc các tuabin gas. Nhóm thứ 3 là các phương pháp mà cung cấp một lượng năng lượng rất nhỏ như pin quang điện, pin nhiên liệu và acquy. Nhóm cuối cùng gồm các phương pháp mà công nghệ của nó chưa khả thi nhưng nó tạo ra một điện áp rất lớn, ví dụ như: nấu chảy các tác nhân, máy phát từ thủy động v.v...



Hình 1.1. Hệ thống năng lượng điện phân phối từ nguồn tới tải.



Hình 1.2. Tua bin nhà máy thủy điện.

1.2. KHÁI QUÁT CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

Một máy điện có thể được định nghĩa là thiết bị có thể biến đổi năng lượng điện thành năng lượng cơ hoặc ngược lại. Nếu máy điện được sử dụng để biến đổi năng lượng điện thành năng lượng cơ được gọi là động cơ điện, nếu biến đổi năng lượng cơ thành năng lượng điện được gọi là máy phát. Máy điện có tính chất thuận nghịch, do đó mà máy điện có thể vừa sử dụng là động cơ lại vừa có thể là máy phát (thực hiện bằng cách đảo chiều quay của từ trường trong máy). Một máy phát điện có thể làm việc với điều kiện đầu tiên là có một năng lượng cơ cung cấp ở đầu vào. Nói cách khác là phải có một động cơ sơ cấp cung cấp cơ năng cho máy. Sự tương tác giữa dây dẫn và từ trường sẽ tạo ra năng lượng điện ở đầu ra. Cũng ở khía cạnh đó thì một động cơ có năng lượng điện được cung cấp ở đầu vào tới cuộn dây và tương tác với từ trường sẽ tạo ra năng lượng cơ ở đầu ra.

Một máy điện có hai phần chính: phần chuyển động và phần không chuyển động. Tùy theo chức năng cụ thể của máy điện (là máy phát hay động cơ) mà phần chuyển động được gắn với hệ thống cơ khí để nhận năng lượng cơ hoặc phát năng lượng cơ. Kiểu chuyển động của phần động có thể là: chuyển động thẳng, chuyển động lắc, chuyển động kiểu pít tông hoặc chuyển động quay.

Trong phạm vi của cuốn sách này chỉ đề cập đến máy điện quay, bao gồm: máy điện đồng bộ nhiều pha, máy điện không đồng bộ nhiều pha, máy điện một chiều. Dù vậy, có nhiều loại máy điện chuyển động thẳng và chuyển động quay không được đề cập đến ở đây. Ví dụ:

1. Máy điện từ trở: là máy điện đồng bộ không có kích từ một chiều được sử dụng chủ yếu trong các bộ định thời, đồng hồ điện hay các ứng dụng ghi khác.

2. Máy điện từ trễ: cũng giống như máy điện từ trở với rôto hình trụ đặc được làm bằng vật liệu từ vĩnh cửu, do vậy máy chỉ cần một năng lượng điện đầu vào. Máy được ứng dụng trong máy quay đĩa hát hoặc các loại máy khác đòi hỏi tốc độ ổn định, như đồng hồ điện.

3. Bộ chỉnh lưu quay: giống như máy điện đồng bộ nhưng khác ở chỗ kích từ được cung cấp bởi một máy phát phụ và một bộ chỉnh lưu được đặt trên rôto.

4. Máy điện nam châm vĩnh cửu: chỉ là một máy điện đồng bộ thông thường với kích từ bằng nam châm vĩnh cửu, có hiệu suất cao vì không có tổn hao kích từ.

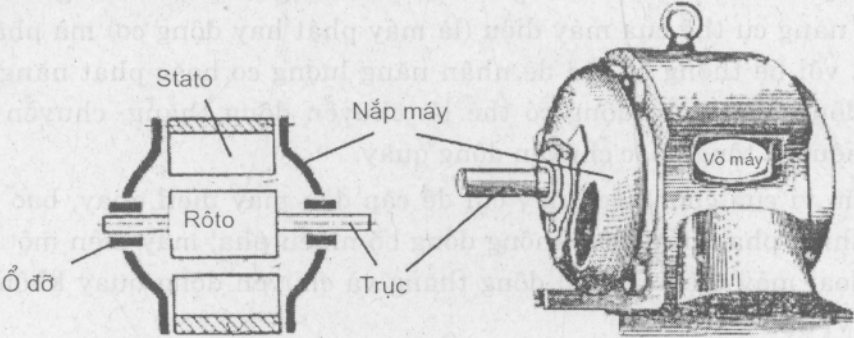
5. Máy Beckey – Robinson và Nadyne Rice: là máy điện đồng bộ không chổi than hoạt động dựa vào cấu trúc đặc biệt của rôto có từ trở thay đổi theo vùng. Loại máy này chủ yếu sử dụng trong lĩnh vực khoa học vũ trụ.

6. Máy Lundell: máy đồng bộ không chổi than nhưng cần vành trượt hoạt động dựa vào cấu trúc của rôto có thể thay đổi từ trở theo vùng. Lundell chủ yếu được sử dụng trong các máy phát xoay chiều tự động.

Ngoài các loại máy điện quay cơ bản, máy biến áp cũng được đề cập và được coi là máy điện tĩnh. Máy biến áp được trình bày trong chương 4. Mặc dù trong máy biến

áp có sự biến đổi năng lượng giữa các điện áp khác nhau nhưng nguyên lý hoạt động cơ bản của nó cũng được áp dụng vào việc nghiên cứu về biến đổi điện cơ. Vậy nên nhiều công thức toán học cũng như những kết luận về máy biến áp cũng rất hữu ích trong lý thuyết biến đổi điện cơ ở các chương sau.

Máy điện quay có 2 phần: phần tĩnh gọi là stato và phần động gọi là rôto. Rôto và stato của máy điện đồng tâm với nhau, phần khe hở giữa 2 phần này gọi là khe hở không khí (hình 1.3). Trên hình vẽ ta có thể thấy, rôto được đỡ bởi một thanh thép gọi là trục, trục được đỡ bởi ổ đỡ và nhờ vậy rôto có thể quay tự do. Một loại máy điện nữa rất phổ biến cũng được đề cập trong tài liệu này đó là máy biến áp (còn được gọi là máy điện tĩnh). Nó có tác dụng biến đổi điện áp từ thấp sang cao để truyền tải đi xa hoặc hạ từ điện áp cao xuống điện áp thấp để cung cấp cho phụ tải với tần số không đổi. Cả rôto, stato, máy biến áp đều có các cuộn dây, các cuộn dây này được miêu tả bằng các thuật ngữ ghi trong bảng 1.1.



Hình 1.3. Cấu tạo máy điện quay

BẢNG 1.1. NHỮNG THUẬT NGỮ DÙNG ĐỂ DIỄN GIẢI CÁC CUỘN DÂY CỦA MÁY ĐIỆN CƠ BẢN VÀ MÁY BIẾN ÁP

Loại máy	Tên cuộn dây	Vị trí của cuộn dây	Chức năng cuộn dây	Dòng điện trong dây
Máy đồng bộ	Phần ứng Phần cảm	Stato Rôto	Đầu ra/vào Từ hoá	Xoay chiều. Một chiều.
Máy không đồng bộ	Stato Rôto	Stato Rôto	Đầu vào Đầu ra	Xoay chiều. Xoay chiều.
Máy một chiều	Phần ứng Phần cảm	Rôto Stato	Đầu ra/vào Từ hoá	Xoay chiều trong cuộn dây Một chiều ở chổi than.
Máy biến áp	Sơ cấp Thứ cấp		Đầu vào Đầu ra	Xoay chiều. Xoay chiều.

Một điều quan trọng trong nghiên cứu các cơ cấu biến đổi điện cơ là phải xây dựng mô hình các mạch điện của chúng và cần thiết phải nắm vững cách phân tích mạch điện. Mỗi khái niệm về sơ đồ mạch điện cũng tương đương với một khái niệm về sơ đồ mạch từ, chính vì vậy để có thể nghiên cứu máy điện người học phải có kiến thức cả về hai mảng từ và điện. Trong chương 1 sẽ đưa ra một số định luật chủ yếu

để nghiên cứu máy điện. Trong chương 2, 3 các khái niệm liên quan đến mạch xoay chiều 3 pha cũng được tổng hợp. Hy vọng những tổng hợp này cung cấp một cách hữu hiệu những kiến thức cơ bản để giúp người đọc nắm được và hiểu cách phân tích trong các chương tiếp theo.

1.3. CÁC ĐỊNH LUẬT CHỦ YẾU ĐỂ NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN

1.3.1. Định luật Faraday về cảm ứng điện từ

Một thanh dẫn có chiều dài l chuyển động trong một từ trường có cảm ứng từ B với vận tốc v vuông góc với các đường sức từ thì trên 2 đầu thanh dẫn sẽ cảm ứng sức điện động e được tính theo công thức:

$$e = Bvl \quad (1.1)$$

Định luật này có thể viết dưới dạng phương trình Maxwell:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (1.2)$$

Sự biến thiên của tổng từ thông móc vòng trong một mạch điện sẽ tạo ra một sức điện động tỷ lệ với đạo hàm của tổng từ thông biến thiên đó.

1.3.2. Định luật toàn dòng điện

Tích phân vòng của cường độ từ trường theo một đường khép kín bất kỳ quanh một số mạch điện có w vòng dây bằng tổng dòng điện trong các vòng dây đó.

$$\oint H dl = \sum iw = F \quad (1.3)$$

F được gọi là sức từ động tổng tác dụng lên mạch từ.

1.3.3. Định luật Laplace về lực điện từ

Định luật này cho biết trị số của lực $\overline{df}_M$ tác dụng lên một đơn vị dòng điện $\overline{idl}$ đặt tại điểm M có mật độ từ cảm $\overline{B}_M$. Lực này bằng tích véc tơ của véc tơ đơn vị dòng điện với véc tơ từ cảm:

$$\overline{df}_M = \overline{idl} \times \overline{B}_M \quad (1.4)$$

Lực tác dụng lên một đoạn dây dẫn mang điện nằm trong một từ trường bằng:

$$\overline{f} = \int_0^l B \sin \varphi dl \quad (1.5)$$

Trong đó góc φ là góc giữa véc tơ cảm ứng từ $\overline{B}$ và véc tơ dòng điện $\overline{i}$.

Trong trường hợp từ trường đều và dây dẫn thẳng thì ta có thể viết:

$$f = Bilsin\varphi \quad (1.6)$$

1.3.4. Năng lượng trường điện từ

Năng lượng tổng trong một thể tích từ trường có độ từ thẩm μ không đổi được tính theo công thức:

$$W = \int \frac{\mu H^2}{2} dV = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1.7)$$

Trong đó: $\psi = Li$ gọi là từ thông móc vòng bởi dòng điện i và điện cảm L của cuộn dây. Nếu thiết bị điện từ có hai hoặc nhiều mạch điện có hồ cảm điện từ với nhau thì năng lượng điện từ của hai mạch điện hồ cảm bằng:

$$W_{12} = \int \frac{\mu H^2}{2} dV = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M_{12} i_1 i_2 \quad (1.8)$$

1.3.5. Phương trình cân bằng dòng điện

Luật Kiết hốp 1:

$$\Sigma i = 0 \quad (1.9)$$

Tổng dòng điện tại một nút bằng không.

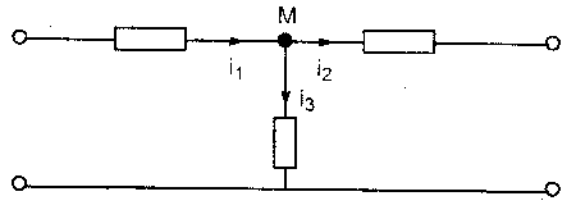
Quy ước dòng điện đi tới nút mang dấu dương (+) thì các dòng điện rời khỏi nút mang dấu âm (−) hoặc ngược lại.

Ví dụ: Nút M trên hình 1.4

Theo công thức 1.9 ta có:

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$\text{hay} \quad i_1 + (-i_2) + (-i_3) = 0$$



Hình 1.4

1.3.6. Phương trình cân bằng điện áp

Luật Kiết hốp 2: Đi theo một vòng khép kín theo một chiều chọn trước tùy ý, tổng điện áp rơi trên các phần tử bằng không:

$$\Sigma u = 0 \quad (1.10)$$

$$\text{hay} \quad U = iZ \quad (1.11)$$

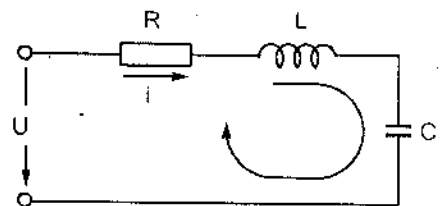
Với: $\vec{u}$ là véctơ điện áp có các thành phần bằng các điện áp đặt vào các phần tử của mạch điện được nối với nhau bằng dây dẫn.

$\vec{i}$ là véctơ dòng điện có các thành phần dòng điện chạy trong các mạch điện.

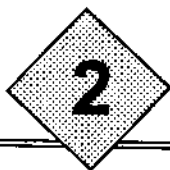
Z là ma trận tổng trở.

Ví dụ: Trên hình 1.5 ta có:

$$\begin{aligned} U &= iR + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt \\ &= iR + jX_L - jX_C = iZ \end{aligned}$$



Hình 1.5



2.1. MẠCH ĐIỆN MỘT PHA HÌNH SIN

2.1.1. Các đại lượng đặc trưng cho dòng điện hình sin

2.1.1.1. Mạch điện

Là tập hợp các thiết bị điện nối với nhau bằng các dây dẫn tạo thành những vòng kín trong đó dòng điện có thể chạy qua.

Mạch điện gồm các phần tử cơ bản: Nguồn điện, tải và dây dẫn truyền tải điện năng từ nguồn đến tải.

– Nguồn điện là thiết bị phát ra điện năng. Về nguyên lý, nguồn điện là thiết bị biến đổi các dạng năng lượng như cơ năng, nhiệt năng, hoá năng v.v... thành điện năng.

– Tải là thiết bị tiêu thụ điện năng và biến đổi điện năng thành các dạng năng lượng khác.

2.1.1.2. Dòng điện I

Về trị số bằng tốc độ biến thiên của lượng điện tích q qua tiết diện ngang một vật dẫn:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2.1)$$

Chiều dòng điện quy ước là chiều chuyển động của điện tích dương trong điện trường.

Đơn vị của dòng điện là ampe; ký hiệu, A.

2.1.1.3. Điện áp

Tại mỗi điểm trong mạch điện có một điện thế. Hiệu điện thế giữa hai điểm gọi là điện áp:

$$U_{AB} = E_A - E_B \quad (2.2)$$

Đơn vị của điện áp là vôn, ký hiệu V.

2.1.1.4. Công suất

Trong mạch điện, một nhánh, một phần tử có thể nhận hoặc phát năng lượng. Công suất p được định nghĩa là tích của dòng điện và điện áp:

$$p = u.i \quad (2.3)$$

$p = u.i > 0$ nhánh nhận năng lượng;

$p = u.i < 0$ nhánh phát năng lượng;

Đơn vị của công suất là oát, ký hiệu W.

2.1.2. Các phần tử trong mạch điện

2.1.2.1. Nguồn áp $u(t)$

Đặc trưng cho khả năng tạo nên và duy trì một điện áp trên 2 cực của nguồn.

Nó được biểu diễn bằng một sức điện động $e(t)$ và có chiều từ điểm có điện thế cao đến điểm có điện thế thấp (hình 2.1).

Điện áp ở đầu cực sẽ bằng sức điện động (sdd) về trị số và ngược nhau về dấu.

2.1.2.2. Nguồn dòng $j(t)$

Đặc trưng cho khả năng của nguồn điện tạo nên và duy trì một dòng điện cung cấp cho mạch ngoài (hình 2.2).

2.1.2.3. Điện trở R

Đặc trưng cho việc tiêu tán công suất (hình 2.3).

Đơn vị điện trở là ôhm ký hiệu Ω .

Công suất tiêu thụ trên điện trở $p = u_R i = Ri^2$

Điện năng tiêu thụ trên điện trở trong thời gian t là: $A = Ri^2 t$ (Wh) hay kWh.

2.1.2.4. Điện cảm L

Khi có dòng điện chạy trong cuộn dây có w vòng sẽ sinh ra từ thông móc vòng với cuộn dây:

$$\Psi = w\Phi \quad (2.4)$$

Điện cảm của cuộn dây được định nghĩa:

$$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{w\Phi}{i} \quad (2.5)$$

Đơn vị điện cảm là henri, ký hiệu H (hình 2.4)

Nếu dòng điện i biến thiên thì từ thông cũng biến thiên và trong cuộn dây xuất hiện sdd tự cảm $e_L = -L \frac{di}{dt}$ (2.6)

và điện áp $u_L = L \frac{di}{dt}$ (2.7)

Công suất trên cuộn dây:

$$P_L = u_L i = L \frac{di}{dt} i \quad (2.8)$$

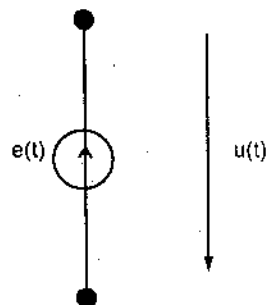
Năng lượng điện trường tích lũy trong cuộn dây:

$$W_L = \frac{Li^2}{2} \quad (2.9)$$

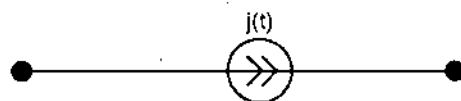
Điện cảm đặc trưng cho việc tích lũy năng lượng từ trường của cuộn dây.

Điện kháng của cuộn dây:

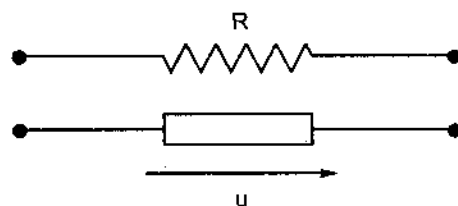
$$X_L = \omega L \quad (2.10)$$



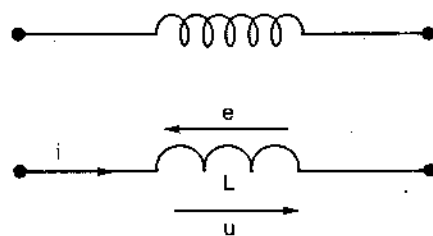
Hình 2.1. Ký hiệu nguồn áp.



Hình 2.2. Ký hiệu nguồn dòng.



Hình 2.3. Ký hiệu điện trở.



Hình 2.4. Ký hiệu điện cảm (cuộn dây).

2.1.2.5. Điện dung (tụ điện) C

Khi đặt điện áp u_C lên tụ điện có điện dung C thì tụ sẽ nạp điện tích q :

$$q = Cu_c \quad (2.11)$$

Nếu điện áp u_c biến thiên sẽ có dòng điện chuyển dịch qua tụ điện và ta có:

$$i = C \frac{du_c}{dt} \quad (2.12)$$

$$u_c = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + u_c(0) \quad (2.13)$$

Công suất trên tụ điện:

$$p_c = u_c i = Cu_c \frac{du_c}{dt} \quad (2.14)$$

Năng lượng tích lũy trong tụ điện:

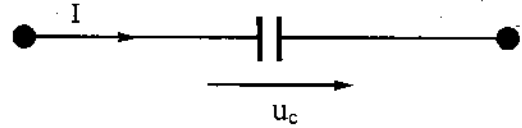
$$W_E = \frac{1}{2} Cu_c^2 \quad (2.15)$$

Đơn vị của điện dung là fara, F.

Dung kháng:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \quad (2.16)$$

Đơn vị của dung kháng là ôm, ký hiệu Ω .



Hình 2.5. Ký hiệu điện dung (tụ điện).

2.1.3. Mạch điện một chiều và xoay chiều

2.1.3.1. Mạch điện một chiều

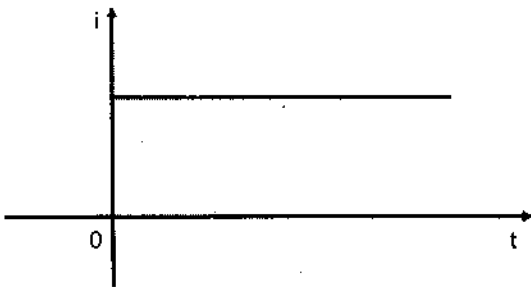
Dòng điện có trị số và chiều không thay đổi theo thời gian gọi là dòng điện một chiều.

Mạch điện có dòng điện một chiều gọi là mạch điện một chiều.

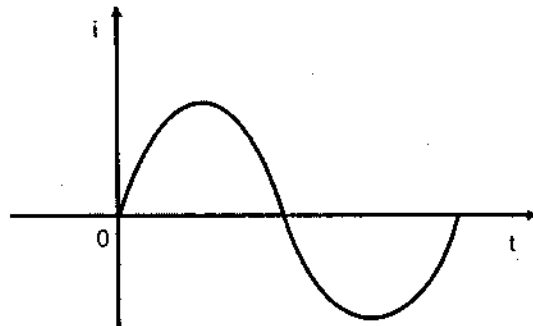
2.1.3.2. Mạch điện xoay chiều

Dòng điện xoay chiều là dòng điện có chiều biến đổi theo thời gian.

Mạch điện có dòng điện xoay chiều gọi là mạch điện xoay chiều.



Hình 2.6. Dòng điện một chiều.



Hình 2.7. Dòng điện xoay chiều hình sin.

2.1.4. Dòng điện sin

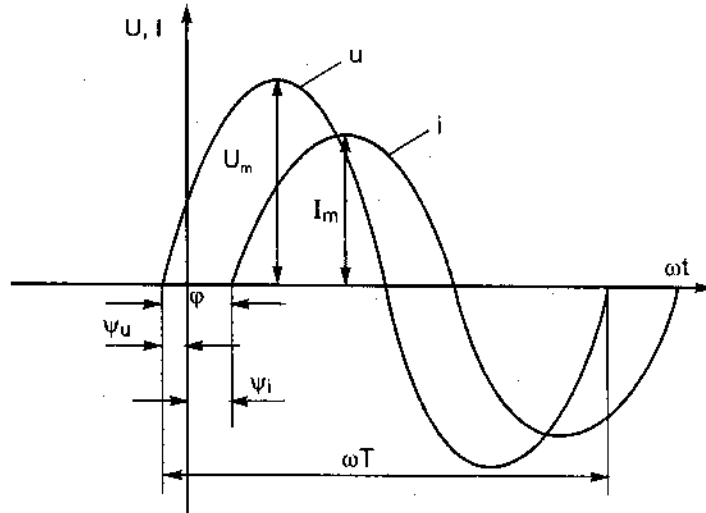
Là dòng điện xoay chiều biến đổi theo quy luật hàm sin theo thời gian.

Trị số điện áp, dòng điện sin ở thời điểm t gọi là trị số tức thời và được biểu diễn:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (2.17)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u) \quad (2.18)$$

- ψ_i và ψ_u là góc pha đầu của dòng điện và điện áp.
- ω là tần số góc rad/s.
- I_m, U_m là giá trị biên độ của dòng và áp.



Hình 2.8. Dòng điện và điện áp xoay chiều hình sin.

Chu kỳ T của dòng điện hình sin là khoảng thời gian ngắn nhất để dòng điện lặp lại trị số và chiều. Đơn vị của T là giây, ký hiệu là s .

Tần số f là số chu kỳ của dòng điện trong một giây. Đơn vị là Hz.

Góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện gọi là φ .

$\varphi = \psi_i - \psi_u$ và phụ thuộc vào các thông số của mạch

- $\varphi > 0$ Điện áp vượt trước dòng điện – mạch có tính cảm.
- $\varphi < 0$ Điện áp chậm sau dòng điện – mạch có tính dung.
- $\varphi = 0$ Điện áp trùng pha dòng điện – mạch thuần trở.

Trị số hiệu dụng của dòng điện hình sin là trị số bình phương trung bình của dòng điện trong một chu kỳ.

Trị số hiệu dụng của dòng điện:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (2.19)$$

Tương tự ta có trị số hiệu dụng của điện áp và sđd như sau:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (2.20)$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad (2.21)$$

Từ đó trị số tức thời của điện áp và dòng điện được tính như sau:

$$u = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \psi_u) \quad (2.22)$$

$$i = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \psi_i) \quad (2.23)$$

Trị số hiệu dụng được sử dụng rất rộng rãi, nhất là trong các công thức tính toán và đồ thị véc tơ. Khi nói điện áp 220V, dòng điện 100A là nói trị số hiệu dụng.

Trị số hiệu dụng được ký hiệu bằng chữ in hoa: U, I, P...

Người ta còn biểu diễn dòng điện hình sin bằng véc tơ.

Trong kỹ thuật điện nói chung người ta thường hay biểu diễn các đại lượng hình sin bằng véc tơ có môđun bằng trị số hiệu dụng và góc tạo bởi véc tơ đó với trục nằm ngang ox bằng pha đầu của các đại lượng đó. Bằng cách biểu diễn như vậy, mỗi đại lượng hình sin được biểu diễn bằng một véc tơ và tương ứng mỗi véc tơ cũng biểu diễn một đại lượng hình sin (hình 2.9).

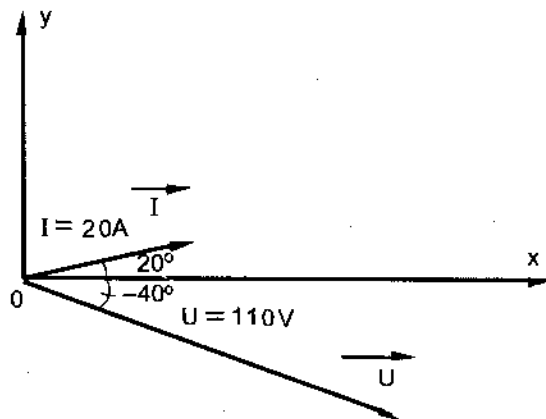
$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$$

Từ hình 2.9 ta có thể viết:

$$i = 20 \sin(\omega t + 20^\circ)$$

$$u = 110 \sin(\omega t - 40^\circ)$$



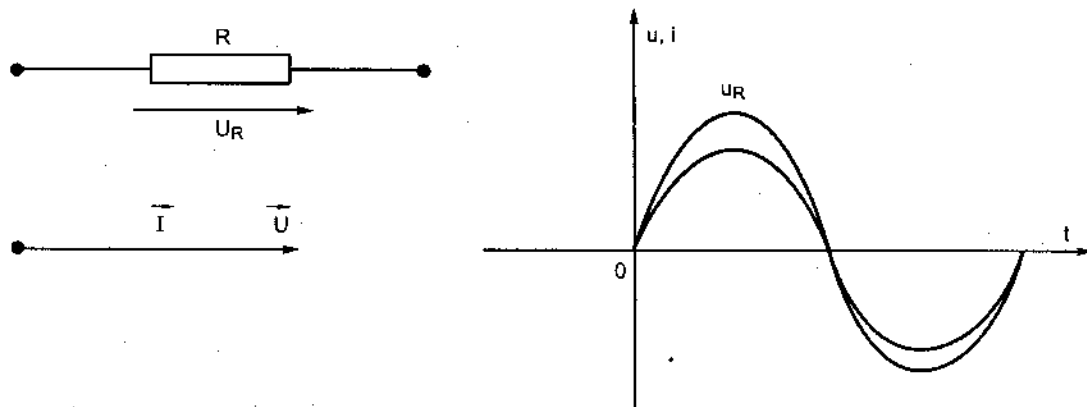
Hình 2.9. Biểu diễn dòng và áp hình sin bằng véc tơ.

2.1.5. Dòng điện hình sin trong mạch điện thuần trở

Khi có dòng điện hình sin $i = I_m \sin \omega t$ chạy trong mạch điện có điện trở R thì điện áp rơi trên điện trở theo định luật Ôm sẽ là:

$$u = iR = I_m \sin \omega t \cdot R = U_{Rm} \sin \omega t$$

Dòng điện và điện áp có cùng tần số và trùng pha nhau. Đồ thị véc tơ dòng và áp thể hiện trên hình 2.10.



Hình 2.10. Mạch điện, đồ thị véc tơ và biểu diễn dòng, áp theo thời gian.

Công suất trong mạch (còn gọi là công suất tác dụng):

$$P = U_R \cdot I = R \cdot I^2$$

Đơn vị của công suất là oát (W) hoặc kilô oát (kW).

2.1.6. Dòng điện hình sin trong mạch điện thuần cảm

Khi có dòng điện hình sin $i = I_{\max} \sin \omega t$ chạy trong mạch điện có điện cảm L thì điện áp rơi trên điện cảm là:

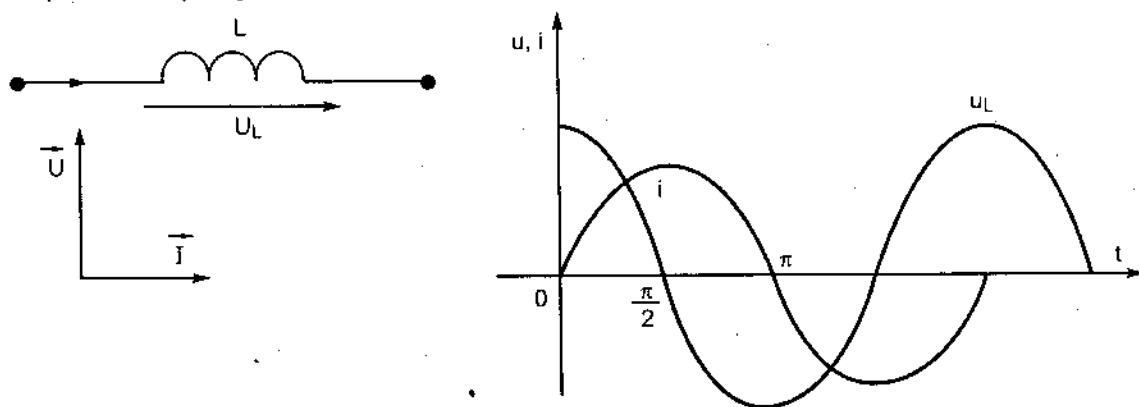
$$u_L = L \frac{di}{dt} = \omega L I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = U_{Lm} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (2.24)$$

Trong đó: $U_{Lm} = \omega L I_m = X_L I_m \quad (2.25)$

$$u_L = \frac{U_{Lm}}{\sqrt{2}} = X_L I_m \quad (2.26)$$

$X_L = \omega L$ gọi là cảm kháng và có đơn vị là ôm, ký hiệu Ω .

Dòng điện và điện áp có cùng tần số song lệch pha nhau một góc $\frac{\pi}{2}$. Dòng điện chậm sau điện áp.



Hình 2.11. Mạch điện, đồ thị vectơ và biểu diễn dòng, áp theo thời gian trong mạch thuần cảm.

Công suất tác dụng của điện cảm bằng 0. Để biểu thị quá trình trao đổi năng lượng của điện cảm, người ta đưa ra khái niệm *Công suất phản kháng* Q_L .

$$Q_L = U_L I = X_L I^2 \quad (2.27)$$

Đơn vị của công suất phản kháng là VAR hoặc kVAR.

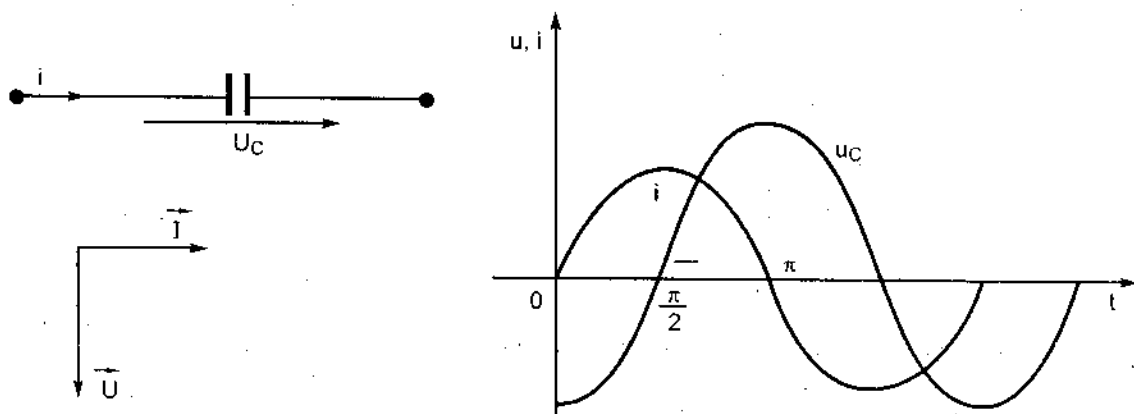
2.1.7. Dòng điện hình sin trong mạch điện thuần dung

Khi có dòng điện hình sin $i = I_{\max} \sin \omega t$ chạy trong mạch điện có điện dung C thì điện áp rơi trên điện dung là:

$$u_c = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{\omega C} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (2.28)$$

Trong đó: $U_{cm} = \frac{1}{\omega C} I_m = X_c I_m \quad (2.29)$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \quad (2.30)$$



Hình 2.12. Mạch điện, đồ thị vectơ và biểu diễn dòng, áp theo thời gian trong mạch thuần dung.

Công suất tác dụng của điện dung tiêu thụ bằng 0. Để biểu thị quá trình trao đổi năng lượng của điện dung, người ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng Q_C :

$$Q_C = U_C I = X_C I^2$$

Tương tự với điện cảm, đơn vị của công suất phản kháng là VAR hoặc kVAR.

2.1.8. Dòng điện hình sin trong mạch điện R – L – C nối tiếp

Khi có dòng điện hình sin $i = I_{\max} \sin \omega t$ chạy trong mạch điện R – L – C nối tiếp sẽ tạo ra các điện áp u_R , u_L , u_C trên các phần tử R, L, C. Điện áp trên 2 đầu đoạn mạch sẽ là tổng của các vectơ điện áp trên từng phần tử và được tính theo công thức:

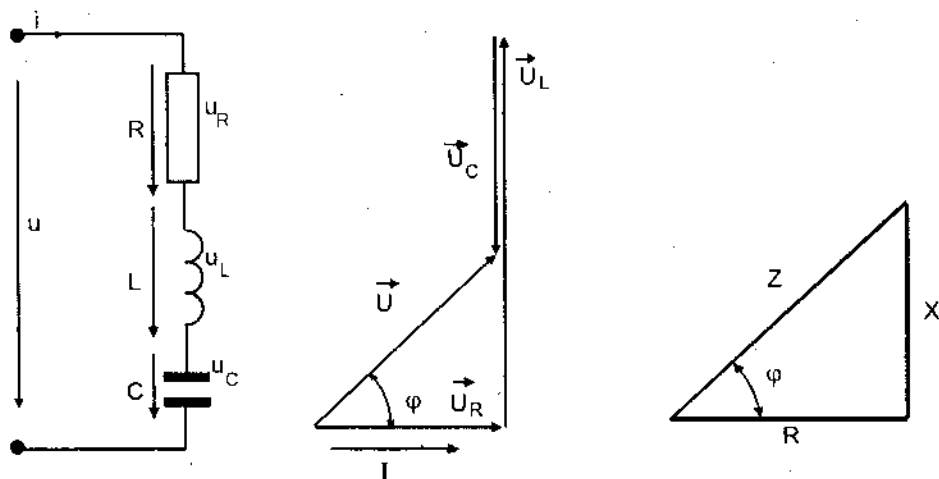
$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C \quad (2.31)$$

Trong đó: $U = \sqrt{U_R^2 + (U_L + U_C)^2} = IZ \quad (2.32)$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.33)$$

$$X = X_L - X_C \quad (2.34)$$

Sơ đồ, đồ thị vectơ và tam giác điện kháng:



Hình 2.13. Mạch điện, đồ thị vectơ và biểu diễn dòng, áp theo thời gian mạch R – L – C.

Điện áp và dòng điện lệch nhau một góc φ :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{X}{R} \quad (2.35)$$

- * $X_L - X_C = 0$ Dòng điện trùng pha với điện áp;
- * $X_L - X_C > 0$ Dòng điện chậm pha với điện áp – mạch có tính cảm;
- * $X_L - X_C < 0$ Dòng điện vượt trước pha với điện áp – mạch có tính dung.

2.2. CÔNG SUẤT CỦA DÒNG ĐIỆN HÌNH SIN

2.2.1. Công suất tác dụng P

Nếu một điện áp hình sin chạy qua hai cực của mạch điện xoay chiều một pha với một giá trị điện áp tức thời $|U| \angle 0^\circ$ và dòng điện xoay chiều trong mạch là $|I| \angle \varphi$ thì công suất tác dụng có thể được tính:

$$P = UI \cos \varphi = \sum R_n I_n^2 \quad (2.36)$$

và chính là công suất trung bình trong một chu kỳ.

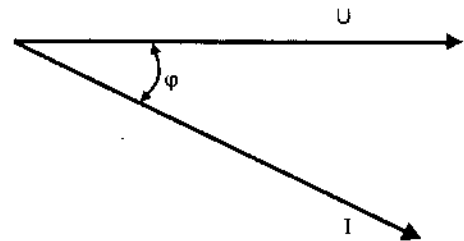
Ở đây R_n , I_n là điện trở và dòng điện của các nhánh mạch.

2.2.2. Công suất phản kháng Q

Đặc trưng cho cường độ quá trình trao đổi năng lượng điện từ trường:

$$Q = UI \sin \varphi = Q_L + Q_C = \sum X_{Ln} I_n^2 - \sum X_{Cn} I_n^2 \quad (2.37)$$

trong đó $\sin \varphi$ không đơn vị, Q có đơn vị là vôn – ampe (V – A). Tuy nhiên để phân biệt giữa công suất tác dụng và phản kháng, Q được đo bằng VAR có nghĩa là V – A – phản kháng. Tương quan về pha giữa dòng điện và điện áp được thể hiện trên biểu đồ pha ở hình 2.14.



Hình 2.14. Véc tơ điện áp và dòng điện.

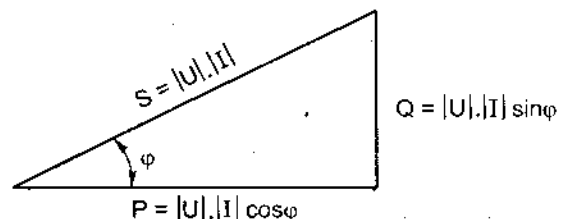
2.2.3. Công suất biểu kiến S

Là công suất toàn phần nói lên khả năng của thiết bị. Dễ nhận thấy, S là hệ quả của điện áp pha và dòng điện nên có thể biểu diễn bằng công thức:

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.38)$$

P , Q , S có cùng thứ nguyên, song để phân biệt người ta cho chúng các đơn vị khác nhau:

- Đơn vị của P là W.
- Đơn vị của Q là VAR.
- Đơn vị của S là VA.



Hình 2.15. Tam giác công suất.

P, Q, S hình thành tam giác vuông gọi là tam giác công suất.

Mối tương quan giữa công suất tác dụng, phản kháng và biểu kiến được miêu tả bởi một tam giác gọi là tam giác công suất (hình 2.15). Nếu dòng điện và điện áp không lệch pha nhau tức là mạng chỉ hoàn toàn là điện trở, công suất tác dụng được xác định:

$$P = |U| \cdot |I| \cos \varphi = \frac{|U|^2}{R} = |I|^2 R \text{ với } \cos \varphi = 1. \quad (2.39)$$

Tương tự nếu mạng chỉ có tính dung công suất phản kháng được xác định:

$$Q = |U| \cdot |I| \sin \varphi = \frac{|U|^2}{X} = |I|^2 X \text{ với } \sin \varphi = 1. \quad (2.40)$$

Công suất tính toán của hệ thống được viết dưới dạng phức:

$$S = P + jQ = U \cdot I^* \quad (2.41)$$

trong đó:

S là công suất phức

I^* là biểu thức liên hợp của I.

Khi đưa công suất phức về dạng phức, mối liên quan giữa công suất tác dụng và phản kháng có thể được xác định:

$$P = \operatorname{Re}(UI^*) = UI \cos \varphi \quad \operatorname{Re}: \text{phần thực}. \quad (2.42)$$

$$Q = \operatorname{Im}(UI^*) = UI \sin \varphi \quad \operatorname{Im}: \text{phần ảo}. \quad (2.43)$$

2.3. MẠCH ĐIỆN 3 PHA

2.3.1. Khái quát chung

Trong mạch xoay chiều một pha công suất tức thời tới tải thường dao động một cách tự nhiên. Công suất khi dòng điện và điện áp cùng pha tương ứng lớn hơn công suất khi dòng điện và điện áp khác pha nhau. Công suất tức thời không những về điểm 0 bốn lần trong một chu kỳ mà còn đổi dấu về (-) hai lần trong mỗi chu kỳ. Do lợi ích kinh tế và hiệu suất sử dụng dòng điện hầu hết năng lượng điện được cung cấp bởi các nguồn nhiều pha (là các máy phát ra điện áp nhiều hơn một pha).

Máy phát nhiều pha có hai hoặc nhiều hơn một pha được nối với nhau để cung cấp tới tải điện áp có biên độ bằng nhau và lệch pha nhau một góc không đổi.

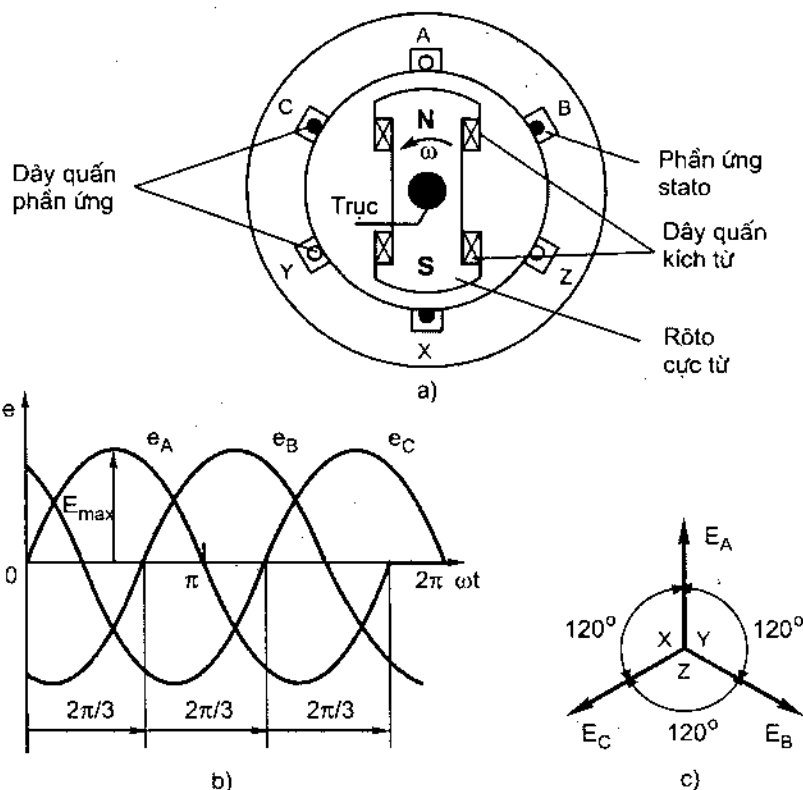
Ví dụ trong hệ thống cân bằng nhiều pha có n nguồn điện áp được kết nối với nhau. Mỗi pha điện áp biến thiên theo hàm sin với cùng biên độ và lệch pha nhau góc $360^\circ/m$ (m là số pha) trừ trường hợp đối với hai pha. Máy phát 6, 12 thậm chí 24 pha thường dùng với bộ chỉnh lưu nhiều pha để cung cấp công suất với mức điện áp có độ gợn sóng nhỏ ở thành phần 1 chiều trong dải vài kW. Ngày nay, hầu như toàn bộ nguồn điện được cung cấp trên thế giới là nguồn 3 pha với tần số 50Hz hoặc 60Hz. Ở một số nước tư bản, tần số chuẩn được dùng là 60Hz còn trong hệ thống các nước khác thường sử dụng tần số 50Hz. Gần đây, đường dây truyền tải năng lượng 6 pha đã được đề nghị lắp đặt vì có khả năng cho phép truyền tải năng lượng cao hơn so với hiện tại và giảm tác động của điện trường tới môi trường xung quanh.

2.3.2. Hệ thống 3 pha

Như đã đề cập, hệ thống nhiều pha là khả thi nhưng do lợi ích năng lượng trong công nghệ mà nguồn 3 pha được công nhận lấy làm chuẩn. Do vậy, hầu hết các máy phát, hệ thống truyền tải, hệ thống phân phối sử dụng điện năng ở cấp công suất cao đều là các hệ thống 3 pha. Một hệ thống 3 pha được cung cấp bởi một máy phát 3 pha xoay chiều cơ bản bao gồm 3 hệ thống 1 pha, lệch pha nhau $1/3$ chu kỳ hoặc 120° điện.

So với hệ thống một pha, hệ thống điện 3 pha có các lợi ích sau:

- Kinh tế hơn do sử dụng ít vật liệu dẫn điện hơn.
- Mômen của rôto là không đổi do đó có sự ổn định ở đầu ra của máy.
- Máy điện 3 pha (máy phát hoặc động cơ) có hiệu suất cao hơn.
- Các máy phát 3 pha có thể kết nối song song với nhau để cung cấp năng lượng lớn hơn so với máy phát 1 pha.



Hình 2.16.

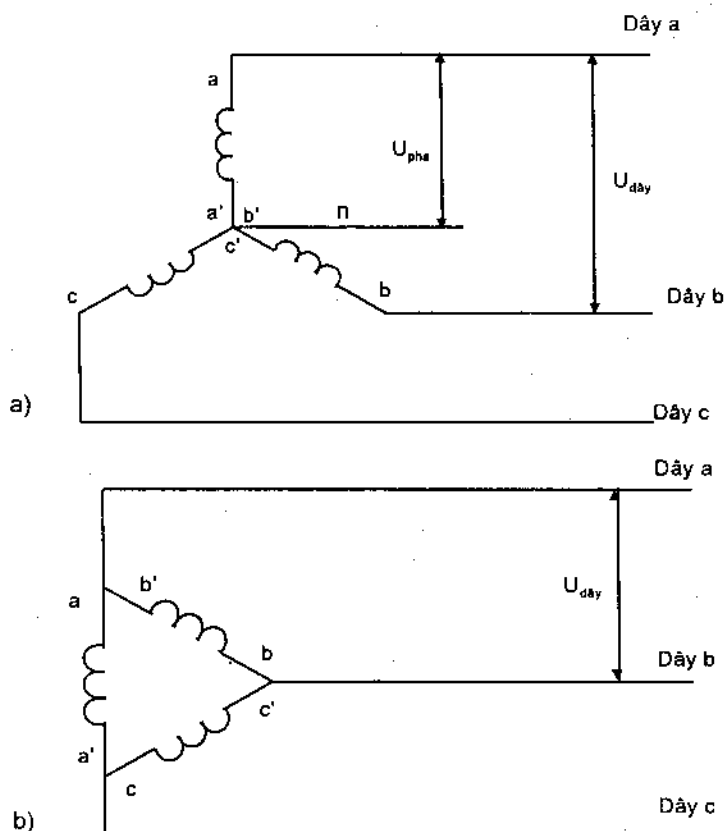
a) Cấu trúc cơ bản của máy phát 3 pha 2 cực; b) Biểu đồ dạng sóng điện áp; c) Đồ thị vectơ tương ứng.

Hình 2.16a chỉ ra cấu trúc cơ bản của máy phát 3 pha xoay chiều 2 cực, gồm 2 phần cơ bản:

- Phần ngoài đứng yên gọi là stato hay còn gọi là phần ứng.
- Phần quay bên trong gọi là rôto hay còn gọi là phần cảm.

Các cuộn dây tạo ra từ trường (cuộn kích từ) được gắn trên rôto và được kích thích bằng dòng điện một chiều thông qua hệ thống vành trượt. Khi rôto quay, từ thông trên cực từ sẽ quét qua các cuộn dây stato và cảm ứng trên đó các sức điện

động theo định luật Faraday. Tuy nhiên bản thân cuộn dây stato là đứng yên. Máy phát 3 pha cơ bản có 3 cuộn dây stato giống nhau (AX, BY, CZ), đặt lệch nhau 120° trong không gian. Khi có tải, các dòng điện trong các cuộn dây sẽ sinh ra từ trường quay. Chú ý rằng các cuộn dây stato tạo thành phần ứng của máy phát (khác với máy 1 chiều: phần ứng nằm ở rôto). Vì vậy từ trường quay bên trong phần ứng. Mỗi cuộn dây stato tạo ra một pha. Hình 2.16b biểu diễn dạng sóng của điện áp phát ra theo thời gian, hình 2.16c biểu diễn góc lệch pha của các điện áp bằng đồ thị vectơ. Các cuộn dây pha stato có thể được nối Δ hoặc Δ lần lượt như hình 2.17a và 2.17b. Trong sơ đồ dấu Δ , nếu dây trung tính được đưa ra ngoài thì hệ thống được gọi là hệ thống 3 pha 4 dây, còn nếu không thì được gọi là hệ thống 3 pha 3 dây. Ở sơ đồ dấu Δ không tồn tại dây trung tính nên gọi là hệ thống 3 pha 3 dây.



Hình 2.17. Cách nối cuộn dây stato
a) Đấu hình sao Δ ; b) Đấu tam giác Δ .

2.4. NGUỒN 3 PHA LÝ TƯỞNG

Một nguồn điện áp 3 pha đối xứng có ba điện áp bằng nhau về giá trị nhưng lệch pha nhau 120° như hình 2.18. Do đó điện áp 3 pha theo thứ tự a b c được viết như sau:

$$U_a = U_f \angle 0^\circ \quad (2.44)$$

$$U_b = U_f \angle 240^\circ = U_f \angle -120^\circ \quad (2.45)$$

$$U_c = U_f \angle 120^\circ \quad (2.46)$$

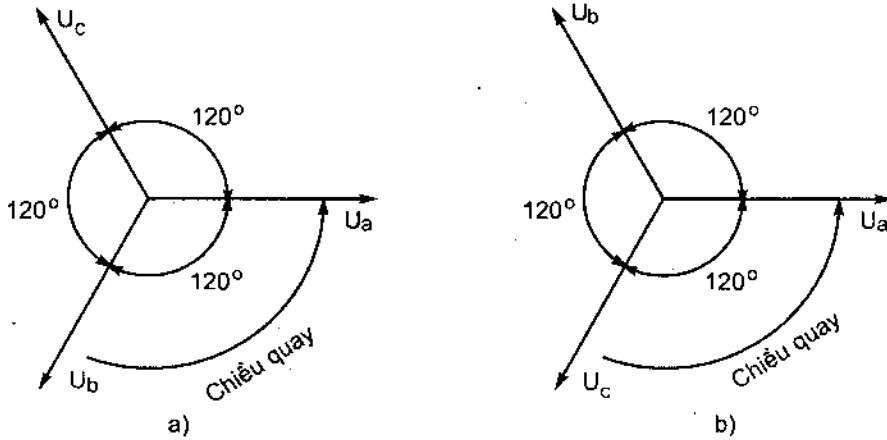
Trong đó: U_r là biên độ điện áp pha.

Lý luận tương tự như trên, điện áp 3 pha cân bằng theo thứ tự a c b là:

$$U_a = U_r \angle 0^\circ$$

$$U_b = U_r \angle 120^\circ$$

$$U_c = U_r \angle 240^\circ = U_r \angle -120^\circ$$



Hình 2.18. Đồ thị vectơ điện áp 3 pha đối xứng

a) Quay ngược; b) Quay thuận.

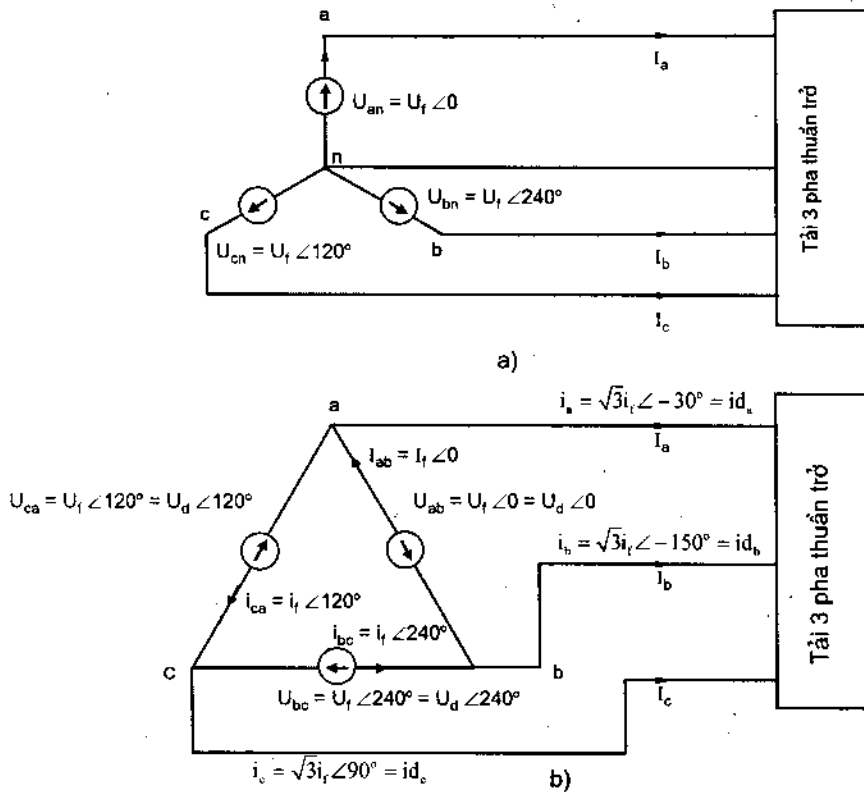
Hơn nữa trong hệ thống 3 pha cân bằng, mỗi pha có tổng trở bằng nhau do đó dòng điện mỗi pha là bằng nhau và cũng lệch pha nhau 120° . Cân bằng ở đây có nghĩa là điện áp hoặc dòng điện 3 pha có biên độ bằng nhau, lệch pha nhau 120° và có dạng 3 pha đối xứng. Nếu hệ thống 3 pha là cân bằng thì mỗi pha sẽ có công suất tác dụng và công suất phản kháng bằng nhau. Nói cách khác nếu một hệ thống không cân bằng sẽ không có các đặc tính đã nói ở trên.

Hình 2.19a và 2.19b tương ứng chỉ ra kiểu nối Δ và Δ đối với nguồn 3 pha lý tưởng. Đồ thị pha của điện áp và dòng điện tương ứng được thể hiện trên hình 2.20. Việc sử dụng lại các ký hiệu ghi chú giúp việc phân tích các pha đơn giản hơn. Đối với điện áp, các ký hiệu chỉ ra điện áp giữa các điểm. Ở đây ký hiệu đầu được định nghĩa là dương hơn so với ký hiệu thứ 2. Vì vậy, thứ tự các ký hiệu chỉ ra chiều của điện áp. Ví dụ, $U_{ba} = -U_{ab}$. Từ đây, việc chuyển thứ tự của các ký hiệu chỉ ra sự dịch pha 180° (khi thay đổi). Tương tự như vậy, đối với dòng điện các ký hiệu chỉ ra chiều của nó. Các nút a, b, c được gọi là các cực hoặc dây và n gọi là điểm trung tính. Các nhánh a - n, b - n, c - n được gọi là các pha của nguồn.

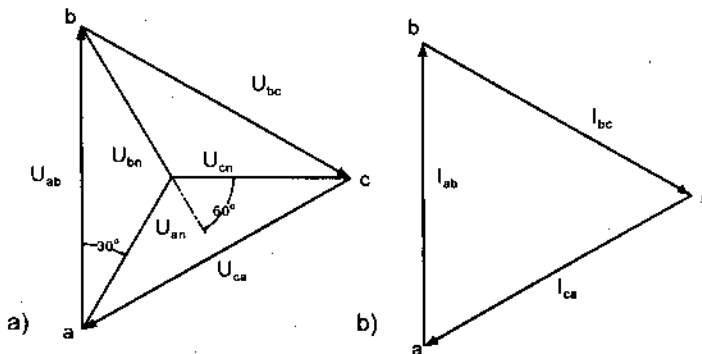
2.4.1. Nguồn 3 pha nối sao lý tưởng

Hình 2.20a chỉ ra phương pháp đồ thị để xác định điện áp dây từ điện áp pha (cân bằng) cho trước trong trường hợp nguồn nối sao. Điện áp dây có thể được xác định bằng công thức toán học sau:

$$\begin{aligned} U_{ab} &= U_{an} + U_{nb} = U_{an} - U_{bn} = U_r \angle 0^\circ - U_r \angle -120^\circ \\ &= U_r(1 + j.0) - U_r(-1/2 - j\sqrt{3}/2) = \sqrt{3} U_r \angle 30^\circ = U_d \angle 30^\circ \end{aligned} \quad (2.47)$$



Hình 2.19. a) Nguồn 3 pha nối hình sao; b) Nguồn ba pha nối tam giác



Hình 2.20. a) Đồ thị vectơ điện áp nguồn nối hình sao; b) Đồ thị vectơ điện áp nguồn nối tam giác

Tương tự như vậy cho các dây khác, ta có:

$$U_{bc} = \sqrt{3} U_f \angle -90^\circ = U_d \angle 90^\circ \quad (2.48)$$

$$U_{ca} = \sqrt{3} U_f \angle 150^\circ = U_d \angle 150^\circ \quad (2.49)$$

Trong đó: U_f là biên độ điện áp pha.
 U_d là biên độ điện áp dây.

Có quan hệ: $U_d = \sqrt{3} U_f \quad (2.50)$

$$U_f = |U_{an}| = |U_{bn}| = |U_{cn}| \quad (2.51)$$

$$U_d = |U_{ab}| = |U_{bc}| = |U_{ca}| \quad (2.52)$$

Các điện áp dây cũng lệch pha nhau 120° và tạo thành một hệ thống 3 pha đối xứng. Hình 2.20 chỉ ra: dòng điện cũng có góc pha như điện áp, và đặc biệt trong

mạng nối sao dòng điện dây cũng có giá trị bằng dòng điện pha. Hình 2.16 là các cách vẽ khác của hình 2.20a và 2.20b. Có thể dễ dàng nhận thấy từ các sơ đồ này là tổng dòng và áp của hệ thống 3 pha cân bằng bằng không theo luật Kiecs hop.

$$U_a + U_b + U_c = 0$$

$$I_a + I_b + I_c = 0$$

Vậy nên trong dây trung tính sẽ không có dòng điện nếu cả nguồn và tải đều là đối xứng:

$$I_n = -(I_a + I_b + I_c) = 0$$

2.4.2. Nguồn 3 pha lý tưởng nối tam giác

Hình 2.21 chỉ ra phương pháp đồ thị để xác định dòng điện dây từ dòng điện pha cho trước trong trường hợp nối tam giác. Dòng điện dây cũng có thể tính được từ các công thức toán học. Ví dụ, nếu nguồn 3 pha đối xứng, thứ tự pha là abc, ta có công thức:

$$I_{ab} = I_f \angle 0^\circ \quad (2.53)$$

$$I_{bc} = I_f \angle -120^\circ \quad (2.54)$$

$$I_{ca} = I_f \angle 120^\circ \quad (2.55)$$

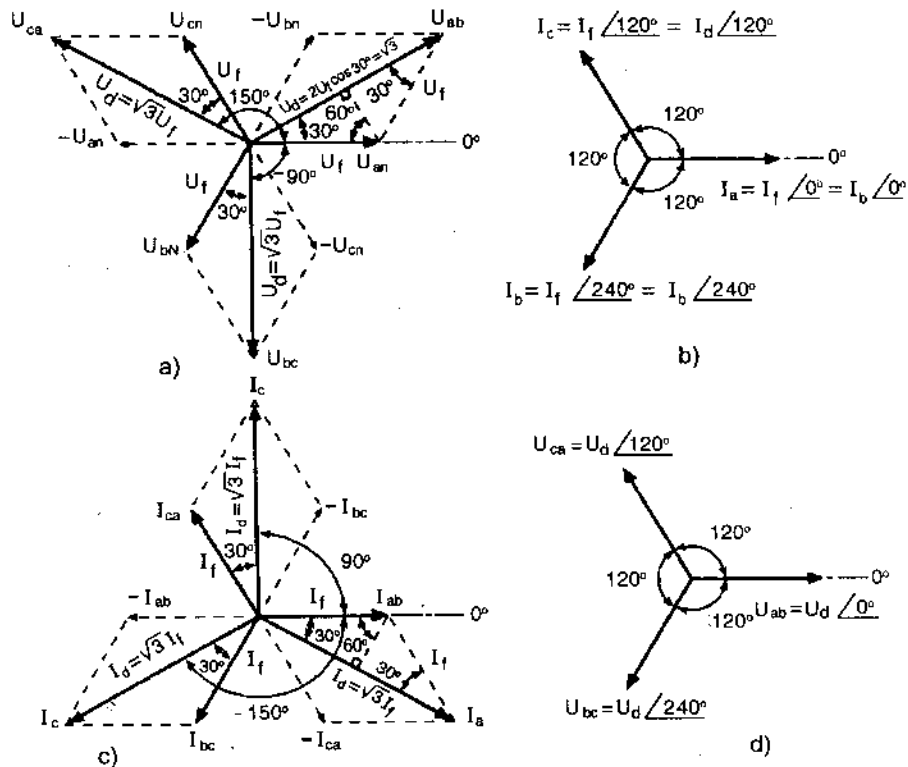
Dòng điện dây: $I_a = I_{ab} - I_{ca}$

$$I_b = I_{bc} - I_{ab}$$

$$I_c = I_{ca} - I_{bc}$$

Trong đó: I_f là biên độ dòng điện pha.

I_d là biên độ dòng điện dây.



Hình 2.21. Đồ thị véc tơ nguồn 3 pha

- a) Đồ thị véc tơ điện áp dây và pha khi dấu Δ ; b) Dòng điện dây và pha khi dấu Δ
 c) Đồ thị véc tơ điện áp dây và pha khi dấu Δ ; d) Điện áp dây và pha khi dấu Δ

Có:

$$I_d = \sqrt{3} \cdot I_r$$

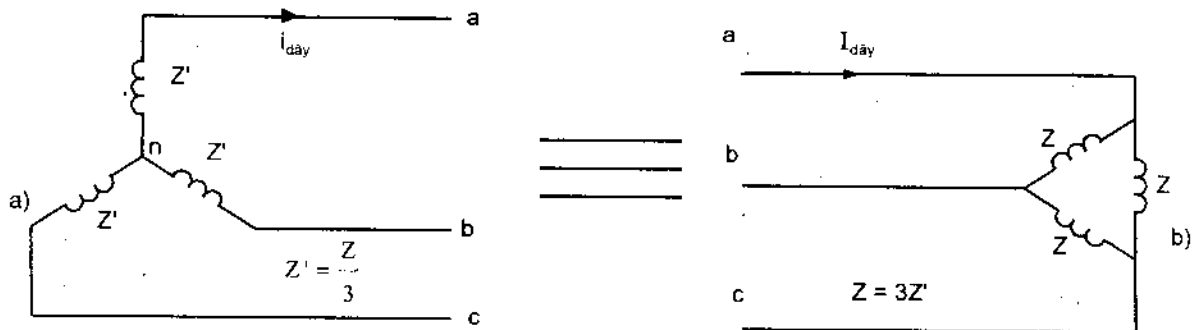
$$|I_c| = |I_b| = |I_a| = I_d$$

Các dòng điện dây lệch pha nhau 120° và cùng tạo thành một hệ thống đối xứng. Trong mạng ba pha nối tam giác, điện áp pha cũng có giá trị bằng điện áp dây.

Để tiện lợi trong quá trình tính toán, một nguồn 3 pha nối tam giác lý tưởng có thể thay thế bằng một nguồn 3 pha nối sao lý tưởng. Trong trường hợp này điện áp của mạng nối sao bằng $1/\sqrt{3}$ điện áp của mạng nối tam giác. Điện áp mạng hình sao 3 pha lệch pha so với điện áp mạng tam giác 3 pha 1 góc 30° .

2.4.3. Tải 3 pha đối xứng

Các tải 3 pha có thể được nối Δ hoặc Δ như hình 2.22a,b tương ứng. Trong sơ đồ dấu Δ điện áp dây sớm pha 30° so với điện áp pha tương ứng. Tuy nhiên dòng điện dây và dòng điện pha tương ứng cùng pha với nhau. Điện áp dây có giá trị bằng $\sqrt{3}$ lần so với điện áp pha tương ứng.



Hình 2.22. Tải 3 pha đối xứng a) Tải nối sao; b) Tải nối tam giác

Trong sơ đồ dấu Δ dòng điện dây chậm pha 30° so với dòng 3 pha tương ứng như hình 2.21c.

Khi tổng trở của 3 tải giống nhau thì gọi là tải đối xứng. Khi nguồn đối xứng nối với tải đối xứng qua đường truyền và phân phối thì ta có hệ thống đối xứng.

Khi tải 3 pha đối xứng dấu Δ thì:

$$Z_{an} = Z_{bn} = Z_{cn} = Z_\Delta \text{ và } I_{a0} = \frac{U_{an}}{Z_\Delta} = \frac{U}{Z_\Delta} \angle -\varphi \quad (2.56)$$

$$I_{an} = \frac{U_{an}}{Z_\Delta} = \frac{U}{Z_\Delta} \angle 240^\circ - \varphi \quad (2.57)$$

$$I_{cn} = \frac{U_{cn}}{Z_\Delta} = \frac{U}{Z_\Delta} \angle 120^\circ - \varphi \quad (2.58)$$

Trong đó: $Z_\Delta = Z_\Delta \angle \varphi$

Ứng dụng định luật Kiéc hốp 1 cho điểm n:

$$I_n = I_{an} + I_{bn} + I_{cn} = 0 \quad (2.59)$$

và vì vậy dây trung tính không có dòng điện đi vào nên không ảnh hưởng tới hệ thống, từ đó:

$$U_f = U_{an} = U_{bn} = U_{cn} \quad (2.60)$$

$$\text{và} \quad I_f = I_{a0} = I_{b0} = I_{c0} \quad (2.61)$$

Tổng công suất 3 pha tới tải được xác định:

$$P_{3f} = 3U_f I_f \cos\varphi \quad (2.62)$$

$$\text{Trong đó:} \quad U_f = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$$

$$\text{và} \quad I_f = I_d$$

$$\text{Vì vậy:} \quad P_{3f} = \sqrt{3} U_d I_d \cos\varphi \quad (2.63)$$

Tương tự, tổng công suất phản kháng 3 pha của tải có thể được tính bằng:

$$Q_{3f} = 3U_f I_f \sin\varphi \quad (2.64)$$

$$\text{hoặc:} \quad Q_{3f} = \sqrt{3} U_d I_d \sin\varphi \quad (2.65)$$

So sánh giữa tải 3 pha cân bằng nối λ và nối Δ

Tải 3 pha	Nối Δ	Nối λ
Tổng trở	$Z_\Delta = 3Z_\lambda$	$Z_\lambda = Z_\Delta / 3$
Dòng điện dây	$I_d = \sqrt{3} I_f$	$I_d = I_f$
Điện áp dây	$U_d = U_f$	$U_d = \sqrt{3} U_f$
Công suất tác dụng	$P_{3f} = 3 U_f I_f \cos\varphi$	$P_{3f} = 3 U_f I_f \cos\varphi$
Công suất phản kháng	$Q_{3f} = \sqrt{3} U_d I_d \sin\varphi$	$Q_{3f} = \sqrt{3} U_d I_d \sin\varphi$
Công suất biểu kiến	$P_{3f} = \sqrt{3} U_d I_d$	$P_{3f} = \sqrt{3} U_d I_d$

Ưu điểm khi làm việc với hệ thống cân bằng là có thể tính toán ở một pha cơ bản. Dòng điện ở mỗi pha bằng điện áp pha chia cho tổng trở của pha đó. Do đó mà không nhất thiết phải tính toán các dòng điện ở mỗi pha còn lại tách riêng ra. Tính toán dòng điện, điện áp và công suất ở một pha là đủ để tính toán cho hệ thống 3 pha đối xứng. Nói rộng hơn, thông số của một pha cung cấp cho ta đầy đủ các thông số của các pha còn lại. Kiểu phân tích này gọi là phân tích pha. Xuất phát từ phương pháp phân tích này, người ta đưa ra các sơ đồ một dây. Trong những sơ đồ này các mạch điện ba dây hay nhiều dây đều chỉ được biểu diễn bằng một dây duy nhất với hệ thống các ký hiệu tiêu chuẩn.

Ví dụ 2.1

Cho điện áp pha của mạng nối sao (λ):

$$U_{an} = 277,13 \angle 0^\circ$$

$$U_{bn} = 277,13 \angle 240^\circ$$

$$U_{cn} = 277,13 \angle 120^\circ$$

Xác định:

a) Điện áp dây: U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} .

b) Nếu có bộ tải 3 pha đối xứng: $Z_a = Z_b = Z_c = 10\angle 30^\circ (\Omega)$ được nối vào nguồn trên, hãy tính các dòng điện pha và dây.

Lời giải:

a) Các điện áp dây là:

$$U_{ab} = U_{an} - U_{bn} = 277,13\angle 0^\circ - 277,13\angle 240^\circ = 480\angle 30^\circ$$

$$U_{bc} = U_{bn} - U_{cn} = 277,13\angle 240^\circ - 277,13\angle 120^\circ = 480\angle -90^\circ$$

$$U_{ca} = U_{cn} - U_{an} = 277,13\angle 120^\circ - 277,13\angle 0^\circ = 480\angle 150^\circ$$

b) Vì nguồn ba pha đối xứng được nối với tải ba pha đối xứng nên dòng điện pha cũng bằng dòng điện dây.

$$I_a = I_{an} = \frac{U_{an}}{Z_{an}} = \frac{277,13\angle 0^\circ}{10\angle 30^\circ} = 27,713\angle -30^\circ \text{ (A)}$$

$$I_b = I_{bn} = \frac{U_{bn}}{Z_{bn}} = \frac{277,13\angle 240^\circ}{10\angle 30^\circ} = 27,713\angle 210^\circ \text{ (A)}$$

$$I_c = I_{cn} = \frac{U_{cn}}{Z_{cn}} = \frac{277,13\angle 120^\circ}{10\angle 30^\circ} = 27,713\angle 90^\circ \text{ (A)}$$

Ví dụ 2.2

Mạng 3 pha nối tam giác được nối với tải, mỗi pha có dòng 200A, hệ số công suất là 0,85, điện áp dây của nguồn là 12,47kV. Hãy tìm:

- Dòng điện dây trên tải.
- Điện áp pha trên tải.
- Công suất 3 pha biểu kiến (S hiệu dụng).
- Công suất 3 pha tác dụng (P hiệu dụng).
- Công suất 3 pha phản kháng (Q hiệu dụng).
- Công suất phức 3 pha (S phức).

Lời giải:

a) Tải được nối tam giác nên dòng điện dây trên tải là:

$$I_d = \sqrt{3} \cdot I_l = \sqrt{3} \cdot 200 = 346,41 \text{ A}$$

b) Điện áp pha trên tải cũng chính bằng điện áp dây của nguồn = 12,47kV.

c) Công suất 3 pha biểu kiến:

$$S_M = \sqrt{3} \cdot U_d \cdot I_d = \sqrt{3} \cdot 12470 \text{ V} \cdot 346,41 \text{ A} = 7482 \text{ kVA} = S_{hd}$$

d) Công suất tiêu thụ tổng 3 pha:

$$P = S_{hd} \cdot \cos \varphi = 7482 \cdot 0,85 = 6359,7 \text{ (kW)}$$

e) Công suất phản kháng tổng trên 3 pha là:

$$Q = S_{hd} \cdot \sin \varphi = 7482 \cdot 0,5268 = 3491,52 \text{ (kVA)}$$

f) Công suất phức tổng trên 3 pha:

$$S = P - j \cdot Q = 7482,01\angle -31,79^\circ \text{ (kVA)}$$

Ví dụ 2.3

Một tải 3 pha đối xứng 800kW có hệ số công suất $\cos\varphi = 0,9$ được cấp nguồn 3 pha có điện áp dây là 34,5kV. Giả sử điện trở và điện kháng của dây lần lượt là 5 và 7. Hãy xác định:

- Dòng điện dây trên tải.
- Góc φ .
- Điện áp pha ở cuối đường dây.
- Sụt áp trên đường dây.
- Điện áp dây ở đầu đường dây.
- Tổn thất năng lượng trên đường dây.

Lời giải:

- a) Dòng điện dây trên tải:

$$I_d = \frac{P_{3f}}{\sqrt{3} \cdot U_d \cdot \cos\varphi} = \frac{8000}{\sqrt{3} \cdot 34,5 \cdot 0,9} = 148,75 \text{ A}$$

- b) Góc φ :

$$\varphi = \arccos 0,9 = 25,8^\circ$$

- c) Điện áp pha ở cuối đường dây:

$$U_{Rf} = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{34500}{\sqrt{3}} = 19918,6 \text{ V}$$

- d) Điện áp rơi trên đường dây:

$$I_d \cdot Z = (5 + j \cdot 7) 148,75 (\cos 25,8^\circ - j \cdot \sin 25,8^\circ) = 1279,3 \angle -28,6^\circ$$

- e) Điện áp pha ở đầu đường dây, là:

$$U_{\text{đầu}} = U_{Rf} + I_d \cdot Z = 21050,7 \angle -1,7^\circ \text{ V}$$

Vậy điện áp dây tương ứng là:

$$U_d = \sqrt{3} \cdot U_{\text{đầu}} = \sqrt{3} \cdot 21050,7 = 36460,9 \text{ V}$$

- f) Tổn thất năng lượng trên đường dây:

$$P_{3f} = 3 \cdot I_d^2 \cdot R = 3 \cdot (148,75)^2 \cdot 5 = 331,9 \text{ kW}$$

2.5. TẢI 3 PHA KHÔNG ĐỐI XỨNG

Nếu một tải không đối xứng được nối sao hoặc tam giác trong một mạng 3 pha đối xứng, phương pháp “phân tử đối xứng” sẽ được áp dụng để phân tích mạch. Tuy nhiên, trong những trường hợp đơn giản, có thể áp dụng trực tiếp các lý thuyết cũ về mạch điện để giải quyết như ví dụ sau đây.

Ví dụ 2.4

Một tải 3 pha không đối xứng nối tam giác được cấp nguồn 3 pha đối xứng. Trị số của tải: Z_{ab} , Z_{bc} , Z_{ca} lần lượt là $5 + j \cdot 5$; $5 - j \cdot 5$; $5 + j \cdot 0 \Omega$. Tổng trở của đường dây là

$2 + j.2 \Omega/\text{dây}$. Cho biết các điện áp $U_{a'b'}$, $U_{b'c'}$, $U_{c'a'}$ lần lượt là $110\angle 0^\circ$; $110\angle 240^\circ$; $110\angle 120^\circ \text{V}$. Hãy xác định:

a) Các dòng điện $I_{a'a}$, $I_{b'b}$ và $I_{c'c}$.

b) Điện áp dây U_{ab} , U_{bc} và U_{ca} .

Lời giải:

a) Trước hết, biến đổi tương đương sơ đồ nối tam giác về sơ đồ nối sao, như hình vẽ (xem hình 2.22 – với chú ý đây không phải tải đối xứng nên không áp dụng $Z = 3Z'$ mà sử dụng công thức sau).

Các giá trị tổng trở tương đương của sơ đồ sao sẽ là:

$$Z_a = \frac{Z_{ab} \cdot Z_{ca}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}} = 1,67 + j.1,67 \Omega$$

$$Z_b = \frac{Z_{ab} \cdot Z_{cb}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}} = 3,33 + j.0 \Omega$$

$$Z_c = \frac{Z_{bc} \cdot Z_{ca}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}} = 1,67 + j.1,67 \Omega$$

Áp dụng định luật Kiết hốp, ta có:

$$U_{a'b'} = U_{a'a} + U_{an} + U_{nb} + U_{bb'} = 110\angle 0^\circ$$

$$U_{b'c'} = U_{b'b} + U_{bn} + U_{nc} + U_{cc'} = 110\angle 240^\circ$$

Trong đó:

$$U_{a'a} + U_{an} = I_{a'a}(Z_l + Z_a)$$

$$U_{b'b} + U_{bn} = I_{b'b}(Z_l + Z_b)$$

$$U_{c'c} + U_{cn} = I_{c'c}(Z_l + Z_c)$$

Nhưng:

$$I_{c'c} = -(I_{a'a} + I_{b'b})$$

Vậy nên $I_{c'c}$ có thể loại bỏ, dẫn đến:

$$\begin{vmatrix} Z_a + Z_a - Z_l - Z_b & I_{a'a} \\ Z_d + Z_c & 2Z_l + Z_b + Z_c \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} I_{a'a} \\ I_{b'b} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 110\angle 0^\circ \\ 110\angle 24^\circ \end{vmatrix}$$

Thay số và áp dụng luật Caramen ta được:

$$I_{a'a} = 13,85\angle -6,87^\circ \text{ A}$$

Tương tự, có: $I_{b'b} = 9,27\angle 217,48^\circ$

$$I_{c'c} = -(I_{a'a} + I_{b'b}) = 9,70\angle 131,23^\circ \text{ A}$$

b) Các điện áp pha được xác định:

$$U_{an} = I_{a'a} \cdot Z_a$$

$$U_{bn} = I_{b'b} \cdot Z_b$$

$$U_{cn} = I_{c'c} \cdot Z_c$$

Điện áp dây sẽ là: $U_{ab} = U_{an} - U_{bn}$

$$U_{bc} = U_{bn} - U_{cn}$$

Kết quả:

$$U_{ca} = U_{cn} - U_{an}$$

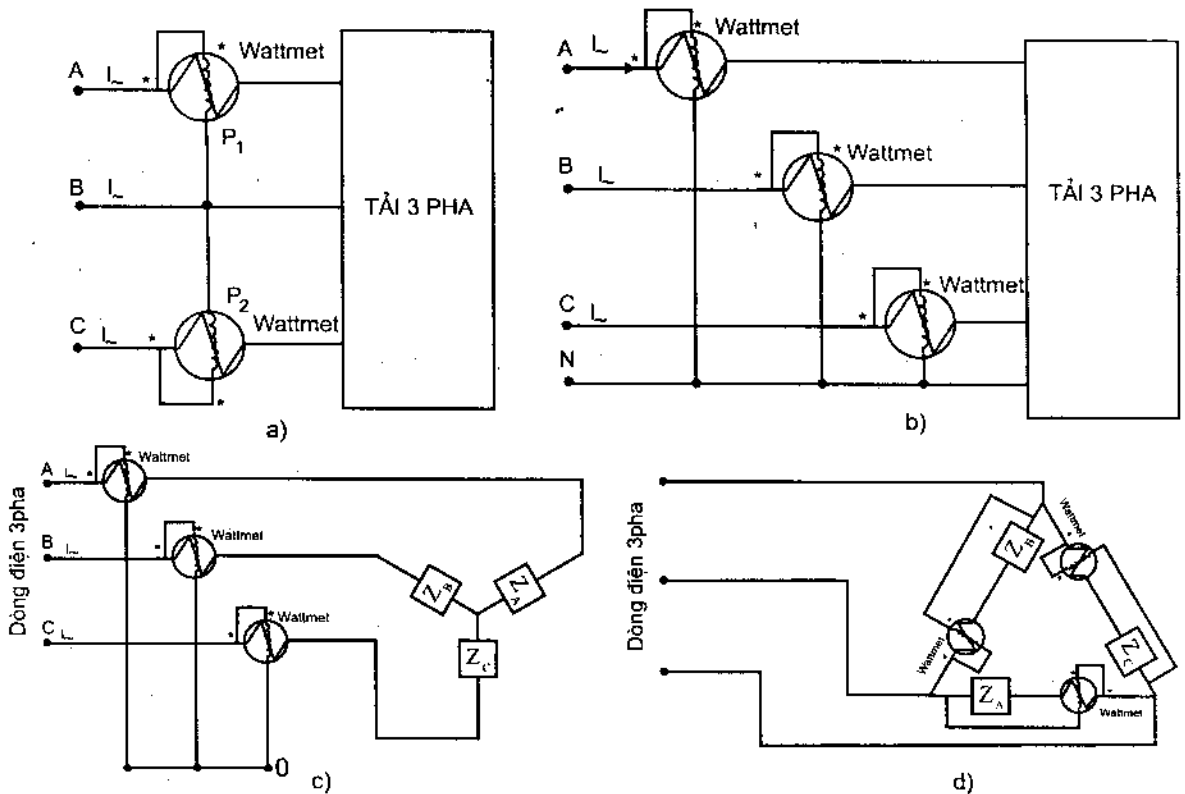
$$U_{ab} = 63,56 \angle 37,82^\circ$$

$$U_{bc} = 49,08 \angle 238^\circ$$

$$U_{ca} = 24,35 \angle 173,74^\circ$$

2.6. ĐO CÔNG SUẤT TRUNG BÌNH TRONG MẠCH ĐIỆN 3 PHA

U , I lần lượt là điện áp cuộn dây, dòng điện trung bình chạy qua cuộn dây, φ là góc pha giữa điện áp và dòng điện thì chiều của kim đồng hồ bị lệch về phía nào là phụ thuộc vào sự phân cực tức thời của dòng điện trong cuộn dây và điện áp trong cuộn áp. Do đó, mỗi cuộn dây có một cực phân cực được đánh dấu $\pm$. Kim đồng hồ chỉ về phía phải khi cuộn dòng và cuộn áp được nối cùng cực tính.



Hình 2.23.

- a) Phương pháp 2 wattmet; b) Phương pháp 3 wattmet với điểm trung tính;
c) Đấu wattmet hình sao; d) Đấu wattmet hình tam giác.

Nếu mỗi wattmet riêng được sử dụng để đo công suất trung bình trong mỗi pha thì tổng công suất thực trong hệ 3 pha có thể được xác định bằng cách mắc thêm 3 wattmet để đo. Nếu tải được mắc Δ , mỗi wattmet có cuộn dòng mắc trên mỗi cạnh của tam giác và cuộn áp mắc từ dây đến dây. Nếu tải mắc theo λ và tồn tại dây trung tính thì cuộn áp của mỗi wattmet được kết nối với một pha và một dây trung tính. Tuy nhiên, trong thực tế có thể không có khả năng tìm thấy điểm trung tính trong mắc sao hoặc pha riêng biệt của kết nối tam giác để kết nối 1 wattmet trong mỗi pha.

Trong trường hợp này, 3 wattmet có thể được kết nối như hình 2.23c. Điểm chung 0 là điểm có điện áp không đổi.

Tổng công suất thực sử dụng của tải dù cho kết nối tam giác hay sao, cân bằng hay không cân bằng là tổng số của 3 giá trị đo của 3 wattmet, do đó:

$$P_{3f} = W_a + W_b + W_c$$

Nó cũng có khả năng chỉ sử dụng 2 wattmet để đo tổng công suất thực trong “tải kết nối tam giác và kết nối sao” giống như trong hình 2.23a. Phương pháp này được biết đến như là phương pháp 2 wattmet để đo công suất mạch 3 pha. Tổng đại số đọc được của 2 wattmet sẽ nhận được tổng công suất tiêu thụ trung bình bởi tải 3 pha. Do đó:

$$P_{3f} = W_a + W_c \quad (2.66)$$

wattmet kết nối trên một pha cho giá trị đọc được:

$$W_a = U_{AB} I_A \cos \varphi_A \quad (2.67)$$

Ở đây φ_a là góc phức giữa U_{AB} và I_A .

$$\text{Tương tự} \quad W_c = U_{CB} I_c \cos \varphi_c \quad (2.68)$$

Trong đó φ_c là góc phức giữa U_{CB} và I_c .

Chú ý rằng: giá trị đọc được của wattmet W_c được xác định bởi U_{CB} và I_c . Thậm chí tổng 2 giá trị đọc được chỉ phụ thuộc vào tổng công suất của tải, giá trị đọc được của từng wattmet phụ thuộc vào thứ tự pha. Giả sử thứ tự pha là ABC và điện áp U_{AB} là phức chuẩn giống như hình 2.22a. Cũng giả thiết rằng tải kết nối sao hoặc tam giác đối xứng với một hệ số công suất góc là φ . Từ hình 2.22a có thể thấy góc phức giữa U_{AB} và I_A là $(30^\circ + \varphi)$ và góc phức giữa U_{CB} và I_c là $(30^\circ - \varphi)$. Giống như đã đề cập, góc φ là góc của hệ số công suất tải hoặc góc kết hợp với trở kháng của tải. Do đó công thức tính W_a và W_c có thể được diễn tả theo sau:

$$W_a = U_d I_d \cos(30^\circ + \varphi) \quad (2.69)$$

$$\text{và} \quad W_c = U_d I_d \cos(30^\circ - \varphi) \quad (2.70)$$

$$\text{trong đó:} \quad \varphi_a = 30^\circ + \varphi$$

$$\varphi_c = 30^\circ - \varphi$$

2.7. HIỆU CHỈNH HỆ SỐ CÔNG SUẤT

Nói chung, các tải trên các hệ thống tiêu thụ điện có 2 thành phần: công suất tác dụng (do bằng W , kW) và công suất phản kháng (do bằng VAr , kVAR). Công suất tác dụng phải được phát ra tại các nhà máy điện, tuy nhiên công suất phản kháng có thể được cung cấp bởi các nhà máy khác hoặc các tụ điện. Nếu công suất phản kháng được cung cấp chỉ bằng các nhà máy điện, mỗi hệ thống sẽ bao gồm: máy phát, máy biến áp và đường dây truyền tải, phân phối phải tăng công suất và khả năng truyền tải lên. Tuy nhiên, bằng cách sử dụng hệ tụ điện thì công suất phản kháng cũng như dòng điện trên dây được giảm xuống từ vị trí tụ điện trở lại nhà máy điện. Kết quả là tiêu hao được giảm xuống ở đường dây phân phối, máy biến áp và đường dây truyền

tải. Việc hiệu chỉnh hệ số công suất sẽ giảm tiêu thụ điện và tiêu thụ nhiên liệu qua việc giảm công suất điện và tiêu hao điện trong tất cả các thiết bị ở giữa điểm lắp đặt hệ thống tụ điện và nhà máy điện.

Hệ số công suất kinh tế là hệ số công suất mà lợi ích kinh tế đem lại bằng cách sử dụng tụ điện so với giá của tụ điện. Tuy nhiên, việc hiệu chỉnh hệ số công suất đồng bộ trở nên đắt hơn so với giá lắp đặt các tụ không đồng bộ. Trong thực tế chúng mình được hệ số công suất kinh tế chỉ khoảng 0,95. Trong hệ thống phân phối bao gồm các thiết bị điện được sử dụng trong công nghiệp, các tụ điện mắc song song được sử dụng và nối trong mạch theo kiểu tam giác hoặc sao. Tuy nhiên, trong hệ thống truyền tải các tụ điện được mắc nối tiếp với các cuộn dây.

BÀI TẬP

2.1. Cho 3 tải có tổng trở Z_1 , Z_2 và Z_3 mắc nối tiếp với nhau và yêu cầu công suất lần lượt là 5kVA với $\cos\varphi = 0,8$; 20kVA với $\cos\varphi = 0,9$; 5kVA với $\cos\varphi = 0,6$. Tất cả các tải đều có tính cảm. Tính tổng công suất tác dụng trong mạch nếu tần số 50Hz.

2.2. Một động cơ xoay chiều một pha 10kW, điện áp 220V AC, $\cos\varphi = 0,7$ điện cảm. Tìm giá trị của tụ điện cần thiết mắc song song với động cơ để $\cos\varphi = 0,95$.

2.3. Cho một thanh dẫn một pha có điện áp $2400\angle 0^\circ(V)$. Được nối với một động cơ điện một pha 100kW, $\cos\varphi = 0,9$. Một tải chiếu sáng 100 kW, $\cos\varphi = 1$ và tụ điện công suất 100 kVAR. Tính các đại lượng sau:

- Tổng công suất phức cung cấp từ nguồn tới các tải.
- Dòng điện tổng chạy trong thanh dẫn từ nguồn tới tải.
- Hệ số công suất của tải tổng nối với thanh dẫn nguồn.

2.4. Cho một nguồn một pha có điện áp $4800\angle 0^\circ(V)$ được nối với một động cơ điện một pha 100kW, $\cos\varphi = 0,8$. Một tải chiếu sáng 200 kW, $\cos\varphi = 1$ và tụ điện công suất 150kVAR. Tính các đại lượng sau:

- Tổng công suất phức cung cấp từ nguồn tới các tải.
- Dòng điện tổng chạy trong nguồn.
- Hệ số công suất của tải tổng nối với nguồn.

2.5. Từ bài tập 2.3 sử dụng nguồn có điện áp $2400\angle 0^\circ(V)$ tính:

- Dòng điện phức qua tải chiếu sáng.
- Dòng điện phức qua tải động cơ.
- Dòng điện phức qua tụ.
- Dòng điện phức qua tải tổng.

e) Vẽ biểu đồ phức của điện áp và tất cả 3 dòng điện tải và chỉ ra làm thế nào để kết hợp 3 dòng tải trở thành dòng tải tổng trong phép cộng số phức.

2.6. Từ bài tập 2.4 và sử dụng nguồn có điện áp $4800\angle 0^\circ(V)$ tính:

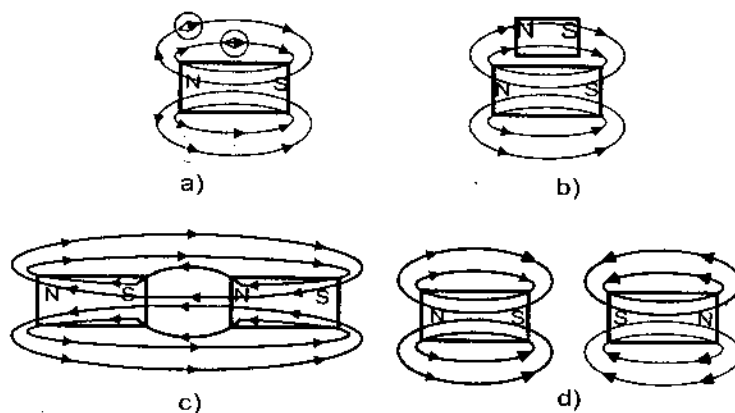
- Dòng điện phức qua tải chiếu sáng.
- Dòng điện phức qua tải động cơ.
- Dòng điện phức qua tụ.
- Dòng điện phức qua tải tổng.

e) Vẽ biểu đồ phức của điện áp (tất cả 3 dòng điện tải) và chỉ ra làm thế nào để kết hợp 3 dòng tải trở thành dòng tải tổng trong phép cộng số phức.

3.1. GIỚI THIỆU

Hiện tượng từ tính đã được phát hiện từ những năm 600 trước công nguyên bởi người Ai Cập cổ đại. Tuy nhiên nó chỉ được ứng dụng lần đầu tiên vào thế kỷ 16 bởi nhà Vật lý người Anh Gilbert, người đã phát hiện sự tồn tại của từ trường xung quanh Trái Đất. Ngoài ra Oersted khẳng định rằng vật dẫn mang dòng điện chạy qua có hiệu ứng từ. Ampe đã nghiên cứu sâu thêm về từ trường xung quanh vòng dây có dòng điện chạy qua dẫn tới lý thuyết từ tính trên vỏ nguyên tử. Từ những điều đó và một số thí nghiệm khác được Henry và Faraday thực hiện đã thiết lập và là cơ sở cho sự phát triển mô hình máy điện.

Ngày nay, các hiện tượng từ tính được ứng dụng phổ biến trong nguyên lý hoạt động của các thiết bị điện bao gồm: máy phát điện, động cơ điện, máy biến áp, thiết bị đo lường, tivi, radio, điện thoại, các máy ghi băng từ, bộ đánh lửa trong ô tô, máy làm lạnh, điều hòa không khí, thiết bị sinh nhiệt, các khí cụ điện... Một loại vật chất có khả năng hút được sắt và thép gọi là nam châm. Nam châm có thể phân thành 2 loại là vĩnh cửu và không vĩnh cửu, căn cứ vào khả năng duy trì từ tính của chúng.



Hình 3.1. Từ trường

- a) Nam châm vĩnh cửu; b) Miếng thép đặt gần một nam châm vĩnh cửu;
c) Hai nam châm vĩnh cửu ngược cực tính; d) Hai nam châm cùng cực tính.

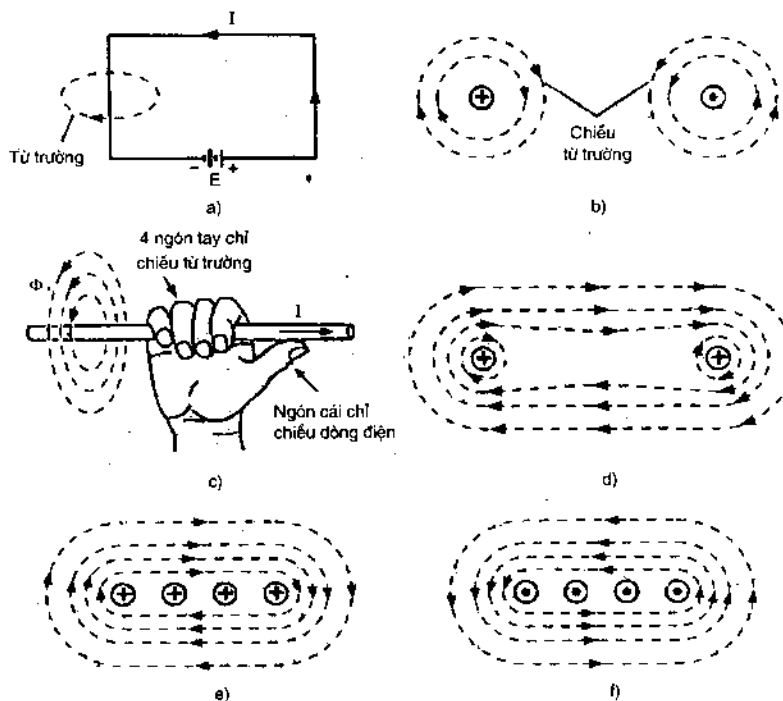
Hình 3.1a trình bày một nam châm vĩnh cửu và từ trường của nó. Chú ý rằng đường đi của từ thông Φ là liên tục, đi ra từ cực bắc và hướng tới cực nam. Lưu ý rằng những đường sức từ trên hình vẽ là không thực song nó có tác dụng trong việc mô tả hình ảnh và tính chất của từ trường. Hướng của từ trường có thể được xác định khi sử dụng la bàn (la bàn đơn giản nhất là kim bằng thép từ tính được treo tự do),

bởi vì kim la bàn luôn chỉ tới cực bắc của từ trường Trái Đất. Hình 3.1b, khi một nam châm vĩnh cửu được đặt gần một thanh kim loại, các đường sức từ xuyên qua thanh kim loại và từ hóa nó, do đó thanh kim loại cũng được phân cực. Ở hình 3.1c, hai thanh nam châm hút nhau bởi vì hướng của đường sức từ của chúng là giống nhau. Tuy nhiên, nếu hai nam châm được đặt theo hướng ngược lại như trong hình 3.1d, hai nam châm sẽ đẩy nhau, bởi vì hướng đường sức từ của hai thanh nam châm là ngược nhau.

3.2. TỪ TRƯỜNG CỦA DÂY DẪN CÓ DÒNG ĐIỆN CHẠY QUA

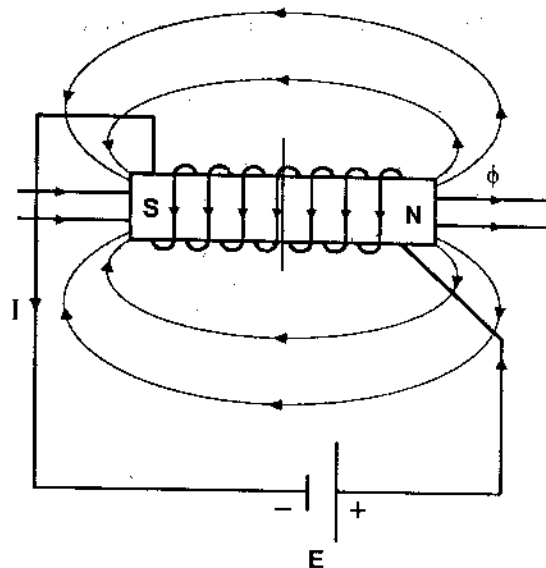
Xét ví dụ trong hình 3.2a, khi có một vật dẫn mang một dòng điện I , một từ trường được tạo ra xung quanh nó. Chiều của đường sức từ được xác định theo quy tắc bàn tay phải của Ampe được phát biểu như sau: nếu đặt vật dẫn trong lòng bàn tay phải với ngón tay cái chỉ chiều của dòng điện thì các ngón tay còn lại chỉ hướng của từ trường quanh vật dẫn (được minh họa trong hình 3.2c). Do vậy *sự chuyển hoá năng lượng giữa hai dạng: điện năng và cơ năng được thực hiện thông qua từ trường*.

Hình 3.2b cho thấy từ trường xung quanh dây dẫn mang dòng điện có chiều hướng về phía người đọc và hướng ra xa phía người đọc. Chú ý, trong hình vẽ ký hiệu $(\odot)$ biểu thị cho mặt cắt ngang của dây dẫn có chiều dòng điện hướng vào người đọc, trong khi đó ký hiệu $(\otimes)$ biểu thị cho mặt cắt ngang của dây dẫn mang dòng điện có chiều hướng ra xa người đọc. Hình 3.2d minh họa từ trường xung quanh hai thanh dẫn điện có chiều dòng điện đi ra. Tương tự, hình 3.2e và 3.2f tương ứng minh họa từ trường xung quanh 4 vật dẫn có dòng điện cùng hướng vào người đọc và hướng ra xa người đọc.



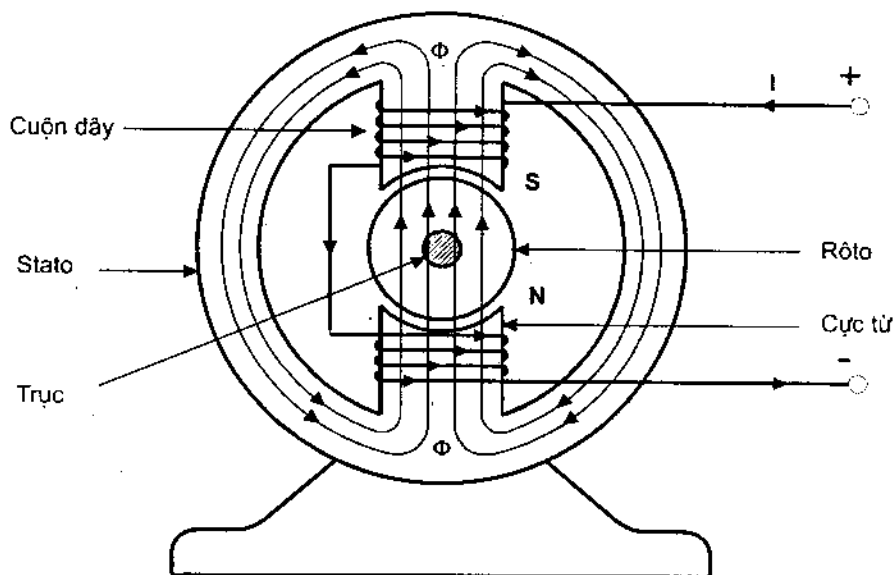
Hình 3.2. Từ trường của vật dẫn mang điện.

Hình 3.3 miêu tả một cuộn dây mang dòng điện được tạo ra bằng cách quấn dây dẫn điện trên một bìa rỗng hoặc trụ các tông. Đường sức từ tập trung bên trong lòng ống trụ, mỗi vòng của cuộn dây tạo ra một từ trường cùng chiều. Bởi vì chiều dòng điện trong mỗi vòng dây là giống nhau, từ trường tổng sinh ra bởi cuộn dây cùng chiều với từ trường của mỗi vòng. Cực tính của cuộn dây có thể xác định bằng cách áp dụng quy tắc bàn tay phải. Ở hình 3.3, nếu cuộn dây được nắm trong lòng bàn tay phải với các ngón chỉ chiều dòng điện chạy trong cuộn dây thì ngón tay cái chỉ hướng cực bắc của cuộn dây. Trong hình 3.3, đầu của cuộn dây nơi mà từ thông đi ra gọi là cực bắc của cuộn dây.



Hình 3.3. Từ trường của cuộn dây mang điện.

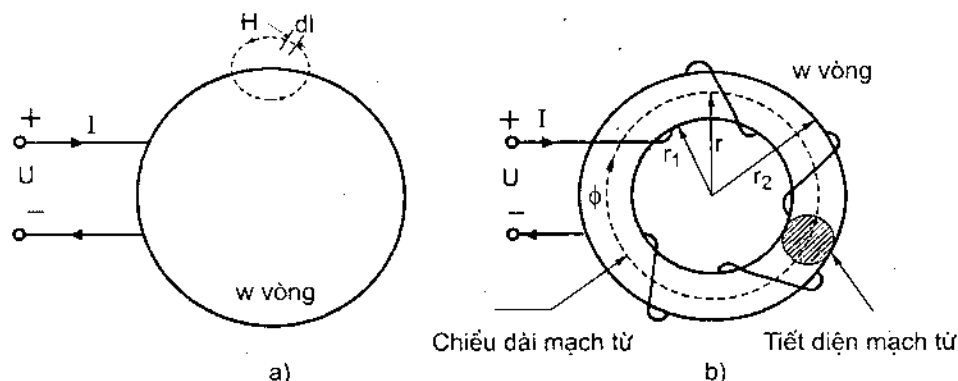
Hình 3.4 minh họa mạch từ của máy phát điện một chiều 2 cực. Một từ trường cần thiết được sinh ra bởi hai cuộn dây quấn trên các cực từ của lõi sắt. Khi phần ứng (phần đặt trên rôto) quay cắt từ trường, một sức điện động (sđđ) được sinh ra trong dây quấn phần ứng. Đại lượng đặc trưng cho cuộn dây về khả năng sinh ra từ thông được gọi là sức từ động (std). Sức từ động của mạch từ tương ứng với sức điện động trong cuộn dây. Sức từ động trong cuộn dây phụ thuộc độ lớn dòng điện chạy trong cuộn dây và số vòng dây của cuộn dây. Tích của dòng điện (A) và số vòng dây (vòng) gọi là A.vòng.



Hình 3.4. Mạch từ của máy phát điện 2 cực.

3.3. ĐỊNH LUẬT AMPE VỀ MẠCH TỪ

Hình 3.5a minh họa một cuộn dây hình xuyên có w vòng dây được cấp một dòng điện I . Đường cong nét đứt biểu diễn một đường khép kín có cùng cường độ từ trường H , trên chiều dài nguyên tố dl , tại các vị trí trên đường dẫn. Khác với hình 3.5a, Hình 3.5b cho thấy một mạch từ hình xuyên được quấn dây xung quanh gọi là cuộn dây hình xuyên. Nếu một dòng điện I chạy trong cuộn dây có w vòng, một từ trường sẽ được sinh ra trong cuộn dây hình xuyên đó.



Hình 3.5. Từ trường của cuộn dây có w vòng mang dòng điện

a) Từ trường của cuộn dây có w vòng mang dòng điện;

b) Cuộn dây w vòng quấn trên mạch từ hình xuyên.

Theo định luật về mạch từ của Ampe, từ thế rơi trên đường dẫn kín là cân bằng với sức từ động sinh ra từ trường (sức từ động của phần đoạn mạch khép kín).

Với mỗi đường sức từ với bán kính r , cường độ từ trường H quan hệ với sức từ động là nguồn sinh ra nó theo định luật Ampe (định luật toàn dòng điện) như sau:

$$\oint H dl = w.I = F \quad (3.1)$$

Tích phân đường trên có thể tìm được dễ dàng nếu đường của tích phân chọn theo hướng của H , chú ý rằng H có giá trị không đổi dọc theo đường dẫn l , do vậy:

$$H.l = w.I \quad (3.2)$$

$$\text{Hoặc: } H.2.\pi.r = w.I \quad (3.3)$$

$$\text{Từ đó: } H = w.I / 2.\pi.r \quad (3.4)$$

Đại lượng $w.I$ gọi là sức từ động (std), đơn vị của nó là ampe.vòng (A.vòng) hoặc ampe (A) vì w không có đơn vị.

$$F = H.l = w.I(\text{A.vòng}) \quad (3.5)$$

$$\text{Hay: } H = F/l \text{ (A.vòng/m).} \quad (3.6)$$

$$\text{Hoặc: } H = w.I/l \text{ (A.vòng/m).} \quad (3.7)$$

Cường độ từ trường H mô tả từ trường được sinh ra bởi sức từ động và đơn vị của nó là ampe.vòng/m. Cũng như thế cường độ từ trường H sinh ra mật độ từ trường B , tại mọi nơi mà nó tồn tại. Chúng có quan hệ với nhau:

$$B = \mu H \text{ Wb/m}^2 \text{ hoặc T.} \quad (3.8)$$

Giá trị của B không chỉ phụ thuộc vào H (tức phụ thuộc I) mà còn phụ thuộc vào

môi trường nơi mà H được đặt vào. Đơn vị B trong hệ SI là Wb/m² hoặc tesla (T). Ảnh hưởng của môi trường được biểu thị bằng độ từ thẩm μ có đơn vị là henry/m (H/m). Ở đây, độ từ thẩm μ miêu tả sự thiết lập một từ trường trong một chất cho trước. Độ từ thẩm của chân không gọi là μ_0 , nó có giá trị là:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m.} \quad (3.9)$$

Độ từ thẩm của không khí có giá trị xấp xỉ độ từ thẩm của chân không. Tỷ số giữa độ từ thẩm của các chất với độ từ thẩm của chân không được gọi là độ từ thẩm tương đối μ_r .

Do đó:
$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (3.10)$$

Độ từ thẩm tương đối là đại lượng không đơn vị và bằng 1 đối với chân không. Độ từ thẩm của các chất có thể miêu tả:

$$\mu = \mu_r \times \mu_0 = \frac{B}{H} \quad (3.11)$$

Với các vật liệu sử dụng trong chế tạo máy điện, giá trị μ_r có thể lên đến hàng ngàn. Nếu giá trị μ_r lớn thì chỉ cần dòng điện nhỏ đã đủ để sinh ra một mật độ từ thông B cần thiết cho trước trong máy. Bằng việc thế phương trình (3.7) vào phương trình (3.8) thì mật độ từ thông được tính bằng công thức:

$$B = \mu \cdot H = \frac{\mu \cdot wI}{l} \quad (3.12)$$

Từ thông tổng xuyên qua mặt cắt ngang S có thể được xác định theo công thức:

$$\Phi = \int_S B \cdot dS \quad (3.13)$$

Trong đó dS là vi phân diện tích mặt cắt, do đó:

$$\Phi = B \cdot S \quad (3.14)$$

Phương trình này là đúng nếu vectơ mật độ từ thông B vuông góc với mặt S, và mật độ từ thông là không đổi tại mọi vị trí trên S. Đối với cuộn dây hình xuyên trong hình 3.5b, mật độ từ thông trung bình có thể lấy theo đường dẫn ở bán kính chính giữa của cuộn dây hình xuyên, do đó từ thông tổng trong lõi là:

$$\Phi = B \cdot S = \frac{\mu wIS}{l} \text{ (Wb)} \quad (3.15)$$

Hoặc:
$$\Phi = B \cdot \pi r^2 = \frac{\mu wI \pi r^2}{l} \text{ (Wb)} \quad (3.16)$$

Tích của số vòng dây của cuộn dây và từ thông khép kín qua nó gọi là **từ thông móc vòng**. Từ thông móc vòng thường được ký hiệu bằng ký tự Hy Lạp Ψ và được miêu tả theo công thức:

$$\Psi = w\Phi \text{ (Wb)} \quad (3.17)$$

3.4. MẠCH TỪ

Xét mạch từ đơn giản trong hình 3.6a

$$\Phi = \frac{\mu \cdot w \cdot I \cdot S}{l} = \frac{wI}{l/\mu S} = \frac{wI}{R_\mu} \quad (3.18)$$

Thay phương trình (3.5) vào phương trình (3.18):

$$\Phi = \frac{F}{R_\mu} \quad (3.19)$$

Từ đó: $F = \Phi \cdot R_\mu$ (3.20)

Với R_μ là từ trở của mạch từ. Bởi vậy:

$$R_\mu = \frac{l}{\mu S} \quad (3.21)$$

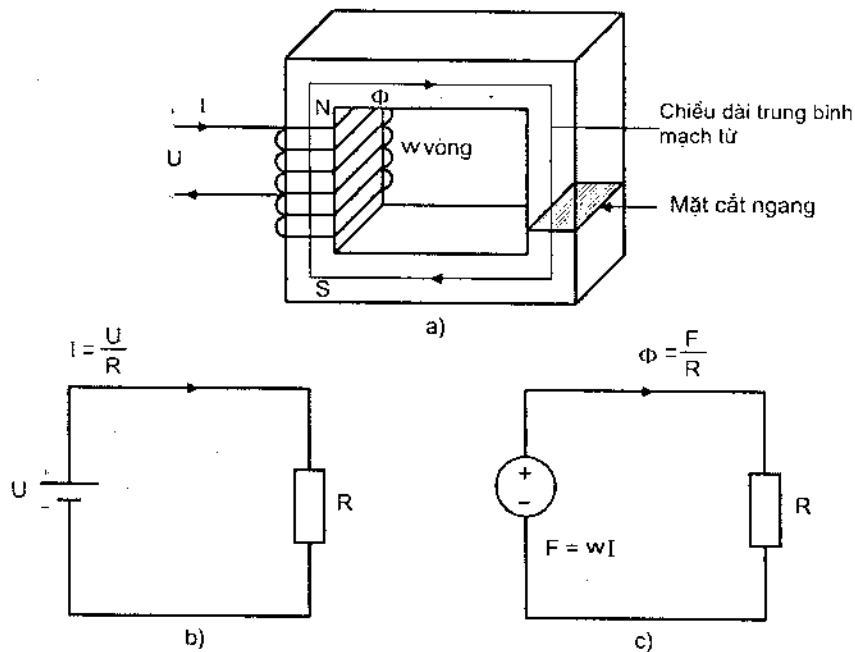
Trong đó: μ : độ từ thẩm của vật liệu;
 S : tiết diện mặt cắt ngang;
 l : chiều dài tính toán của mạch từ.

Từ trở còn được xác định bằng công thức:

$$R_\mu = \frac{F}{\Phi} \quad (3.22)$$

Đại lượng nghịch đảo của từ trở được gọi là từ dẫn của mạch từ, được xác định như sau:

$$G_\mu = \frac{1}{R_\mu} \quad (3.23)$$



Hình 3.6.

a) Mạch từ đơn giản; b) Sơ đồ thay thế mạch điện; c) Sơ đồ thay thế của mạch từ.

Bởi vậy từ thông còn được tính bằng công thức:

$$\Phi = FG_{\mu} \quad (3.24)$$

Trong nhiều khía cạnh mạch từ và mạch điện là tương tự. Chẳng hạn sự tương tự giữa mạch điện trong hình 3.6b và mạch từ trong hình 3.6c.

Chú ý rằng từ thông trong mạch từ hoạt động giống như dòng điện trong mạch điện, từ trở trong mạch từ có thể coi như điện trở trong mạch điện, và sức từ động trong mạch từ có thể coi như sức điện động trong mạch điện. Công thức (3.20) được xem như định luật Ôm của mạch từ. Tuy nhiên mạch từ và mạch điện là không hoàn toàn tương đương trong tất cả các trường hợp. Ví dụ: năng lượng phải được liên tục cấp để có dòng điện một chiều chạy trong mạch điện. Trái lại trong trường hợp của mạch từ, chỉ một lần từ thông được thiết lập, sau đó nó luôn tồn tại. Tương tự không có chất cách từ, chỉ có chất cách điện...

Từ trở và từ dẫn mắc song song và nối tiếp cũng giống như khi mắc điện trở và điện dẫn song song và nối tiếp. Cụ thể: từ trở tương đương của một số mạch từ mắc nối tiếp với nhau là:

$$R_{\mu td} = R_{\mu 1} + R_{\mu 2} + R_{\mu 3} \dots \quad (3.25)$$

Tương tự từ trở tương đương của một số từ trở mắc song song là:

$$\frac{1}{R_{\mu td}} = \frac{1}{R_{\mu 1}} + \frac{1}{R_{\mu 2}} + \frac{1}{R_{\mu 3}} + \dots \quad (3.26)$$

Có thể lựa chọn cách tính, đầu tiên xác định từ dẫn tương đương:

$$G_{\mu td} = G_{\mu 1} + G_{\mu 2} + G_{\mu 3} \dots \quad (3.27)$$

Sau đó từ trở tương đương được xác định:

$$R_{td} = \frac{1}{G_{td}} \quad (3.28)$$

Thay phương trình (3.15) vào phương trình (3.17):

$$\Psi = \frac{\mu w^2 IS}{l} \quad (\text{Wb}) \quad (3.29)$$

Như vậy từ thông móc vòng tỉ lệ với dòng điện trong cuộn dây.

Điện cảm của cuộn dây được xác định bằng từ thông trên một ampe của dòng điện chảy trong cuộn dây và được đo bằng henry (H):

$$L = \frac{\Psi}{I} \quad (\text{H}) \quad (3.30)$$

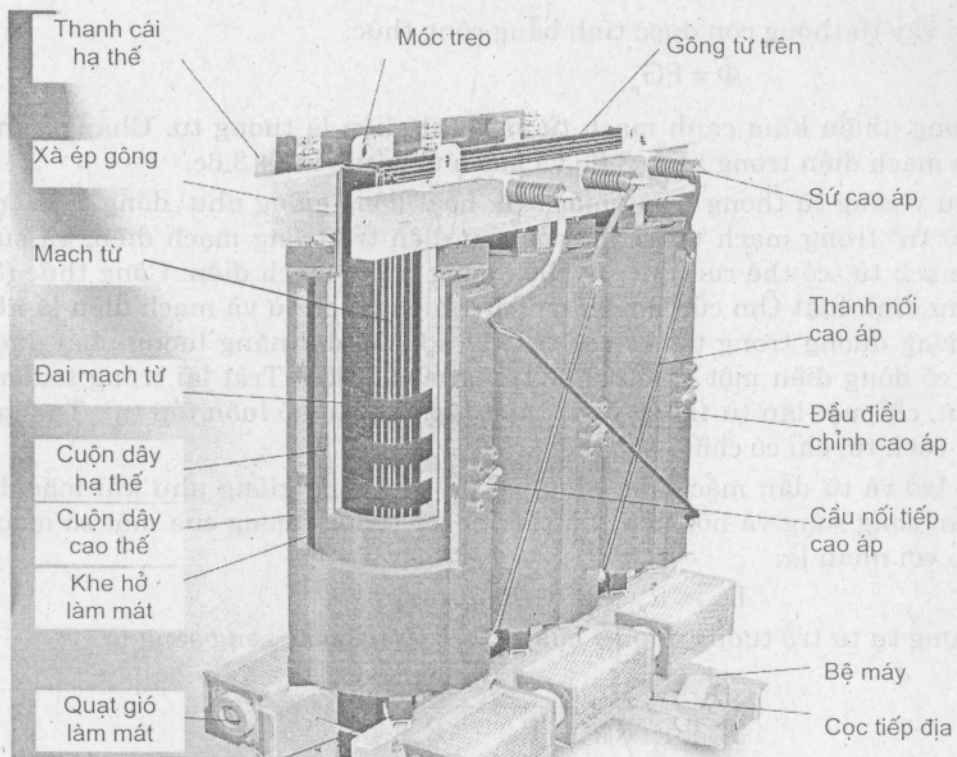
Từ phương trình (3.21), (3.29), và (3.30) có thể thấy rằng quan hệ giữa điện cảm với từ trở như sau:

$$L = \frac{w^2}{R_{\mu}} \quad (\text{H}) \quad (3.31)$$

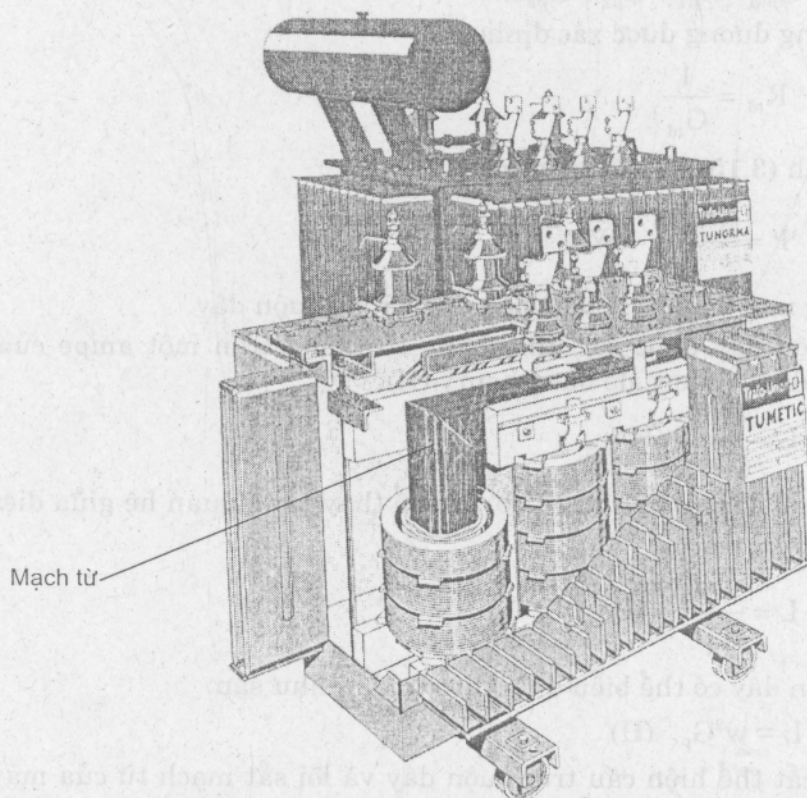
Điện cảm của cuộn dây có thể biểu diễn theo từ dẫn như sau:

$$L = w^2 G_{\mu} \quad (\text{H}) \quad (3.32)$$

Hình 3.7 là mặt cắt thể hiện cấu trúc cuộn dây và lõi sắt mạch từ của máy biến áp khô với cuộn dây đúc épôxi, và hình 3.8 biểu diễn hình cắt một máy biến áp dầu 630kVA, 10/0,4kV.



Hình 3.7. Hình cắt thể hiện mạch từ của máy biến áp khô.



Hình 3.8. Hình cắt thể hiện mạch từ của máy biến áp dầu.

Ví dụ 3.1

Xét mạch từ hình xuyên trong hình 3.5b với bán kính ngoài và trong theo thứ tự có kích thước là 5 và 4cm. Cuộn dây gồm 500 vòng được quấn quanh lõi sắt hình xuyên để sinh ra từ thông tổng là $168,5856 \cdot 10^{-5}$ Wb trong lõi. Nếu cường độ từ trường trong lõi là 1000A.vòng/m, xác định:

- Chiều dài trung bình đường đi của từ thông trong lõi hình xuyên và tiết diện mặt cắt vuông góc với từ thông.
- Mật độ từ thông trong lõi.
- Sức từ động cần thiết.
- Độ lớn dòng điện chạy trong cuộn dây hình xuyên.

Lời giải:

- a) Bán kính chính giữa mạch từ hình xuyên là:

$$r = \frac{r_1 + r_2}{2} = \frac{4 + 5}{2} = 4,5\text{cm} = 4,5 \cdot 10^{-2}\text{m}.$$

Chiều dài trung bình đường đi của từ thông là:

$$l = 2\pi r = 2\pi(4,5 \cdot 10^{-2}) = 0,2827\text{m}.$$

Do đó tiết diện ngang là:

$$S = \frac{\pi r^2}{4} = \frac{\pi(4,5 \times 10^{-2})^2}{4} = 159,043 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.$$

- b) Mật độ từ thông trong lõi là:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{168,5856 \cdot 10^{-5}}{159,043 \cdot 10^{-5}} = 1,06 \text{ Wb/m}^2$$

- c) Vì cường độ từ trường cho trước là 1000A.vòng/m, sức từ động cần thiết là:

$$F = Hl = 1000 \cdot 0,2827 = 282,7 \text{ A.vòng}$$

- d) Từ công thức: $F = wI$

nên:
$$I = \frac{F}{w} = \frac{282,7}{500} = 0,5654 \text{ A}$$

Ví dụ 3.2

Giải ví dụ 3.1 nhưng cho rằng lõi hình xuyên được làm bằng nhựa. Độ từ thẩm của nhựa giống như không khí. Cho giá trị từ thông tổng như bài trước, nhưng cường độ từ trường là chưa biết.

Lời giải:

Cách 1:

- a) Như bài trước: $r = 4,5 \cdot 10^{-2}\text{m}$, $l = 0,2827\text{m}$;

$$S = \pi r^2/4 = 159,043 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.$$

b) Mật độ từ thông trong lõi vẫn là:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{168,5856.10^{-5}}{159,043.10^{-5}} = 1,06 \text{ T}$$

c) Do $B = \mu_0 H$, nên cường độ từ trường trong lõi là:

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{1,06}{4\pi.10^{-7}} = 843521,1983 \text{ A.vòng/m}$$

Và từ đó:

$$F = Hl = wI$$

$$F = Hl = (843521,1983 \text{ A.vòng/m}). 0,2827 \text{ m} = 238463,44 \text{ A.vòng}$$

d) Do đó:
$$I = \frac{F}{w} = \frac{238463,44}{500} = 476,93 \text{ A}$$

Như vậy, dòng điện cần thiết để sinh ra cùng trị số từ thông như bài trước là phải tăng 843,5 lần so với trường hợp trước.

Cách 2:

a) và b) như ví dụ trước.

c) Trước tiên tìm từ trở như sau:

$$R_\mu = \frac{l}{\mu_0 S} = \frac{0,2827}{4\pi.10^{-7}.159,043.10^{-5}} = 141449489,8 \text{ A.vòng/Wb.}$$

$$F = \Phi R_\mu = 168,5856.10^{-5}.141449489,8 = 238463,44 \text{ A.vòng}$$

d) Do đó:
$$I = \frac{F}{w} = \frac{238463,44}{500} = 476,93 \text{ A}$$

Vi dụ 3.3

Xem ví dụ 3.2 và xác định:

- Từ thông móc vòng trong lõi.
- Điện cảm của cuộn dây bằng việc sử dụng phương trình 3.30.
- Điện cảm của cuộn dây bằng việc sử dụng phương trình 3.31.

Lời giải:

a) Từ phương trình 3.17

$$\Psi = w\Phi = 500.168,5856.10^{-5} = 0,8429 \text{ Wb.}$$

b) Từ phương trình (3.30)

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{0,8429}{476,93} = 0,0018 \text{ H}$$

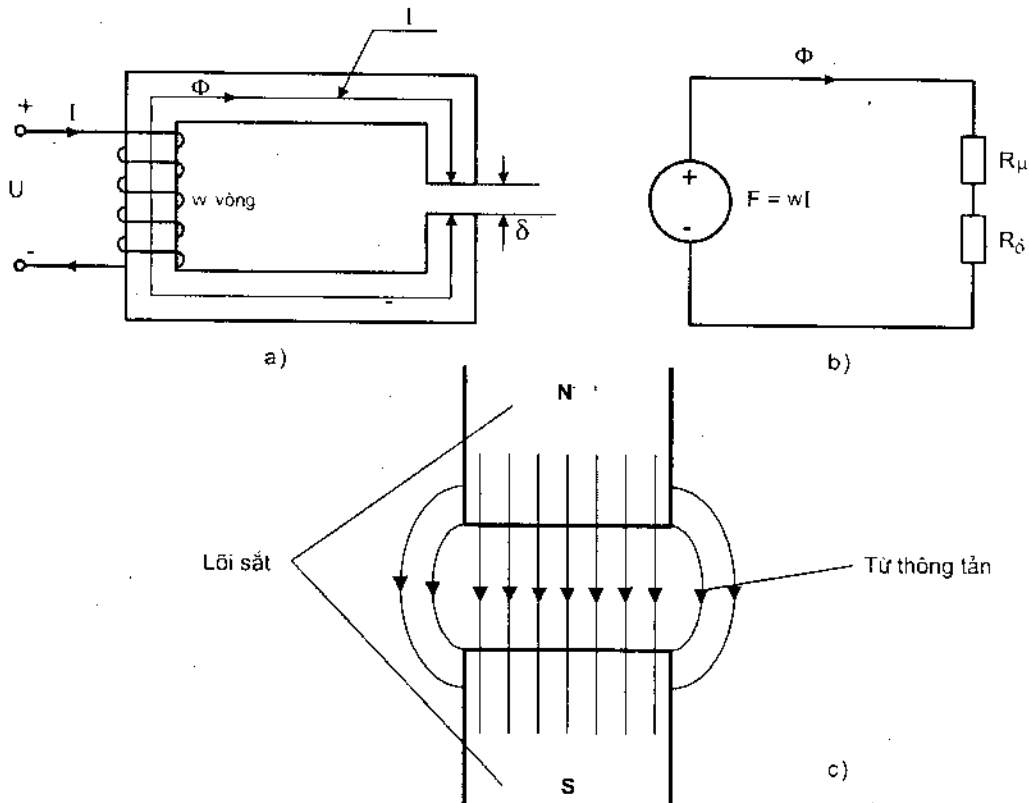
c) Từ phương trình (3.31)

$$L = \frac{w^2}{R_{\mu}} = \frac{500^2}{141449489,8} = 0,0018H$$

3.5. MẠCH TỪ VỚI KHE HỖ KHÔNG KHÍ

Hiện nay việc sử dụng khe hở không khí trong các mạch từ là rất phổ biến. Như trong hình 3.4, mọi máy điện quay gồm 2 phần thường gọi là stato (1) và rôto (2), giữa chúng có khe hở không khí và rôto thường được lồng vào bên trong stato.

Như trong hình 3.9a, về cơ bản từ thông giống nhau trong khe hở và lõi từ. Để chịu một mật độ từ thông giống nhau, khe hở không khí phải có một sức từ động lớn hơn nhiều so với lõi từ. Nếu mật độ của từ thông lớn, phần lõi từ của mạch từ có thể xảy ra hiện tượng bão hòa, song phần khe hở không khí sẽ không bị bão hòa vì đường cong từ hóa (B, H) của không khí là tuyến tính với độ từ thẩm không đổi. Trong hình 3.9a, l là chiều dài của lõi từ, trong khi δ là chiều dài của khe hở không khí. Hình 3.9b là mạch từ tương đương, nó có từ trở khe hở không khí R_{δ} , và từ trở lõi từ R_{μ} mắc nối tiếp với nhau. Áp dụng định luật toàn dòng điện của Ampe, sức từ động cần thiết có thể tìm được là:



Hình 3.9.

a) Mạch từ với khe hở không khí; b) Sơ đồ thay thế; c) Từ thông tản ở khe hở không khí.

$$F = H_l l + H_\delta \delta \quad (3.33)$$

$$\text{Hoặc:} \quad wI = H_l l + H_\delta \delta \quad (3.34)$$

Từ thông tạo ra có thể được xác định:

$$\Phi = \frac{wI}{R_\mu + R_\delta} \quad (3.35)$$

Trong đó từ trở của lõi từ và khe hở không khí là:

$$R_\mu = \frac{l}{\mu S_\mu} = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S_\mu} \quad (3.36)$$

$$R_\delta = \frac{l}{\mu S_\delta} = \frac{l}{\mu_0 S_\delta} \quad (3.37)$$

l : Chiều dài trung bình của lõi từ không tính phần khe hở;

δ : Chiều dài khe hở;

S_μ : Tiết diện ngang của lõi;

S_δ : Tiết diện ngang của khe hở.

Mật độ từ thông kết hợp được xác định:

$$B_l = \frac{\Phi_l}{S_l} = \frac{\mu_l}{l} F \quad (3.38)$$

$$B_\delta = \frac{\Phi_\delta}{S_\delta} = \frac{\mu_0}{\delta} F \quad (3.39)$$

Từ đó sức từ động rơi trên từng phần trong hình 3.9b được xác định:

$$H_l l = \Phi R_\mu \quad (3.40)$$

$$H_l \delta = \Phi R_\delta \quad (3.41)$$

Thay phương trình 3.40 và 3.41 vào phương trình 3.33 ta có:

$$F = w.I = \Phi(R_\mu + R_\delta) \quad (3.42)$$

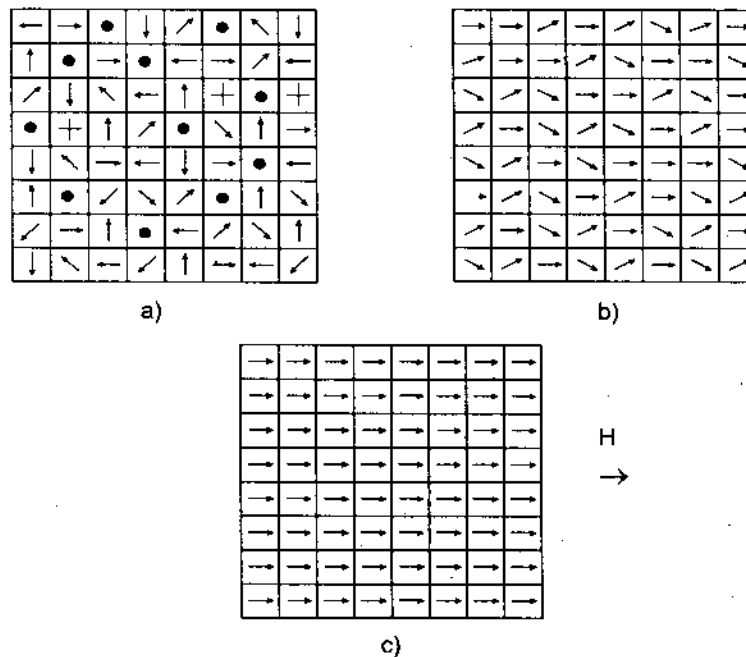
Nếu có một khe hở trong mạch từ, từ thông có xu hướng phình ra dọc mép khe hở. Như trong hình 3.9c, đúng hơn là không đi qua khe hở không khí, và không song song với cạnh của lõi. Hiện tượng này được gọi là từ tản, được chú ý tính toán cẩn thận bằng việc giả định một tiết diện khe hở lớn hơn. Trong thực tế thường sử dụng một tiết diện khe hở lớn hơn bằng cách thêm chiều dài 2 cạnh của khe hở không khí. Do đó tiết diện mới của khe hở không khí là:

$$A_G = (a+l_g).(b+l_g) \quad (3.43)$$

Trong đó a và b là kích thước thật của một lõi hình chữ nhật cho trước. Tiết diện khe được hiệu chỉnh sẽ làm giảm từ trở của khe hở. Từ tản tăng khi chiều dài khe hở tăng.

3.6. SƠ LƯỢC VỀ VẬT LIỆU SẮT TỪ

Những chất có từ tính bao gồm một số dạng của sắt và hợp kim của nó với: coban, niken, nhôm, vonfram..., được gọi là vật liệu sắt từ. Chúng tương đối dễ từ hóa vì có độ từ thẩm tương đối μ_r cao. Các chất sắt từ được phân thành hai loại là vật liệu từ cứng và vật liệu từ mềm. Vật liệu từ mềm bao gồm các loại thép mềm, sắt, niken, coban và một thành phần đất hiếm và nhiều loại hợp kim với bốn thành phần hóa học trên. Vật liệu từ cứng bao gồm các vật liệu từ vĩnh cửu chẳng hạn như alnicol (nó là hợp kim của sắt, niken, nhôm, coban), NdFeB, hợp kim của coban với thành phần đất hiếm như samari, hợp kim đồng – niken, và một số hợp kim của các kim loại khác.

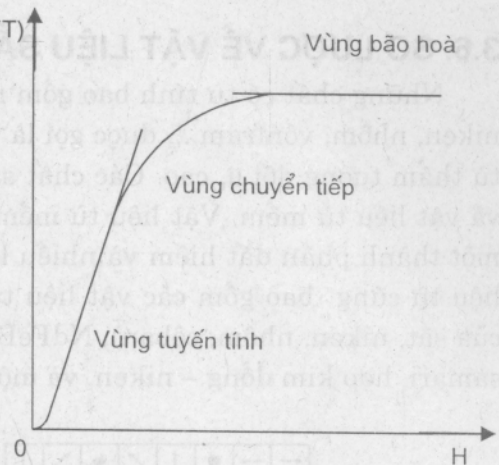


Hình 3.10.

- a) Miền từ hoá định hướng ngẫu nhiên; b) Miền từ hoá đang được từ hoá;
c) Miền từ hoá bị từ hoá hoàn toàn bởi từ trường H.

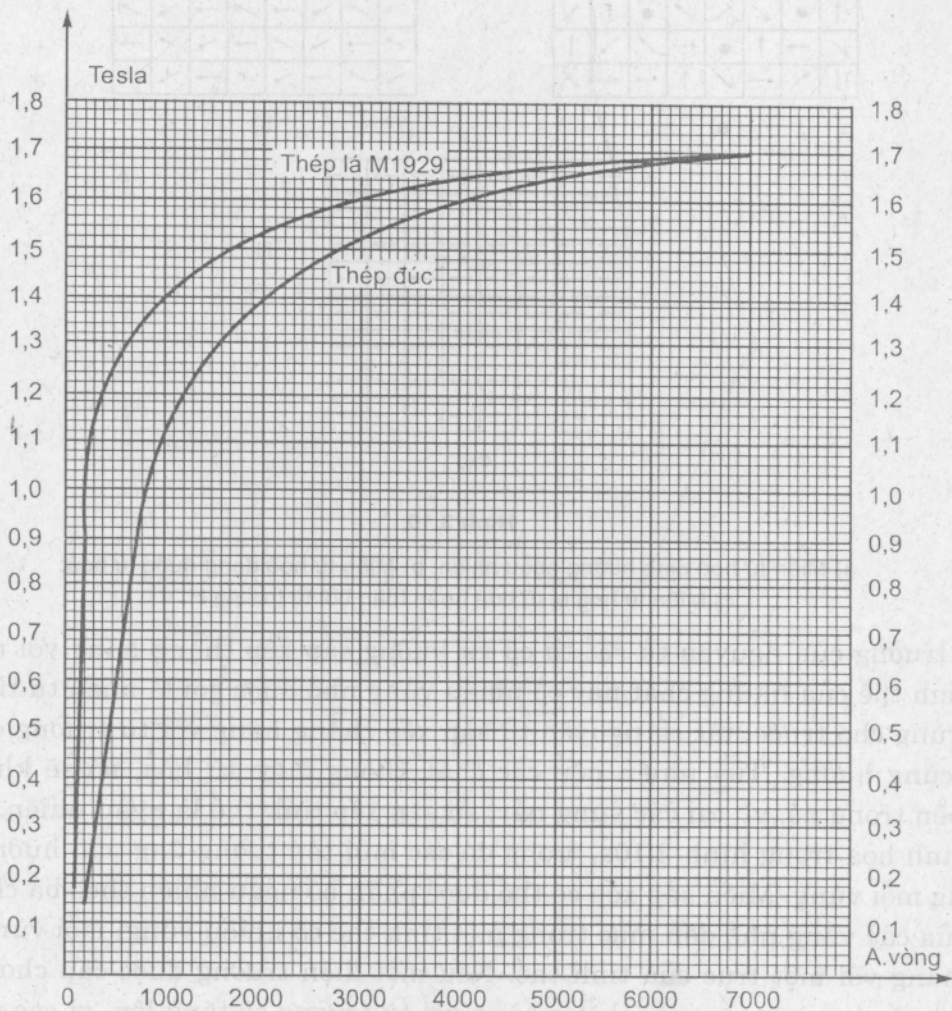
Từ trường của nguyên tử sắt từ có xu hướng sắp xếp thẳng hàng với nhau. Bên trong tinh thể của những chất này có nhiều vùng nhỏ được gọi là miền từ tính. Trong nhiều vùng cho trước, tất cả nguyên tử sắp xếp thẳng hàng với từ trường của chúng và chỉ cùng hướng. Tuy nhiên nếu các chất không được từ hóa, nó sẽ không có từ thông bên trong nó, vì tại các vùng này, sự sắp xếp tinh thể là ngẫu nhiên. Điều này được minh họa trong hình 3.10a, trong đó các mũi tên tương ứng chỉ hướng mômen từ trong mỗi vùng. Miền sắp xếp có thể được phân bố ngẫu nhiên theo ba chiều. Kích thước của các vùng nhỏ đến mức trong một tinh thể có nhiều vùng, mỗi vùng sắp xếp thẳng hàng với một trục của tinh thể. Nếu một điện trường được cấp cho một mẫu kim loại, số các vùng sắp xếp thẳng hàng với từ trường sẽ tăng lên, vì các nguyên tử riêng lẻ trong mỗi vùng sẽ thay đổi định hướng vật lý để sắp xếp chúng thẳng hàng

với trục từ trường bên ngoài. Điều này sẽ làm tăng từ thông trong lõi sắt cũng như độ lớn của từ trường, đó là nguyên nhân làm cho các nguyên tử thay đổi định hướng tăng lên như trong hình 3.10b. Hình 3.10c cho thấy tất cả các vùng sắp xếp thẳng hàng với từ trường và việc tăng độ lớn của từ trường không là nguyên nhân làm thay đổi định hướng. Do đó dẫn tới hiện tượng bão hòa. Nếu vật liệu trở nên bão hòa thì khi cường độ từ trường từ hoá tăng lên, mật độ từ trường sẽ thay đổi rất ít. Hình 3.11 biểu diễn dạng đường cong từ hóa một chiều tiêu biểu của một chất sắt từ, nó cho thấy tính chất của 3 vùng của đường cong: vùng tuyến tính, vùng chuyển tiếp và vùng bão hòa.



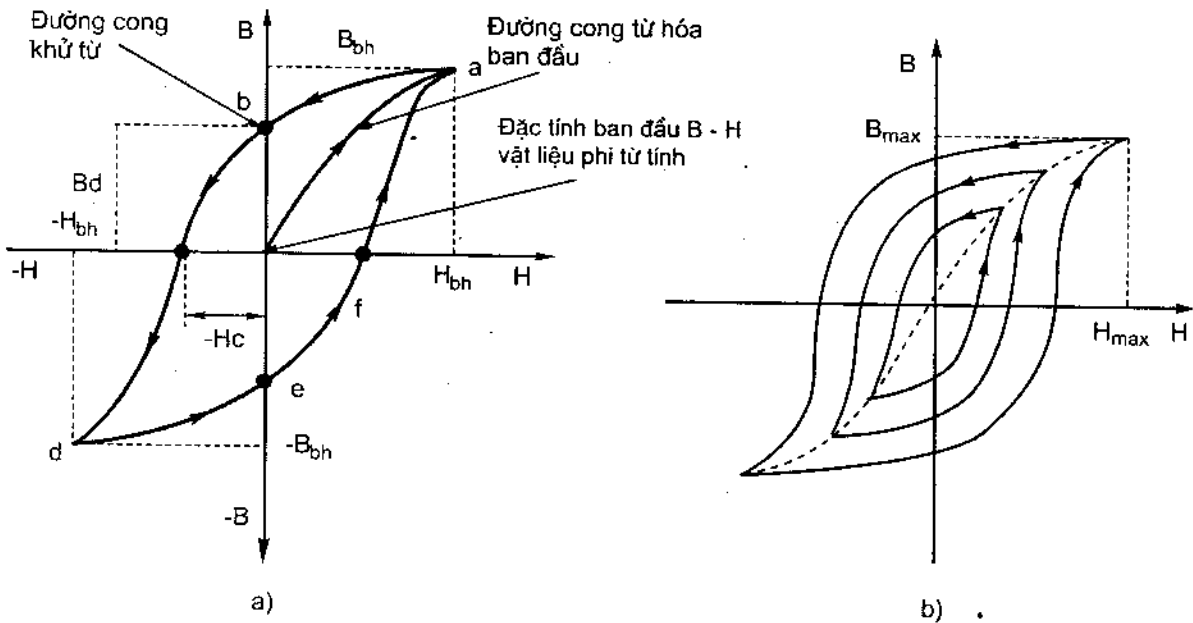
Hình 3.11. Đường cong từ hóa của vật liệu từ.

Hình 3.12 cho thấy đường cong từ hóa của hai chất sắt từ tiêu biểu được sử dụng trong sản xuất thiết bị điện.



Hình 3.12. Đường cong từ hóa của hai vật liệu sắt từ.

Xem xét mạch từ trong hình 3.6 và coi lõi từ ban đầu chưa được từ hóa. Thay vì cấp dòng điện một chiều thì ta cấp dòng điện xoay chiều cho cuộn dây. Vì lõi ban đầu chưa được từ hóa, từ thông trong lõi là bằng 0. Như trong hình 3.13a, nếu dòng điện trong lõi được tăng lên, từ thông trong lõi sẽ tăng.



Hình 3.13.

- a) Mất từ trễ của vật liệu sắt từ;
b) Họ mất từ trễ ứng với giá trị của từ trường cường bức khác nhau.

Vì vậy, cường độ từ trường H của nó sẽ tăng theo đường cong từ hóa ban đầu cho đến khi đạt tới bão hòa tại điểm bão hòa a , từ cảm đạt tới giá trị lớn nhất B_{bh} , và vật liệu hoàn toàn bị bão hòa. Giá trị tương ứng của cường độ từ trường là H_{bh} . Nếu bây giờ giảm dòng điện trong cuộn dây và do đó giảm sức từ động và (cường độ từ trường) H đường cong ban đầu sẽ không được vẽ lại. Một đường khác (dọc theo đường cong ab) sẽ được xác định và có một độ trễ trong sự thay đổi hoàn toàn của các vùng. (Chú ý là B không giảm nhanh như khi nó tăng), điều trái nghịch này được gọi là hiện tượng từ trễ, điều này có nghĩa là từ cảm B chậm sau cường độ từ trường H . Khi dòng điện trong cuộn dây bằng không, H là bằng không nhưng vẫn còn giá trị dư của mật độ từ trường B_{du} trong lõi, độ lớn của nó phụ thuộc vào từng vật liệu. B_{du} được gọi là mật độ từ dư và có tác dụng tạo ra nam châm vĩnh cửu. Để giảm mật độ từ thông B bằng không cần thiết phải có một cường độ từ trường cường bức H_c . Hơn nữa tăng H theo hướng ngược lại để từ hóa lõi từ với cực tính ngược lại. Điều này đạt được với dòng điện ngược chạy trong cuộn dây, việc tăng dòng điện ngược lại sẽ dẫn đến mức bão hòa tại điểm nào đó (điểm d), có thể cho rằng tất cả các vùng trong lõi từ được sắp xếp theo hướng ngược lại khi dòng điện hoặc cường độ từ trường giảm đến 0, mật độ từ thông trong lõi từ sẽ tương đương với từ dư của nó (tại điểm e). Làm lại, chiều

của dòng điện trong cuộn dây được đảo ngược để mật độ từ thông trong lõi là bằng 0, do đó nếu quá trình tiếp tục với cách này, mất từ trễ như trong hình 3.13a sẽ được tìm ra.

Hình 3.13b cho thấy giá trị cực đại của cường độ từ trường xoay chiều trong mỗi chu kỳ, có một mất tách biệt không thay đổi. Do đó đặc tính từ hóa hoàn toàn được cấu tạo từ họ các mất cho mỗi giá trị biên khác nhau của sự kích thích. Trong hình 3.13b đường cong nét đứt nối các đỉnh của các mất là đường cong từ hóa một chiều của vật liệu từ.

Hình dạng của mất trễ là một đặc trưng của từng loại vật liệu từ tính. Như đã được trình bày, vật liệu từ mềm có mật độ từ dư rất thấp và cường độ từ trường cường bức thấp. Do đó, vật liệu này (ví dụ tôn silic với thành phần silic 3 – 4%) được sử dụng trong sản xuất máy điện và máy biến áp. Trong các vật liệu như thế, sự từ hóa xảy ra nhanh mà không có nhiều sự cản trở. Do vậy mất từ trễ của chúng thường có dạng cao và hẹp, diện tích nhỏ. Tại tần số 50Hz hoặc 60Hz, mất từ trễ có dạng hẹp hơn ở tần số cao. Nói cách khác ở tần số cao hơn, mất từ trễ sẽ rộng hơn. Bởi vậy khi dòng điện là một chiều thì mất từ trễ trở thành đường cong từ hóa.

3.7. TỔN HAO LỖI TỪ

Khi một vật liệu từ tính chịu một từ thông biến thiên theo thời gian, sẽ có một dạng tổn hao trong chất đó gọi là tổn hao từ. Tổn hao từ còn được gọi là tổn hao sắt hay tổn hao lõi. Lỗi phản ứng động cơ máy điện một chiều và máy điện xoay chiều, máy biến áp và các cuộn kháng điện phải chịu tổn hao lõi. Tổn hao lõi thường được xác định bằng tổng tổn hao từ trễ và tổn hao dòng điện xoáy.

3.7.1. Tổn hao từ trễ

Nguyên nhân của tổn hao từ trễ là do sự đảo ngược liên tục sự sắp xếp của các vùng từ tính trong lõi. Nói ngắn gọn, đó là năng lượng cần thiết để tạo ra sự đảo ngược hay là tổn hao từ trễ. Diện tích của một mất từ trễ biểu thị năng lượng trong một chu kỳ của một đơn vị thể tích lõi. Theo Charles Steinmetz tổn hao từ trễ có thể được xác định theo kinh nghiệm từ công thức:

$$P_h = v.f.k_h.B_m^n \quad (W) \quad (3.44)$$

Trong đó:

v : thể tích của của chất sắt từ

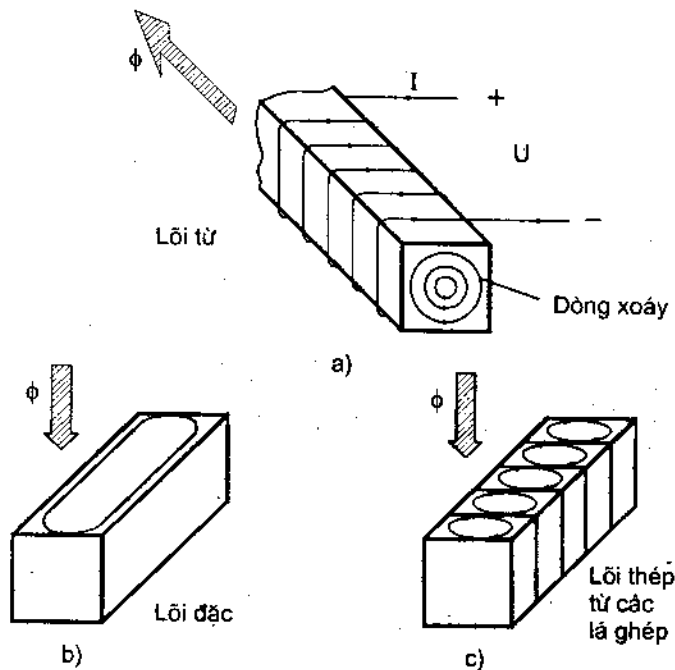
f : tần số

k_h : hệ số phụ thuộc vào vật liệu lõi.

B_m : mật độ từ thông cực đại.

n : số mũ Steinmetz, nó biến đổi từ 1,5 đến 2,5 phụ thuộc vào vật liệu từ (thường được lấy giá trị ước lượng 2,0 để tính toán).

3.7.2. Tổn hao dòng điện xoáy



Hình 3.14. Hình ảnh về dòng xoáy trong lõi từ

Bởi vì sắt là một chất dẫn điện, từ thông biến thiên gây ra các điện áp và dòng điện đối kháng được gọi là dòng điện xoáy, nó khép vòng bên trong lõi sắt như trong hình 3.14b. Trong lõi sắt đặc dòng xoáy không mong muốn này là tương đối lớn bởi vì chúng chịu từ trở rất nhỏ. Do đó chúng sinh ra tổn hao công suất gắn liền với hiệu ứng nhiệt và sự khử từ. Kết quả của sự khử từ là từ trường bên trong lõi trở nên phân bố không đồng đều, vì phần lớn từ thông bị đẩy ra ngoài bề mặt của lõi. Như hình 3.14a, dòng điện xoáy luôn có xu hướng vuông góc với từ thông và có chiều ngược với thay đổi của từ trường theo định luật Lenz. Nói cách khác dòng điện xoáy chiều được tạo ra có xu hướng thiết lập một từ trường ngược hướng với từ thông được sinh ra bởi nguồn. Tăng điện trở sẽ hạn chế được dòng điện xoáy vì thế tổn hao công suất có thể giảm tới nhỏ nhất. Lõi từ thường được chế tạo bằng cách xếp các lá thép cách điện, như trong hình 3.14c. Bề mặt của các lá thép cách điện này được mạ một lớp ôxit hoặc một lớp cách điện rất mỏng (thường là vecni cách điện hoặc giấy). Các lá thép cách điện càng mỏng thì tổn hao càng nhỏ, vì tổn hao của dòng điện xoáy tỷ lệ với bình phương chiều dày của các lá thép cách điện. Hơn nữa như đã nói trước đây, điện trở của các lá thép tăng lên khi thêm vào một lượng silic nhỏ.

Hình 3.15 cho thấy các kiểu dạng lá thép khác nhau được sử dụng, việc sử dụng lá thép cách điện làm lõi từ làm cho tiết diện hiệu dụng của lõi nhỏ hơn tiết diện tổng.

Trong tính toán thực tế, đưa vào hệ số ép chặt.

$$k_c = \text{tiết diện hiệu dụng} / \text{tiết diện tổng} \quad (3.45)$$

Khi chiều dày của các lá thép tăng lên, hệ số ép chặt sẽ tăng và xấp xỉ bằng 1. Ví dụ: khi chiều dày của lá thép tăng từ 0,0127mm đến 0,36 mm thì hệ số sử dụng (ở

60Hz) trong phạm vi từ 0,5 đến 0,95. Do vậy hệ số sử dụng xấp xỉ bằng 1 khi chiều dày của lá thép tăng lên. Theo Charles Steinmetz tổn hao dòng điện xoáy có thể xác định bằng kinh nghiệm theo công thức:

$$P_x = k_x \cdot v \cdot (f \cdot \nabla \cdot B_m)^2 \quad (W)$$

Trong đó:

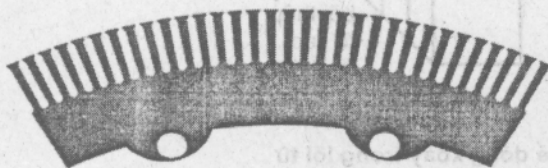
k_x : hằng số tương ứng phụ thuộc vào chất làm lõi.

∇ : chiều dày các lá tôn.

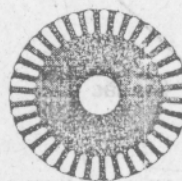
Sự xác định các biến số khác giống như phương trình 3.44.



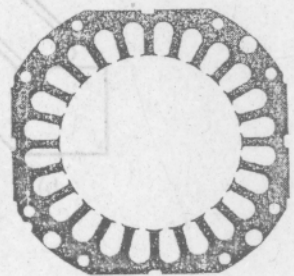
a) Lá tôn cho máy biến áp và cuộn kháng công suất nhỏ



b) Lá tôn séc măng Rôto máy điện không đồng bộ



c) Lá tôn động cơ không đồng bộ



Hình 3.15. Các kiểu dạng lá thép.

Ví dụ 3.4

Xem lõi từ trong hình 3.9a, cho rằng nó được làm theo kiểu hình vuông, tiết diện ngang đều với một lõi sắt mềm và một khe hở không khí. Tiết diện ngang của lõi vuông và của khe hở không khí là $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Chiều dài đường đi của từ thông xuyên qua lõi thép mạch từ là 0,4m và chiều dài khe hở không khí là 2mm. Nếu từ thông cần thiết là $2 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$, xác định sức từ động của cuộn dây cần thiết để sinh ra từ thông đó. Bỏ qua từ thông tản tại khe không khí.

Lời giải:

Vì bỏ qua từ thông tản của khe hở không khí, tiết diện ngang của lõi và khe hở không khí là giống nhau, do đó $S_m = S_g = S = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

Từ trở của khe hở không khí là:

$$R_g = \frac{\Phi}{\mu_0 S} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,4 \cdot 10^{-3}} = 1136821,0221 \text{ A.vòng / Wb}$$

Sức từ động cần thiết cho khe hở là:

$$F_g = \Phi R_g = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1136821,0221 = 2273,642 \text{ A.vòng}$$

Mật độ từ thông trong lõi sắt có thể xác định từ:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1,4 \cdot 10^{-3}} = 1,4281 \text{ T} = 1,4281 \text{ T}$$

Từ đường cong từ hóa của sắt từ mềm trong hình 3.12, cường độ từ trường được xác định tương ứng là:

$$H_C = 2300 \text{ A.vòng/m}$$

Sức từ động yêu cầu trong lõi để thắng được từ trở của lõi:

$$F_C = H_C l = 2300 \cdot 0,4 = 920 \text{ A.vòng}$$

Sức từ động tổng của cuộn dây:

$$F = F_C + F_\delta = 2273,642 + 920 = 3193,642 \text{ A.vòng}$$

Ví dụ 3.5

Làm lại ví dụ 3.4 coi rằng lõi thép được làm từ lá thép M-19 29. Dùng hệ số ép chặt 0,90 đối với lá tôn mỏng của lõi để xác định tiết diện thực. Trong khe hở không khí đặt cốt vuông góc với từ thông lớn hơn trong lõi. Để xác định từ thông tản chính xác trong khe hở không khí, tăng thêm chiều dài hai kích thước khe hở.

Lời giải:

Từ công thức (3.45), tiết diện thực tế của lõi

$$S_{\text{lõi}} = S_{\text{lõi}} k_C = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,90 = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Khi đó, từ cảm trong lõi là:

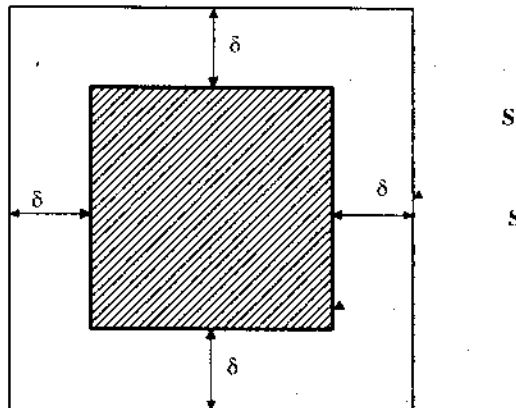
$$B = \frac{\Phi}{S_{\text{lõi}}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1,26 \cdot 10^{-3}} = 1,5873 \text{ Wb/m}^2$$

Từ đường cong từ hoá của thép M - 19 29 trong hình 3.12, cường độ từ trường cần tìm là:

$$H = 3300 \text{ A.vòng/m}$$

Vì vậy sức từ động yêu cầu để thắng được từ trở của mạch từ trong lõi là:

$$F_{\text{lõi}} = H l = 3300 \cdot 0,4 = 1320 \text{ A.vòng}$$



Hình 3.16.

Ở khe hở không khí, khi tiết diện tăng thì từ thông tản tăng theo. Mặt cắt mới được thay thế bằng cách tăng chiều dài mỗi kích thước của tiết diện như trong hình 3.16. Bởi vậy, theo công thức 3.43, tiết diện khe hở không khí mới:

$$S' = (a + 2\delta)(b + 2\delta)S' \quad (3.46)$$

Do $a = b$, ta có tiết diện vuông. Nên:

$$S' = (a + 2\delta)^2 \quad (3.47)$$

Với $a = \sqrt{S}$ (3.48)

Hay $S' = [\sqrt{S} + 2\delta]^2$ (3.49)

Cho nên $S' = \left[\sqrt{1,4 \cdot 10^{-3}} + 2 \cdot 0,002 \right]^2 = 1,7153 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Từ đó, từ trở của khe hở không khí được xác định như sau:

$$R_s = \frac{\delta}{\mu_0 S'} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-3} \cdot 1,7153 \cdot 10^{-7}} = 927837,2251 \text{ A.vòng/Wb}$$

Sức từ động yêu cầu để thắng được từ trở khe hở không khí:

$$F_s = \Phi R_s = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 927837,2251 = 1855,6745 \text{ A.vòng}$$

Sức từ động tổng của cuộn dây:

$$F = F_s + F_{li} = 1855,6745 + 1320 = 3175,6745 \text{ A.vòng}$$

Mặt khác, độ từ thẩm của lõi sắt được tính bằng:

$$\mu = \frac{B_{li}}{H} = \frac{1,5873}{3300} = 48 \cdot 10^{-5} \text{ H/m}$$

Từ trở của lõi mạch từ:

$$R_\mu = \frac{l}{\mu S'} = \frac{0,4}{48 \cdot 10^{-5} \cdot 1,26 \cdot 10^{-3}} = 660000 \text{ A.vòng/Wb}$$

Bởi vậy, từ trở tổng là:

$$R_l = R_\mu + R_s = 660000 + 927837,2251 = 1587837,2251 \text{ A.vòng/Wb}$$

Sức từ động tổng do cuộn dây sinh ra là:

$$F = R_l \Phi = 1587837,2251 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 3175,6745 \text{ A.vòng}$$

Ví dụ 3.6

Cho lõi sắt đặc như trong hình 3.17a. Chiều dày của lõi đặc là 5cm. Coi rằng hệ số từ thẩm của lõi là 1 và là hằng số, giá trị của dòng điện trong cuộn dây bằng 4A. Bỏ qua từ tản ở khe hở không khí, hãy xác định:

- Vẽ sơ đồ thay thế của mạch từ.
- Giá trị của các từ trở trong sơ đồ.
- Giá trị của từ trở tổng của lõi.
- Giá trị của từ thông tổng tồn tại trong lõi.

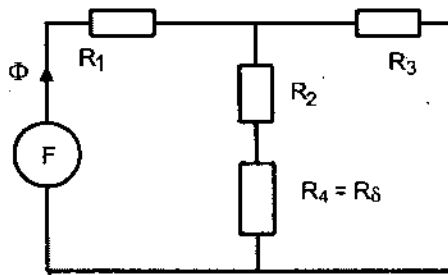
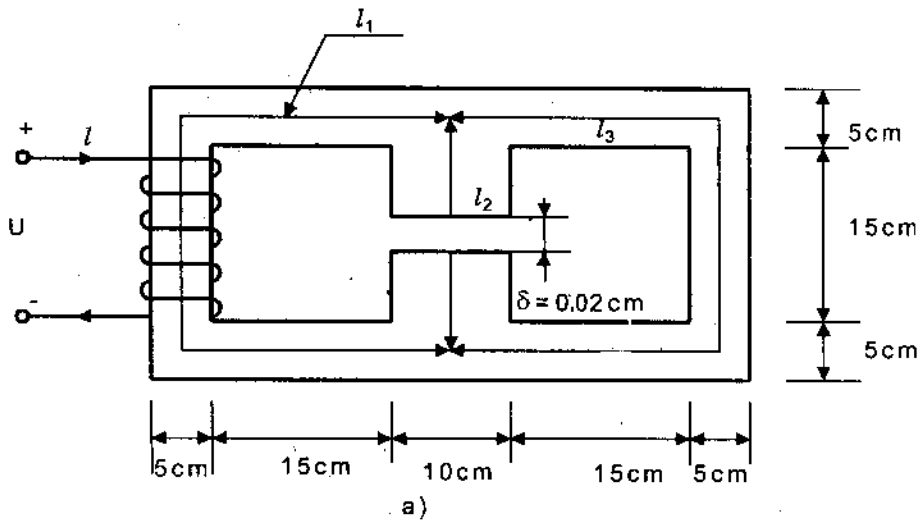
- e) Giá trị của các từ thông trong từng trụ.
 f) Giá trị của các mật độ từ thông trong các trụ.

Lời giải:

- a) Sơ đồ tương đương của mạch từ như hình 3.17b.
 b) Giá trị các từ trở:

$$R_1 = \frac{l_1}{\mu_r \mu_0 S_1} = \frac{2 \left[\left(\frac{0,05}{2} \right) + 0,15 + 0,05 \right] + 0,20}{1000(4\pi \cdot 10^{-7})(0,05 \cdot 0,05)}$$

$$R_1 = 206901,426 \text{ A.vòng/Wb}$$



Hình 3.17.

a) Mạch từ cho ví dụ 3.6; b) Sơ đồ tương đương.

$$R_2 = \frac{l_2}{\mu_r \mu_0 S_2} = \frac{0,02 - 0,0002}{1000(4\pi \cdot 10^{-7})(0,10 \cdot 0,05)}$$

$$R_2 = 31799,1576 \text{ A.vòng/Wb}$$

$$R_3 = R_1 = 206901,426 \text{ A.vòng/Wb}$$

$$R_4 = \frac{\delta}{\mu_0 S_4} = \frac{0,0002}{(4\pi \times 10^{-7})(0,10 \times 0,05)}$$

$$R_4 = 31830,9886 \text{ A.vòng/Wb}$$

c) Từ trở tương đương của mạch từ:

$$R_{td} = R_1 + \frac{R_3(R_2 + R_4)}{R_3 + R_2 + R_4} = 255565,4983 \text{ A.vòng/Wb}$$

d) Từ thông tổng: $\Phi = \frac{wI}{R_{td}} = \frac{100,4}{255565,4983} = 156,52 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$

e) Các từ thông: $\Phi_1 = \Phi = 156,52 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$

$$\Phi_2 = \Phi = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3 + R_4} \right) = 119,7 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$$

$$\Phi_3 = \Phi = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_4} \right) = 36,81 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$$

f) Các từ cảm: $B_1 = \frac{\Phi_1}{S_1} = \frac{156,52 \cdot 10^{-5}}{0,0025} = 0,6261 \text{ T}$

$$B_2 = \frac{\Phi_2}{S_2} = \frac{119,7 \cdot 10^{-5}}{0,005} = 0,2394 \text{ T}$$

$$B_3 = \frac{\Phi_3}{S_3} = \frac{36,81 \cdot 10^{-5}}{0,0025} = 0,1472 \text{ T}$$

Ví dụ 3.7

Hình 3.18a là mặt cắt mạch từ gồm bốn cực từ của máy điện một chiều. Trên mỗi cực có số vòng dây bằng nhau. Khi bốn cuộn dây được mắc nối tiếp, tất cả mang một dòng điện giống nhau. Cực từ của stato và rôto được làm bằng lá tôn silic, gông từ của stato được chế tạo từ thép đúc.

a) Vẽ sơ đồ thay thế của mạch từ.

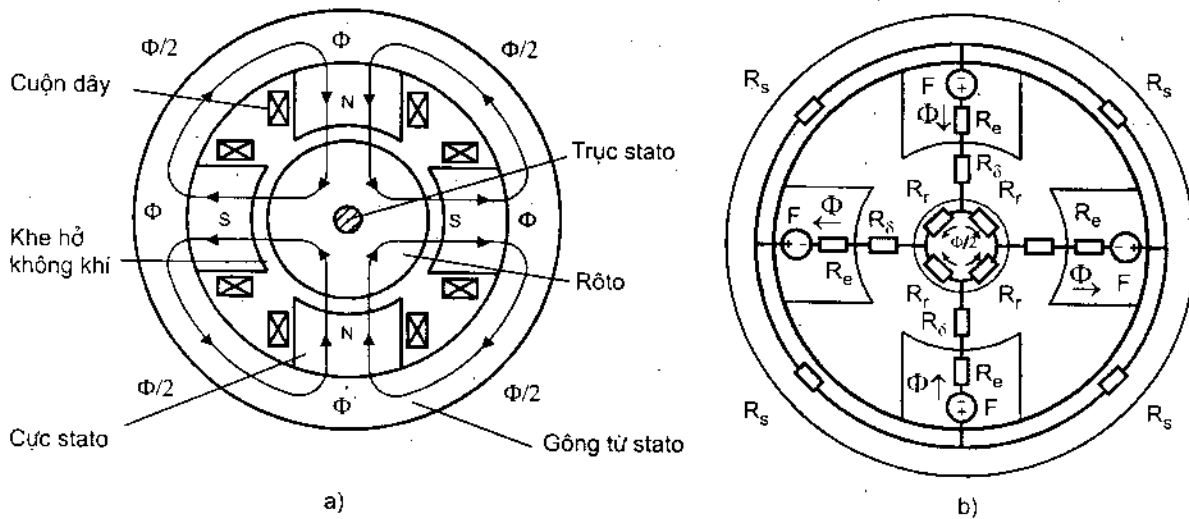
b) Tìm công thức liên hệ giữa sức từ động của mỗi cuộn dây.

Lời giải:

a) Sơ đồ thay thế tương đương của mạch từ máy điện một chiều được vẽ trong hình 3.18b. Các chỉ số r , s , c , δ tương ứng với rôto, gông stato, cực từ stato và khe hở không khí. Do cấu trúc mạch từ đối xứng, có sự tương tự giữa các góc phần tư. Bởi vậy, sức từ động sinh ra bởi mỗi cuộn dây $F = wI$ và tạo ra từ trường cần thiết trên mỗi cực từ. Nếu từ thông khe hở không khí đã biết, các từ cảm trong các vùng của máy điện có thể xác định được.

b) Trong hình 3.18a, từ thông cung cấp bởi mỗi cực từ là giống nhau trên các cực, trên mặt cực từ và vùng khe hở không khí. Bởi vì sức từ động rơi trên các nửa của

gông stato và rôto là bằng nhau. Sơ đồ thay thế tương đương của mạch từ máy điện một chiều có thể biểu diễn bằng tên của các từ trở trên hình 3.18b. Sức từ động trên mỗi cực được xác định bằng định luật Ampe cho các vòng kín trong hình 3.18b. Ta có:



Hình 3.18.

a) Cấu trúc mạch từ của máy điện một chiều 4 cực; b) Sơ đồ tương đương

$$2F = \Phi(2R_e + 2R_\delta) + \frac{\Phi}{2}(R_r + R_s) \quad (3.50)$$

$$F = \Phi \left[R_e + R_\delta + \frac{\Phi}{4}(R_r + R_s) \right] \quad (3.51)$$

Trong đó:

- R_e : từ trở cực từ stato.
- R_δ : từ trở khe hở không khí.
- R_r : từ trở rôto.
- R_s : từ trở gông stato.

Vì vậy, từ thông có thể xác định được và từ trở của mạch từ tính được khi biết các kích thước và độ từ thẩm.

3.8. CÁCH XÁC ĐỊNH TỪ THÔNG VỚI SỨC TỪ ĐỘNG CHO TRƯỚC

Trong các ví dụ trước, bài toán được giải khi cho trước mạch từ, tìm sức từ động cần thiết để sinh ra một từ thông cho trước. Tính phi tuyến của sắt từ làm cho bài toán cho trước sức từ động, tìm từ thông trong mạch từ trở nên khó khăn và phức tạp. Vấn đề này có thể được giải quyết theo các phương pháp sau:

- Phương pháp thử sai lệch hay phương pháp loại trừ.
- Phương pháp đồ thị.
- Phương pháp đường cong từ hóa.

3.8.1. Phương pháp loại trừ

Trong phương pháp này, một giá trị của Φ được chọn và tính ra sức từ động tương ứng. Nó được so sánh với giá trị wI cho trước, trên cơ sở đó một giá trị mới của Φ thích hợp được chọn và lại tính toán để tìm ra sức từ động mới tương ứng. Các bước trên lặp lại cho đến khi xác định được sức từ động bằng hoặc xấp xỉ giá trị wI cho trước.

3.8.2. Phương pháp đồ thị

Phương pháp này còn được gọi là phương pháp đường tải. Nghiên cứu mạch từ trong hình 3.9a. Cho mạch từ với chiều dài lõi l và chiều dài khe hở không khí δ , sức từ động có giá trị cho trước:

$$F = wI = H_1 l + H_\delta \delta \quad (3.52)$$

Từ đó:
$$H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0} \quad (3.53)$$

Thay 3.53 vào 3.52:

$$wI = H_1 l + \frac{B_\delta}{\mu_0} \delta \quad (3.54)$$

Biến đổi lại phương trình 3.54:

$$B_\delta = B_l = -w\mu_0 \frac{l}{\delta} H_l + \frac{wI\mu_0}{\delta} \quad (3.55)$$

Phương trình 3.55 biểu diễn một đường thẳng vì nó có dạng:

$$y = mx + c \quad (3.56)$$

Đường thẳng tìm được gọi là đường tải, và có thể vẽ trên cùng mặt phẳng của đường cong từ hóa của lõi. Độ dốc của đường thẳng có thể xác định:

$$m = -\mu_0 \frac{l}{\delta} \quad (3.57)$$

Chỗ giao nhau của đường tải và trục B có tung độ:

$$c = \frac{wI\mu_0}{\delta} \quad (3.58)$$

Với trục H , có hoành độ:

$$H_l = \frac{wl}{I} \quad (3.59)$$

Điểm giao nhau giữa đường tải và đường cong từ hóa cho ta giá trị của B . Do đó giá trị của từ thông được xác định:

$$\Phi = BS \quad (3.60)$$

Tóm lại, phương pháp đường tải dựa trên cơ sở hai bước:

Bước 1:

Cho rằng toàn bộ sức từ động tập trung ở khe hở không khí. Khi $H_l = 0$, Từ cảm B của khe hở được xác định:

$$B_\delta = \frac{wI\mu_0}{\delta} \quad (3.61)$$

Đó chính là giao của đường tải với trục tung B .

Bước 2:

Cho rằng toàn bộ sức từ động tập trung trên lõi, $B_s = 0$. Do vậy, cường độ từ trường của lõi có thể tính như sau:

$$H_l = \frac{wI}{l} \quad (3.62)$$

Dẫn đến H_l là giao điểm của đường tải với trục hoành H .

3.8.3. Phương pháp đường cong từ hóa

Ở phương pháp này, thay đổi giá trị của từ thông và xác định giá trị của sức từ động tương ứng. Giá trị của từ thông Φ theo sức từ động được vẽ trên đồ thị. Đường cong thu được gọi là đường cong từ hóa của thiết bị. Cuối cùng, bằng việc sử dụng đường cong từ hóa và giá trị dòng điện cho trước I , giá trị của từ thông Φ tương ứng với $F = wI$ được xác định.

Ví dụ 3.8

Tìm hiệu lõi từ trong hình 3.9a. Giả thiết nó được bằng hình trụ tiết diện vuông có khe hở không khí và lõi sắt mềm. Tiết diện mặt cắt ngang của lõi và khe hở không khí bằng nhau và bằng $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Chiều dài đường đi từ thông trong lõi thép mạch từ là 0,5m và chiều dài khe hở không khí là 3mm. Nếu số vòng cuộn dây là 500 vòng và dòng điện trong cuộn dây là 7A, hãy tìm từ cảm trong lõi. Bỏ qua từ thông tản ở khe hở không khí và sử dụng phương pháp loại trừ.

Lời giải:

Ta có trình tự giải bài toán theo các bước sau:

Bước 1: Giả sử từ cảm có một giá trị ban đầu. (Từ biểu thức $B = \frac{\Phi}{S}$)

Bước 2: Tìm H_l (từ đường cong $B = f(H)$) và H_s (Từ $H_s = \frac{B_s}{\mu_0}$).

Bước 3: Tìm F_l (từ $F_l = H_l l$), F_s (Từ $F_s = H_s \delta$ và F (Từ $F = F_l + F_s$))

Bước 4: Xác định I từ $I = F/w$.

Bước 5: Nếu dòng điện I tìm được là khác nhiều với dòng điện đã cho, hãy chọn một giá trị từ cảm mới xấp xỉ với giá trị trước. Tiếp tục quá trình này cho đến khi giá trị của dòng tính toán là sát nhất với giá trị dòng điện 7A với sai số chấp nhận được.

Chú ý rằng nếu tất cả sức từ động chỉ tập trung ở khe hở không khí, từ cảm thu được sẽ là:

$$B = \frac{wI\mu_0}{\delta} = 1,4661 \text{ T}$$

Tuy nhiên, vì trường hợp này chỉ là giả tưởng nên từ cảm thực sẽ nhỏ hơn giá trị này. Quá trình tính toán này được minh họa trong bảng 3.1. Giá trị của từ thông được tính từ biểu thức:

$$\Phi = B_l S_l = B_s S_s = BS = 1,2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 0,002 \text{ Wb}$$

Bảng 3.1 cho ví dụ 3.8.

BẢNG 3.1

B	H_l	H_δ	F_l	F_δ	F	I
1,3	1630	$1,0345 \cdot 10^{-6}$	815	3103,5	3918,5	7,84
1,2	1280	$6,9549 \cdot 10^{-6}$	640	2864,8	3504,8	7,0

Ví dụ 3.9

Sử dụng phương pháp đồ thị giải ví dụ 3.8.

Lời giải:

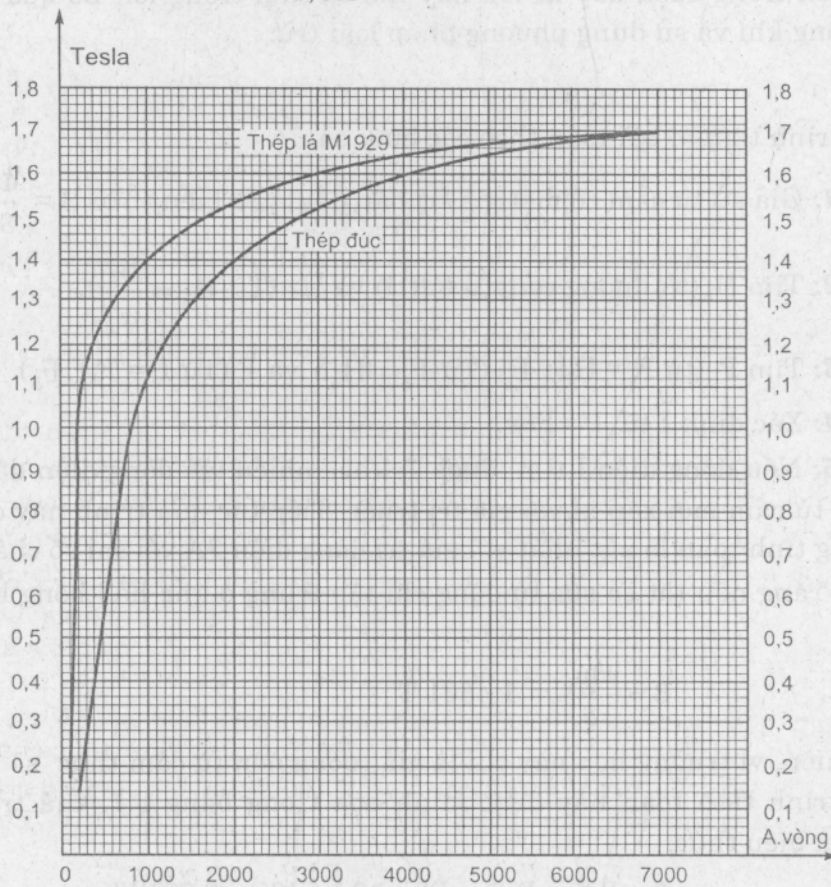
Điểm giao nhau của đường tải và trục B được xác định biểu thức (3.58) như sau:

$$c = \frac{wI\mu_0}{\delta} = \frac{500 \cdot 7,4\pi \cdot 10^{-7}}{0,003} = 1,4661T$$

Điểm giao nhau của đường tải với trục H là:

$$H_l = \frac{wI}{l} = \frac{500 \cdot 7}{0,5} = 7000A.vòng/m$$

$$\text{Độ dốc của nó là: } m = -\mu_0 \frac{1}{\delta} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{0,003} = -2,094 \cdot 10^{-4}$$



Hình 3.19. Đường cong từ hoá của hai vật liệu sắt từ

Như trong hình 3.19, điểm giao nhau của đường tải và đường cong từ hóa cho ta giá trị của mật độ từ thông trong khe hở không khí:

$$B_l = B_g = B = 1,2T$$

Do vậy giá trị của từ thông được xác định:

$$\Phi = B_l S_l = B_g S_g = BS = 1,2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 0,0018Wb$$

3.9. NAM CHÂM VĨNH CỬU

Nói chung, sau khi cắt dòng điện kích từ, tất cả các lõi từ đều sót lại một ít từ cảm được gọi là từ dư B_R . Để lõi từ trở lại trạng thái ban đầu, nó phải được khử từ bằng cách cấp một cường độ từ trường ngược hướng. Giá trị của cường độ từ trường để giảm mật độ từ dư về không được gọi là sức kháng từ. Vật liệu phù hợp cho nam châm vĩnh cửu được biết đến là các vật liệu từ cứng bởi vì chúng khó bị từ hóa, nhưng có mật độ từ dư cao và sức kháng từ lớn. Có nhiều loại vật liệu nam châm vĩnh cửu bao gồm:

- 1) Các chất từ bằng kim loại từ mềm, chẳng hạn như cunife;
- 2) Các chất từ bằng gốm, chẳng hạn như indox;
- 3) Các chất từ bằng kim loại cứng, chẳng hạn như alnico (dúc hoặc thiêu kết);
- 4) Các vật liệu từ bằng coban đất hiếm, chẳng hạn như samari – coban.

Nam châm vĩnh cửu được ứng dụng rộng rãi trong: loa phát thanh, máy phát điện nhỏ, các khớp ly hợp điện từ, thiết bị đo lường, đèn manhêton, các bộ điều khiển vô tuyến, các máy ghi hình và bộ lưu trữ thông tin trong máy tính.

Hình dạng của nam châm vĩnh cửu sẽ ảnh hưởng tới độ lớn từ trường được sinh ra. Thể tích của lõi từ cũng ảnh hưởng tới độ lớn từ thông sinh ra. Ví dụ, hình dạng thường gặp của các nam châm alnico là: thanh, thỏi, hình chữ U. Tuy nhiên, vì các chất này là khó gia công, hình dạng của chúng thường được làm đơn giản, các phần sắt mềm được thêm vào mạch từ trong các hình dạng phức tạp, như trong hình 3.20a.

Hình 3.20b cho thấy đường cong khử từ và đường cong năng lượng tương ứng (hay đường cong B&H) của nam châm vĩnh cửu, như mạch từ trong hình 3.20a. Bỏ qua từ trở của lõi sắt và áp dụng định luật Ampe:

$$H_l l + H_g \delta = 0 \quad (3.63)$$

Trong đó H_c là sức từ kháng từ bên trong lõi. Nếu bỏ qua từ thông tản tại khe hở không khí, mật độ từ thông trong lõi là giống trong khe hở không khí. Do đó:

$$B_l = B_g = B = -\mu_0 H_g = -\mu_0 H_c \frac{l}{\delta} \quad (3.64)$$

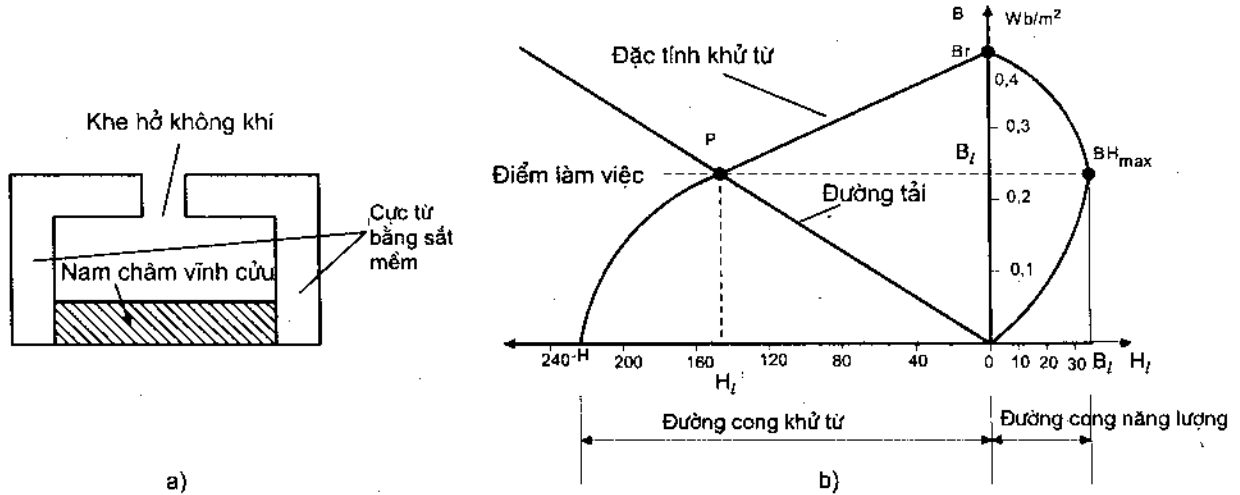
Đây là phương trình của một đường thẳng. Giao điểm của nó với đặc tính từ hóa cho ta điểm làm việc tối ưu P, như trong hình 3.20b. Nó xác định giá trị B_c và H_c của nam châm vĩnh cửu. Ở đây, có một khe hở không khí thêm vào trong mạch từ. Từ phương trình 3.63, sức kháng từ của nam châm có thể được biểu diễn như sau:

$$H_l = -H_g \frac{l}{\delta} \quad (3.65)$$

Nó cũng có thể được biểu diễn thông qua từ cảm B_c của nam châm:

$$H_l = \frac{B_c S_l \delta}{\mu_s S_\delta l} \quad (3.66)$$

Bởi vì từ thông tản là nhỏ không đáng kể, coi từ thông là không đổi trong toàn mạch từ. Do đó:



Hình 3.20.

$$\Phi = B_l S_l = B_\delta S_\delta \quad (3.67)$$

Hơn nữa, về cơ bản chấp nhận rằng tiết diện mặt cắt ngang của nam châm là đồng dạng, thể tích được xác định từ:

$$S_l l = S_\delta \left(-\delta \frac{H_\delta}{H_c} \right) = -S_\delta \delta \frac{H_\delta}{H_l} \quad (3.68)$$

Nếu bỏ qua từ tản và từ rò và chú ý rằng tích của B và H chính là biểu diễn mật độ năng lượng từ trường trong lõi. Bởi vậy, năng lượng từ trường trong lõi là:

$$W_l = \left(\frac{B_\delta^2}{\mu_0 B_c H_c} \right) W_\delta \quad (3.69)$$

Với W_δ là năng lượng từ trường trong khe hở không khí.

BÀI TẬP

3.1. Cho lõi hình xuyên như ở hình 3.5b với các bán kính trong và ngoài tương ứng là 6 và 7cm. Số vòng của cuộn dây là 250 vòng được quấn quanh lõi xuyên bằng thép đúc thì có một từ thông tổng là $35,1741 \cdot 10^{-4} Wb$ trong lõi. Nếu cường độ từ trường bằng 1000A.vòng/m, xác định:

- Chiều dài tính toán của mạch từ và tiết diện của lõi thẳng góc với từ trường.
- Từ cảm trong lõi.
- Sức từ động.
- Giá trị của dòng điện cần thiết chảy trong cuộn dây.

3.2. Sử dụng các kết quả bài 3.1 và xác định:

- Từ thông móc vòng trong cuộn dây.

- b) Điện cảm của cuộn dây bằng công thức (3.30).
- c) Điện cảm của cuộn dây bằng công thức (3.31).
- d) Từ dẫn của lõi thép.

3.3. Cho lõi mạch từ như ở hình 3.9a. Lõi hình trụ vuông, khe hở không khí cũng có tiết diện vuông giống lõi, lõi được đúc bằng thép mềm. Tiết diện của lõi và khe hở không khí bằng nhau và bằng $2 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$. Chiều dài tính toán mạch từ là 0,6 m, chiều dài khe hở không khí 3mm. Cần một từ thông là $2 \cdot 10^{-3} \text{Wb}$, xác định số vòng của cuộn dây cần thiết để sinh ra từ thông trên. Bỏ qua từ tản ở khe hở không khí.

3.4. Giải bài 3.3 với lõi mạch từ được làm từ các lá thép M-19 29. Sử dụng hệ số ép chặt lõi thép bằng 0,95 để tính tiết diện sử dụng của lõi. Tiết diện của khe hở không khí lớn hơn của mạch từ. Để tính chính xác từ thông tản của khe hở không khí, tăng chiều dài mỗi kích thước xác định tiết diện của khe hở.

3.5. Giải bài 3.4 nhưng bỏ qua từ trở của lõi sắt. Xác định giá trị của từ thông chảy trong mạch từ nếu sức từ động của cuộn dây là:

- a) 2000 A.vòng.
- b) 1000 A.vòng.

3.6. Cho mạch từ trong hình 3.6a với lõi mạch từ được đúc bằng thép có tiết diện 200cm^2 và chiều dài tính toán mạch từ 100cm. Nếu cuộn dây có 500 vòng, tính:

- a) Giá trị của dòng điện để có từ thông bằng 0,02 Wb trong lõi.
- b) Hệ số từ thẩm của lõi ứng với dòng đã tính được trong phần a.
- c) Từ trở của lõi.

3.7. Giải bài 3.6 khi từ thông trong lõi bằng 0,03 Wb.

3.8. Giải bài 3.6 khi tiết diện của lõi là 50m^2 . Cho giá trị của từ thông cần thiết là $55 \cdot 10^{-4} \text{Wb}$ và số vòng của cuộn dây là 200 vòng.

3.9. Giải bài 3.6 nhưng lõi mạch từ được làm bằng các lá thép M-19 29 có tiết diện thực 25cm^2 và chiều dài mạch từ 60cm. Cho giá trị của từ thông cần thiết là $39 \cdot 10^{-4} \text{Wb}$.

3.10. Giải bài 3.6 nhưng tiết diện của mạch từ 100cm^2 và chiều dài mạch từ 70cm. Giá trị của từ thông $125 \cdot 10^{-4} \text{Wb}$, cuộn dây có 800 vòng.

3.11. Giải bài 3.10 nhưng lõi mạch từ được làm bằng các lá thép M-19 29 thay vì đúc bằng sắt từ mềm. Tiết diện mạch từ 100m^2 .

3.12. Giải bài 3.10 với số vòng của cuộn dây là 200 vòng.

3.13. Giải bài 3.6 khi tiết diện của lõi là 150m^2 và chiều dài mạch từ 60cm. Cho giá trị của từ thông cần thiết là $25 \cdot 10^{-3} \text{Wb}$ và số vòng của cuộn dây là 500 vòng.

3.14. Giải bài 3.6 nhưng lõi mạch từ được ghép bằng các lá thép M-19 29 có tiết diện 150m^2 .

3.15. Giải bài 3.13 khi số vòng của cuộn dây 250 vòng.

3.16. Cho mạch từ như hình 3.9a. Lõi mạch từ được ghép từ các lá thép M-19 29 với hệ số ép chặt lõi thép bằng 0,90. Coi tiết diện khe hở không khí bằng tiết diện $0,02 \text{m}^2$ lõi. Bỏ qua từ tản của khe hở không khí. Chiều dài mạch từ và khe hở không khí tương ứng là 0,4m và 0,001m. Số vòng của cuộn dây 2000 vòng, xác định:

- a) Dòng điện cần thiết để có từ thông 0,03 Wb trong khe hở không khí khi bỏ qua từ trở lõi.
- b) Làm lại câu a nhưng có tính đến từ trở lõi.

3.17. Vẽ mạch từ hình 3.9a. Lõi được đúc bằng thép mềm có tiết diện giống khe hở không khí và bằng $1,5 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$, bỏ qua từ tản ở khe hở không khí. Chiều dài mạch từ và khe hở tương ứng 0,4m và 0,002m. Xác định sức từ động của cuộn dây khi từ thông có giá trị $2,5 \cdot 10^{-3} \text{Wb}$.

4.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Chúng ta đã biết, để đưa được điện năng từ các nhà máy phát điện đến nơi cần tiêu thụ điện (phụ tải) cần phải có đường dây dẫn điện. Nếu khoảng cách từ trạm phát tới phụ tải lớn thì một vấn đề được đặt ra là làm thế nào để việc truyền tải điện đi xa kinh tế nhất. Chúng ta cũng biết, với cùng một công suất truyền tải trên đường dây, nếu điện áp được tăng cao thì dòng điện sẽ giảm xuống, điều này đồng nghĩa với việc có thể giảm nhỏ tiết diện đường dây, giảm chi phí đầu tư đồng thời cũng làm giảm tổn hao trên đường dây truyền tải do hiệu ứng Jun. Với lợi thế này, người ta phải dùng điện áp cao khi truyền tải. Cấp điện áp thông thường là 35, 110, 220, 500kV. Thông thường, máy phát điện không có khả năng phát ra cấp điện áp cao như vậy, do đó phải có thiết bị để nâng điện áp lên cao. Mặt khác, các hệ tiêu thụ điện thường yêu cầu điện áp thấp (thường từ 0,4 – 6kV), do đó khi đến phụ tải cần có thiết bị giảm điện áp xuống cho phù hợp. Những thiết bị điện dùng để tăng điện áp từ máy phát trước khi đưa lên đường dây truyền tải và hạ thấp điện áp trước khi đưa tới phụ tải gọi là *Máy biến áp*.

Máy biến áp là máy điện tĩnh làm việc trên nguyên lý cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện xoay chiều từ cấp điện áp này sang cấp điện áp khác nhưng giữ nguyên tần số. Máy biến áp thường được sử dụng để thay đổi điện áp và dòng điện để đưa vào hệ thống điện, cách ly nguồn điện, sử dụng phối hợp trở kháng, hỗ trợ thiết bị đo lường, thử nghiệm và các công việc chuyên môn khác như hàn điện, lò hồ quang, chỉnh lưu một chiều v.v...

Máy biến áp điện lực được sử dụng rộng rãi trong hệ thống điện để truyền tải và phân phối năng lượng ở mức điện áp kinh tế nhất và cũng để tận dụng năng lượng một cách hiệu quả, tiện lợi và an toàn.

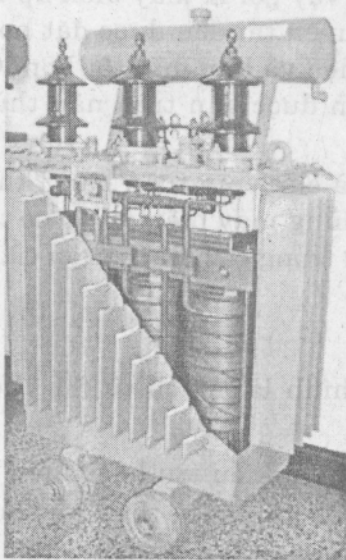
Máy biến áp cách ly dùng để cách ly giữa các mạch điện với nhau hoặc giữa các khối tín hiệu một chiều được duy trì từ tín hiệu xoay chiều liên tục với các mạch điện và để hạn chế nhiễu điện từ trong nhiều mạch điện. Máy biến áp cũng được sử dụng rộng rãi trong hệ thống vô tuyến điện với cấp tần số thay đổi từ tần số âm thanh tới tần số vô tuyến và tần số video. Chúng đóng vai trò phối hợp trở kháng cho hệ thống biến đổi năng lượng, được sử dụng như là đầu vào, đầu ra của bộ biến đổi, và cách ly giữa các phần của mạch điện tử. Máy biến áp cũng được sử dụng với phạm vi tần số rất rộng của mạch điện, từ tần số rất nhỏ (gần như một chiều) đến tần số hàng trăm MHz, bao gồm cả tín hiệu hình sin và tín hiệu không sin. Ví dụ như trong dải tần số năng lượng (từ 50Hz đến 400Hz), tần số âm thanh (20Hz tới 20000Hz), tần số siêu âm (20000 đến 100000Hz) và tần số vô tuyến điện (trên 300kHz).

Máy biến áp cũng được sử dụng trong thiết bị đo lường. Máy biến áp là thiết bị trung gian phối hợp để đo các giá trị điện áp cao và dòng điện lớn phù hợp với cấp đồng hồ tiêu chuẩn vôn-mét (100V), ampe-mét (5A) và watt-mét có dòng áp tiêu chuẩn. Biến đổi điện áp và dòng điện để kích hoạt role hoạt động điều khiển và bảo vệ. Máy biến điện áp là những máy biến áp 1 pha hoặc 3 pha sử dụng làm giảm điện áp tới giá trị an toàn để đo lường. Máy biến dòng điện được sử dụng để giảm dòng điện tới giá trị có thể đo được. Thứ cấp của cả hai loại máy biến áp và biến dòng đều được nối đất.

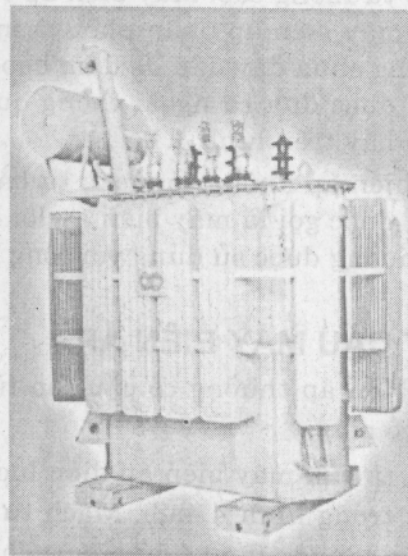
Máy biến áp thí nghiệm thường dùng để thí nghiệm độ bền điện hoặc chọc thủng cách điện ở điện áp cao. Loại máy này thường được sử dụng để kiểm tra độ bền cách điện trong các thiết bị điện sau khi chế tạo hoặc trước lúc đưa thiết bị vào vận hành với lưới.

Máy biến áp gồm có một cuộn dây sơ cấp và một cuộn dây thứ cấp được liên hệ với nhau thông qua từ trường cảm ứng. Máy biến áp có thể có lõi không khí, lõi sắt hoặc là lõi có thể biến đổi, phụ thuộc vào tần số hoạt động và ứng dụng của chúng. Máy biến áp cũng phong phú về kích thước và hình dáng phụ thuộc vào ứng dụng cụ thể. Trong hệ thống năng lượng, máy biến áp 1 pha hay 3 pha với dung lượng lên tới 2500kVA được gọi là máy biến áp phân phối. Những máy biến áp có dung lượng trên 500kVA và cấp điện áp vào khoảng $>35\text{kV}$ thì được gọi là máy biến điện áp truyền tải. Tuy nhiên cách gọi như vậy cũng chỉ mang tính chất tương đối.

Tuy có nhiều loại, song các hiện tượng vật lý, các quá trình xảy ra trong chúng đều giống nhau. Ở đây chỉ tập trung giới thiệu về Máy biến áp điện lực là loại máy có lõi thép. Đây là loại máy được sử dụng rộng rãi và đóng vai trò vô cùng quan trọng trong việc truyền tải và phân phối năng lượng trong hệ thống điện.



a)

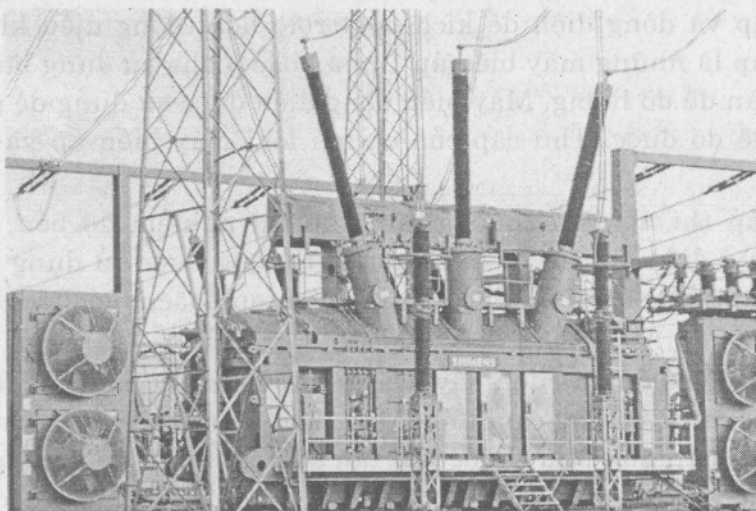


b)

Hình 4.1. Máy biến áp phân phối ba pha

a) Hình cắt; b) Hình dáng bên ngoài.

Hình 4.1 trình bày hình cắt của máy biến áp ba pha phân phối điện áp. Những máy biến áp này có 2 cấp điện áp cách ly với nhau và được quan tâm ở chế độ dưới tải nhiều hơn chế độ không tải.



Hình 4.2. Máy biến áp ba pha tự ngẫu 345/161kV công suất 214/285/357 MVA theo chế độ OA/FA/FOA của hãng SIEMENS

Hình 4.2 trình bày máy biến áp ba pha với các cấp điện áp là 345/161kV kiểu tự ngẫu. Công suất của máy là 214/285/357 MVA tùy thuộc vào chế độ hoạt động OA/FA/FOA. Các chế độ OA/FA/FOA nghĩa là máy biến áp ngâm trong dầu làm việc ở chế độ tự làm mát, làm mát bằng không khí cưỡng bức hoặc làm mát cưỡng bức bằng dầu.

Một máy biến áp về cơ bản được tạo thành từ 2 hoặc nhiều cặp dây quấn liên hệ với nhau bởi từ trường cảm ứng. Lõi sắt dùng để làm tăng sự liên hệ về từ tính và có mật độ từ thông cao. Máy biến áp có kết cấu như vậy gọi là máy biến áp lõi thép. Phần lớn máy biến áp phân phối và máy biến áp truyền tải đều được đặt hoàn toàn trong thùng chứa đầy dầu để đảm bảo cho sự cách điện và làm mát tốt hơn. Các đầu dây quấn được đưa ra ngoài thông qua sứ cách điện được gắn trên nắp thùng dầu như trình bày trên hình 4.1.

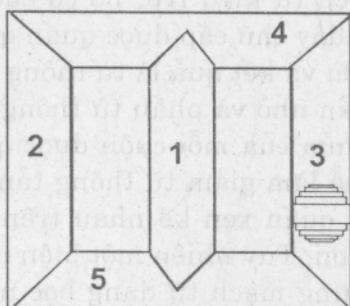
Máy biến áp không có mạch từ bằng lõi thép mà chỉ hoàn toàn bằng không khí thì chúng được gọi là máy biến áp lõi không khí. Những máy biến áp đó có từ thông kém và thường được sử dụng với công suất thấp như trong các mạch điện tử.

4.2. KẾT CẤU MÁY BIẾN ÁP

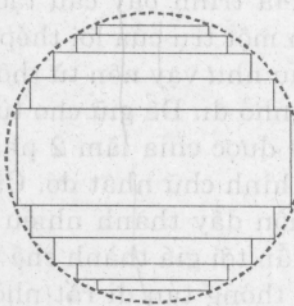
Máy biến áp thường có cấu tạo từ 3 bộ phận chính là: Mạch từ (lõi thép), dây quấn và vỏ máy.

Mạch từ của máy biến áp điện lực được chế tạo theo kiểu trụ hoặc kiểu bọc như trình bày trong hình 4.4a,b. Mạch từ được chế tạo từ những lá thép kỹ thuật điện mỏng ghép lại với nhau (tôn silic). Thép kỹ thuật điện là thép thường chứa 3% silic và 97% là thép và các nguyên tố vi lượng khác. Silic có tác dụng làm giảm tổn thất từ hóa đặc biệt là những tổn thất do hiện tượng từ trễ gây ra. Các lá thép kỹ thuật điện được sơn phủ cách điện trên mỗi mặt nhằm làm giảm tổn thất do dòng điện

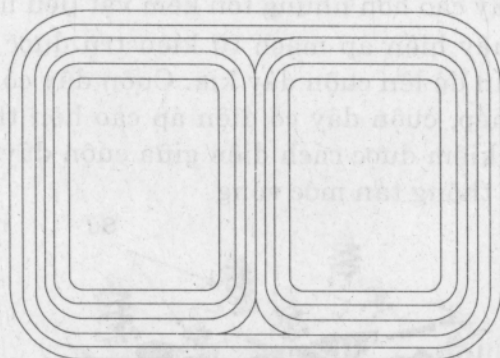
xoáy trong lõi thép. Hầu hết vật liệu làm mạch từ đều là thép cán lạnh và được tôi luyện để dẫn từ định hướng với mục đích làm tăng độ từ thẩm và giảm hiện tượng từ trễ làm dòng điện từ hóa nhỏ xuống. Những lá thép này được ép chặt và điền đầy trong lòng cuộn dây bởi vì có sự tồn tại của từ lực do từ thông móc vòng và các lực khác được tạo ra từ các cuộn dây mắc song song khi có dòng điện chạy qua. Nếu ép không chặt hoặc ép chặt không thích hợp có thể là nguyên nhân tạo ra những tiếng ồn nghe thấy được. Để tiết kiệm dây đồng và giảm tổn hao dây quấn thì mạch từ của các máy biến áp công suất lớn thường được chế tạo thành dạng bậc và cắt chéo góc mạch từ như hình 4.3a. Gần đây, để giảm tổn hao không tải gây nên do việc cắt và ghép các lá tôn, người ta đã chế tạo lõi thép dạng xuyên bằng cách quấn các dải tôn dài thành lõi thép của máy (hình 4.3c).



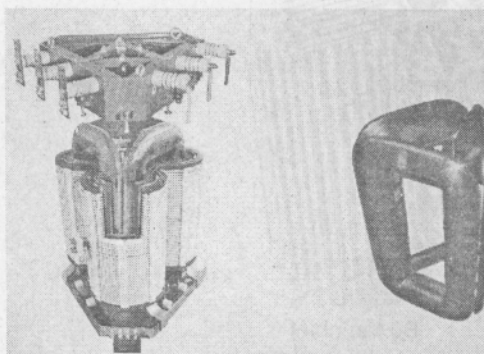
a) Mạch từ ghép bằng các lá tôn cắt chéo góc



b) Mặt cắt ngang của trụ và gông



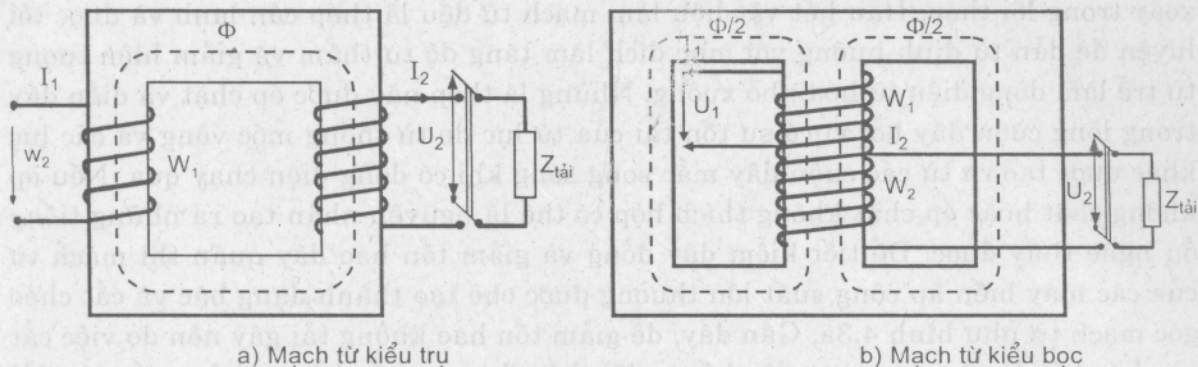
c) Mạch từ phẳng quấn tôn dạng xuyên



d) Mạch từ không gian và mạch từ phẳng quấn tôn dạng xuyên



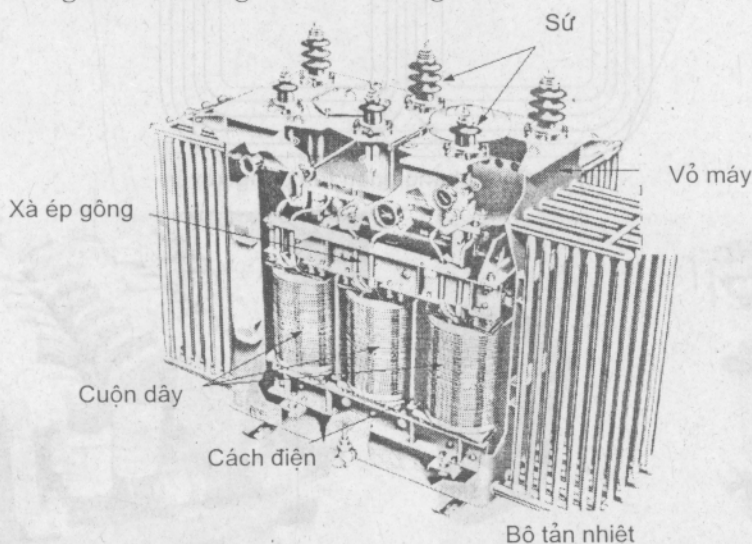
Hình 4.3. Mạch từ máy biến áp.



Hình 4.4. Mạch từ kiểu trụ và kiểu bọc.

Trên hình 4.4a trình bày cấu tạo của mạch từ kiểu trụ, nó có cuộn dây sơ cấp được quấn quanh một trụ của lõi thép và cuộn dây thứ cấp được quấn quanh trên trụ còn lại. Do kết cấu như vậy nên từ thông tản lớn và kết quả là từ thông móc vòng đưa tới cuộn thứ cấp nhỏ đi. Để giữ cho từ thông tản nhỏ và phần từ thông móc vòng lớn thì mỗi cuộn dây được chia làm 2 phần. Mỗi nửa của mỗi cuộn được quấn trên một trụ của mạch từ hình chữ nhật đó. Cũng có thể làm giảm từ thông tản tốt hơn bằng cách chia nhỏ cuộn dây thành nhiều phần và quấn xen kẽ nhau trên mỗi trụ. Tuy nhiên cách này dẫn tới giá thành chế tạo cao hơn. Tuy nhiên một biện pháp hữu hiệu để giảm được từ thông tản đi rất nhỏ là sử dụng mạch từ dạng bọc như hình 4.4b. Tuy nhiên cách này dẫn đến tỉ lệ giữa sắt và đồng cao hơn so với mạch từ kiểu trụ. Nó cũng cho hiệu suất máy cao hơn nhưng tốn kém vật liệu hơn.

Các cuộn dây của máy biến áp mạch từ kiểu trụ được quấn vòng xung quanh một trụ, cuộn dây nọ quấn đè lên cuộn dây kia. Cuộn dây có điện áp thấp được quấn trong cùng sát với trụ thép, cuộn dây có điện áp cao hơn thì được quấn bên ngoài. Thiết kế như vậy sẽ tiết kiệm được cách điện giữa cuộn dây điện áp cao với lõi thép và cũng giảm đáng kể từ thông tản móc vòng.



Hình 4.5. Kết cấu thông thường của máy biến áp dầu.

Phần lớn máy biến áp phân phối và máy biến áp truyền tải đều được đặt trong vỏ được chế tạo từ thép kết cấu. Vỏ còn làm chức năng như một bình chứa dầu và

máy biến áp hoàn toàn được ngâm trong dầu để đảm bảo cho sự cách điện và làm mát tốt hơn. Để tăng cường làm mát cho máy, ngoài vỏ người ta gắn các bộ tản nhiệt được thiết kế theo kiểu ống hoặc dạng gấp cánh sóng giúp cho dầu đối lưu và tăng cường điện tích tỏa nhiệt. Các đầu dây quấn được đưa ra ngoài thông qua sứ cách điện được gắn trên nắp thùng dầu như trình bày trên hình 4.5.

4.3. CÁC ĐỊNH LUẬT SỬ DỤNG NGHIÊN CỨU MÁY BIẾN ÁP

Định luật cảm ứng điện từ của FARADAY và của LENZ

Theo Faraday: Khi có một từ thông biến thiên truyền qua một khung dây của một cuộn dây thì có một sức điện động cảm ứng trên mỗi một vòng dây của cuộn dây đó. Sức điện động cảm ứng này tỉ lệ với sự thay đổi của từ thông theo thời gian.

Do đó, sức điện động cảm ứng này có thể được xác định theo công thức:

$$e = \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.1)$$

Trong đó: Φ là từ thông qua một vòng dây.

Nếu cuộn dây có w vòng dây như hình 4.6a, và từ thông như trên cắt tất cả các vòng dây, thì kết quả S_{dd} cảm ứng giữa hai đầu cuộn dây là:

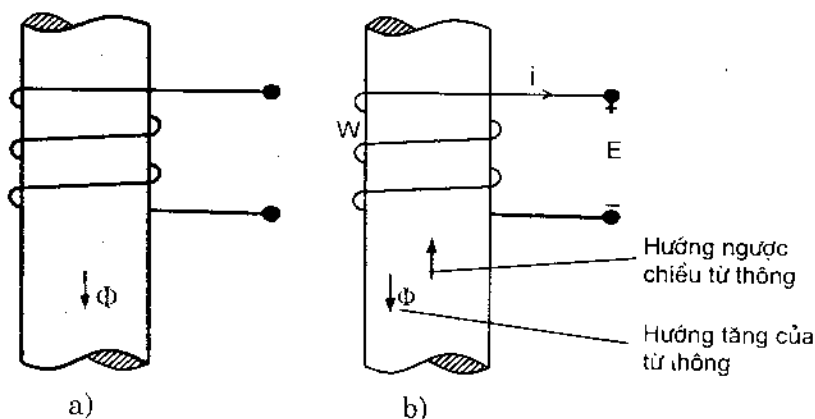
$$e = w \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.2)$$

Tuy nhiên theo Lenz: nếu cuộn dây được nối kín, thì sức điện động cảm ứng đó sẽ sinh ra dòng điện mà dòng điện này lại sinh ra một từ thông biến thiên đối nghịch với từ thông sinh ra nó. Do đó, một điện áp được sinh ra trong cuộn dây phải có phương hướng thích hợp với nó, như trình bày trên hình 4.6b. Bởi vậy công thức (4.1) và (4.2) có thể biểu diễn:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.3)$$

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.4)$$

dấu (-) trong hai công thức trên chỉ ra rằng cực tính của S_{dd} cảm ứng có chiều chống lại từ thông sinh ra nó.



Hình 4.6. Minh họa định luật Lenz.

Cách khác, biên độ của S_{dd} cảm ứng có thể được xác định bằng cách sử dụng từ thông móc vòng Ψ .

$$e = \frac{d\Psi}{dt} \quad (4.5)$$

Trong đó: $\Psi = \sum_{i=1}^w \Phi_i = Li \quad (4.6)$

Mặt khác, sức điện động cảm ứng tỷ lệ với sự thay đổi của từ thông móc vòng. Vì vậy nếu đặt một điện áp hình sin vào cuộn dây nó sẽ tạo ra từ thông dạng hình sin biến đổi và ngược lại. Như vậy, nếu có một từ thông là hàm của thời gian theo công thức:

$$\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t \quad (4.7)$$

Trong đó: Φ_m là giá trị lớn nhất của từ thông (biên độ của từ thông).

$$\omega = 2\pi f, \text{ với } f \text{ là tần số đơn vị là Hz}$$

khi đó sức điện động cảm ứng là

$$e(t) = w \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(Li)}{dt} = \omega w \Phi_m \cos \omega t \quad (4.8)$$

Chú ý rằng sức điện động cảm ứng vượt trước so với từ thông một góc 90° . Biên độ hiệu dụng của sức điện động cảm ứng là:

$$E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot fw \Phi_m = 4,44 \cdot fw \Phi_m \quad (4.9)$$

Nếu điện trở trên các cuộn dây coi như không đáng kể, thì sức điện động cảm ứng có thể coi như bằng điện áp, do đó ta có:

$$U \approx E = 4,44 fw \Phi_m \quad (4.10)$$

Từ đó suy ra: $\Phi_m = \frac{U}{4,44 fw} \quad (4.11)$

Trong đó: U là biên độ hiệu dụng của điện áp. Công thức (4.11) gọi là phương trình cơ bản của máy biến áp. Từ thông chỉ được xác định bằng điện áp, tần số của điện áp và số vòng dây của cuộn dây. Dòng điện từ hoá sẽ tự điều chỉnh để sinh ra từ thông lớn nhất cần thiết. Do đó, nếu có mật độ từ thông lớn nhất tồn tại trong lõi thép bão hòa thì dòng điện sẽ tăng không đều trong suốt nửa chu kỳ để cung cấp mật độ từ thông này. Đó là nguyên nhân dẫn tới những cuộn dây với lõi là vật liệu từ có dòng từ hoá không sin.

Nếu lõi thép không bão hòa và điện trở của dây quấn coi như không đáng kể thì giá trị lớn nhất của dòng điện từ hóa có thể tính như sau:

$$I_m = \frac{w \Phi_m}{L} = \frac{w}{L} \cdot \frac{U}{4,44 fw} = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{L \cdot \omega} \quad (4.12)$$

Trong biểu thức dạng phức, dòng điện từ hóa sinh ra từ thông móc vòng là:

$$I_m = \frac{U}{j\omega L} = \frac{U}{jX_m} \quad (4.13)$$

Trong đó: X_m là điện kháng của cuộn dây.

4.4. MÁY BIẾN ÁP LÝ TƯỞNG

Ta xem xét một máy biến áp với hai cuộn dây, cuộn dây sơ cấp có w_1 vòng dây và cuộn thứ cấp có w_2 vòng dây như trình bày trên hình 4.7a. Lõi thép được làm bằng vật liệu từ tính. Máy biến áp như vậy có thể coi là máy biến áp lý tưởng với một số đặc điểm sau:

- Điện trở cuộn dây không đáng kể.
- Hầu hết từ thông tập trung trong lõi mạch từ và móc vòng với cả hai cuộn dây, từ thông tản coi như không có.
- Tổn thất lõi thép không đáng kể.
- Độ từ thẩm của vật liệu lõi thép lớn, do đó cần một sức từ động không đáng kể để thiết lập một từ thông trong lõi thép. Nói cách khác, dòng điện từ hoá để tạo từ thông trong lõi thép là không đáng kể.
- Mạch từ không bão hòa.

Nếu cuộn dây sơ cấp nối với nguồn điện có điện áp thay đổi theo thời gian u_1 , từ thông Φ cũng biến đổi theo thời gian, và từ thông móc vòng Ψ_1 của w_1 vòng dây sơ cấp được thiết lập trong lõi thép. Nếu u_1 biến đổi theo thời gian, thì i_1 , Φ và Ψ_1 cũng biến thiên theo thời gian. Trên cuộn w_1 sẽ có một sức điện động cảm ứng e_1 . Do đó:

$$u_1 = e_1 = \frac{d\Psi_1}{dt} = w_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.14)$$

Bởi vì không có từ thông tản, nên toàn bộ từ thông Φ sẽ hoàn toàn móc vòng với w_2 vòng dây của cuộn dây thứ cấp. Do điện trở của cuộn dây thứ cấp sắp xỉ bằng 0 trong máy biến áp lý tưởng, nó cảm ứng một điện áp là e_2 tương tự như là điện áp giữa hai cực của cuộn dây u_2 do vậy:

$$u_2 = e_2 = \frac{d\Psi_2}{dt} = w_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.15)$$

Từ công thức (4.14) và (4.15).

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2} = k \quad (4.16)$$

Mặt khác ta cũng có thể viết theo giá trị biên độ là:

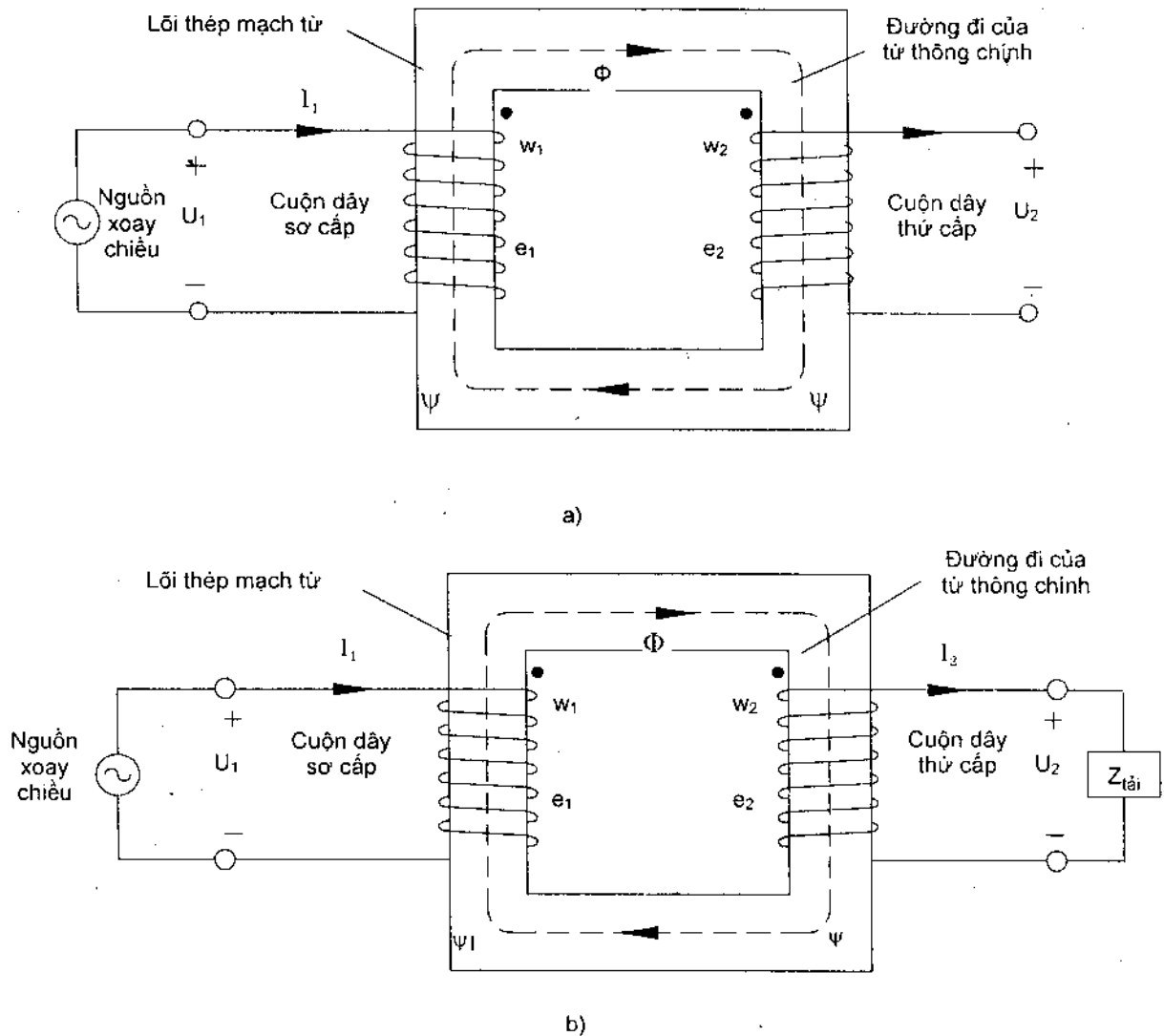
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = k \quad (4.17)$$

Trong biểu thức trên k gọi là hệ số biến áp. Tỷ lệ điện áp sơ và thứ cấp cân bằng với tỷ số vòng dây. Từ công thức (4.17):

$$U_1 = \frac{w_1}{w_2} U_2 = k \cdot U_2 \quad (4.18)$$

Giả thiết ta nối một tải với trở kháng Z_L vào cuộn dây thứ cấp như hình 4.7b thì trong mạch thứ cấp sẽ xuất hiện dòng điện tải hay dòng thứ cấp. Do mạch từ của máy biến áp lý tưởng có độ từ thẩm rất lớn nên sức từ động sẽ luôn luôn bằng không.

$$F = w_1 i_1 - w_2 i_2 = \Phi \cdot R = 0 \quad (4.19)$$



Hình 4.7. Máy biến áp lý tưởng.

a) Trường hợp không tải, b) Trường hợp có tải.

Trong đó, R là từ trở của lõi mạch từ. Từ trở mạch từ của các máy biến áp hiện đại thường rất nhỏ (hầu hết bằng 0) khi mạch từ chưa bão hòa.

$$w_1 \cdot i_1 - w_2 \cdot i_2 = 0 \quad (4.20)$$

hay $w_1 \cdot i_1 = w_2 \cdot i_2 \quad (4.21)$

Từ đó nhận thấy sức từ động của cuộn dây sơ cấp và thứ cấp bằng nhau và ngược chiều nhau. Từ công thức (4.21) ta có:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{k} \quad (4.22)$$

Cách khác có thể viết theo giá trị biên độ:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{k} \quad (4.23)$$

Từ đó ta thấy dòng điện trong cuộn dây tỷ lệ với nghịch đảo của số vòng trong cuộn dây đó. Từ phương trình (4.23) suy ra:

$$I_1 = \frac{w_2}{w_1} \cdot I_2 = \frac{I_2}{k} \quad (4.24)$$

Từ công thức (4.16) và (4.22) ta được:

$$u_1 i_1 = u_2 \cdot i_2 \quad (4.25)$$

$$U_1 \cdot I_1 = \left(\frac{w_1}{w_2} U_2 \right) \left(\frac{w_2}{w_1} I_2 \right) = U_2 \cdot I_2 \quad (4.26)$$

Từ đó ta thấy rằng đối với máy biến áp lý tưởng thì công suất đầu vào cân bằng với công suất đầu ra. Hay nói cách khác là công suất biểu kiến là như nhau trên cả 2 cuộn dây. Đây cũng là nguyên tắc bảo toàn công suất. Mặt khác, công suất phức của nguồn đưa và cuộn dây sơ cấp cân bằng với công suất phức đưa ra từ cuộn dây thứ cấp tới tải, do đó:

$$U_1 I_1^* = U_2 \cdot I_2^* \quad (4.27)$$

Trong trường hợp số vòng dây cuộn dây sơ cấp bằng số vòng dây cuộn dây thứ cấp, máy biến áp đó thường được gọi là máy **biến áp cách ly**.

Trong máy biến áp, nếu số vòng dây của cuộn dây thứ cấp lớn hơn số vòng dây của cuộn dây sơ cấp thì máy biến áp đó gọi là **máy tăng áp**. Và ngược lại máy biến áp có số vòng dây của cuộn dây sơ cấp nhiều hơn số vòng dây của cuộn dây thứ cấp thì máy biến áp đó được gọi là **máy giảm áp**.

Ví dụ 4.1:

Xác định số vòng dây của cuộn dây sơ cấp và cuộn dây thứ cấp của máy biến áp lý tưởng 50Hz, 220/110V, nếu từ thông trong lõi mạch từ của nó là 5mWb.

Lời giải:

Theo công thức (4.10) số vòng dây của cuộn dây sơ cấp là:

$$w_1 = \frac{U_1}{4,44f\Phi_m} = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot (5 \cdot 10^{-3} \text{Wb})} = 198 \text{ (vòng)}$$

Và số vòng dây của cuộn dây thứ cấp là:

$$w_2 = \frac{U_2}{4,44f\Phi_m} = \frac{110}{4,44 \cdot 50 \cdot (5 \cdot 10^{-3} \text{Wb})} = 99 \text{ (vòng)}$$

hoặc đơn giản hơn có thể tính theo công thức:

$$w_2 = \frac{w_1}{k} = \frac{198}{2} = 99 \text{ (vòng)}$$

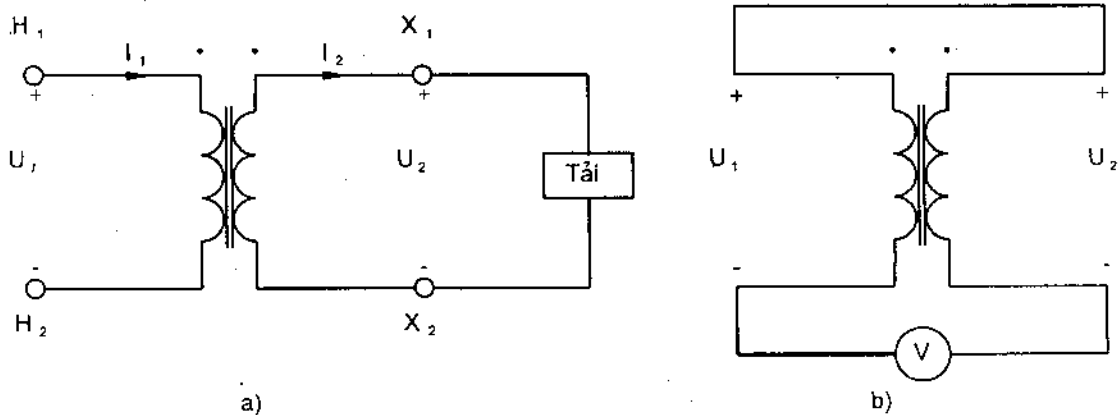
4.4.1. Quy ước cực tính trong máy biến áp

Điện áp sơ cấp và điện áp thứ cấp trình bày trong hình 4.7a có cực tính giống nhau. Dấu chấm gần đầu trên của mỗi cuộn dây để đánh dấu cực tính của các cuộn dây tính theo chiều quấn.

Trên hình 4.8a trình bày cuộn dây máy biến áp một pha, cực tính của cuộn dây điện áp cao ký hiệu là H_1 , H_2 còn của cuộn dây điện áp thấp ký hiệu là X_1 , X_2 . Cực tính được ký hiệu trong mạch biến đổi này tương đương với điểm cực trong ký hiệu phân cực tính. Trong một máy biến áp H_1 và X_1 là các cực tính liền kề nhau như trong hình 4.8a máy biến áp này được gọi là máy biến áp có cực tính âm. Nếu cực H_1 và X_1 đối nhau theo đường chéo thì máy biến áp đó được gọi là máy biến áp có cực tính dương.

Việc ký hiệu cả hai cực tính biến đổi cũng như tiêu chuẩn ký hiệu cực tính là không cần thiết, nghĩa là không cần thiết phải ký hiệu hai cực tính của cùng một cuộn dây mà chỉ cần ký hiệu một cực tính là đủ.

Cực tính của máy biến áp có thể xác định bằng cách kiểm tra đơn giản đó là nối hai cực tính dương của cuộn dây điện áp cao với cuộn dây điện áp thấp như trình bày trong hình 4.8b. Sau đó đo điện áp giữa hai cực cao áp và hạ áp, hai đầu còn lại của hai cuộn dây không được nối với nhau. Nếu cực tính là ngược nhau thì điện áp đo được sẽ nhỏ hơn điện áp của cuộn dây cao áp. Nếu cực tính cùng nhau thì điện áp đo được sẽ lớn hơn điện áp của cuộn dây cao áp (U_1).



Hình 4.8. Ký hiệu cực tính của máy biến áp

- a) Ký hiệu cực tính của máy biến áp một pha hai cuộn dây;
b) Cách kiểm tra cực tính của cuộn dây.

4.4.2. Trở kháng của máy biến áp

Xét hình 4.9a minh họa máy biến áp lý tưởng với tải có tổng trở Z_L nối với cuộn dây thứ cấp của máy biến áp. Coi rằng các giá trị phức đều tập trung trong một

pha, do đó trở kháng Z_L có thể được định nghĩa là tỷ số của đại lượng điện áp dạng phức và dòng điện dạng phức qua nó, tức là:

$$Z_L = \frac{U_2}{I_2} \quad (4.28)$$

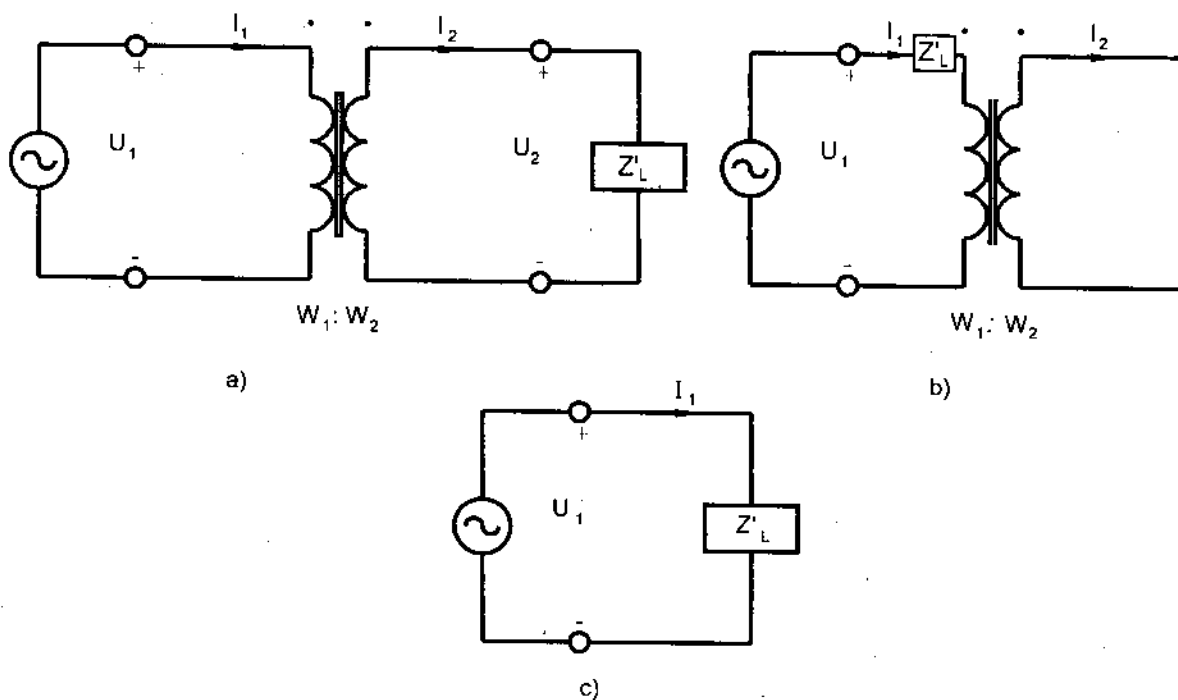
Ở đây, không chỉ có điện áp pha U_1 và U_2 mà còn có dòng điện pha I_1 và I_2 . Như trên hình 4.9b trở kháng của mạch điện sơ cấp của máy biến áp là:

$$Z'_L = \frac{U_1}{I_1} \quad (4.29)$$

Trong đó điện áp và dòng điện bên sơ cấp sẽ là:

$$U_1 = k \cdot U_2 \quad (4.18)$$

$$I_1 = \frac{I_2}{k} \quad (4.24)$$



Hình 4.9. Trở kháng biến đổi qua máy biến áp lý tưởng.

Thay thế công thức (4.18) và (4.24) vào công thức (4.29) ta có được trở kháng sơ cấp là:

$$Z'_L = \frac{U_1}{I_1} = \frac{k \cdot U_2}{\frac{I_2}{k}} = k^2 \cdot \frac{U_2}{I_2} \quad (4.30)$$

$$Z'_L = k^2 \cdot Z_L = \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^2 Z_L \quad (4.31)$$

Kết quả ta được mạch điện tương đương như hình 4.9c. Chú ý rằng, k^2 là tỷ số

trở kháng của máy biến áp. Do đó, khi nối với nguồn điện 3 pha thì hiện tượng cũng tương tự như trên hình 4.9. Trở kháng Z'_L là kết quả quy đổi của trở kháng tải Z_L qua máy biến áp. Sự biến đổi trở kháng từ cuộn dây này sang cuộn dây kia của máy biến áp trong cách nối trên được gọi là quy đổi trở kháng. Do đó, Z'_L được hiểu là tải trở kháng của cuộn dây sơ cấp. Sử dụng công thức (4.18) và (4.24) điện áp và dòng điện cũng có thể quy đổi từ cuộn dây này sang cuộn dây kia.

Tương tự, một trở kháng của cuộn dây sơ cấp của máy biến áp cũng có thể quy đổi sang cuộn dây thứ cấp là:

$$Z'_1 = \frac{Z_1}{k^2} = \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^2 Z_1 \quad (4.32)$$

Cách quy đổi trở kháng là rất tiện lợi trong tính toán, từ đó có thể thay thế tương đương mạch kép thành mạch đơn và vì thế nó đơn giản hóa mạch điện. Hơn nữa, nó cũng có thể sử dụng để tìm ra giá trị lớn nhất của công suất máy biến áp từ nguồn với trở kháng bên trong Z_s tới trở kháng tải Z_L . Ở đây cần thiết phải biết tỉ số vòng dây:

$$Z'_L = \left(\frac{w_1}{w_2} \right)^2 Z_L = k^2 \cdot Z_L = Z_s \quad (4.33)$$

Công suất chuyển đổi lớn nhất khi Z_L có dạng:

$$Z'_L = \left(\frac{w_1}{w_2} \right)^2 Z_L = k^2 \cdot Z_L = Z_s^* \quad (4.34)$$

Ở đây Z_s^* là biểu thức liên hợp của Z_s .

4.4.3. Quan hệ giữa công suất đầu vào và ra của máy biến áp lý tưởng

Công suất đầu vào cung cấp vào máy biến áp bằng mạch điện sơ cấp.

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad (4.35)$$

Trong đó, φ_1 là góc lệch pha giữa điện áp sơ cấp và dòng điện sơ cấp.

Công suất đầu ra của máy biến áp đưa qua cuộn dây thứ cấp tới tải là:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad (4.36)$$

Trong đó, φ_2 là góc lệch pha giữa điện áp thứ cấp với dòng điện thứ cấp. Đối với máy biến áp lý tưởng thì có: $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$

Vì vậy, hệ số công suất của hai cuộn dây sơ cấp và cuộn dây thứ cấp bằng nhau. Từ công thức $U_2 = U_1/k$ và $I_2 = k \cdot I_1$, thay thế vào công thức (4.36).

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi = \left(\frac{U_1}{k} \right) (k \cdot I_1) \cdot \cos \varphi$$

$$\text{Hay} \quad P_2 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi = P_1 \quad (4.37)$$

Vậy trong máy biến áp lý tưởng công suất đầu ra cân bằng với công suất đầu vào. Có được điều này bởi vì theo định nghĩa máy biến áp lý tưởng không có tổn thất năng lượng. Lập luận tương tự đối với công suất phản kháng và công suất biểu kiến, ta được:

$$Q_1 = U_1 \cdot I_1 \sin \varphi = U_2 \cdot I_2 \sin \varphi = Q_2 \quad (4.38)$$

$$\text{Và} \quad S_1 = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 = S_2 \quad (4.39)$$

Ví dụ 4.2:

Cho một máy biến áp phân phối lý tưởng 60Hz, 250kVA, 2400/240V. Xác định các thông số sau:

1. Tỷ số biến áp (tỷ số vòng dây).
2. Giá trị của trở kháng tải nối vào cuộn dây thứ cấp (cuộn dây có điện áp thấp) để máy biến áp đủ tải.
3. Giá trị của dòng điện sơ cấp (bên điện áp cao).
4. Giá trị của trở kháng tải bên sơ cấp của máy biến áp.

Lời giải:

1. Tỷ số các vòng dây của máy biến áp là:

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{2400}{240} = 10$$

2. Theo giả thiết máy biến áp là lý tưởng, nó không có tổn thất công suất, do đó:

$$S = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

Suy ra:
$$I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{250000}{240} = 1041,67(\text{A})$$

3. Tương ứng dòng điện sơ cấp là:

$$I_1 = \frac{I_2}{k} = \frac{1041,67}{10} = 104,167(\text{A})$$

Hay
$$I_1 = \frac{S}{U_1} = \frac{250000}{2400} = 104,167(\text{A})$$

4. Giá trị của trở kháng tải của cuộn dây thứ cấp là:

$$Z_L = \frac{U_2}{I_2} = \frac{240}{1041,67} = 0,2304(\Omega)$$

Do vậy, giá trị trở kháng tải của cuộn dây sơ cấp là:

$$Z'_L = \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^2 Z_L = k^2 \cdot Z_L = 10^2 \cdot 0,2304 = 23,04(\Omega)$$

4.5. MÁY BIẾN ÁP THỰC TẾ

Máy biến áp thực tế khác với máy biến áp lý tưởng ở nhiều khía cạnh. Ví dụ, như minh họa hình 4.10a.

- Điện trở của cuộn dây sơ cấp và thứ cấp R_1 và R_2 là đáng kể.
- Tồn tại từ thông tản móc vòng Φ_{1l} và Φ_{2l} .
- Tổn thất trong lõi thép là đáng kể và phải tính đến.
- Độ thấm từ của lõi sắt không phải là vô hạn và do đó cần một sức từ động đáng kể để thiết lập từ thông chính trong lõi thép.

– Vật liệu làm lõi thép là bão hòa.

Kết quả minh họa loại máy biến áp này được trình bày trên hình 4.10b. Ở đây X_{l1} và X_{l2} là các điện kháng tản. Do đó:

$$X_{l1} = \omega \cdot L_{l1} = \omega w_1^2 \cdot P_{l1} \quad (4.40)$$

$$\text{Và} \quad X_{l2} = \omega \cdot L_{l2} = \omega w_2^2 \cdot P_{l2} \quad (4.41)$$

Trong đó $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

L_{l1} là điện cảm tản (rò rỉ) của cuộn dây sơ cấp:

$$L_{l1} = w_1^2 \cdot P_{l1} = \frac{w_1 \cdot \Phi_{l1}}{I_1} \quad (4.42)$$

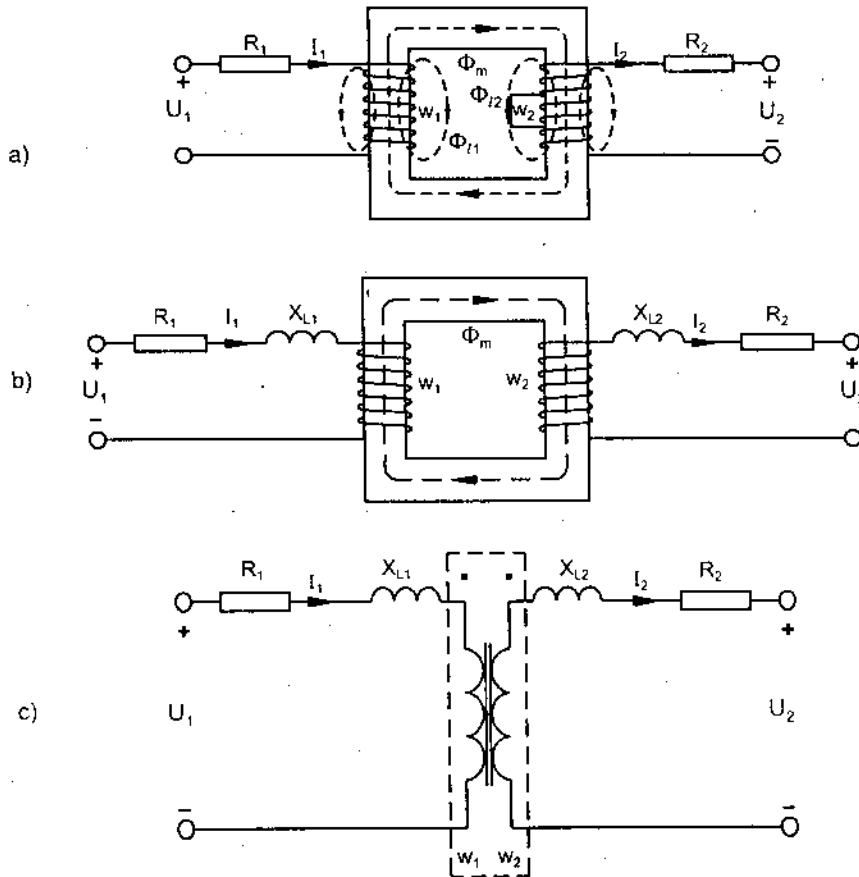
L_{l2} là điện cảm tản (rò rỉ) của cuộn dây thứ cấp:

$$L_{l2} = w_2^2 \cdot P_{l2} = \frac{w_2 \cdot \Phi_{l2}}{I_2} \quad (4.43)$$

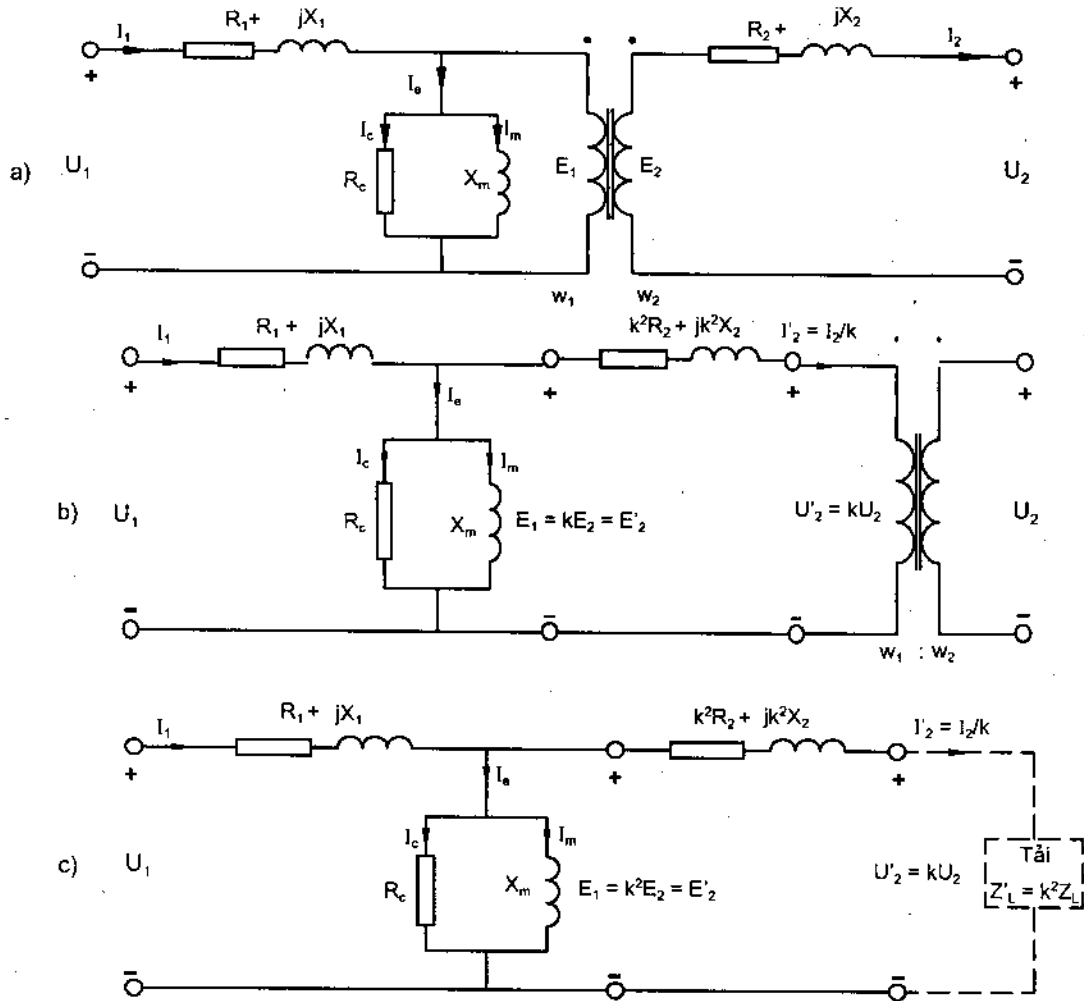
P_{l1} độ dẫn từ thông tản trong cuộn dây sơ cấp.

P_{l2} độ dẫn từ thông tản trong cuộn dây thứ cấp.

Như đã trình bày, các cuộn dây máy biến áp liên hệ chặt chẽ với nhau bởi từ thông móc vòng và được trình bày trên hình 4.10c.



Hình 4.10. Xây dựng mạch điện tương đương của máy biến áp.



Hình 4.11. Mạch điện tương đương của máy biến áp.

a) Máy biến áp thực; b) Quy đổi về sơ cấp; c) Quy đổi về sơ cấp (bỏ qua MBA lý tưởng).

Như minh họa hình 4.11a, dòng điện sơ cấp phải đủ lớn để bù vào tổn hao khử từ của dòng điện tải (dòng điện bên thứ cấp), và cung cấp đầy đủ sức từ động để tạo và tổng hợp từ thông móc vòng. Chú ý rằng, I_2' là thành phần dòng sơ cấp và nó có thể được xác định theo công thức:

$$I_2' = \frac{w_2}{w_1} I_2 = \frac{I_2}{k} \quad (4.44)$$

Nói cách khác, I_2' là dòng điện thứ hai của mạch cơ cấp, nó như trong máy biến áp lý tưởng. Vì vậy, dòng sơ cấp có thể xác định theo công thức:

$$I_1 = I_2' + I_0 = \frac{I_2}{k} + I_0 \quad (4.45)$$

Trong đó, I_0 là dòng điện từ hoá cần thiết để phát triển và tổng hợp từ thông móc vòng. Dòng điện I_0 không phải là hàm sin và có thể được xác định theo công thức:

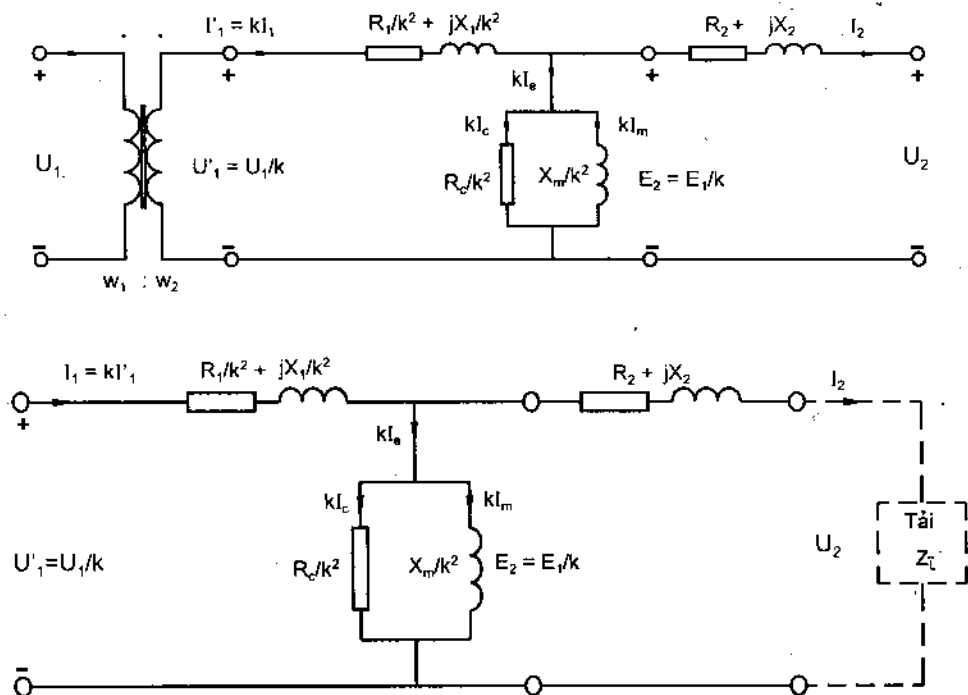
$$\dot{I}_0 = \dot{I}_c + \dot{I}_m \quad (4.46)$$

Trong đó:

- I_c là thành phần tổn thất lõi thép do hiện tượng trễ và dòng xoáy.
- I_m là thành phần từ hóa của dòng kích thích cần thiết để từ hóa lõi thép.

Ở đây I_c ngược pha với sức điện động E_1 và I_m chậm pha hơn E_1 một góc 90° . Do đó thành phần tổn hao và thành phần từ hóa lõi thép được đặc trưng bởi điện trở R_c và điện kháng X_m , nó được nối qua nguồn điện áp sơ cấp. Theo định luật Faraday thì từ thông lõi thép có dạng gần với hình sin khi mà điện áp đặt vào cuộn dây là hình sin. Nguyên nhân do hiện tượng bão hòa mà dòng điện từ hoá trở nên không sin. Do vậy trên thực tế cả hai dòng điện I_c và I_m là không tuyến tính.

Máy biến áp lý tưởng trình bày trên hình 4.11a có thể được rút ra nhờ việc quy đổi tất cả các thông số của bên thứ cấp về bên sơ cấp. Hình 4.11b và 4.11c trình bày từng bước của việc quy đổi này. Hình 4.11c trình bày mạch điện tương đương của máy biến áp khi đã quy đổi về cuộn dây sơ cấp. Hình 4.12a trình bày mạch điện tương đương của máy biến áp khi quy đổi về cuộn dây thứ cấp. Hình 4.12b trình bày mạch điện tương đương của máy biến áp được quy đổi về cuộn dây thứ cấp không trình bày máy biến áp lý tưởng (chỉ minh họa về máy biến áp thực tế).



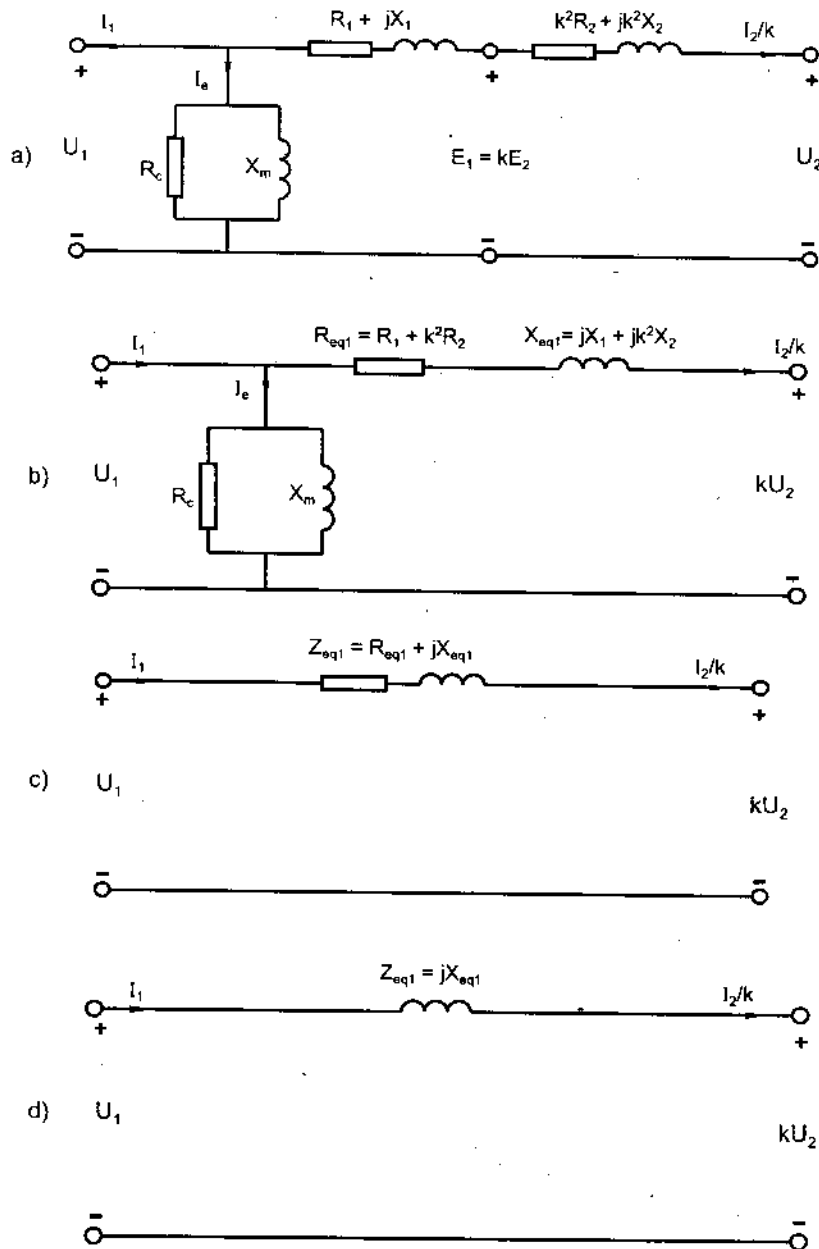
Hình 4.12. Mạch điện tương đương của máy biến áp

a) Quy đổi về phía thứ cấp; b) Quy đổi về thứ cấp (không vẽ tải máy biến áp lý tưởng).

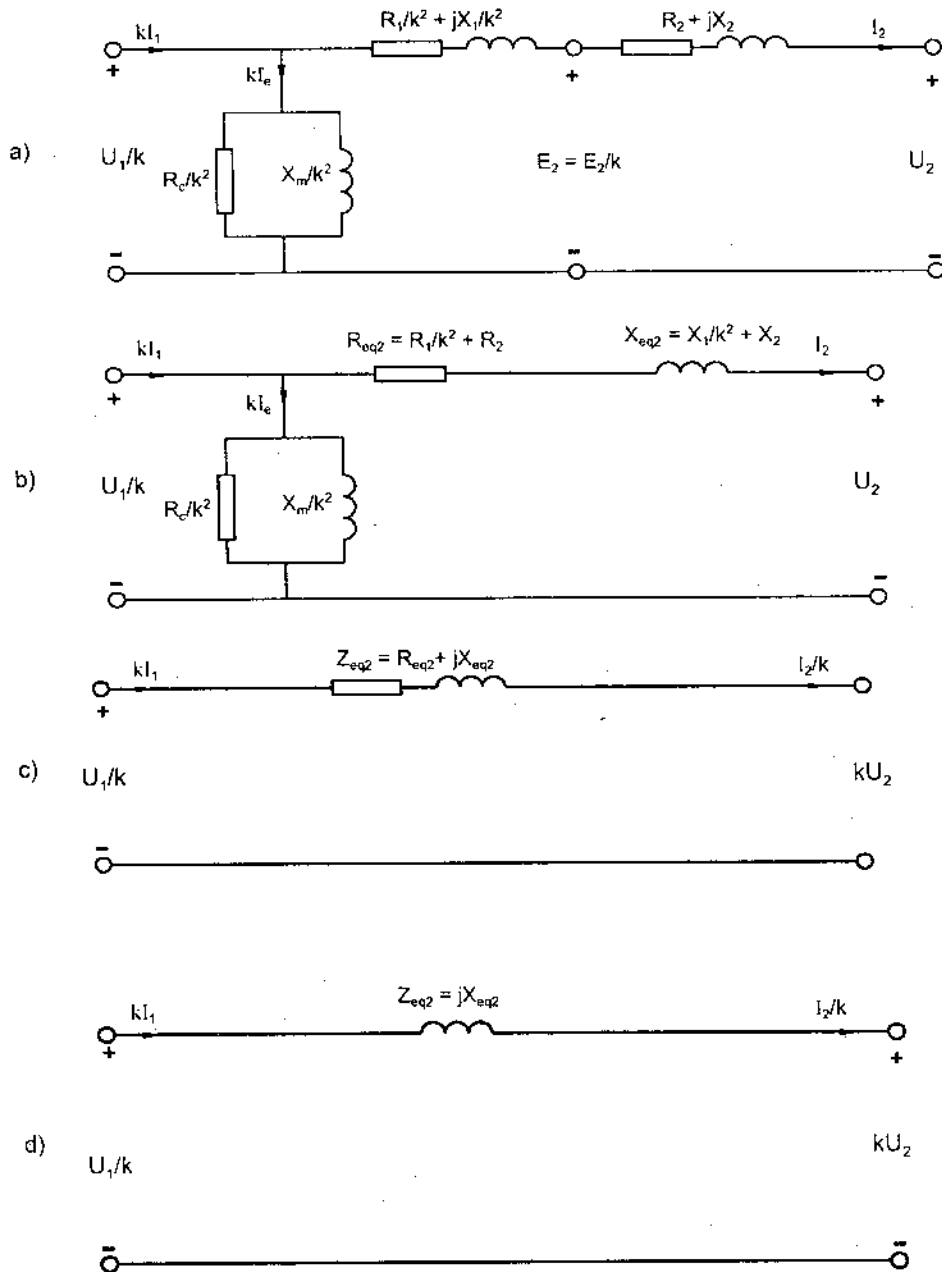
4.6. MẠCH ĐIỆN QUY ĐỔI TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA MBA THỰC TẾ

Mạch điện tương đương của máy biến áp đã nêu ở mục trước (và trình bày trong hình 4.11c và hình 4.12b) là chính xác hơn mức độ cần thiết trong thực tế. Điều này đặc biệt đúng trong các ứng dụng của hệ thống năng lượng. Dòng điện từ hoá rất nhỏ

so với dòng điện tải của máy biến áp. Tất nhiên dòng điện từ hoá nhỏ, nguyên nhân do sự sụt điện áp nhỏ trên trở kháng của cuộn dây sơ cấp ($R_1 + jX_1$). Do đó, bằng việc chuyển phần kích thích (nhánh mắc song song) từ giữa mạch điện hình T sang bên trái (hình 4.13a) hoặc phía bên phải. Trở kháng của các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp là các dây riêng biệt bên trái thì có thể kết hợp chúng lại với nhau như trong hình 4.13b. Sự biến đổi trở kháng như là mạch biến đổi tương đương của máy biến áp phụ thuộc vào việc có hay không mạch điện biến đổi của cuộn dây sơ cấp hay thứ cấp. Như trên hình 4.13b, nếu quy đổi trở kháng về cuộn dây sơ cấp:



Hình 4.13. Mạch điện tương đương quy đổi về phía sơ cấp của máy biến áp.



Hình 4.14. Mạch điện tương đương quy đổi về bên thứ cấp của máy biến áp.

$$Z_{eq1} = R_{eq1} + jX_{eq1} \quad (4.47)$$

Trong đó: $R_{eq1} = R_1 + k^2.R_2 \quad (4.48)$

$$X_{eq1} = X_1 + k^2.X_2 \quad (4.49)$$

Ở đây R_{eq1} và X_{eq1} là điện trở và điện kháng quy đổi về cuộn dây sơ cấp tương ứng. Như trình bày trên hình 4.14b, nếu trở kháng quy đổi về cuộn dây thứ cấp:

$$Z_{eq2} = R_{eq2} + jX_{eq2} \quad (4.50)$$

Trong đó: $R_{eq2} = \frac{R_1}{k^2} + R_2 \quad (4.51)$

$$X_{eq2} = \frac{X_1}{k^2} + X_2 \quad (4.52)$$

Ở đây R_{eq2} và X_{eq2} là điện trở và điện kháng quy đổi về cuộn dây thứ cấp tương ứng. Cần lưu ý là:

$$\frac{Z_{eq1}}{Z_{eq2}} = \frac{R_{eq1}}{R_{eq2}} = \frac{X_{eq1}}{X_{eq2}} = k^2 \quad (4.53)$$

Hơn nữa sự xấp xỉ của mạch điện tương đương này có thể chấp nhận được bằng việc rút gọn nhánh kích thích như trên hình 4.13c và 4.14c. Kết quả sai số là rất nhỏ do dòng điện từ hoá I_e là rất nhỏ so với dòng điện máy biến áp.

Mặt khác trong máy biến áp điện lực, điện trở quy đổi R_{eq} là nhỏ so với điện kháng quy đổi X_{eq} . Do đó, máy biến áp chỉ phụ thuộc chủ yếu bởi điện kháng quy đổi của nó X_{eq} như trình bày trên hình 4.13d và 4.14d bỏ qua điện trở quy đổi. Do đó trở kháng quy đổi tương đương có thể xác định theo công thức:

$$Z_{eq1} = j \cdot X_{eq1} \quad (4.54)$$

Và
$$Z_{eq2} = j \cdot X_{eq2} \quad (4.55)$$

Ví dụ 4.3

Xét máy biến áp phân phối 75 kVA, 2400/240V, 60 Hz với $Z_1 = 0,612 + j1,2 \Omega$ và $Z_2 = 0,0061 + j0,0115 \Omega$ của từng cuộn dây cao áp và hạ áp. Thành phần kích thích thêm để đạt điện áp 240V là $Y_{e2} = 0,0191 - j0,0852S$. Hệ số công suất của tải là 0,9 điện cảm.

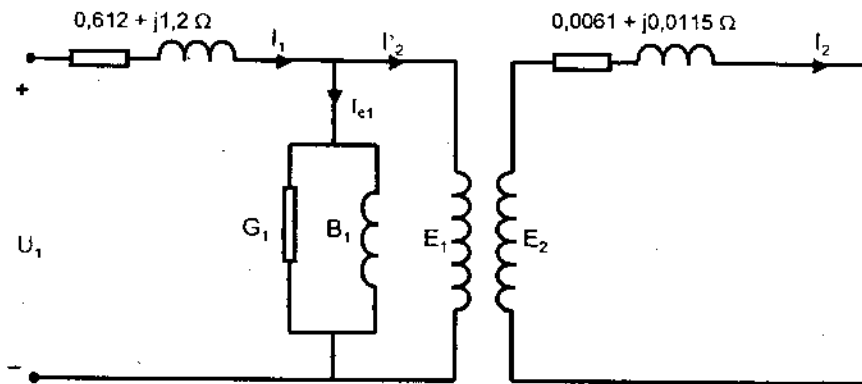
a) Vẽ mạch điện tương đương với thành phần kích thích quy đổi về phía sơ cấp.

b) Tìm sức điện động cảm ứng E_1 và E_2 bởi từ thông móc vòng tương đương, I_e , I_1 và điện áp U_1 khi máy biến áp phân phối tải định mức ở điện áp U_2 , $\cos \phi = 0,9$.

Lời giải:

Hình 4.15 trình bày mạch điện tương đương của máy biến áp với thành phần kích thích quy đổi về phía sơ cấp. Do đó:

$$Y_{e1} = \frac{Y_{e2}}{k^2} = \frac{0,0191 - j0,0852S}{10^2} = 1,91 \cdot 10^{-4} - j8,52 \cdot 10^{-4}S$$



Hình 4.15. Mạch điện tương đương với thành phần kích thích quy đổi về phía sơ cấp.

Ở đây:

$$I_d = I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{75000VA}{240V} = 312,5(A)$$

Vì U_2 có liên quan đến góc pha cho nên ta có thể biểu diễn theo:

$$U_2 = 240 \angle 0^\circ$$

Do đó: $I_d = I_2 = 312,5(0,9 - j0,4359) = 281,25 - j136,2156A$

Từ đây ta được: $E_2 = U_2 + I_d(R_2 + jX_2)$
 $= 240 \angle 0^\circ + (281,25 - j136,2156)(0,0061 + j0,0115)$
 $= 243,294 \angle 0,57^\circ V$

Vậy: $E_1 = k \cdot E_2$
 $= 243,294 \angle 0,57^\circ V \cdot 10 = 2432,94 \angle 0,57^\circ V$

Dòng điện tải quy đổi về bên sơ cấp là:

$$I'_d = \frac{I_d}{k} = \frac{281,25 - j136,2156A}{10} = 28,125 - j13,6216A$$

Chú ý rằng: $I_1 = I_d + I_{e1}$

Trong đó, I_{e1} sinh ra từ thông móc vòng trong cuộn dây:

$$I_{e1} = E_1 \cdot Y_{e1} = (2432,94 \angle 0,57^\circ)(1,91 \cdot 10^{-4} - j8,52 \cdot 10^{-4})$$
$$= 0,4851 - j2,0682A$$

Vậy: $I_1 = I'_d + I_{e1} = (28,125 - j13,6216) + (0,4851 - j2,0682)$
 $= 32,6299 \angle -28,74^\circ A$

Do vậy: $U_1 = E_1 + I_1(R_1 + jX_1) = 2432,94 \angle 0,57^\circ + 32,6299 \angle -28,74^\circ$
 $= 2469,6396 \angle 1,13^\circ V$

4.7. CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN TƯƠNG ĐƯƠNG

Mạch điện tương đương của máy biến áp đã cho có thể được sử dụng để tính toán trước và đánh giá đặc tính làm việc của nó (thiết kế sơ bộ). Nếu như những dữ liệu và thông số của máy biến áp được thiết kế sơ bộ thì có thể tính toán được kích thước và đặc tính của vật liệu sử dụng. Tuy nhiên, trước khi chế tạo máy biến áp cần thẩm định sự đúng đắn của những tính toán trước đó. Điều này có thể đạt được bằng cách kiểm tra để xác định những thông số của mạch điện tương đương. Hai bước kiểm tra là kiểm tra hở mạch (không tải) và kiểm tra ngắn mạch.

4.7.1. Kiểm tra hở mạch

Mục đích của việc kiểm tra hở mạch là xác định nhánh kích thích được thêm vào trong mạch điện tương đương của máy biến áp, tổn hao không tải, tổn hao dòng điện từ hoá không tải, và hệ số công suất không tải. Kiểm tra hở mạch thực hiện bằng cách đưa điện áp vào một trong các cuộn dây và cuộn dây còn lại để hở mạch. Đo công suất, dòng điện và điện áp đầu vào như trình bày trên hình 4.16a (tuy nhiên để an toàn và tiện lợi, thường để hở mạch cuộn dây cao áp và kiểm tra bằng các dụng cụ trên cuộn dây hạ áp của máy biến áp). Mỗi kết quả đo như vậy được tập hợp là có thể xác định được độ lớn và góc của trở kháng kích thích sau

khi tìm ra hệ số công suất không tải. Ở đây điện áp rơi trên trở kháng tản của cuộn dây khi tải nghiệm không tải thường rất nhỏ và có thể bỏ qua do dòng từ hoá không đáng kể. Kết quả này được trình bày trên mạch điện quy đổi tương đương hình 4.16b. Sự tổn thất công suất do dòng điện từ hoá gây ra trên cuộn sơ cấp cũng được bỏ qua. Do đó điện dẫn từ hoá được xác định như:

$$Y_e = Y_{oc} = \frac{I_{oc}}{U_{oc}} \angle -\varphi_{oc} \quad (4.56)$$

Trong đó: φ_{oc} là góc của điện dẫn, tìm từ hệ số công suất khi kiểm tra hở mạch.

$$F_{oc} = \cos\varphi_{oc} = \frac{P_{oc}}{U_{oc} I_{oc}} \quad (4.57)$$

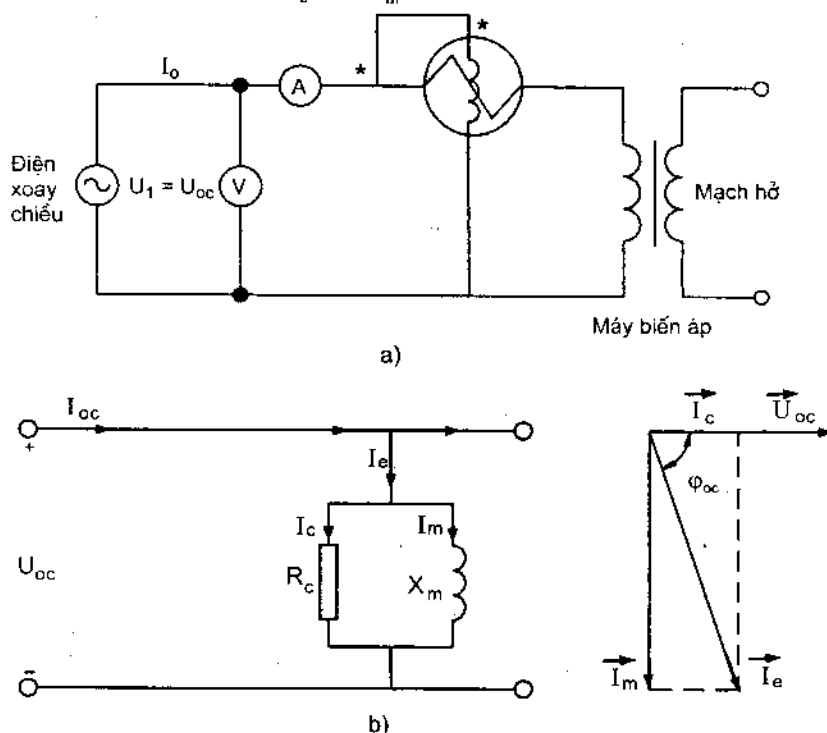
Do vậy:
$$\varphi_{oc} = \cos^{-1} \frac{P_{oc}}{U_{oc} I_{oc}} \quad (4.58)$$

Hay
$$\varphi_{oc} = \cos^{-1} PF_{oc} \quad (4.59)$$

Với một máy biến áp đã cho, P_{oc} luôn trễ sau. Nguyên nhân này được thể hiện bằng dấu âm (-) trước φ_{oc} trong công thức (4.56). Nếu điện dẫn từ hoá được biểu thị trong toạ độ hình chữ nhật:

$$Y_e = Y_{oc} = G_c - j.B_m \quad (4.60)$$

Hoặc
$$Y_e = Y_{oc} = \frac{1}{R_c} - j \frac{1}{X_m} \quad (4.61)$$



Hình 4.16. Kiểm tra hở mạch

a) Sơ đồ mắc mạch kiểm tra hở mạch; b) Mạch điện tương đương; c) Biểu đồ véctơ không tải.

Từ R_c và X_m có thể được xác định theo:

$$R_c = \frac{1}{G_c} \quad (4.62)$$

Và
$$X_m = \frac{1}{B_m} \quad (4.63)$$

Cách khác, độ dẫn điện và dẫn từ có thể được tìm thấy từ:

$$G_c \cong G_{oc} = \frac{P_{oc}}{U_{oc}^2} \quad (4.64)$$

Và
$$B_m \cong B_{oc} = (Y_{oc}^2 - G_{oc}^2)^{1/2} \quad (4.65)$$

Giá trị của R_c và X_m có thể xác định từ công thức (4.62) và (4.63) tương ứng như trên. Biểu đồ vectơ không tải được vẽ trên hình 4.16c.

4.7.2. Kiểm tra ngắn mạch

Mục đích của kiểm tra ngắn mạch là xác định điện trở và điện kháng tương đương của máy biến áp trong điều kiện ngắn mạch. Việc kiểm tra này được thực hiện bằng cách nối ngắn mạch một cuộn dây (thường nối ngắn mạch cuộn dây hạ áp) và giảm điện áp cấp cho cuộn dây còn lại như trình bày trên hình 4.17a. Cần phải giảm điện áp đầu vào sao cho dòng điện trong cuộn dây ngắn mạch bằng dòng định mức. Điện áp, dòng điện và công suất đầu vào được đo như phương pháp trên (kiểm tra không tải). Điện áp đầu vào U_{sc} chỉ nhỏ vài phần trăm so với điện áp định mức là đủ để dòng điện tăng đến dòng điện định mức của cuộn dây máy biến áp. Thông thường giá trị điện áp này chỉ bằng khoảng từ 2 ÷ 18% điện áp định mức. Do đó dòng điện từ hoá đủ nhỏ và có thể được bỏ qua. Nếu phức tạp thì có thể giả thiết rằng tất cả điện áp đều rơi trên máy biến áp và trên những phần tử nối tiếp trong mạch điện như trình bày trên hình 4.17b. Nhánh mắc song song là nhánh từ hoá được bỏ qua nên không có trong mạch điện tương đương này. Trở kháng nối tiếp Z_{sc} có thể được tìm thấy từ:

$$Z_{sc} = Z_{eq1} = \frac{U_{sc}}{I_{sc}} = \frac{U_{sc} \angle 0^\circ}{I_{sc} \angle -\theta_{sc}} \quad (4.66)$$

Hệ số công suất ngắn mạch là chậm pha và được xác định từ:

$$PF_{sc} = \cos \varphi_{sc} = \frac{P_{sc}}{U_{sc} I_{sc}} \quad (4.67)$$

Do đó:
$$\varphi_{sc} = \cos^{-1} \frac{P_{sc}}{U_{sc} I_{sc}} \quad (4.68)$$

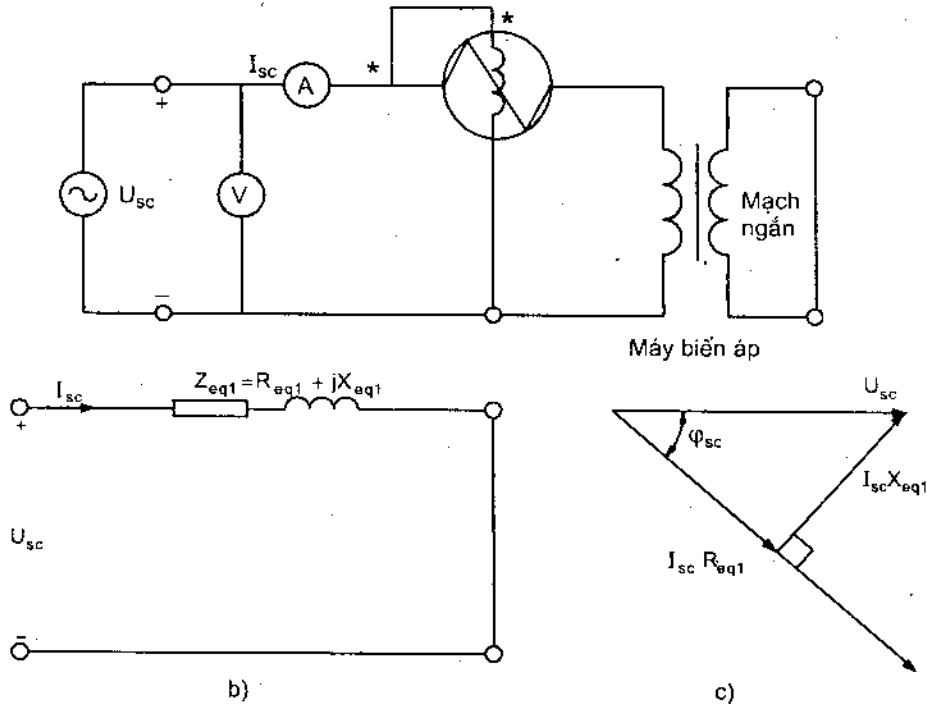
$$\text{Hay } \varphi_{sc} = \cos^{-1} PF_{sc} \quad (4.69)$$

Với một máy biến áp đã cho, P_{sc} luôn trễ sau. Nguyên nhân này được thể hiện bằng dấu âm (-) trước ω_{sc} trong công thức (4.66). Công thức (4.66) có thể được biểu thị theo:

$$Z_{eq1} = \frac{U_{sc}}{I_{sc}} \angle \varphi_{sc} = R_{eq1} + jX_{eq1} \quad (4.70)$$

Trong đó:
$$R_{eq1} = R_1 + k^2 R_2 \quad (4.71)$$

$$X_{eq1} = X_1 + k^2 X_2 \quad (4.72)$$



Hình 4.17. Kiểm tra ngắn mạch

a) Sơ đồ nối dây kiểm tra ngắn mạch; b) Mạch điện quy đổi; c) Đồ thị véctor.

Nói cách khác giá trị điện trở và điện kháng tương đương có thể được tìm thấy từ công thức:

$$R_{eq1} \cong R_{sc} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} \quad (4.73)$$

$$\text{Và} \quad X_{eq1} \cong X_{sc} = (Z_{eq}^2 - R_{eq}^2)^{1/2} \quad (4.74)$$

$$\text{Trong đó:} \quad Z_{eq1} \cong Z_{sc} = \frac{U_{sc}}{I_{sc}} \quad (4.75)$$

Hình 4.17c trình bày đồ thị véctor ngắn mạch máy biến áp. Trong một máy biến áp được thiết kế tốt, tất cả các trở kháng quy đổi đều như nhau (trong trường hợp này là quy đổi về bên sơ cấp).

$$R_1 = k^2 R_2 = R'_2 \cong \frac{R_{eq1}}{2} \quad (4.76)$$

$$\text{Và} \quad X_1 = k^2 X_2 = X'_2 \cong \frac{X_{eq1}}{2} \quad (4.77)$$

Như được đề cập trên, có thể thực hiện kiểm tra hở mạch và ngắn mạch trên cuộn dây thứ cấp của máy biến áp. Tuy nhiên, việc tổng hợp trở kháng mạch điện tương đương quy đổi về bên thứ cấp đúng hơn bên sơ cấp. Tất nhiên, với MBA lớn người ta thường kích thích cuộn dây hạ áp trong trường hợp kiểm tra hở mạch và cuộn dây cao áp trong trường hợp kiểm tra ngắn mạch.

4.8. CÁC THÔNG SỐ CỦA MBA Ở CHẾ ĐỘ ĐỊNH MỨC

Những thông tin được cung cấp từ nhãn hiệu của máy biến áp rất rõ ràng: Số pha (1 hoặc 3) công suất (cho dưới dạng kVA hay MVA), về điện áp và tần số và điện áp ngắn mạch. Ví dụ, một máy biến áp 1 pha có thông số 25kVA, 2400/240V, 60Hz. Ở đây, giá trị điện áp cho thấy rằng máy biến áp có hai cuộn dây, một cuộn dây với điện áp 2400V và cuộn dây còn lại là 240V. Từ tỉ số điện áp cũng mô tả tỉ số biến áp, tỉ số biến áp của máy biến áp:

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{2400}{120} = 20$$

Cũng từ giá trị đã cho 25kVA cho ta thấy rằng mỗi cuộn dây được thiết kế có thể mang được 25kVA. Do đó dòng điện trong cuộn dây cao áp là $25000\text{VA}/2400\text{V} = 10,42\text{A}$, dòng điện trong cuộn dây hạ áp là $25000\text{VA}/120\text{V} = 208,33\text{A}$. Khi có dòng điện 208,33A chạy trong cuộn dây thứ cấp, sẽ có dòng điện 10,42A trong cuộn dây sơ cấp, có thể bỏ qua thành phần dòng điện từ hoá trong cuộn dây sơ cấp. Công suất kVA luôn là công suất đầu ra được đo trên các cực của cuộn dây thứ cấp (tải). Công suất đầu vào kVA sẽ lớn hơn một ít không đáng kể để bù phần tổn hao trong máy.

Điện áp ngắn mạch cũng luôn được ghi trên nhãn máy dưới dạng phần trăm. Ví dụ: 5% nghĩa là khi cấp vào mạch cuộn 5% điện áp định mức và cuộn dây còn lại nối ngắn mạch thì dòng điện trong dây quấn bằng dòng điện định mức của máy. Ngoài những thông số trên, nhãn mác còn được ghi tổ nối dây của máy tức là cách nối dây của các cuộn sơ cấp và thứ cấp cùng với góc lệch pha giữa các sức điện động dây của chúng. Điều này là điều kiện để xem xét khi ghép các máy biến áp làm việc song song.

Ví dụ 4.4:

Xét máy biến áp phân phối 15kVA, 7500/480V, 60Hz. Cho rằng kiểm tra không tải và kiểm tra ngắn mạch thực hiện trên cuộn dây sơ cấp của máy biến áp và các số liệu được cho trong bảng:

	Kiểm tra hở mạch (trên cuộn dây sơ cấp)	Kiểm tra ngắn mạch (trên cuộn sơ cấp)
Điện áp	$U_{oc} = 7500 \text{ V}$	$U_{sc} = 366 \text{ V}$
Dòng điện	$I_{oc} = 0,2006 \text{ A}$	$I_{sc} = 2 \text{ A}$
Công suất	$P_{oc} = 180 \text{ W}$	$P_{sc} = 300 \text{ W}$

Xác định trở kháng của mạch điện biến đổi tương đương quy đổi về bên sơ cấp, và vẽ mạch điện quy đổi đơn giản tương ứng.

Lời giải:

Hệ số công suất kiểm tra hở mạch là :

$$\text{PF}_{oc} = \cos\phi_{oc} = \frac{P_{oc}}{U_{oc} I_{oc}} = \frac{180\text{W}}{(7500\text{V})(0,2006\text{A})} = 0,1196$$

$$Y_e = Y_{oc} = \frac{I_{oc}}{V_{oc}} \angle \cos^{-1} PE_{oc} = \frac{0,2006A}{7500V} \angle -\cos^{-1}(0,1196)$$

$$= 0,0000267 \angle -83,129^\circ S = 0,000032 - j0,0000265S$$

$$= \frac{1}{R_c} - j\frac{1}{X_m}$$

$$\text{Do đó: } R_c = \frac{1}{0,000032} = 312500\Omega \approx 312,5k\Omega$$

$$\text{Và } X_m = \frac{1}{0,0000265} = 37658,32\Omega \approx 37,7k\Omega$$

Hệ số công suất trong kiểm tra ngắn mạch là:

$$PF_{sc} = \cos\varphi_{sc} = \frac{P_{sc}}{U_{sc} \cdot I_{sc}} = \frac{300W}{(366V)(2A)} = 0,41$$

Trở kháng quy đổi là:

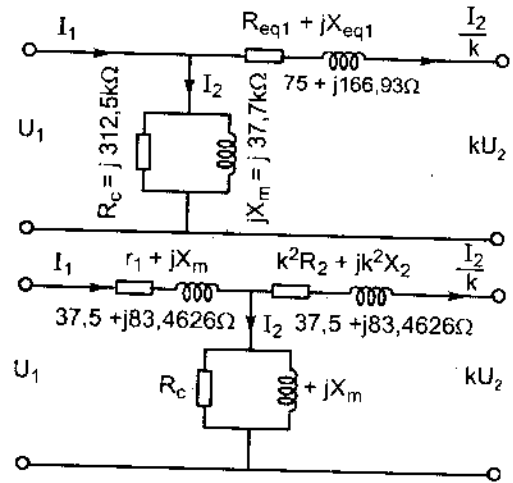
$$Z_{eq1} = Z_{sc} = \frac{U_{sc}}{I_{sc}} \angle \cos^{-1} PF = \frac{366V}{2A} \angle \cos^{-1} 0,41 = 183 \angle 65,81^\circ \Omega = 75 + j166,93\Omega$$

Tuy nhiên, trong sơ đồ thay thế hình T (hình 4.18), giá trị của điện trở sơ cấp và thứ cấp quy đổi và điện kháng tản sơ cấp và thứ cấp quy đổi thường được tính bằng nhau, do đó:

$$R_1 = k^2 R_2 = R'_2 \approx \frac{R_{eq1}}{2} = \frac{75\Omega}{2} = 37,5\Omega$$

$$X_1 = k^2 X_2 = X'_2 \approx \frac{X_{eq1}}{2} = \frac{166,93\Omega}{2} = 83,46\Omega;$$

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{7500}{480} = 15,625$$



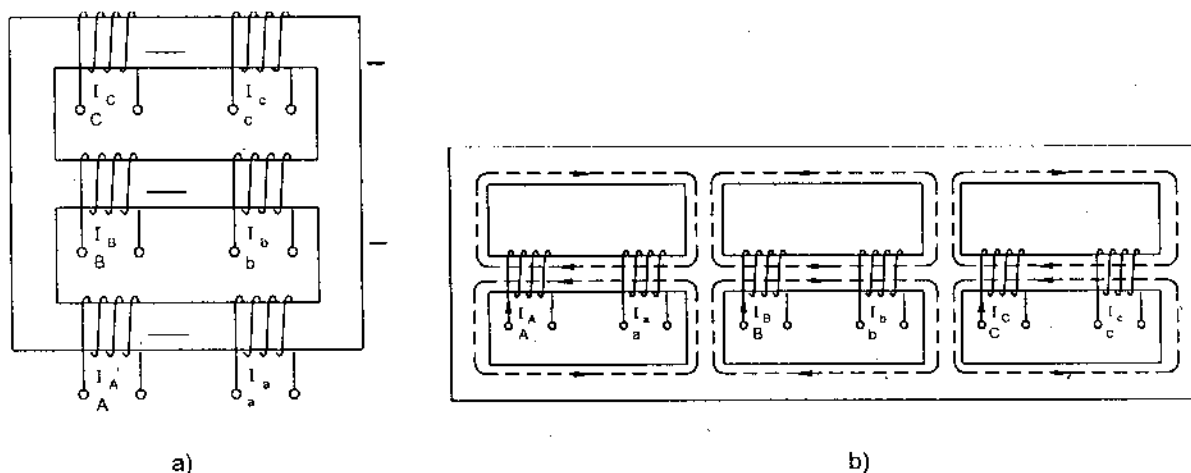
Hình 4.18

4.9. MÁY BIẾN ÁP BA PHA

Ngày nay, với lý do hiệu suất và vấn đề tiết kiệm năng lượng nên hầu hết các hệ thống điện năng gồm nguồn điện, truyền tải và phân phối đều sử dụng hệ điện ba pha tốt hơn là điện một pha. Điện năng ba pha có thể biến đổi bằng cách sử dụng máy biến áp ba pha hay ba máy biến áp một pha (chúng được nối với nhau để hoạt động ở chế độ ba pha). Một máy biến áp ba pha so với ba máy biến áp một pha thì nó nhẹ hơn, giá rẻ hơn, tốn ít mặt bằng lắp đặt và có hiệu suất cao hơn. Khi có sự cố thì toàn bộ máy biến áp ba pha phải được sửa chữa. Trong khi đó nếu sử dụng ba máy biến áp một pha ghép lại thì chỉ cần một máy trong số chúng cần sửa chữa (máy có sự cố). Cũng như vậy thì việc dự phòng máy biến áp ba pha là đắt hơn so với dự phòng máy biến áp một pha. Hình 4.19 trình bày hai kiểu lõi của máy biến áp ba pha thường được sử dụng là lõi kiểu trụ và lõi kiểu bọc.

Trong thiết kế lõi kiểu trụ, cả hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp của mỗi pha đều được quấn trên một trụ của lõi thép máy biến áp như trình bày trên hình 4.19a. Để

cân bằng, điện áp ở cả ba pha đều sin thì tổng từ thông trong lõi thép của ba pha trong bất kỳ thời gian nào đều phải bằng 0. Điều này là yêu cầu mà không phải có được trong chế tạo lõi thép kiểu bọc. Trong chế tạo lõi thép kiểu trụ, từ trở của từ thông trong pha giữa ngắn hơn trong hai pha ngoài. Do đó, có sự không cân bằng của dòng điện từ hoá của ba pha trong máy biến áp. Kết quả của sự không cân bằng dòng từ hoá là do ảnh hưởng từ cấu tạo của chúng. Điều cốt yếu khi thiết kế là cần ngăn chặn sự xuất hiện của từ thông điều hoà bậc ba và do đó làm hạn chế hợp lý điện áp điều hoà bậc ba. Ví dụ từ thông điều hoà bậc ba hợp thành trong lõi ba pha mạch từ kiểu trụ của máy biến áp giảm xuống tối thiểu chỉ khoảng một phần mười của từ thông điều hoà bậc ba sinh ra trong lõi kiểu bọc hoặc trong máy biến áp một pha.



Hình 4.19. Cấu tạo hai loại mạch từ máy biến áp ba pha.

a) Mạch từ kiểu trụ; b) Mạch từ kiểu bọc.

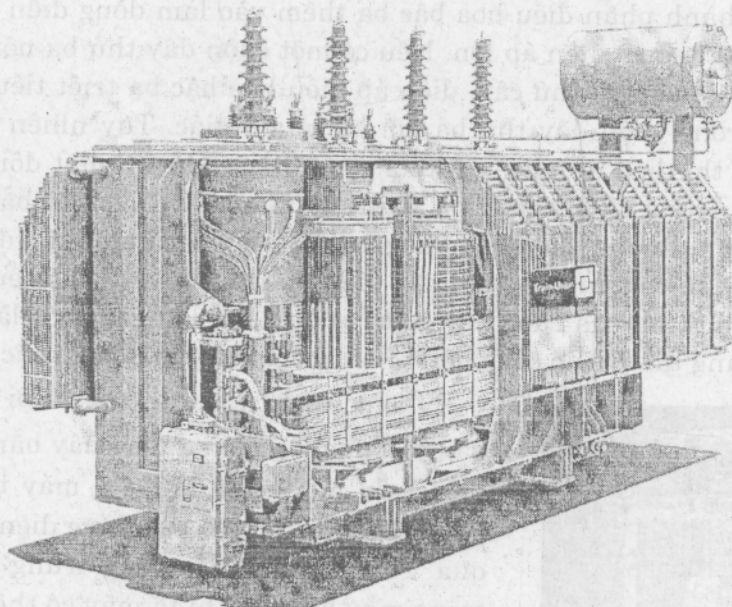
Trong trường hợp này việc đấu dây Δ/Δ không có dây trung tính sẽ không có thành phần dòng từ hoá bậc ba xuất hiện.

Đối với mạch từ kiểu bọc có một số đặc điểm khác so với mạch từ kiểu trụ. Như trình bày trên hình 4.19b, từ thông bên ngoài của lõi thép giảm bớt khoảng 42 % do đó trong mạch từ kiểu bọc cuộn dây pha giữa được quấn ngược hướng với hai pha còn lại. Khi mà tất cả các mặt cắt ngang đều bằng nhau thì không chỉ giảm về số lượng mà về công nghệ sản xuất cũng được đơn giản hơn. Hơn nữa, trong mạch từ kiểu bọc của máy biến áp thì tổn hao không tải sẽ nhỏ hơn so với mạch từ kiểu trụ.

Hình 4.20 trình bày máy biến áp ba pha mạch từ kiểu trụ với công suất 40 MVA, 110kV $\pm$ 16%/21kV. Chú ý rằng điện áp cuộn dây sơ cấp có thể điều chỉnh với 16%. Hình 4.21 trình bày máy biến áp ba pha mạch từ kiểu bọc với công suất 850/950/1100MVA, 415 – kV $\pm$ 11%/27 – kV. Hình 4.22 là máy biến áp ba pha lõi kiểu trụ 10MVA và 40MVA với lõi là chất điện môi đặc (của hãng Siemens). Cuối cùng hình 4.23 mô tả về cách lắp ráp lõi thép và cuộn dây của máy biến áp điện lực ba pha. Chú ý rằng việc lắp ráp lõi thép và cuộn dây phải được chống đỡ một cách vững vàng, kẹp chặt bằng các vật nặng và tạo được kết cấu chắc chắn. Các cuộn dây phải đồng tâm trên các trụ và sau cùng là chèn các tấm chịu nhiệt, các tấm gỗ hoặc

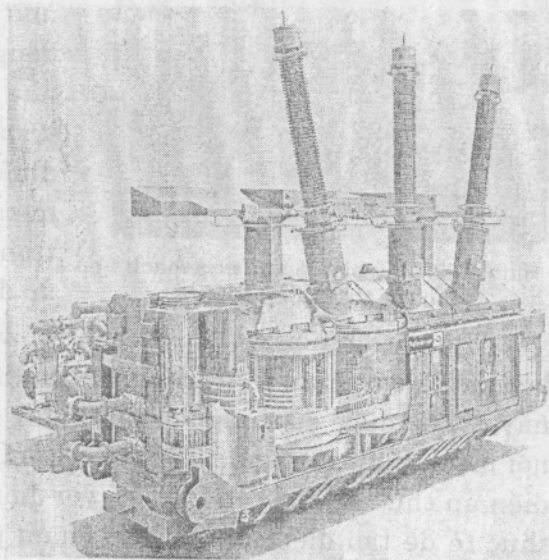
bakêlit đóng giữa các cuộn dây và lõi từ. Khi hoàn thành việc lắp ráp thì phải được giữ chắc chắn bằng các dây buộc để hạn chế và chống lại các lực cơ khí trong những điều kiện không mong muốn như những rung động, những va chạm do lực va chạm trong khi vận chuyển và lắp đặt. Các đầu dây điện áp cao được đưa ra tới bộ điều áp và để gắn với các đầu cực hoặc các cọc sứ (sứ cao áp).

4.10. CÁCH ĐẦU ĐẦU DÂY MÁY BIẾN ÁP BA PHA



Hình 4.20. Máy biến áp ba pha mạnh từ kiểu trụ 40MVA, 110kV $\pm$ 16%/21kV.

Như đã trình bày ở phần trên, trong hệ thống truyền tải điện ba pha luôn cần phải tăng và giảm điện áp theo các cấp ở các vị trí khác nhau trong hệ thống điện. Khi biến đổi điện áp, người ta có thể thực hiện bằng cách tập hợp ba máy biến áp một pha riêng biệt, mỗi máy ứng với một pha, hoặc sử dụng máy biến áp ba pha. Trong mọi trường hợp, mỗi pha đều có một cuộn dây sơ cấp và một cuộn dây thứ cấp kết hợp với nhau. Các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp được nối độc lập theo hình tam giác (Δ) hoặc hình sao (Y). Có thể thực hiện theo 4 kiểu đầu dây máy biến áp ba pha là: sao – sao ($\text{Y} - \text{Y}$); tam giác – tam giác ($\Delta - \Delta$); sao – tam giác ($\text{Y} - \Delta$) và tam giác – sao ($\Delta - \text{Y}$) như trình bày trên hình 4.24.



Hình 4.21. Máy biến áp ba pha mạch từ kiểu bọc A850/950/1100MVA, 415kV $\pm$ 11%/27kV.

Đối với cuộn dây sơ cấp lợi ích của việc sử dụng cách nối Δ trong máy biến áp là nó cung cấp một điểm trung tính mà điện áp pha cũng có hiệu lực. Trong cách nối $\Delta - \Delta$ không có sự sai lệch pha giữa điện áp dây dây sơ cấp và thứ cấp, mặc dù nó có thể thực hiện việc thay đổi góc pha điện áp thứ cấp 180° bằng việc đảo chiều tất cả ba pha của cuộn dây thứ cấp. Việc sử dụng cách đấu $\Delta - \Delta$ sẽ không có vấn đề gì xảy ra với điều kiện trung tính nối đất một cách chắc chắn (đặc biệt là trung tính bên sơ cấp). Trung tính ở sơ cấp tạo ra mỗi máy biến áp độc lập với hai máy còn lại. Các máy biến áp thông thường cũng không có sự cân bằng điện áp trong điều kiện mang tải. Vì có điểm trung tính, thành phần điều hoà bậc ba thêm vào làm dòng điện chạy qua điểm trung tính và không tạo ra điện áp lớn. Nếu có một cuộn dây thứ ba nối kiểu tam giác thì ngoài cuộn dây sơ cấp và thứ cấp, điện áp điều hoà bậc ba triệt tiêu bởi dòng điện điều hoà bậc ba trong cuộn dây thứ ba nối kiểu tam giác. Tuy nhiên nếu không nối trung tính với đất thì điện áp pha rất không cân bằng khi tải mất đối xứng. Nguyên nhân này do điểm trung tính không ổn định tạo nên sự không cân bằng tải, mặc dù điện áp dây vẫn bình thường, điều này cũng xảy ra đối với thành phần điều hoà bậc ba. Nói tóm lại, bất kỳ sự cố gắng nào để máy biến áp hoạt động theo kiểu nối $\Delta - \Delta$ mà không có điểm trung tính của cuộn dây sơ cấp đều đáng lo ngại nhất là khi hoạt động trong điều kiện mang tải. Do đó cách nối $\Delta - \Delta$ hiếm khi gặp trong thực tế.



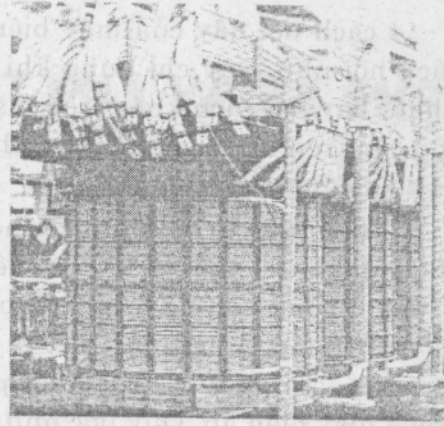
Hình 4.22. Máy biến áp ba pha mạch từ kiểu trụ 10MVA và 50MVA.

Trong cách nối $(\Delta - \Delta)$, dưới điều kiện cân bằng, dòng điện trên đường dây bằng $\sqrt{3}$ lần dòng điện trên mỗi cuộn dây của máy biến áp. Thành phần điều hoà bậc ba của dòng điện từ hoá được bỏ qua. Nếu tồn tại một dòng trung tâm xuất phát trong máy biến áp thì tổ máy có thể sử dụng nó để tạo nguồn ba pha bốn dây trong hệ thống. Cũng như vậy nếu một máy biến áp trong hệ thống bị hỏng thì hai máy còn lại trong tổ máy sẽ hoạt động như là mạng tam giác mở (kiểu $V - V$) nối với khoảng 58% dung lượng nguồn của tổ máy. Tuy nhiên trong cách nối $(\Delta - \Delta)$ máy biến áp phải quan tâm đến chia sẻ ngược lại tải nội bộ bên trong do trở kháng của chúng, do đó các máy biến áp được sử dụng phải y hệt nhau.

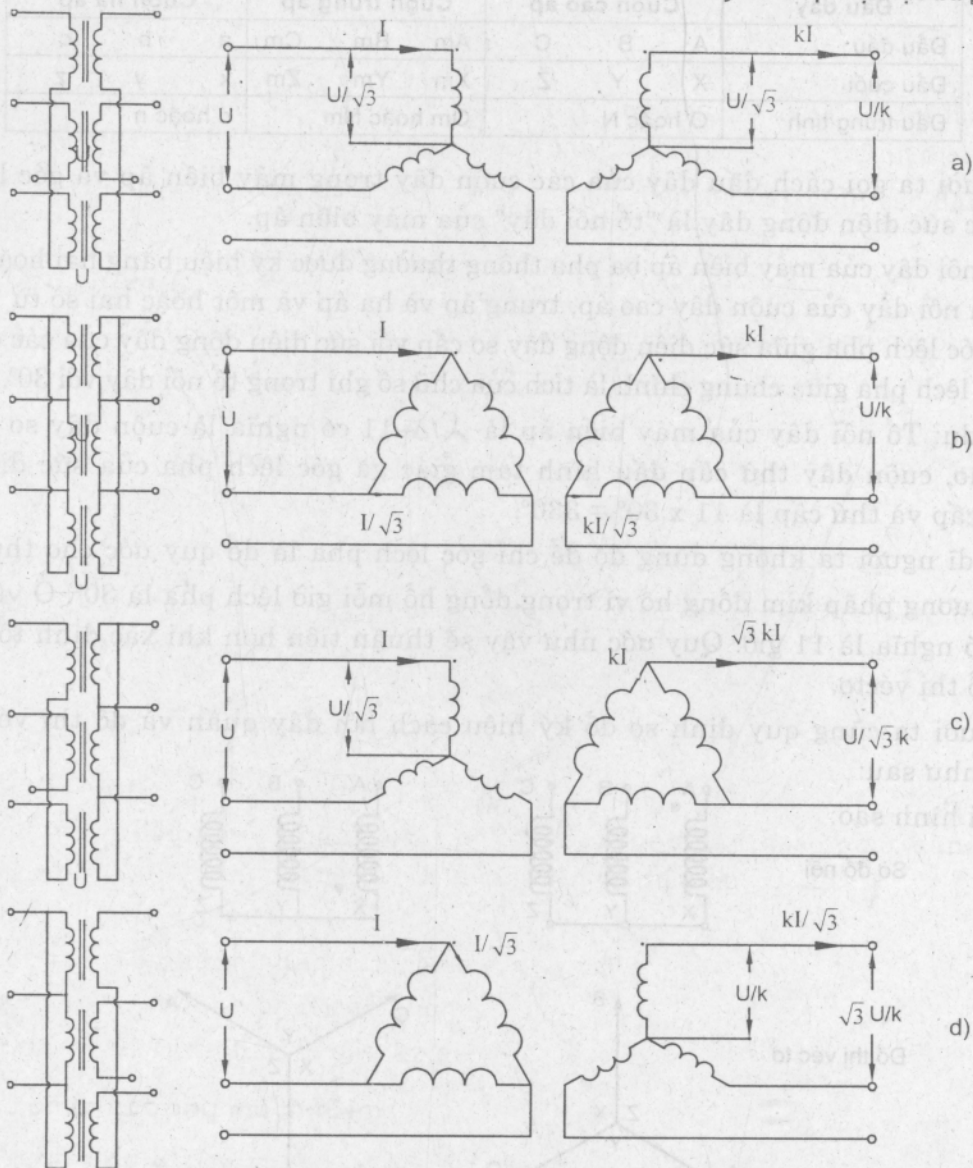
Trong cách nối $\Delta - \Delta$, sẽ không có vấn đề gì đối với thành phần điện áp điều hoà bậc ba, ta chỉ quan tâm trong sự lưu thông dòng điện trong vòng tam giác. Cách nối này có thể được sử dụng với tải không đối xứng. Trong hệ thống cao áp, điện áp cao nối mạch hình tam giác và điện áp thấp thì nối mạch hình Y. Khi nối hình tam giác điện áp thứ cấp thay đổi 30° so với điện áp sơ cấp. Tại nhiều nước, đó là tiêu chuẩn thực tế để tạo điện áp thứ cấp chậm pha hơn điện áp sơ cấp là 30° . Cách nối này được sử dụng chủ yếu cho các máy giảm từ điện áp cao xuống điện áp thấp.

Cách nối tam giác - sao $(\Delta - Y)$ không ảnh hưởng đến thành phần điện áp điều hoà bậc ba. Nó cũng thuận lợi và độ lệch pha tương tự như cách nối sao - tam giác.

Điện áp thứ cấp chậm pha hơn điện áp sơ cấp là 30° , như là trường hợp nối sao – tam giác. Cách nối này phù hợp sử dụng để tăng áp từ điện áp thấp lên điện áp cao. Trong nguồn khi mà nối sao – tam giác hay là nối tam giác – sao được sử dụng thì cuộn nối tốt nhất là sử dụng cho cao áp và có trung tính nối đất. Như vậy, cách điện của máy biến áp chỉ cần chế tạo để chịu được điện áp bằng $\frac{1}{\sqrt{3}}$ lần điện áp của lưới điện và làm thu nhỏ đáng kể kích thước của máy.



Hình 4.23. Cách lắp ráp lõi thép và cuộn dây của máy biến áp điện lực ba pha.



Hình 4.24. Các kiểu đấu nối máy biến áp ba pha cơ bản

a) Kiểu sao – sao (Y–Y); b) Kiểu tam giác – tam giác (Δ–Δ); c) Kiểu sao – tam giác (Y–Δ); d) Kiểu tam giác – sao (Δ–Y).

4 cách nối dây của máy biến áp về cơ bản như đã trình bày ở trên, tuy nhiên cách nối như vậy chỉ đúng khi thứ tự pha của cuộn dây sơ cấp và thứ cấp trùng nhau, hay nói cách khác trên mặt trụ thì nếu ta gọi cuộn dây sơ cấp là Ax thì cuộn thứ cấp trên đó sẽ gọi là ax và chiều quấn dây được quy ước như nhau là từ A đến X và từ a đến x hoặc ngược lại.

Trong thực tế người ta có thể quy ước các cách gọi tên giữa cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp khác nhau và kể cả chiều quấn dây cũng có khi được quy ước ngược nhau. Trong trường hợp đó, góc lệch pha giữa các sức điện động dây là khác nhau. Điều này rất quan trọng, đặc biệt là khi ghép các máy biến áp làm việc song song. Để xem xét vấn đề này, trước hết phải quy ước tên gọi các đầu dây của các cuộn dây trong máy biến áp. Quy ước như sau:

Đầu dây	Cuộn cao áp			Cuộn trung áp			Cuộn hạ áp		
Đầu đầu	A	B	C	Am	Bm	Cm	a	b	c
Đầu cuối	X	Y	Z	Xm	Ym	Zm	x	y	z
Đầu trung tính	O hoặc N			Om hoặc Nm			o hoặc n		

Người ta gọi cách đầu dây của các cuộn dây trong máy biến áp và góc lệch pha giữa các sức điện động dây là "tổ nối dây" của máy biến áp.

Tổ nối dây của máy biến áp ba pha thông thường được ký hiệu bằng hai hoặc ba chữ chỉ cách nối dây của cuộn dây cao áp, trung áp và hạ áp và một hoặc hai số từ 1 đến 12 để chỉ góc lệch pha giữa sức điện động dây sơ cấp với sức điện động dây của các cuộn còn lại. Góc lệch pha giữa chúng chính là tích của chữ số ghi trong tổ nối dây với 30° .

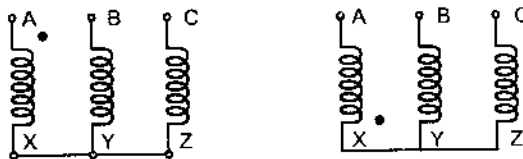
Ví dụ: Tổ nối dây của máy biến áp là $\Delta/\Delta-11$ có nghĩa là cuộn dây sơ cấp đấu hình sao, cuộn dây thứ cấp đấu hình tam giác và góc lệch pha của sức điện động dây sơ cấp và thứ cấp là $11 \times 30^\circ = 330^\circ$.

Sở dĩ người ta không dùng độ để chỉ góc lệch pha là để quy ước cho thuận tiện theo phương pháp kim đồng hồ vì trong đồng hồ mỗi giờ lệch pha là 30° . Ở ví dụ trên số 11 có nghĩa là 11 giờ. Quy ước như vậy sẽ thuận tiện hơn khi xác định tổ nối dây bằng đồ thị vectơ.

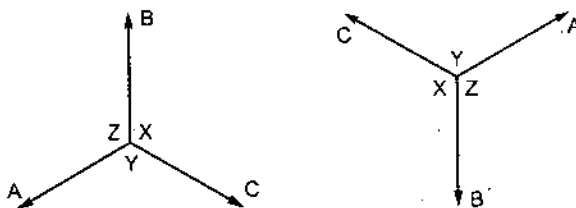
Người ta cũng quy định sơ đồ ký hiệu cách nối dây quấn và đồ thị vectơ của chúng như sau:

Nối hình sao:

Sơ đồ nối



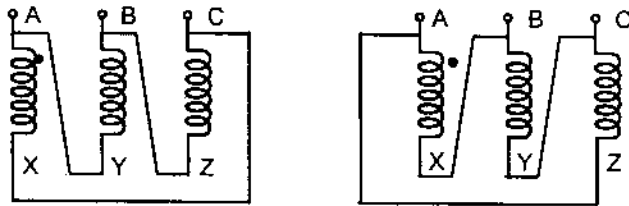
Đồ thị vectơ



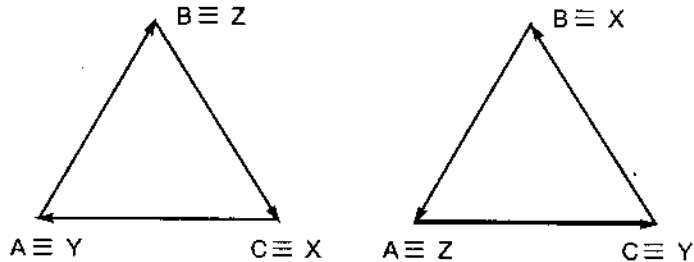
Hình 4.25

Nối hình tam giác

Sơ đồ nối

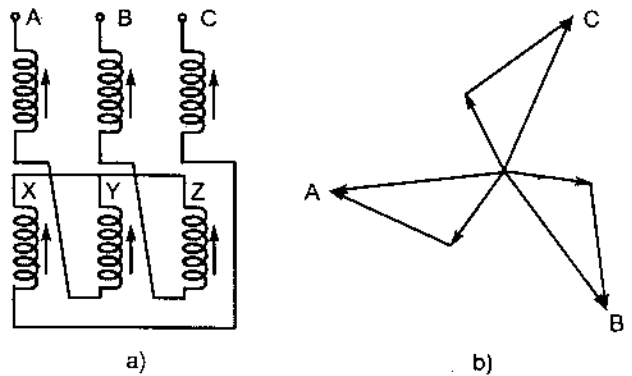


Đồ thị véc tơ



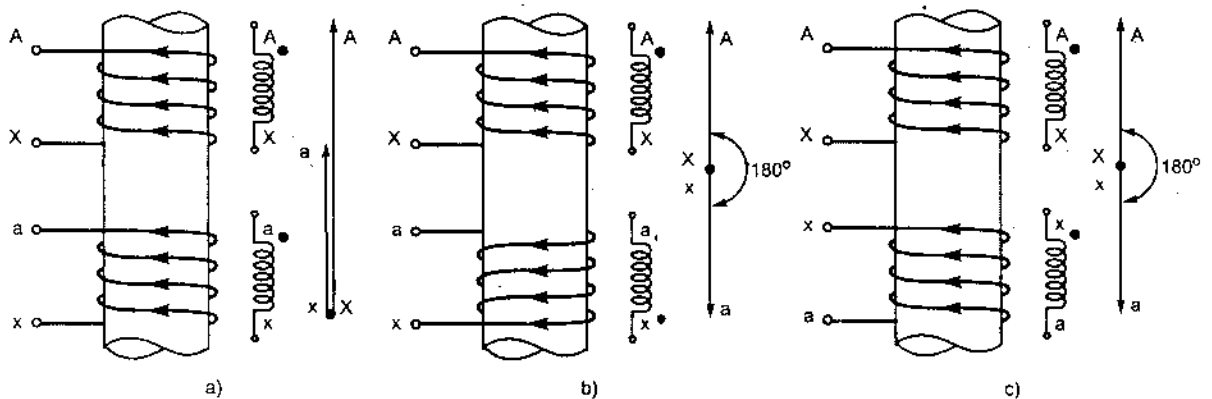
Hình 4.26.

Ngoài hai cách nối dây cơ bản như trên, dây quấn máy biến áp có thể được nối theo kiểu zíc zắc, ký hiệu bằng chữ Z. Với kiểu đấu dây này, mỗi pha sẽ gồm hai nửa cuộn dây đặt trên hai trụ khác nhau và đấu nối ngược nhau. Kiểu đấu dây này ít được dùng cho chế tạo phức tạp và tốn dây quấn. Nó chỉ sử dụng trong những trường hợp đặc biệt để hạn chế sóng hài bậc cao trong các hệ thống chỉnh lưu hoặc hiệu chỉnh sai số góc lệch pha. Sơ đồ nối dây, đồ thị véc tơ trên hình 4.27 a, b.



Hình 4.27

Để xác định tổ nối dây của máy biến áp phải căn cứ vào kiểu đấu dây, cách ký hiệu đấu dây của các cuộn dây và chiều quấn dây. Từ đó xây dựng đồ thị véc tơ để tìm ra góc lệch pha giữa các sức điện động. Xét ví dụ sau đây:



Hình 4.28

Ở hình 4.28a hai cuộn dây được quấn cùng chiều trên trụ, ký hiệu các đầu dây tương ứng giống nhau thì sức điện động cảm ứng trong hai cuộn dây là hoàn toàn trùng pha nhau, nói cách khác góc lệch pha giữa các sức điện động là 0 hay 360° .

Hình 4.28b thể hiện hai cuộn dây quấn ngược chiều nhau. Sức điện động trên hai cuộn dây sẽ lệch pha nhau 180° .

Hình 4.28c hai cuộn dây quấn cùng chiều nhau song quy ước đầu dây của cuộn dưới ngược với quy ước trong hình 4.28a. Như vậy trong trường hợp này véc tơ sức điện động của chúng cũng lệch pha nhau một góc 180° .

Quay trở lại việc xác định tổ nối dây của máy biến áp 3 pha bằng cách dựa trên đồ thị véc tơ sức điện động, ta phải thực hiện theo các bước sau đây:

Bước thứ nhất là xác định cách nối dây của các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp, xem nối theo kiểu gì, ghi lại ký hiệu đầu dây. Ví dụ Δ nghĩa là cuộn sơ cấp đấu sao, cuộn thứ cấp đấu tam giác, hoặc $\Delta\Delta$ nghĩa là cả hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp đều đấu hình sao, hoặc ΔY nghĩa là cuộn sơ cấp đấu tam giác, cuộn thứ cấp đấu sao có dây trung tính.

Bước thứ hai. Xem xét cực tính và ký hiệu đầu dây để xây dựng đồ thị véc tơ của cả hai cuộn sơ cấp và thứ cấp. Để thuận tiện cho việc xác định góc lệch pha thường khi vẽ ta vẽ véc tơ sức điện động dây sơ cấp theo chiều thẳng đứng hướng lên trên và coi đó là kim phút của đồng hồ chỉ số 12. Xây dựng đồ thị véc tơ sức điện động của cuộn thứ cấp trên cơ sở véc tơ sức điện động của cuộn sơ cấp. Sau đó dịch chuyển véc tơ sức điện động dây thứ cấp tương ứng với véc tơ sức điện động dây sơ cấp về cùng một gốc ta sẽ đọc được số giờ tương ứng với góc lệch pha của hai sức điện động.

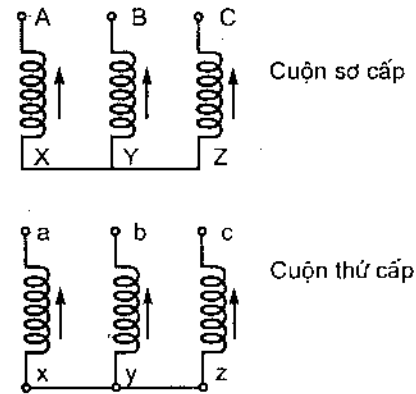
Bước thứ ba. Ghi số giờ đã xác định vào phía sau ký hiệu cách đấu dây ta có tổ nối dây hoàn chỉnh.

Ví dụ 4.5. Xác định tổ nối dây của máy biến áp sau:

Lời giải:

Bước 1. Trên hình 4.29 ta thấy cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp của máy đều đấu hình sao. Vậy ta viết được ký hiệu hai chữ đầu của tổ nối dây là $\Delta\Delta$.

Bước 2. Nhận thấy các cuộn dây quấn trên cùng trục có ký hiệu tương ứng giống nhau và cực tính tương tự nhau.

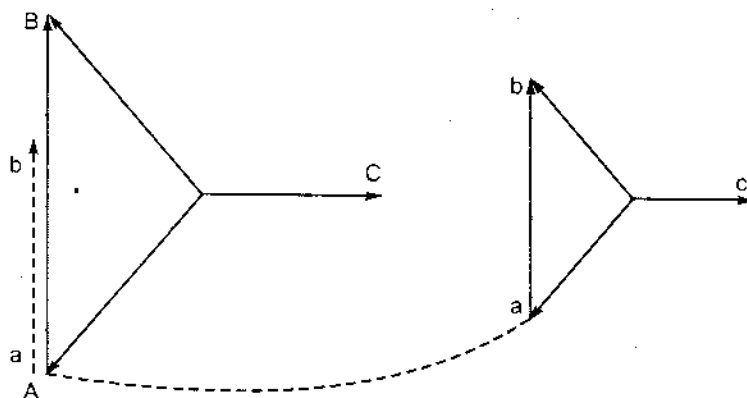


Hình 4.29

Xây dựng đồ thị véc tơ cuộn sơ cấp, lưu ý ta lấy sức điện động dây AB làm kim phút của đồng hồ và chỉ số 12.

Tương tự ta xây dựng đồ thị véc tơ sức điện động cho cuộn thứ cấp. Lưu ý rằng với quy ước và cực tính như trên, các sức điện động của các pha tương ứng lệch nhau 0° hay song song với nhau.

Chuyển véc tơ ab là véc tơ sức điện động dây thứ cấp về cùng gốc với véc tơ AB là véc tơ sức điện động dây của cuộn sơ cấp ta thấy chúng trùng nhau hay 12 giờ.



Hình 4.30

Bước 3. Ghi chỉ số 12 vào sau ký hiệu ở bước 1 ta có tổ nối dây 人 人-12.

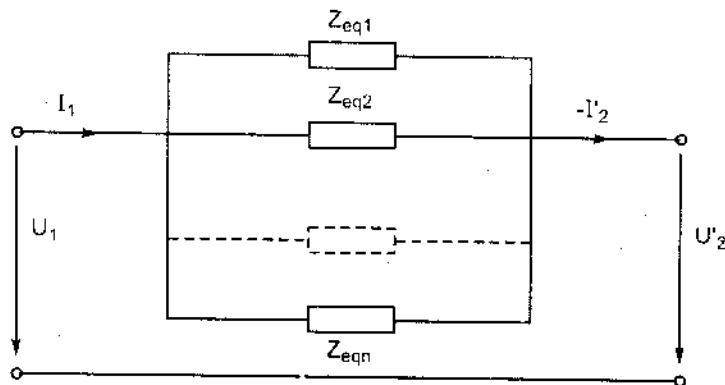
Máy biến áp làm việc song song

Trong thực tế để nâng cao tính kinh tế trong chế tạo, lắp đặt, vận hành máy biến áp người ta thường ghép các máy làm việc song song với nhau. Ví dụ như quy mô của nhà máy chế tạo không cho phép chế tạo các máy có dung lượng quá lớn hoặc hạ tầng kỹ thuật như đường xá, cầu cống, phương tiện vận chuyển không cho phép đưa máy có công suất quá lớn đến vị trí lắp đặt hoặc yêu cầu về khả năng truyền tải điện liên tục khi xảy ra sự cố... Khi đó hai hoặc nhiều máy biến áp có công suất nhỏ hơn được ghép lại làm việc song song là phương án kinh tế và hiệu quả.

Để các máy biến áp có thể làm việc song song với nhau thì chúng phải thoả mãn các điều kiện dưới đây:

- Phải có cùng điện áp sơ cấp và thứ cấp hay cùng tỷ số biến đổi.
- Phải có cùng tổ nối dây.
- Cuối cùng là điện áp ngắn mạch càng giống nhau càng tốt.

Trong ba điều kiện trên thì hai điều kiện đầu là bắt buộc, điều kiện thứ ba được tính toán sao cho các máy biến áp không bị vận hành quá tải. Trị số điện áp ngắn mạch là sự thể hiện tổng trở ngắn mạch của từng máy nếu bỏ qua dòng điện từ hoá thì mạch điện thay thế tương đương của các máy làm việc song song có dạng như hình.



Hình 4.31

Tổng trở tương đương của mạch:

$$Z_{eq} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_{eqi}}}$$

trong đó Z_{eqi} là tổng trở ngắn mạch của máy biến áp thứ i .

Điện áp rơi trên toàn mạch:

$$\Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}'_2 = Z_q \dot{I}$$

Trong đó $\dot{I} = \dot{I}_1 = \dot{I}'_2$ là dòng điện tổng của các máy biến áp. Dòng điện tải của các máy biến áp được tính như sau:

$$\dot{I}'_{21} = \frac{\Delta \dot{U}}{Z_{eq1}} = \frac{\dot{I}}{Z_{eq1} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_{eqi}}}$$

$$\dot{I}'_{22} = \frac{\Delta \dot{U}}{Z_{eq2}} = \frac{\dot{I}}{Z_{eq2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_{eqi}}}$$

$$\dot{I}'_{2n} = \frac{\Delta \dot{U}}{Z_{eqn}} = \frac{\dot{I}}{Z_{eqn} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_{eqi}}}$$

Thực tế dòng điện tải của máy có góc pha lệch nhau rất và có thể coi như chúng trùng pha với nhau, lúc đó ta có thể thay các giá trị phức bằng môđun của nó:

$$Z_{eq} = \frac{U_n}{I_{dm}}$$

Thay vào các biểu thức trên cho từng máy và biến đổi ta tìm được hệ số tải của mỗi máy ký hiệu bằng chữ β .

$$\beta_1 = \frac{S_1}{S_{dm1}} = \frac{S}{U_{n1} \sum \frac{S_{dmi}}{U_{ni}}}$$

$$\beta_2 = \frac{S_2}{S_{dm2}} = \frac{S}{U_{n2} \sum \frac{S_{dmi}}{U_{ni}}}$$

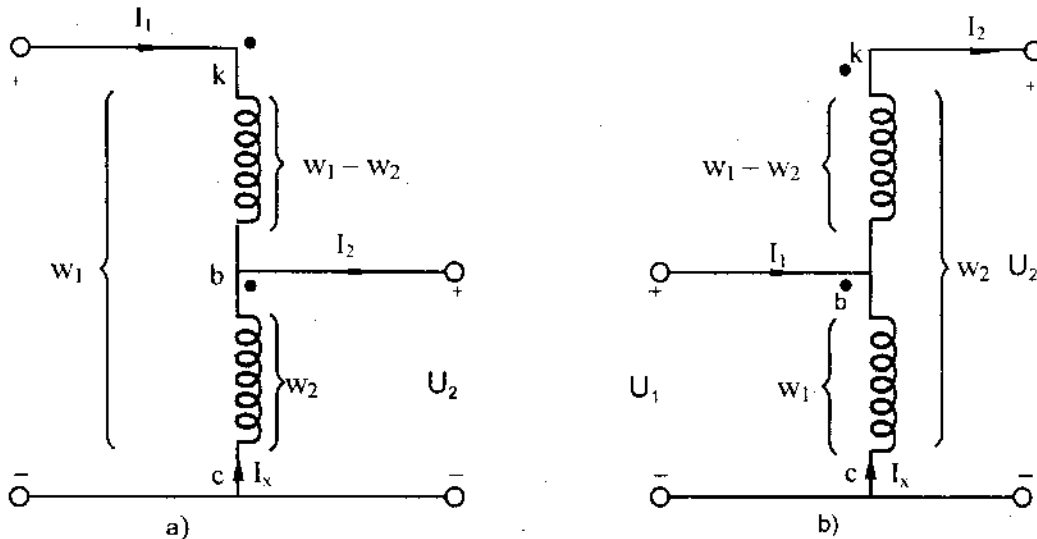
$$\beta_n = \frac{S_n}{S_{dmn}} = \frac{S}{U_{nn} \sum \frac{S_{dmi}}{U_{ni}}}$$

Trong đó $S = U_1 \cdot I$ là tổng công suất truyền tải của các máy biến áp. Rõ ràng rằng, khi giá trị điện áp ngắn mạch càng nhỏ thì hệ số tải càng cao hay máy mang tải càng nặng. Nếu các máy làm việc song song có giá trị điện áp ngắn mạch như nhau thì chúng sẽ có hệ số tải bằng nhau và không xảy ra hiện tượng phân phối tải lệch giữa các máy hoặc có máy làm việc non tải, có máy làm việc quá tải. Người ta cũng quy định các máy biến áp làm việc song song điện áp ngắn mạch của chúng không nên sai lệch quá $\pm 10\%$ và dung lượng của máy khoảng 3 : 1.

4.11. MÁY BIẾN ÁP TỰ NGẪU

Hai cuộn dây trong máy biến áp hai dây quấn thông thường không liên kết với nhau, nối cách khác giữa chúng cách ly về điện. Vì thế, năng lượng trong máy biến áp được cảm ứng từ cuộn sơ cấp sang cuộn thứ cấp. Tuy nhiên, ở máy biến áp tự ngẫu chỉ có một cuộn dây, cuộn dây này đồng thời là cuộn dây thứ cấp và sơ cấp. Vì vậy, trong máy biến áp tự ngẫu không có sự cách ly về điện giữa đầu vào và đầu ra. Kết quả là năng lượng được truyền từ cuộn sơ cấp sang cuộn thứ cấp qua sự hỗ cảm và dòng điện. Hình 4.32 trình bày hai kiểu máy biến áp tự ngẫu là máy biến áp tự ngẫu tăng áp và máy biến áp tự ngẫu hạ áp. Máy biến áp tự ngẫu hạ áp được thể hiện trên hình 4.32a, điện áp trên cuộn thứ cấp nhỏ hơn điện áp trên cuộn dây sơ cấp. Trong trường hợp này, máy biến áp tự ngẫu cũng như là máy biến áp 2 dây quấn trong trường hợp đặc biệt. Chỉ có điều khác là 2 cuộn dây được cách điện với nhau. Trong máy biến áp tự ngẫu thì 2 cuộn dây được nối nối tiếp với nhau và cuộn dây nối với lưới điện gọi là cuộn chung. Trong máy biến áp tự ngẫu đầu ra có thể được thiết kế di chuyển được để điều chỉnh điện áp đầu ra. Máy biến áp này được sử dụng ngày càng nhiều trong các đường dây truyền tải điện áp cao hoạt động ở các mức điện áp khác nhau. Như đã trình bày ở hình 4.2, chúng có thể được sử dụng như máy biến áp tăng áp hoặc hạ áp.

Sơ đồ mạch tương đương của một máy biến áp lý tưởng được trình bày trên hình 4.32a. Điện áp ra U_2 và điện áp vào U_1 quan hệ với nhau như quan hệ giữa hai cuộn dây của máy biến áp thông thường. Vì thế:



Hình 4.32. Sơ đồ máy biến áp tự ngẫu

a) Hạ áp; b) Tăng áp

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = k \quad (4.78)$$

Khi $k > 1$ ứng với máy biến áp hạ áp, khi đó $w_1 > w_2$. Như vậy, từ phương trình máy biến áp lý tưởng có:

$$U_1 w_1 = U_2 w_2 \quad (4.79)$$

Hay
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = k \quad (4.80)$$

bỏ qua dòng từ hóa, I_1 , I_2 là đồng pha. Vì thế:

$$I_x = I_2 - I_1 \quad (4.81)$$

Cũng như vậy, sức từ động của hai cuộn dây bằng nhau, theo phương trình cân bằng sức từ động có:

$$w_2 I_x = (w_1 - w_2) I_1 \quad (4.82)$$

Hay
$$I_x = \frac{w_1 - w_2}{w_2} = (k - 1) I_1 = I_2 - I_1 \quad (4.83)$$

Từ đó
$$I_1 = \frac{I_2}{k} = \frac{w_2}{w_1} I_2 \quad (4.84)$$

Hoặc
$$\frac{I_2}{I_1} = k \quad (4.85)$$

Từ đó
$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{w_c + w_s}{w_c} \quad (4.86)$$

nên
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{w_c + w_s}{w_c} \quad (4.87)$$

Ở đây w_c là số vòng dây cuộn chung và bằng w_2

w_s là số vòng dây cuộn nối tiếp và bằng $w_1 - w_2$

Tương tự như vậy, phương trình trên có thể viết lại như sau:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{w_c}{w_c + w_s} \quad (4.88)$$

Công suất biểu kiến là:

$$S_{bk} = U_2 I_2 \quad (4.89)$$

Từ phương trình (4.81) có:

$$I_2 = I_1 + I_x = I_1 + (I_2 - I_1) \quad (4.90)$$

Thay thế (4.90) vào (4.89) có :

$$S_{bk} = U_2 I_1 + U_2 (I_2 - I_1) = S_c + S_i \quad (4.91)$$

S_c là công suất điện trên cuộn dây w_2 :

$$S_c = U_2 I_1 \quad (4.92)$$

S_i là công suất hồ cảm trên cuộn dây $w_1 - w_2$:

$$S_i = U_2 (I_2 - I_1) \quad (4.93)$$

Quan hệ giữa S_c và S_i với S_{bk} được thể hiện:

$$\frac{S_i}{S_{bk}} = \frac{I_2 - I_1}{I_2} = \frac{k - 1}{k} \quad (4.94a)$$

$$= \frac{w_s}{w_s + w_c} \quad (4.94b)$$

$$= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \quad (4.94c)$$

Và
$$\frac{S_c}{S_{bk}} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{k} \quad (4.95a)$$

$$= \frac{w_2}{w_1} \quad (4.95b)$$

Vì vậy khi $k > 1$ ứng với trường hợp máy biến áp hạ áp.

Sơ đồ với máy biến áp tự ngẫu tăng áp ở hình 4.24b, dòng điện trong cuộn dây song song là:

$$I_x = I_2 - I_1$$

Vì vậy
$$I_1 = I_2 - I_x = I_2 - (I_2 - I_1) = I_2 + (I_1 - I_2) \quad (4.96)$$

Thay thế (4.96) vào (4.89) có:

$$S_{bk} = U_2 I_2 = U_1 I_1 \quad (4.97a)$$

$$= U_1 I_2 + U_1 (I_1 - I_2) \quad (4.97b)$$

$$= S_c + S_i \quad (4.97c)$$

S_c là công suất điện trên cuộn dây w_2 :

$$S_c = U_1 I_2 \quad (4.98)$$

S_i là công suất hồ cảm trên cuộn dây $w_1 - w_2$:

$$S_i = U_1 (I_1 - I_2) \quad (4.99)$$

Quan hệ giữa S_c và S_i với S_{bk} được thể hiện :

$$\frac{S_i}{S_{bk}} = \frac{I_1 - I_2}{I_1} = 1 - k \quad (4.100)$$

$$\frac{S_c}{S_{bk}} = \frac{I_2}{I_1} = k \quad (4.101)$$

Với
$$k = \frac{w_1}{w_2} \quad (4.102)$$

Và $k < 1$ ứng với máy biến áp tăng áp.

Ưu điểm máy biến áp tự ngẫu là điện kháng tản thấp, tổn thất ít, dòng từ hóa nhỏ. Hầu hết các máy biến áp tự ngẫu giá thành rẻ hơn máy biến áp hai dây quấn tương đương (đặc biệt là khi tỷ lệ điện áp không quá lớn). Nhược điểm của máy biến áp tự ngẫu là không có sự riêng biệt về điện giữa cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp, dòng ngắn mạch lớn hơn ở máy biến áp hai dây quấn.

Máy biến áp tự ngẫu ba pha có cuộn dây chính được nối sao và điểm trung tính được nối với đất. Tuy nhiên, cũng có thể nối tam giác, trong trường hợp này cuộn dây đó gọi là cuộn tam cấp.

Ví dụ 4.6 :

Cho máy biến áp 1 pha 2 dây quấn 100kVA, 2400/240V được nối thành máy biến áp tự ngẫu hạ áp 2640/2400V. Máy biến áp được nối như hình 4.32a với điện áp tương ứng của cuộn dây ab, bc là 240V và 2400V. So sánh tỷ lệ công suất giữa máy biến áp tự ngẫu và máy biến áp 2 dây quấn. Tính dòng điện I_1 , I_2 , I_3 và công suất S_{bk} , S_i và S_c .

Lời giải:

Dòng điện định mức trong cuộn dây 240V là:

$$I_1 = \frac{100000}{240} = 416,667A$$

Tương tự, dòng điện trong cuộn dây 2400V là:

$$I_x = I_2 - I_1 = \frac{100000}{2400} = 41,667A$$

Vì vậy dòng điện qua tải là $I_2 = I_1 + I_x = 458,334A$

Tỷ số biến đổi điện áp là:

$$k = \frac{2640}{2400} = 1,10$$

Công suất của máy biến áp tự ngẫu là:

$$\begin{aligned} S &= U_1 I_1 = U_2 I_2 \\ &= \frac{2640 \cdot 458,334}{1000} = 1210kVA \end{aligned}$$

Trong khi đó công suất của máy biến áp hai dây quấn là 100kVA. Như vậy tỷ lệ công suất giữa máy biến áp tự ngẫu và máy biến áp hai dây quấn là:

$$\frac{S_{TN}}{S_{DQ}} = \frac{1210}{100} = 12,1$$

Nói cách khác, công suất máy biến áp tăng 12,1 lần khi nối thành máy biến áp tự ngẫu.

Công suất hồ cảm là:

$$S_i = U_2 (I_2 - I_1) = 2640 (458,334 - 416,67) = 110kVA$$

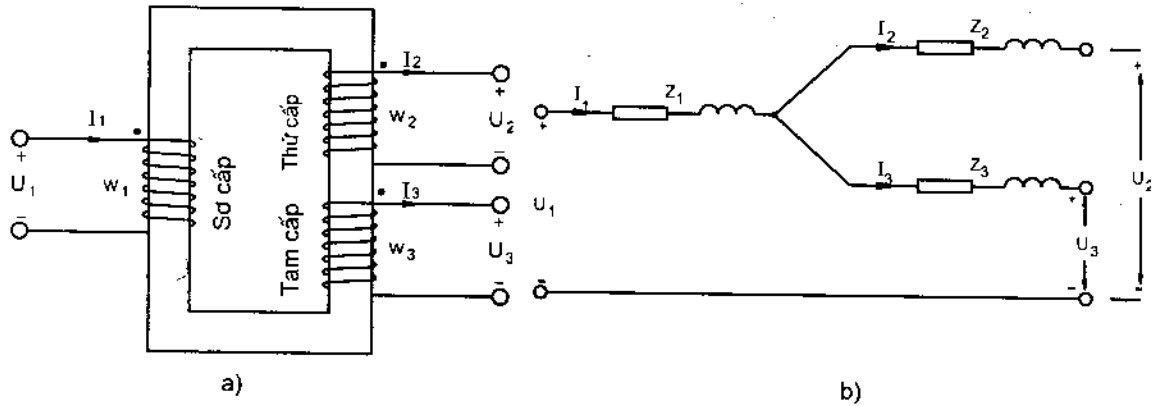
Công suất điện là:

$$S_c = \frac{S_{bk}}{a} = \frac{1210}{1,10} = 1100kVA$$

4.12. MÁY BIẾN ÁP BA DÂY QUẤN

Hình 4.33 thể hiện máy biến áp 1 pha 3 dây quấn. Máy biến áp ba dây quấn thường được sử dụng trong truyền dẫn điện từ nơi có điện áp thấp đến nơi có điện áp cao. Chúng cũng được sử dụng trong các trạm phân phối. Nếu tổng trở của mạch từ hóa được bỏ qua thì mạch điện tương đương của máy biến áp ba dây quấn có thể

được thể hiện dưới dạng sao của 3 điện kháng như hình 4.33b. Ở đây cuộn dây sơ cấp, thứ cấp và tam cấp được ký hiệu tương ứng là 1, 2 và 3. Chú ý rằng, điểm chung 0 là không có thực, nó không liên quan đến trung tính của hệ thống. Trong khi cuộn sơ cấp và thứ cấp được nối sao thì cuộn tam cấp của máy 3 pha và máy biến áp 3 cuộn dây được nối theo kiểu tam giác. Cuộn dây tam cấp được sử dụng với mục đích:



Hình 4.33. Máy biến áp một pha ba cuộn dây

a) Sơ đồ quấn dây; b) Sơ đồ mạch tương đương.

- Nó tiết tiêu một phần thành phần dòng bậc 3 và bậc cao hơn của dòng từ hoá và dòng thứ tự 0.
- Nó được sử dụng trong các hệ thống phân phối điện trong các nhà máy.
- Ứng dụng để điều chỉnh hệ số công suất bằng cách nối với các tụ điện hoặc điện kháng. Nếu máy biến áp 3 cuộn dây được coi là máy biến áp lý tưởng thì:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{w_2}{w_1} \quad (4.103)$$

$$\frac{U_3}{U_1} = \frac{w_3}{w_1} \quad (4.104)$$

$$w_1 I_1 = w_2 I_2 + w_3 I_3 \quad (4.105)$$

Trong đó U_1 , U_2 , U_3 và w_1 , w_2 , w_3 tương ứng là điện áp và số vòng dây của cuộn sơ cấp, thứ cấp và tam cấp.

Tổng trở của bất kỳ nhánh nào trong hình 4.33 đều có thể tính được khi coi ngắn mạch giữa hai cuộn và cuộn thứ ba hở mạch. Vì vậy:

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2 \quad (4.106)$$

$$Z_{13} = Z_1 + Z_3 \quad (4.107)$$

$$Z_{23} = Z_2 + Z_3 \quad (4.108)$$

Z_1 , Z_2 và Z_3 là điện kháng quy về cuộn sơ cấp, thứ cấp và tam cấp.

$$Z_1 = \frac{1}{2}(Z_{12} + Z_{13} - Z_{23}) \quad (4.109)$$

$$Z_2 = \frac{1}{2}(Z_{23} + Z_{12} - Z_{13}) \quad (4.110)$$

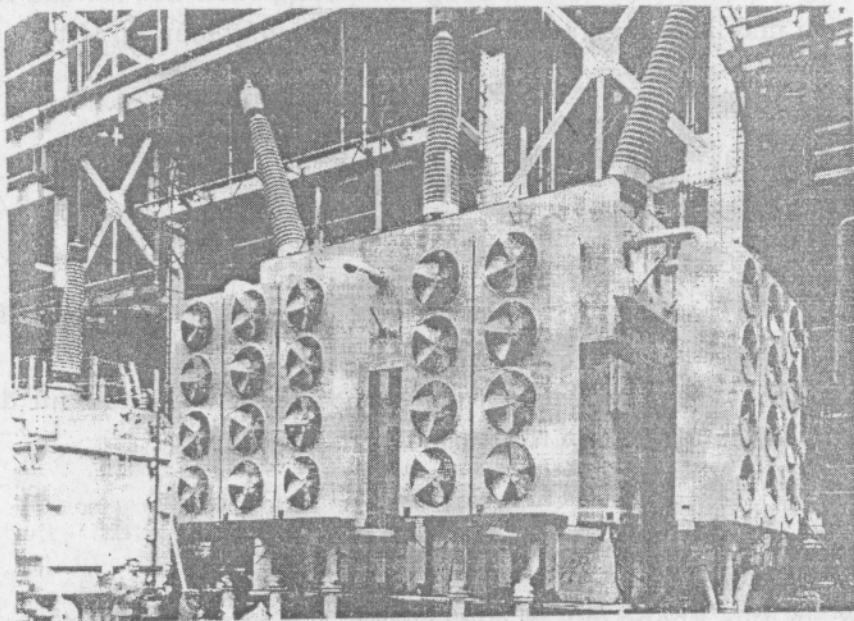
$$Z_3 = \frac{1}{2}(Z_{13} + Z_{23} - Z_{12}) \quad (4.111)$$

Trong đó:

- Z_{12} là tổng kháng đo trong cuộn sơ cấp với cuộn thứ cấp ngắn mạch và cuộn tam cấp hở mạch.
- Z_{23} là tổng kháng đo trong cuộn thứ cấp với cuộn tam cấp ngắn mạch và cuộn sơ cấp hở mạch.
- Z_{13} là tổng kháng đo trong cuộn tam cấp với cuộn sơ cấp ngắn mạch và cuộn thứ cấp hở mạch.
- Z_1 là trở kháng của cuộn sơ cấp.
- Z_2 là trở kháng của cuộn thứ cấp.
- Z_3 là trở kháng của cuộn tam cấp.

Trong phần lớn các máy biến áp, giá trị Z_2 rất bé và có thể coi như bằng 0. Ngược lại với máy biến áp 2 cuộn dây, tỷ lệ công suất của 3 cuộn dây trong máy biến áp 3 cuộn dây thường không bằng nhau. Vì thế, tất cả trở kháng đã định nghĩa ở trên được tính toán biểu diễn trên cơ sở cho công suất 3 cuộn bằng nhau. Hình 4.34 thể hiện máy biến áp 3 pha tăng áp 910MVA, 20,5/500kV.

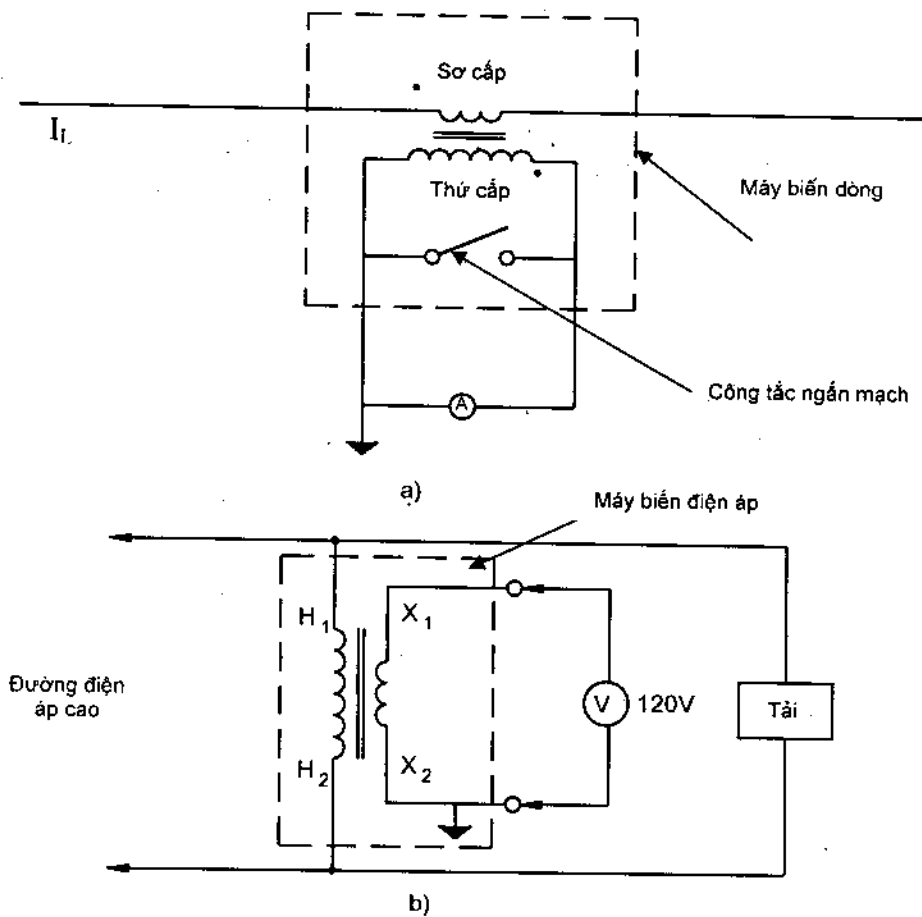
4.13. MÁY BIẾN ÁP ĐO LƯỜNG



Hình 4.34. Máy biến áp ba pha tăng áp 910MVA, 20,5/500kV.

Nhìn chung máy biến áp đo lường có hai dạng: máy biến dòng và máy biến điện áp. Chúng được sử dụng trong các mạch điện xoay chiều để an toàn cho người vận hành và các thiết bị điện cao áp. Chúng tạo ra khoảng cách cách điện hợp lý và dòng điện thích hợp cho các rơ le, các thiết bị đo và các thiết bị khác. Thông thường, các thiết bị và rơ le tiêu chuẩn đều để ở các mức là 5A hay 100V, 50Hz. Không kể đến các loại máy biến áp đo lường thông thường, tải ngoài được nối với cuộn thứ cấp của máy biến áp. Tải này thường được coi như là trở kháng nối với cuộn thứ cấp của máy biến áp và được xác định rõ công suất trên tải. Ví dụ, một máy biến dòng cung cấp dòng 5A, cho điện trở $0,5\Omega$ cũng có thể nói rằng máy biến dòng có tải là 12,5VA tại 5A.

Máy biến dòng được mắc nối tiếp như hình 4.35a. Chúng dùng để hạ dòng xuống giá trị định mức 5A phù hợp với dòng chuẩn của các ampe mét, wattmét và rơ le.



Hình 4.35. Sơ đồ máy biến áp đo lường.

a) Sơ đồ nối máy biến dòng; b) Sơ đồ nối máy biến điện áp.

Phần lớn máy biến dòng không có cuộn sơ cấp. Cuộn sơ cấp là một phần của lưới điện mà cần đo dòng điện trên đó. Nói cách khác, cuộn sơ cấp của biến dòng chính là thanh cái hoặc sợi cáp trong mạch điện cần đo dòng. Điều quan trọng phải

nhớ rằng máy biến dòng có thể rất nguy hiểm. Trong suốt quá trình thao tác, không được hở mạch thứ cấp. Không giống như các loại máy biến áp khác, số ampe vòng là hằng số ứng với từng dòng sơ cấp. Khi hở mạch thứ cấp, sức từ động không cân bằng với sức từ động đáp ứng của cuộn sơ cấp (nói cách khác từ thông của cuộn thứ cấp sẽ không khử được từ thông cuộn sơ cấp). Do vậy, dòng trong cuộn sơ cấp sẽ trở thành dòng từ hóa. Kết quả là mật độ từ thông trong lõi sắt lớn làm cảm ứng trong cuộn dây thứ cấp một điện áp cao. Để không nguy hiểm cho người sử dụng, yêu cầu tăng cách điện cho máy biến dòng nhưng nó lại làm tăng nhiệt trong lõi sắt và tăng tổn hao hơn nữa để lại từ dư lớn làm cho tỷ số biến áp khác với giá trị thiết kế. Khi ampe mét di chuyển cần một thao tác tương ứng là đóng công tắc nối ngắn mạch cuộn thứ cấp của biến dòng.

Máy biến điện áp nối dọc các điểm có điện áp khác nhau như hình 4.35b. Thứ cấp được nối vôn mét, wattmet hoặc với cuộn áp của rơ le.

Máy biến điện áp được thiết kế đặc biệt với cấp chính xác cao. Giá trị định mức đầu ra không vượt quá vài trăm VA. Với lý do an toàn thì cuộn thứ cấp của máy biến áp được nối đất và có cách điện tốt phía cao áp.

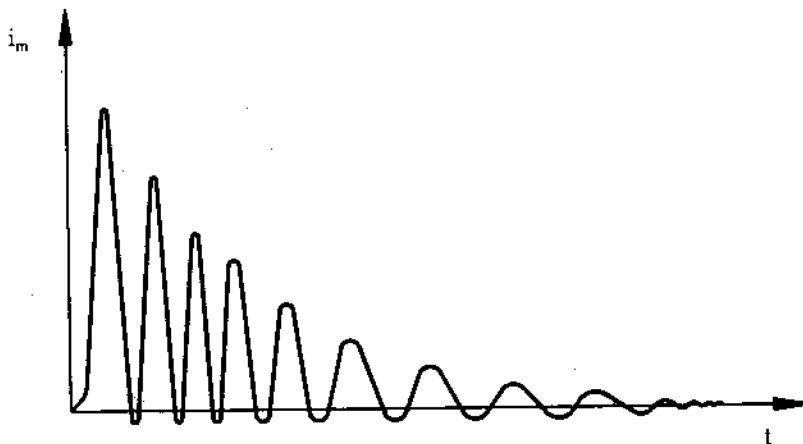
4.14. HIỆN TƯỢNG QUÁ DÒNG

Thường xảy ra khi đóng máy biến áp không tải vào lưới. Đặc tính từ hoá mà dòng điện không tải tăng nhanh gấp 8 + 10 lần dòng điện định mức của máy trong thời gian ngắn và rất khó nhận biết. Do tổn hao trong dây quấn và lõi thép nên dòng điện sớm trở về dòng không tải (vào khoảng dưới 5% dòng định mức). Hiện tượng đó gọi là hiện tượng quá dòng điện.

Nguyên nhân gây ra hiện tượng quá dòng:

- Tổng trở của máy biến áp bị giảm thấp khi lõi thép bị bão hoà.
- Sự cố chập vòng trong dây quấn do ứng suất cơ lớn làm ngắn mạch đầu máy.
- Thao tác sai thiết bị bảo vệ.

Biên độ của dòng quá độ phụ thuộc vào biên độ, cực tính và tỷ số biến đổi điện áp tại thời điểm đóng mạch.



Hình 4.36. Hiện tượng quá dòng trong máy biến áp.

Ví dụ, giả sử rằng tại thời điểm $t = 0$ điện áp cung cấp là:

$$U_1(t) = \sqrt{2}U_1 \sin \omega t = \frac{d\Psi_1}{dt} = w_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.112)$$

Từ thông là:
$$\Phi = \sqrt{2} \frac{U_1}{w_1} \int_0^t \sin \omega t dt + \Phi(0) \quad (4.113)$$

Trong đó $\Phi(0) + \Phi_r$ là từ thông dư trong lõi thép.
do đó

$$\Phi = \frac{\sqrt{2}U_1}{\omega w_1} (1 - \cos \omega t) + \Phi_r \quad (4.114)$$

$$\Phi = -\Phi_m \cos \omega t + \Phi_m + \Phi_r \quad (4.115)$$

Rõ ràng rằng thành phần một chiều của từ thông $\Phi_m + \Phi_r$ là hằng số tại $\omega t = \pi$, giá trị tức thời của từ thông:

$$\Phi = 2\Phi_m + \Phi_r$$

Giá trị từ thông lớn hơn 2 lần từ thông cực đại. Ngoài từ dư ban đầu trong lõi thép từ thông tăng lên rất mạnh ngay tại thời điểm ban đầu khi đóng máy vào lưới. Rõ ràng từ thông lớn hơn gấp đôi đã gây bão hoà mạch từ làm cho dòng điện tăng lên đột ngột. Hình 4.36 mô tả diễn biến dòng điện trong một số chu kỳ. Dòng điện suy yếu rất nhanh sau một thời gian ngắn. Tuy nhiên xác suất xảy ra hiện tượng quá dòng lớn như phân tích ở trên là rất nhỏ. Quá dòng không ảnh hưởng lớn, không gây nguy hiểm cho máy biến áp, song cần tính toán để chỉnh định rơ le bảo vệ phòng khi có hiện tượng xảy ra, thiết bị bảo vệ không cắt máy biến áp ra khỏi lưới.

Trường hợp bị ngắn mạch do chạm các vòng dây trong máy hoặc sự cố kỹ thuật do thao tác sai khiến máy biến áp bị ngắn mạch nguy hiểm hơn nhiều so với khi đóng máy không tải vào lưới. Khác với trường hợp trên, trong trường hợp này mạch từ của máy biến áp không bị bão hoà và các giá trị điện trở và điện kháng trong máy là không đổi.

Sơ đồ thay thế tương đương khi ngắn mạch như hình 4.17b

Trong đó $R_{eq1} = R_1 + k^2 R_2$

$$X_{eq1} = X_1 + k^2 X_2 = \omega L_{eq1}$$

Giả sử tại thời điểm xảy ra ngắn mạch, điện áp tức thời đặt vào máy:

$$u_1(t) = \sqrt{2}U_1 \sin(\omega t + \theta_n) = R_{eq1} i_n + L_{eq1} \frac{di_n}{dt}$$

trong đó: θ_n là góc pha điện áp khi xảy ra sự cố ngắn mạch. Giải phương trình trên với điều kiện ban đầu khi $t = 0$, $i_n = 0$ ta được nghiệm:

$$\begin{aligned} i_n &= i'_n + i''_n = \frac{\sqrt{2}U_1}{\sqrt{R_{eq1}^2 + X_{eq1}^2}} \cos(\omega t + \theta_n) + \frac{\sqrt{2}U_1}{\sqrt{R_{eq1}^2 + X_{eq1}^2}} \cos \theta_n e^{-\left(\frac{R_{eq1}}{L_{eq1}}\right)t} \\ &= \sqrt{2}I_n \cos(\omega t + \theta_n) + \sqrt{2}I_n \cos \theta_n e^{-\left(\frac{R_{eq1}}{L_{eq1}}\right)t} \end{aligned}$$

Nhận thấy rằng số hạng đầu là dòng xác lập và số hạng thứ hai là thành phần dòng tự do.

Nếu $\theta_n = 0$ và bỏ qua R_{eq1} vì $R_{eq1} \ll X_{eq1}$

Phương trình ngắn mạch được viết như sau:

$$i_n = -\sqrt{2}I_n \cos \omega t + \sqrt{2}I_n \cdot e^{-\left(\frac{R_{eq1}}{L_{eq1}}\right)t}$$

và dòng đạt cực đại khi $t = \frac{\pi}{\omega}$. Khi đó:

$$\begin{aligned} i_{nmax} &= \sqrt{2}I_n \cdot \left(1 + e^{-\left(\frac{R_{eq1}}{L_{eq1}}\right)\frac{\pi}{\omega}}\right) \\ &= \sqrt{2}I_n \cdot \left(1 + e^{-\left(\frac{R_{eq1}}{L_{eq1}}\right)}\right) = \sqrt{2}I_n \cdot k_{xg} \end{aligned}$$

Thực tế cho thấy dung lượng của máy biến áp càng lớn thì trị số k_{xg} càng lớn và thường $k_{xg} = 1,2 \div 1,8$.

Giá trị dòng điện ngắn mạch trong trường hợp này có thể lớn trên 20 lần dòng điện định mức của máy. Dòng điện lớn gây nên lực cơ học lớn, có thể phá hỏng cuộn dây hoặc gây cháy. Trong trường hợp như vậy, các thiết bị bảo vệ phải được tính toán để cắt máy ra khỏi lưới.

BÀI TẬP

4.1. Cho một máy biến áp lý tưởng dùng để giảm áp từ 13,8kV xuống 2,4kV và đầy tải khi công suất 100kVA. Tính:

- Tỷ số biến áp.
- Dòng định mức trong mỗi cuộn dây.
- Tổng trở phía cao áp khi tải định mức.
- Tổng trở phía hạ áp khi tải định mức.

4.2. Cho 1 máy biến áp lý tưởng 1 pha 2 dây quấn 2500/250V có tải là $10\angle 40^\circ$ nối với thứ cấp. Nếu sơ cấp nối với nguồn 2400V tính:

- Dòng thứ cấp.
- Dòng sơ cấp.
- Tổng trở vào.
- Công suất ra của máy biến áp theo kVA và kW.
- Công suất vào của máy biến áp theo kVA và kW.

4.3. Cho máy biến áp 1 pha 2 dây quấn công suất 50kVA, 435/138kV và 10% tổng trở vào. Khi máy có dòng 0,8 trên 1 đơn vị cuộn cao áp. Tính:

- Điện áp sơ cấp và dòng của thứ cấp.
- Tổng trở tương ứng của cuộn cao áp và hạ áp.

4.4. Cho máy biến áp 1 pha lý tưởng 60Hz, 75kVA, 2400/240V. Dùng để giảm điện áp trong hệ thống phân phối. Nếu hạ áp luôn giữ ở mức 24V. Tính:

- Tổng trở nối phía hạ áp.
- Tổng trở nối phía cao áp.
- Giá trị dòng qua tải phía hạ áp và cao áp.

4.5. Giải ví dụ 4.3 nhưng giả sử rằng tổng trở của đường truyền là $0,5+j0,6(\Omega)$ và tổng trở tải là $4+j7(\Omega)$.

4.6. Làm bài tập 4.5 với giá trị tổng trở của đường truyền và của tải tương ứng là: $4+j9(\Omega)$ và $3+j10(\Omega)$ và điện áp của máy phát là $220\angle 0^\circ V$.

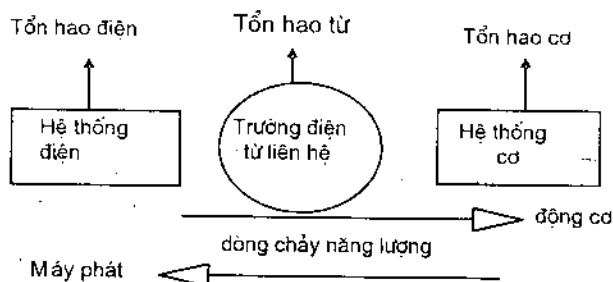
4.7. Dùng dữ liệu ở mục 4.8 và giải bài tập 4.4 với tổng trở của máy biến áp T_1 và T_2 tương ứng là $Z_{T1} = j0,1\Omega$; $Z_{T2} = j0,1\Omega$; cả Z_{T1} và Z_{T2} đều phía cao áp mỗi máy.

NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG CƠ ĐIỆN

5.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Theo nguyên lý biến đổi năng lượng, năng lượng không tự sinh ra mà cũng không tự mất đi, nó chỉ thay đổi từ dạng này sang dạng khác. Theo vai trò của thiết bị điện từ (hay thiết bị điện cơ), mà năng lượng được truyền hay biến đổi theo quy luật trên. Thí dụ như, máy biến áp truyền tải điện năng chỉ biến đổi từ điện áp và dòng điện này thành điện áp và dòng điện khác. Tuy nhiên một phần nhỏ năng lượng điện đã bị biến thành nhiệt. Ta luôn mong muốn giá trị này là nhỏ nhất trong quá trình thiết kế vận hành. Một máy điện quay hay chuyển động tịnh tiến biến đổi năng lượng từ cơ sang điện hay ngược lại, hoạt động đó được gọi là máy phát điện hay động cơ điện. Trong quá trình đó có một phần năng lượng điện hay năng lượng cơ bị biến thành nhiệt, đó cũng là điều không mong muốn. Tất cả các loại máy phát và động cơ điện đều được coi là máy biến đổi năng lượng điện cơ.

Thành phần chính của chúng bao gồm một hệ thống điện, một hệ thống cơ khí và một trường điện từ liên hệ như hình sau:



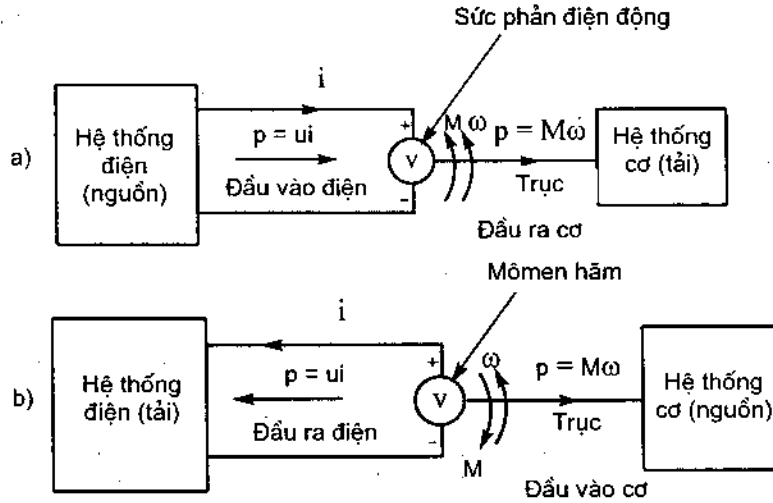
Hình 5.1. Hệ thống biến đổi năng lượng điện cơ.

5.2. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

Trong phần này chúng ta xem xét những khái niệm cơ bản về máy điện quay. Đó là những khái niệm về vận tốc góc, gia tốc góc, máy sản xuất, nguồn điện và mômen quay. Ví dụ như trong chương 2, hầu hết các máy điện quay tròn đều quay quanh trục của chính nó. Nhìn trong hình 5.2 a, b chúng ta thấy được đầu vào của máy phát và đầu ra của động cơ điện đều là cơ năng. Nếu trục quay ngược chiều với chiều quay của kim đồng hồ, thì kết quả đo được về góc quay và chiều quay được quy ước là chiều dương và ngược lại thuận chiều kim đồng hồ là chiều âm. Vị trí góc θ của trục là góc được đo từ một điểm bất kỳ. Chú ý rằng vị trí góc xác định theo khoảng cách trên đường thẳng kéo dài từ tâm quay tới điểm đã chọn với phương tác động của lực và

được đo bằng đơn vị radian hay độ. Vận tốc góc được định nghĩa là sự thay đổi vị trí góc theo thời gian. Như thế vận tốc góc có thể tính theo biểu thức:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \text{ rad/s} \quad (5.1)$$



Hình 5.2. Hệ điện cơ ở chế độ động cơ a) và máy phát b).

Thông thường tốc độ quay n được tính bằng số vòng quay trong một phút

$$n = \left(\frac{60}{2\pi} \right) \omega \text{ vòng/phút (vg/ph)} \quad (5.2)$$

Tỷ lệ giữa sự thay đổi của vận tốc góc với thời gian được gọi là gia tốc góc và có biểu thức là:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \text{ rad/s}^2 \quad (5.3)$$

Trong máy điện quay, mômen xoắn M được định nghĩa là tích của lực tiếp tuyến theo thời gian với độ lớn bán kính tại nơi nó xuất hiện, được đo từ trục của phần quay. Nói cách khác, mômen quay là một hàm số của cường độ lực tác động và khoảng cách giữa trục và đường thẳng tác động của lực. Hình 5.3 minh họa quan hệ giữa lực và mômen. Mômen quay M có thể tính theo biểu thức sau:

$$M = F \cdot r \cdot \sin\theta \quad (5.4)$$

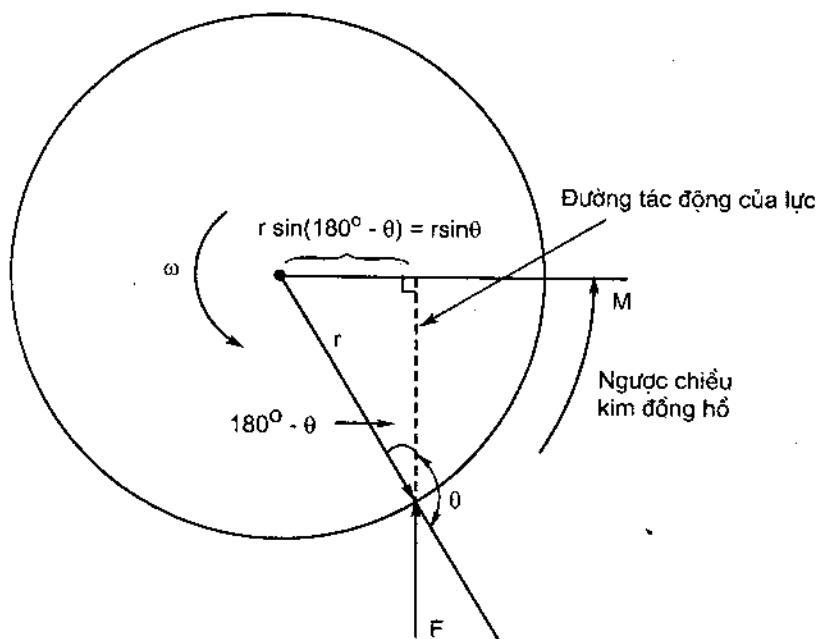
Trong hệ đơn vị SI thì lực được đo bằng đơn vị niuton, và khoảng cách với đơn vị là mét.

Trong chuyển động thẳng, theo Newton, công cơ học được định nghĩa là tích phân của lực trên toàn bộ khoảng cách. Do đó:

$$W = \int f dx \text{ (J)} \quad (5.5)$$

Đơn vị của công là J trong hệ đơn vị SI và foot-pounds trong hệ thống của Anh. Tuy nhiên, trong chuyển động quay, công được định nghĩa là tích phân của mômen trên toàn bộ góc quay. Như vậy:

$$W = \int M d\theta \text{ (J)} \quad (5.6)$$



Hình 5.3. Quan hệ giữa lực và mômen

Nếu mô men quay luôn là không đổi ta có

$$W = M\theta \quad (\text{J}) \quad (5.7)$$

Công suất có thể được định nghĩa là tỷ số của công với thời gian:

$$P = \frac{dW}{dt} = F \frac{dx}{dt} \quad (\text{W}) \quad (5.8)$$

Trong chuyển động quay có mômen hằng, biểu thức tính công suất là:

$$P = \frac{dW}{dt} = M \frac{d\theta}{dt} \quad (\text{W}) \quad (5.9)$$

$$\text{Hay} \quad P = M \cdot \omega \quad (\text{W}) \quad (5.10)$$

Từ biểu thức 5.10 ta có thể tìm thấy mômen quay bằng:

$$M = \frac{P}{\omega} \quad (\text{N.m}) \quad (5.11)$$

Khi sử dụng, người ta thường dùng công thức sau:

Thay $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ vào công thức 5.11

$$M = \frac{P}{\frac{2\pi n}{60}} \quad (\text{Nm}) \quad (5.12)$$

$$M = \frac{60 \cdot P}{2\pi n} \quad (\text{Nm}) \quad (5.13)$$

$$M = \frac{9,55P(\text{W})}{n} \quad (\text{Nm}) \quad (5.14)$$

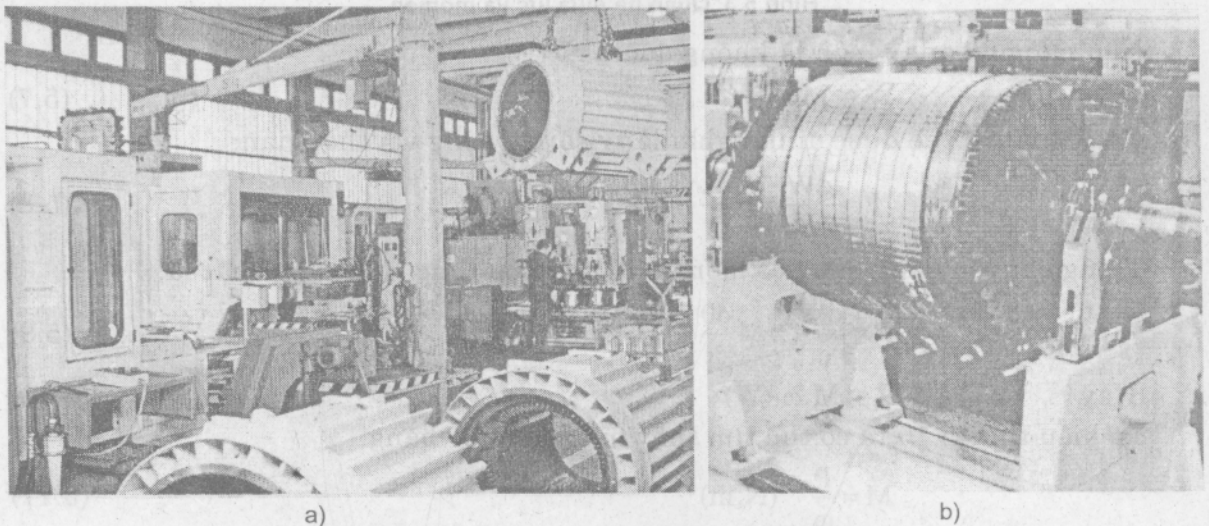
$$M = \frac{9550P(\text{kW})}{n} \quad (\text{Nm}) \quad (5.15)$$

Một số khái niệm cơ bản liên quan đến máy điện quay đã được minh họa trong hình 5.2. Từ trường trong máy được thiết lập cần có sự liên kết giữa hệ thống điện và hệ thống cơ, mối quan hệ đó tạo ra mô men cơ cũng như cảm ứng trên cuộn dây một sức điện động, và từ trường được sinh ra do dòng điện chạy trong các cuộn dây đó. Xét động cơ đang hoạt động như minh họa trong hình 5.2. Công suất tức thời đưa vào động cơ được tính theo công thức:

$$p = u.i \quad (5.16)$$

Trong đó u và i là giá trị của điện áp và dòng điện thể hiện trên hình 5.2.

Từ trường sinh ra mômen đầu ra và cảm ứng một sức phản điện động (gọi là sức phản điện động vì nó chống lại sự biến đổi của dòng điện). Nhờ đó mà máy điện nhận được nguồn năng lượng từ lưới và biến đổi nó thành mômen cơ đầu ra. Ở đây mômen quay cùng chiều với vận tốc góc. Ở chế độ máy phát chỉ ra trong hình 5.2 thông qua trường điện từ mà sinh ra điện áp và mômen cản (có tác dụng chống lại mômen cơ), làm quay rôto máy phát. Máy phát là thiết bị biến đổi năng lượng cơ thành năng lượng điện đầu ra. Trong trường hợp này mômen cản và vận tốc góc ngược chiều nhau. Hình 5.4 thể hiện một số bộ phận như rôto, stato của các máy điện công suất lớn.



Hình 5.4. Stato và rôto máy điện công suất lớn.

a) Sản xuất stato; b) Sản xuất rôto

Ví dụ 5.1

Tốc độ của một động cơ là 1500vg/ph. Hãy xác định tốc độ góc của trục quay.

Lời giải:

Từ công thức (5.2)

$$n = \left(\frac{60}{2\pi}\right) \omega \text{ vg/ph} \rightarrow \omega = \left(\frac{2\pi}{60}\right) n = \left(\frac{2\pi}{60}\right) (1500 \text{ vg/ph}) = 156,9 \text{ rad/s}$$

Ví dụ 5.2

Quan sát hình 5.3. Biết mômen quay rôto là 200N.m và bán kính của rôto là 0,25m. Hãy xác định lực xuất hiện (N):

- a) Nếu góc θ là 15 độ.
- b) Nếu góc θ là 45 độ.
- c) Nếu góc θ là 90 độ.
- d) Nếu góc θ là 120 độ.

Lời giải:

a) Từ biểu thức 5.4: $M = Fr \sin \theta$ Ta có $F = \frac{M}{r \sin \theta}$

Do đó:

Tại $\theta = 15^\circ$:

$$F = \frac{M}{r \sin \theta} = \frac{200 \text{ Nm}}{(0,25 \text{ m}) \sin 15^\circ} = 3,091 \text{ N}$$

Tại $\theta = 45^\circ$:

$$F = \frac{M}{r \sin \theta} = \frac{200 \text{ Nm}}{(0,25 \text{ m}) \sin 45^\circ} = 1131,4 \text{ N}$$

Tại $\theta = 90^\circ$:

$$F = \frac{M}{r \sin \theta} = \frac{200 \text{ Nm}}{(0,25 \text{ m}) \sin 90^\circ} = 800 \text{ N}$$

Tại $\theta = 120^\circ$:

$$F = \frac{M}{r \sin \theta} = \frac{200 \text{ Nm}}{(0,25 \text{ m}) \sin 120^\circ} = 923,8 \text{ N}$$

Ví dụ 5.3

Một cuộn dây có tiết diện là $0,3 \text{ m}^2$ với $w = 20$ vòng, quay tròn quanh trục nằm ngang với vận tốc không đổi 3600 vòng/phút trong một từ trường đều dọc theo ống dây có mật độ từ cảm $B = 0,8 \text{ T}$. Nếu từ thông tổng xuyên qua cuộn dây có giá trị $\Phi = A \cdot B \cos \omega t$ (Wb). Trong đó A là tiết diện ngang của cuộn dây.

Hãy xác định giá trị cực đại và giá trị hiệu dụng của điện áp cảm ứng trên cuộn dây.

Lời giải:

Từ thông biến thiên qua lòng cuộn dây theo biểu thức:

$$\Phi = AB \cos \omega t$$

Theo định luật Faraday thì điện áp đó là:

$$u = w \frac{d\Phi}{dt} = w \frac{d(AB \cos \omega t)}{dt} = w \cdot \omega \cdot A \cdot B \sin \omega t$$

Điện áp cực đại: $U_{\max} = w \omega AB$

Ở đây $\omega = \left(\frac{2\pi}{60} \right) n = \left(\frac{2\pi}{60} \right) (3600 \text{ v/g/ph}) = 377 \text{ rad/s}$

Do đó $U_{\max} = (20 \text{ vòng}) \cdot (377 \text{ rad/s}) \cdot (0,3 \text{ m}^2) \cdot (0,8 \text{ T}) = 1809,6 \text{ V}$

Giá trị hiệu dụng của điện áp:

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{1809,6 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 1279,6 \text{ V}$$

5.3. BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CƠ

Nguyên lý biến đổi năng lượng điện cơ có thể biểu diễn dưới những hình thức khác nhau. Ví dụ như trong hình 5.1, là một hình thức nổi của hệ thống năng lượng điện cho một động cơ điện. Nó có thể biểu diễn như sau:

Năng lượng điện đầu vào từ nguồn = Năng lượng cơ đầu ra trên tải + Năng lượng tăng thêm được tích tụ trong trường liên kết + Năng lượng tổn hao biến thành nhiệt. (5.17)

Phần năng lượng biến thành nhiệt có biểu thức là:

Năng lượng tổn thất biến đổi thành nhiệt = Tổn thất trên điện trở cuộn dây + tổn thất do ma sát và quạt gió + tổn hao kích từ. (5.18)

Tổn thất trên điện trở là i^2R , đó là tổn thất trên điện trở của dây quấn. Tổn thất ma sát và quạt gió thì liên quan tới chuyển động quay. Khi trường liên kết là từ trường thì tổn hao kích từ chính là tổn hao trong lõi thép do dòng xoáy và từ trễ. Tổn thất trên cuộn dây là do sự biến đổi trường điện từ trong lòng cuộn dây.

Thay biểu thức 5.18 vào 5.17 ta có biểu thức sau:

Năng lượng đầu vào từ nguồn trừ tổn thất trên điện trở = năng lượng cơ đầu ra trên tải cộng với tổn thất ma sát và quạt gió + năng lượng dự trữ trong trường điện từ và tổn hao trong lõi thép. (5.19)

Cho rằng trong khoảng thời gian dt chỉ có sự biến thiên của năng lượng điện dW_e không bao gồm tổn hao trên điện trở cuộn dây i^2R có thể tương đương với năng lượng cơ W_m chạy trong hệ thống. Khi đó tổng điện năng đầu vào W_e theo biểu thức:

$$dW_e = dW_m + dW_f \quad (5.20)$$

trong đó: dW_e : vi phân của năng lượng điện đầu vào.

dW_m : vi phân của năng lượng cơ đầu ra.

dW_f : vi phân của sự tăng năng lượng tích lũy trong từ trường.

Phương trình 5.20 là phương trình cân bằng năng lượng. Nó là cơ sở để phân tích hoạt động của các máy điện quay. Trong một khoảng thời gian dt :

$$dW_e = u.i.dt \quad (5.21)$$

u là điện áp cảm ứng trong mạch điện bởi sự biến thiên của năng lượng trường điện từ tích lũy. Do đó:

$$dW_e = u.i.dt = dW_m + dW_f \quad (5.22)$$

Theo luật Faraday thì:

$$u = \frac{d\Psi}{dt} \quad (5.23)$$

Nên sự biến đổi của năng lượng điện đầu vào có thể tính theo biểu thức:

$$dW_e = u.i.dt = \frac{d\Psi}{dt}.i.dt = i d\Psi \quad (5.24)$$

Sự biến đổi của năng lượng cơ đầu ra cho một chuyển dịch dx (chuyển động thẳng) khi có lực F_f có thể tính bằng biểu thức:

$$dW_m = F_f dx \quad (5.25)$$

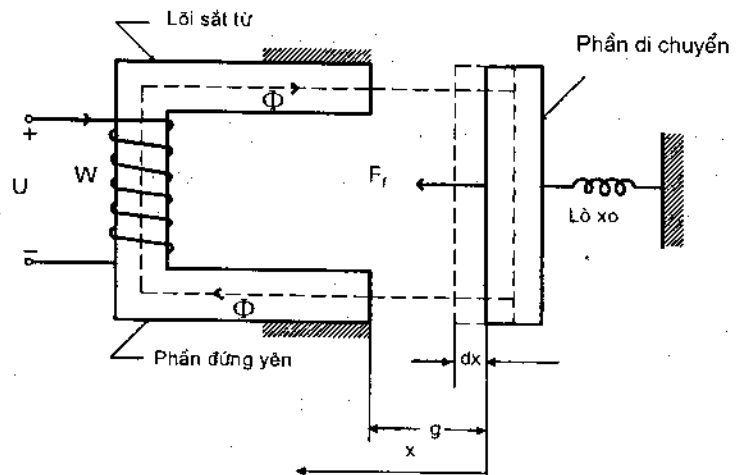
Thay 5.24 và 5.25 vào 5.22:

$$dW_f = id\psi - F_f dx \quad (5.26)$$

Nếu có sự biến đổi năng lượng cơ đầu ra trong chuyển động quay thì lực F_f được thay thế bởi mômen lực M_f và độ dịch chuyển dx được thay thế bằng dịch chuyển góc $d\theta$ nên:

$$dW_f = M_f d\theta \quad (5.27)$$

$$\text{và do đó:} \quad dW_f = id\psi - M_f d\theta \quad (5.28)$$



Hình 5.5. Một hệ thống điện cơ đơn giản.

5.3.1. Trường năng lượng

Giả sử rằng có hệ thống điện cơ như hình 5.5, có một bộ phận có thể di chuyển gọi là **phần ứng**, nó được giữ cân bằng nhờ một lò xo. Nếu bộ phận chuyển động được giữ đứng yên tại một vị trí nhất định của khe hở không khí và dòng điện biến đổi tăng từ 0 đến một giá trị i nào đó, một từ thông Φ sẽ được duy trì trong hệ thống mạch từ, khi đó không tạo ra được năng lượng cơ đầu ra:

$$dW_m = 0 \quad (5.29)$$

và thay thế biểu thức 5.29 vào 5.20:

$$dW_e = dW_f \quad (5.30)$$

Do đó nếu bỏ qua tổn thất trên lõi thép thì toàn bộ sự tăng năng lượng điện đầu vào sẽ phải tích lũy trong từ trường. Khi đó từ biểu thức 5.24

$$dW_e = i d\psi \quad (5.31)$$

$$\text{nên} \quad dW_f = i d\psi \quad (5.32)$$

$$\text{hay} \quad dW_f = dW_e = u \cdot i \cdot dt = i d\psi \quad (5.33)$$

Hình 5.6a chỉ ra mối quan hệ giữa từ thông móc vòng ψ và dòng điện i của cuộn dây với những giá trị khác nhau của khe hở không khí. Khi bỏ qua tổn thất trong lõi thép, thì đường cong sẽ là một đường đơn đi qua gốc tọa độ. Khoảng tăng của trường năng lượng dW_f được chỉ ra như phần kẻ gạch chéo trên hình 5.6a. Nếu điện áp trên đầu cực tăng sẽ làm cho dòng điện thay đổi từ i_1 đến i_2 thì tương ứng cũng có sự thay đổi của từ thông móc vòng từ ψ_1 đến ψ_2 . Do đó là sự tăng tương ứng trong năng lượng tích lũy là:

$$dW_f = \int_{\psi_1}^{\psi_2} i d\Psi \quad (5.34)$$

được chỉ ra như trong hình 5.6a. Khi dòng điện qua cuộn dây và từ thông móc vòng bằng không thì trường năng lượng là không. Do đó nếu từ thông móc vòng tăng từ không đến Ψ , thì toàn bộ năng lượng tích lũy trong trường điện từ là:

$$W_f = \int_0^{\Psi} i d\Psi \quad (5.35)$$

Đó là toàn bộ miền gạch chéo chỉ ra trên hình 5.6a, phần tạo giữa trục tung ψ và đường cong $\psi - i$. Biểu thức 5.35 có thể được sử dụng cho bất kỳ hệ thống mạch từ nào có tổn hao thấp. Nếu từ thông tản là nhỏ có thể bỏ qua thì toàn bộ từ thông trong mạch từ sẽ móc vòng với tất cả w vòng của cuộn dây. Do đó:

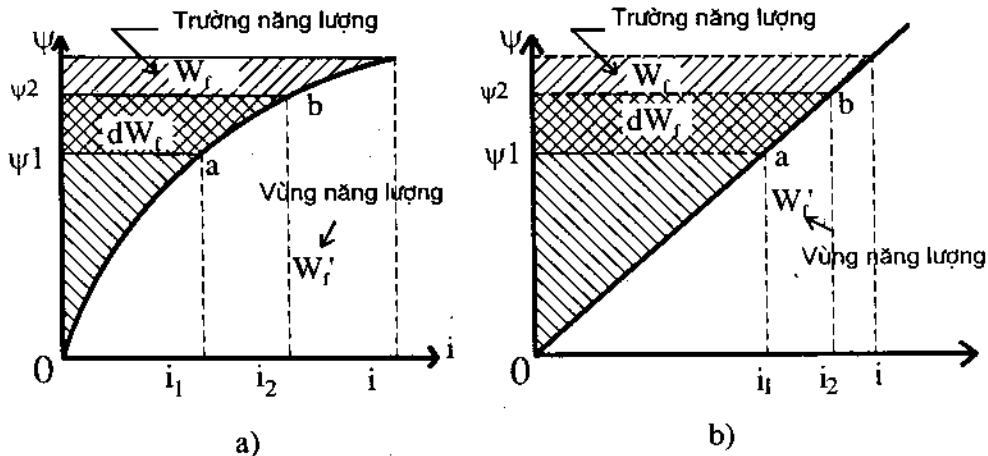
$$\psi = w \cdot \Phi \quad (5.36)$$

Do vậy từ biểu thức (5.33) và (5.36), ta có :

$$dW_f = i d\psi = w \cdot i \cdot d\Phi = F d\Phi \quad (5.37)$$

$$\text{Ở đây} \quad F = w \cdot i \quad (\text{A.vòng}) \quad (5.38)$$

Nếu ta dùng đường cong 5.6a là hình biểu diễn mối quan hệ giữa Φ và F (thay trục ψ bởi Φ và thay i bởi trục F), miền gạch chéo vẫn biểu diễn năng lượng tích lũy.



Hình 5.6. Đặc tính $\psi - i$

a) Hệ thống từ; b) Hệ thống từ lý tưởng hóa.

Nếu ta coi từ trở của khe hở không khí là lớn, chiếm gần như toàn bộ từ trở của mạch từ, thì ta có thể bỏ qua từ trở của phần gông sắt từ. Kết quả đường cong $\psi - i$ sẽ là một đường thẳng đi qua gốc tọa độ. Hình 5.6b vẽ đường cong của trường điện từ lý tưởng với hệ thống lý tưởng đó:

$$\psi = L \cdot i \quad (5.39)$$

Ở đây L là điện cảm của cuộn dây. Thay biểu thức 5.23 vào biểu thức 5.35, toàn bộ năng lượng từ trường tích lũy được có thể tính theo biểu thức:

$$W_f = \int_0^{\Psi} \frac{\Psi}{L} d\Psi = \frac{\Psi^2}{2L} = \frac{Li^2}{2} = \frac{i\Psi}{2} \quad (5.40)$$

Mật khác từ trở mạch từ (của khe hở không khí) là R thì:

$$F = R \cdot \Phi \quad (\text{A.vòng}) \quad (5.41)$$

Và từ biểu thức 5.37, toàn bộ năng lượng tích lũy trong trường điện từ có thể tính theo biểu thức:

$$W_f = \int_0^\Phi F d\Phi = R \frac{\Phi^2}{2} = \frac{F^2}{2R} \quad (5.42)$$

Hơn nữa, nếu giả sử khe hở không khí là không đổi, và toàn bộ trường điện từ là phân bố đều, thì toàn bộ năng lượng từ trường tích lũy được có thể tính theo biểu thức:

$$W_f = \frac{i\Psi}{2} = \frac{i(w \cdot \Phi)}{2} = \frac{(w \cdot i) \cdot \Phi}{2} = F \frac{\Phi}{2} \quad (5.43)$$

$$\text{Hay} \quad W_f = \frac{H \cdot B \cdot l \cdot A}{2} = \frac{B^2 V}{2\mu_0} \quad (5.44)$$

trong đó $l = 2g$: toàn bộ chiều dài khe hở không khí ở vị trí đó;

$V = l \cdot A$: toàn bộ thể tích khe hở không khí;

A : tiết diện lõi sắt;

B : mật độ từ thông khe hở không khí;

$\mu_0 = \frac{B}{H} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ độ từ thẩm của khe hở không khí.

Khi $l \cdot A$ là toàn bộ thể tích khe hở, thì mật độ năng lượng w_f trong khe hở không khí có thể tính theo biểu thức:

$$w_f = \frac{W_f}{lA} = \frac{BH}{2} = \frac{\mu_0 H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (5.45)$$

Đơn vị của mật độ năng lượng là J/m^3 .

Ví dụ 5.4

Với ví dụ 3.6 và xác định các đại lượng dưới đây.

- Sức từ động cần thiết cho khe hở không khí.
- Toàn bộ sức từ động cần thiết.
- Sức từ động cần thiết cho lõi sắt từ.
- Mật độ năng lượng trong khe hở không khí.
- Năng lượng tích lũy trong khe hở không khí.
- Toàn bộ năng lượng tích lũy trong hệ thống từ.
- Năng lượng tích lũy trong lõi sắt.
- Mật độ năng lượng trong lõi sắt.

Lời giải:

a) Std sinh ra trên khe hở là:

$$F_g = \Phi_g \cdot R_g = \Phi_4 \cdot R_4 = \Phi_2 \cdot R_4$$

Hay $F_g = (0.001197 \text{ Wb})(31,870.9886 \text{ A.vòng/Wb}) = 38,1017 \text{ A.vòng}$

b) Toàn bộ sức từ động cần là:

$$F_{\text{tot}} = \Phi_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}} = (0.0015652 \text{ Wb})(255,565.4983 \text{ A.vòng/Wb}) = 400 \text{ A.vòng}$$

c) Std sinh ra trên lõi từ là $F_c = F_{\text{tot}} - F_g = 400 - 38,1017 = 361,8983 \text{ A.vòng}$

d) Khi $B_g = B_2 = 0,2394 \text{ Wb/m}^2$

Từ biểu thức (5.45) mật độ năng lượng trên khe hở không khí là:

$$w_g = \frac{B_g^2}{2\mu_0} = \frac{(0,2394 \text{ Wb/m}^2)^2}{2(4\pi \cdot 10^{-7})} = 0,0023 \cdot 10^7 \text{ J/m}^3$$

e) Toàn bộ thể tích khe hở là:

$$V_g = l_g A_g = (0,0002 \text{ m})(0,005 \text{ m}^2) = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Do đó năng lượng tích lũy trong lõi sắt là:

$$W_g = w_g (V_g) = (0,0023 \cdot 10^7 \text{ J/m}^3)(1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3) = 0,023 \text{ J}$$

Sử dụng công thức 5.42:

$$W_g = R_g \frac{\Phi_g^2}{2} = \frac{(31,830.9886 \text{ A.vòng/Wb})(0,001197 \text{ Wb})^2}{2} = 0,023 \text{ J}$$

f) Toàn bộ năng lượng tích lũy trong hệ thống từ là:

$$W_t = F_{\text{tot}} \Phi_{\text{tot}} / 2 = \frac{(400 \text{ A.vòng/Wb})(0,0015652 \text{ Wb})^2}{2} = 0,313 \text{ J}$$

g) Từ $W_t = W_c + W_g$ suy ra năng lượng tích trữ trong lõi sắt là:

$$W_c = W_t - W_g = 0,313 - 0,023 = 0,29 \text{ J}$$

h) Thể tích của lõi sắt là:

$$V_g = 2(0,05 \cdot 0,25)0,05 + (0,05 \cdot 0,4)0,05 + (0,15 - 0,0002) \cdot 0,10 \cdot 0,05 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Năng lượng tích lũy trong lõi sắt là:

$$W_c = w_c V_g$$

Vậy suy ra mật độ năng lượng trong lõi sắt là:

$$w_c = \frac{W_c}{V_g} = \frac{0,29 \text{ J}}{4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 72,5 \text{ J/m}^3$$

5.3.2. Lực từ

Từ thông đi qua khe hở không khí trong mạch từ tạo ra lực F_t hút giữa 2 bề mặt của khe hở không khí như chỉ ra trên hình 5.5.

Lõi sắt trong hình vẽ có một khe hở không khí mà khoảng cách có thể biến đổi, do phần ứng dịch chuyển bởi sức hút của lực điện từ F_t và lực lò xo. Trong hình 5.5, khoảng biến thiên của khe hở có thể tính theo biểu thức:

$$dx = dg \quad (5.46)$$

Do tính đối xứng nên chỉ xét một cực của mạch từ, độ biến thiên thể tích tính theo công thức:

$$d(V_g) = A dg \quad (5.47)$$

Bỏ qua từ tản và từ rò tại khe hở.

$$dW_t = \frac{BHd(V_g)}{2} = \frac{BHAdg}{2} = \frac{B^2 Adg}{2\mu_0} \quad (5.48)$$

Từ định nghĩa của công:

$$dW_m = F_t dx = F_t dg \quad (5.49)$$

Khi 1 lực hút điện từ tác động lên phần ứng thì độ biến thiên năng lượng của hệ

bằng toàn bộ năng lượng từ tích lũy dW_f trong từ trường được sử dụng. Do đó tại vị trí cân bằng:

$$dW_f = dW_m \quad (5.50)$$

Thay (5.48) và (5.49) vào (5.50), ta có:

$$\frac{B^2 A dg}{2\mu_0} = F_f dg \quad (5.51)$$

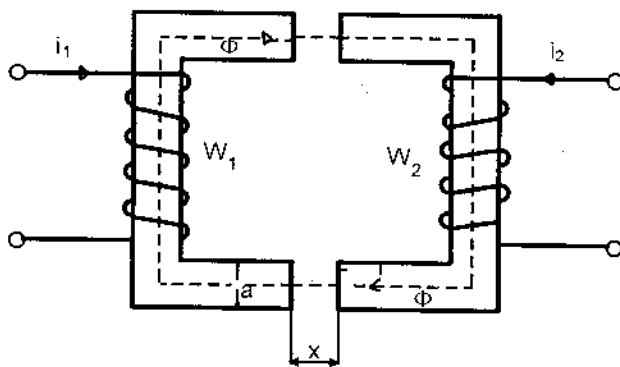
Từ biểu thức ta có thể tính được lực hút điện từ trên một cực:

$$F_f = \frac{B^2 A}{2\mu_0} \quad (N) \quad (5.52)$$

Do đó toàn bộ lực hút tác động lên phần ứng có thể tính theo công thức:

$$F_f = 2 \frac{B^2 A}{2\mu_0} = \frac{B^2 A}{\mu_0} \quad (N) \quad (5.53)$$

Phải hiểu một điều quan trọng là năng lượng điện đầu vào không đóng góp vào năng lượng tại khe hở không khí. Để từ thông khe hở không khí không đổi thì năng lượng cơ phải lấy từ năng lượng tích lũy trong khe hở không khí. Nói cách khác, khe hở không khí phải đưa ra một năng lượng bởi sự giảm thể tích của nó.



Hình 5.7. Hệ thống biến đổi điện cơ kích thích kép.

Ví dụ 5.5.

Cho hệ thống điện cơ tuyến tính như hình 5.7. Cho rằng chỉ có cuộn dây phía trái được cấp điện và lõi sắt bên phải chuyển động như một phần ứng. Diện tích mặt cắt ngang của mỗi khe hở là $25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$. Nếu mật độ từ thông là 1.1 Wb/m^2 , xác định:

- Lực hút điện từ trên mỗi cực.
- Lực hút điện từ tổng hợp.

Lời giải:

- Lực hút điện từ trên mỗi cực có thể tính theo biểu thức 5.52.

$$F_f = \frac{B^2 A}{2\mu_0} = \frac{(1.1 \text{ Wb/m}^2)^2 (25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2)}{2(4\pi \cdot 10^{-7})} = 12,04 \text{ N}$$

- Lực hút điện từ tổng có thể tính theo biểu thức 5.53 sau

$$F_{f\Sigma} = \frac{B^2 A}{\mu_0} = \frac{(1.1 \text{ Wb/m}^2)^2 (25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2)}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 24,08 \text{ N}$$

Hay $F_{f\Sigma} = 2F_f = 2(12,04 \text{ N}) = 24,08 \text{ N}$

5.3.3. Năng lượng và đổi năng lượng

Xem miền gạch đánh bóng trên hình 5.6a là toàn bộ năng lượng tích lũy trong cuộn dây tăng từ 0 tới i A. Như vậy năng lượng có thể xác định từ biểu thức 5.35:

$$W_f = \int_0^\Psi i d\Psi$$

Trong hình 5.6a, vùng diện tích nằm giữa trục i và đường cong $\Psi - i$ thì được định nghĩa là đối năng lượng và có thể xác định từ:

$$W_f' = \int_0^\Psi i d\Psi \quad (5.54)$$

Mạch từ đối năng không có ý nghĩa vật lý, tuy nhiên nó có thể sử dụng trong việc xác định lực hoặc mô men được tạo ra trong hệ thống điện từ. Từ hình 5.6a cho một cuộn dây có dòng điện i và từ thông mỗi vòng Ψ , ta có:

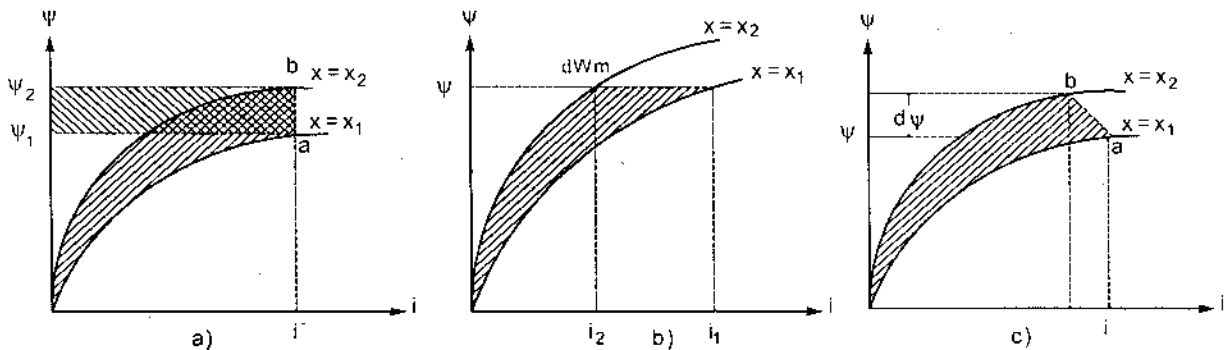
$$W_f + W_f' = \Psi i$$

Năng lượng + đối năng lượng = Ψi

Lưu ý rằng W_f' lớn hơn W_f nếu đường cong $\Psi - i$ là phi tuyến và W_f' bằng W_f nếu đường cong $\Psi - i$ là tuyến tính.

5.3.4. Từ lực trong hệ thống bão hoà

Cho một hệ thống điện cơ như trên hình 5.5 và lõi thép được chế tạo từ vật liệu sắt từ bão hòa. Nhận thấy rằng khi khe hở không khí là lớn, kết quả đường cong $\Psi - i$ gần như là thẳng. Trường hợp khe hở không khí là rất nhỏ thì đặc tính hầu như là thẳng với các giá trị rất nhỏ của từ thông móc vòng. Tuy nhiên khi mà từ thông móc vòng bắt đầu tăng lên thì đường cong bắt đầu xuất hiện bởi vì sự bão hòa của lõi thép. Coi như Ψ là một hàm của x và i , và đó là tổng hợp các điểm trong quãng đường chuyển động tương ứng với các giá trị dx khác nhau của phần ứng tại tốc độ thấp (ứng với dòng điện không đổi) như chỉ ra trong hình 5.8a. Nói cách khác, phần ứng của hình 5.5 di chuyển từ điểm làm việc a ($x = x_1$) tới một điểm làm việc mới b ($x = x_2$) như vậy tại điểm cuối của chuyển động khe hở không khí giảm.



Hình 5.8. Cân bằng năng lượng trong hệ bão hòa

a) Dòng điện không đổi; b) Từ thông không đổi; c) Trường hợp tổng quát.

Nếu phần ứng chuyển động chậm, thì dòng điện sẽ không đổi trong suốt quá trình chuyển động, dẫn đến điểm làm việc chuyển động từ điểm a tới điểm b như chỉ ra trong hình 5.8a. Trong trường hợp này, trong suốt quá trình biến đổi của từ thông móc vòng thì cả sức điện động và dW_e bằng 0.

Do đó từ biểu thức 5.20

$$dW_m = dW_e - dW_f = d(W_e - W_f) \quad (5.55)$$

Lực gây chuyển động:

$$F_f = \left. \frac{\partial (W_e - W_f)}{\partial x} \right|_{i=\text{hằng số}} \quad (5.56)$$

Khi chuyển động ứng với điều kiện dòng điện không đổi, năng lượng cơ được biểu diễn dưới vùng diện tích gạch trong hình 5.8a. Diện tích đó thể hiện sự tăng của đối năng lượng:

$$dW_m = dW_f' \quad (5.57)$$

Thay biểu thức 5.25 vào 5.57

$$F_f dx = W_f' \quad (5.58)$$

Lực tác động lên phần ứng là:

$$F_f = \left. \frac{\partial W_f'(i, x)}{\partial x} \right|_{i=\text{hằng số}} \quad (5.59)$$

Tại bất kỳ vị trí nào của phần ứng:

$$W_f'(i, x) = \int_0^i \Psi di \quad (5.60)$$

và

$$\Psi = w\Phi \quad (5.61)$$

$$I = \frac{F}{w} \quad (5.62)$$

Thay biểu thức 5.61 và 5.62 vào 5.60 thì đối năng lượng là một hàm của sức từ động và quãng đường dịch chuyển.

$$W_f'(F, x) = \int_0^F \Phi dF \quad (5.63)$$

và lực tác động lên phần ứng là:

$$F_f = \left. \frac{\partial W_f'}{\partial x} \right|_{F=\text{hằng số}} \quad (5.64)$$

Trong hình 5.8b mô tả dịch chuyển của điểm làm việc khác của đồ thị $\psi - i$, sự đáp ứng tương ứng với sự thay đổi khoảng cách dx của phần ứng chuyển động với tốc độ cao, đó là một hàm số theo sự dịch chuyển và của từ thông móc vòng.

$$W_f = W_f(\psi, x) \quad (5.65)$$

Năng lượng điện đầu vào cho chuyển động bằng không, khi ψ không biến đổi và sức điện động bằng không. Năng lượng cơ đã dùng trong suốt quá trình chuyển động là phần đã gạch chéo được mô tả là phần giảm của trường năng lượng.

Bởi vì: $dW_m = dW_f(\psi, x) \quad (5.66)$

Và $F_f dx = dW_m = -dW_f \quad (5.67)$

Do đó $F_f = \frac{dW_m}{dx} = - \left. \frac{\partial W_f}{\partial x} \right|_{\psi=\text{hằng số}} \quad (5.68)$

Nhận thấy rằng khi chuyển động tại tốc độ cao thì năng lượng điện đầu vào là bằng 0 ($i d\psi = 0$) bởi vì từ thông móc vòng giữ ở trạng thái không đổi và năng lượng cơ đầu ra đã được cung cấp toàn bộ bằng năng lượng từ trường. Trong những phần trên ta đã xét khi ψ và i giữ không đổi. Trong thực tế chuyển đó không xảy ra. Sự dịch chuyển từ a đến b thực tế giống như hình 5.8c.

Lưu ý rằng trong trường hợp tuyến tính (Khi từ thông Φ biến đổi thì sinh ra sức từ động F), khi đó năng lượng bằng với đối năng lượng:

$$\text{Do đó:} \quad W_f' = W_f \quad (5.69)$$

$$\text{và} \quad F_f = \frac{\partial W_f'(F, x)}{\partial x} = \frac{\partial W_f(F, x)}{\partial x} \quad (5.70)$$

Thật đơn giản nếu sử dụng điện cảm L của cuộn kích thích, bởi vì L thì độc lập với dòng điện. Do đó:

$$W_f = \frac{Li^2}{2} \quad (5.71)$$

$$\text{Như vậy} \quad F_f = \frac{d}{dx} \left(\frac{Li^2}{2} \right) = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx} \quad (5.72)$$

5.4. NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN QUAY

Trong phần trước chúng ta đã nghiên cứu một cách khái quát chuyển động thẳng trong một hệ thống điện từ. Tuy nhiên phần lớn các bộ biến đổi năng lượng mà đặc biệt là các hệ thống công suất lớn đều liên quan tới chuyển động quay và tương ứng người ta gọi chúng là các máy điện quay. Một máy điện quay có một phần cố định gọi là stato và một phần chuyển động gọi là rôto như đã trình bày ở mục 2.2. Trong những phần sau đây chúng ta sẽ nghiên cứu hệ thống một kích từ và hệ thống nhiều kích từ.

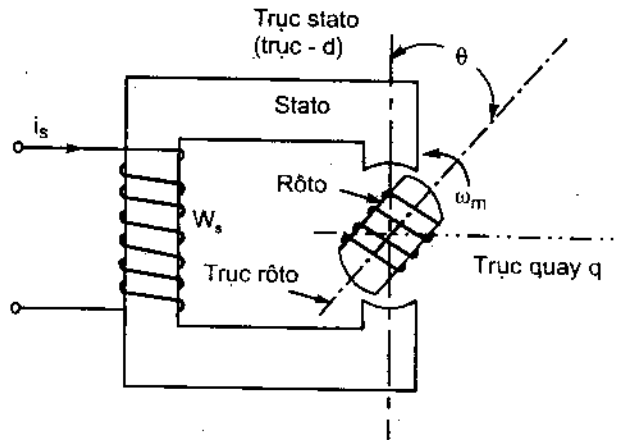
5.5. HỆ THỐNG QUAY MỘT KÍCH TỪ

Để minh họa nguyên lý ứng dụng của hệ thống biến đổi điện cơ trong hệ thống quay ta xét hệ thống quay, kích từ đơn hai cực như trong hình 5.9. Nó được xem như một máy điện từ trở cơ bản. Chú ý rằng trục stato thì được gọi là trục dọc hay đơn giản là trục d và trục vuông góc với nó thì gọi là trục ngang hay trục q. Cho điện áp kích thích là sin đưa vào cuộn stato, trong khi rôto thì quay tự do quanh trục của nó. Giá trị biến đổi là mômen M và góc θ và vì phân năng lượng cơ đầu ra là $M d\theta$ khi mômen và góc quay nhận giá trị dương nghĩa là cùng chiều tương ứng với chế độ động cơ, khi đó mômen có thể tính theo biểu thức:

$$M_d = M_f = \frac{\partial W_f'}{\partial \theta} = \frac{\partial W_f'(i, \theta)}{\partial \theta} \quad (5.73)$$

Ứng với mỗi vòng quay của rôto là 2 chu kỳ từ trở biến đổi theo hàm sin. Hình 5.9 chỉ ra sự biến đổi của từ cảm với góc quay của rôto θ khi rôto quay với tốc độ góc là ω_m trong từ trường. Bởi vì từ cảm là một hàm chu kỳ của góc 2θ nên nó có thể phân tích thành chuỗi Fourier:

$$L(\theta) = L_0 + L_2 \cos 2\theta \quad (5.74)$$



Hình 5.9. Hệ thống quay 2 cực kích từ đơn.

Bỏ qua các thành phần bậc cao. Các biến số sử dụng được định nghĩa trong hình 5.10. Dòng kích thích stato là:

$$i = I \sin \omega_s t \quad (5.75)$$

Đó là một dòng kích từ hình sin với tần số góc là ω_s . Khi khe hở không khí là thẳng, đối năng lượng trong từ trường của khe hở không khí có thể tính theo biểu thức:

$$W'_f = W_f = \frac{1}{2} L(\theta) i^2 \quad (5.76)$$

Và do đó mômen sinh ra có thể tính theo biểu thức

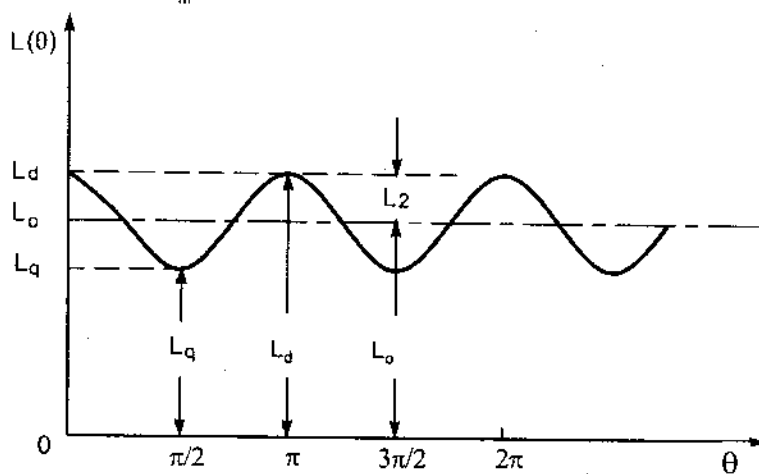
$$M_d = \frac{\partial W'_f(i, \theta)}{\partial \theta} = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L(\theta)}{\partial \theta} \quad (5.77)$$

Thay các biến số dòng điện và điện cảm ta có biểu thức:

$$M_d = -I_2 L_2 \sin 2\theta \sin^2 \omega_s t \quad (5.78)$$

Ở đây coi như rôto quay với vận tốc góc ω_m , do đó tại thời điểm bất kỳ thì:

$$\theta = \omega_m t - \delta \quad (5.79)$$



Hình 5.10. Sự thay đổi của điện cảm với góc quay rôto khi rôto quay trong máy điện từ trở.

Chú ý rằng tại thời gian $t = 0$ thì dòng điện là 0, do đó vị trí góc quay rôto trở thành:

$$\theta = -\delta \quad (5.80)$$

Mômen tức thời xác định theo biểu thức 5.78 có thể biểu diễn qua ω_m và ω_s bằng cách sử dụng công thức biến đổi lượng giác:

$$\sin^2 A = \frac{1 - \cos 2A}{2} \quad (5.81)$$

$$\text{và} \quad \sin A \cos B = \frac{1}{2} \sin(A+B) + \frac{1}{2} \sin(A-B) \quad (5.82)$$

Do đó mômen tức thời trở thành:

$$M_d = -\frac{I^2 L_2}{2} \{ \sin 2(\omega_m t - \delta) - \frac{1}{2} \sin 2[(\omega_m + \omega_s)t - \delta] - \frac{1}{2} \sin 2[(\omega_m - \omega_s)t - \delta] \} \quad (5.83)$$

Có thể thấy rằng từ biểu thức 5.83 mômen lực là tổng của các thành phần hàm sin với các tần số khác nhau. Do đó, trong hầu hết trường hợp, mômen trung bình theo thời gian bằng 0, vì giá trị trung bình theo thời gian của các thành phần của nó đều bằng 0. Trường hợp này máy không thể hoạt động được như một động cơ khi có tải trên trục. Chỉ trong trường hợp mômen trung bình khác không khi đó:

$$\omega_m = \omega_s \text{ rad/s} \quad (5.84)$$

$$\text{nên:} \quad M_{d(TB)} = -0,25 I^2 L_2 \sin 2\theta \quad (5.85)$$

Theo như hình 5.10 ta có:

$$L_2 = 0,5 (L_d - L_q) \quad (5.86)$$

Ở đây L_d và L_q được định nghĩa là điện cảm dọc trục và điện cảm ngang trục. Các giá trị trên đây tương ứng là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của điện cảm đó. Do đó thay biểu thức 5.86 vào biểu thức 5.85 ta có thể tính mômen trung bình như sau:

$$M_{d(TB)} = \frac{I^2 (L_d - L_q)}{8} \sin 2\delta \quad (5.87)$$

Qua phân tích ở trên ta có thể tổng kết lại một số vấn đề:

1. Chỉ tại một tốc độ nhất định cho bởi biểu thức 5.84 mới sinh ra một mômen cơ làm cho máy chuyển động. Tốc độ này gọi là tốc độ đồng bộ, tại tốc độ này máy quay với tốc độ góc bằng tốc độ góc của nguồn điện

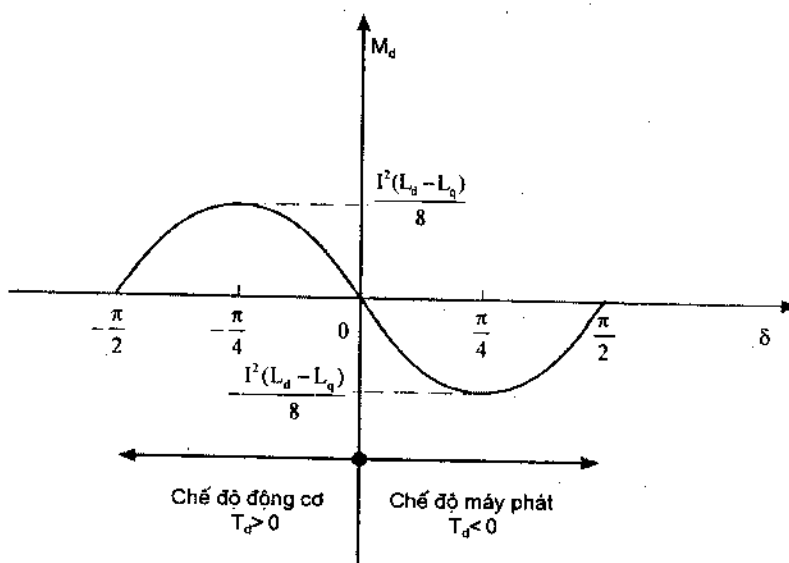
2. Bởi vì mômen là một hàm số của từ trở biến đổi và vị trí rôto, nên máy này đã được gọi là máy điện đồng bộ từ trở. Do đó nếu không có cảm kháng hay từ trở biến đổi với vị trí rôto ($L_d = L_q$), mômen lực sẽ bằng 0. Điều này dễ dàng rút ra được từ biểu thức 5.87.

3. Có thể rút ra kết luận từ biểu thức 5.87, mômen là một hàm số của góc δ , được gọi là góc mômen. Mômen biến đổi hình sin theo góc δ . Do đó góc δ có thể được sử dụng để xác định mômen.

4. Khi $\delta < 0$ và $M_{d(TB)} > 0$, mômen sinh ra cùng chiều với chiều quay và máy sẽ hoạt động giống như động cơ điện hình 5.11.

Mômen này làm ổn định tốc độ của rôto, chống lại mômen quạt gió, mômen ma sát trên là mômen tải trên trục.

5. Bỏ qua tổn thất ma sát và quạt gió, mômen tải có thể xác định theo góc δ . Ví dụ như có một mômen tải lớn là nguyên nhân làm rôto hoạt động tại một góc $-\delta$ lớn hơn. Khi công suất và mômen cân bằng nhau thì tốc độ là không đổi, do đó khi mà năng lượng đầu vào giới hạn và tải vượt quá giới hạn như đường cong của hình 5.11 thì động cơ sẽ dừng lại. Mômen lực lớn nhất của động cơ đạt được tại vị trí $\delta = -\pi/4$ và gọi là mômen trượt. Bất kỳ một tải nào cần một mômen lớn hơn so với mômen cực đại sẽ là nguyên nhân dẫn đến hệ thống hoạt động không ổn định, máy bị kéo ra khỏi tốc độ đồng bộ dẫn đến trạng thái dừng hẳn.



Hình 5.11

6. Nếu trục của máy tương tự được kéo bởi một động cơ sơ cấp thì góc δ sẽ tăng và máy sẽ nhận một mômen cản và công suất máy sẽ phát điện. Nói cách khác, khi $\delta > 0$ và $M_{d(TB)} < 0$, chiều của mômen lực ngược với chiều chuyển động. Do đó, một mômen kéo từ bên ngoài có thể là một nguồn cung cấp năng lượng kéo trục rôto quay với tốc độ đồng bộ. Năng lượng cơ cung cấp cho hệ thống sau khi trừ đi phần tổn thất ma sát và quạt gió thì biến đổi thành năng lượng điện, máy hoạt động như một máy phát. Tuy nhiên điều này chỉ xảy ra khi stato được nối với nguồn điện xoay chiều và có mômen bên ngoài kéo trục rôto quay thì máy bắt đầu phát điện. Như trên hình 5.11 thì mômen kéo lớn nhất để cho máy phát có thể hoạt động tại vị trí $\delta = \pi/4$.

7. Nếu ta cung cấp một mômen lực kéo bằng một chuyển động khác lớn hơn so với tổng các mômen cản và mômen do ma sát và quạt gió thì khi đó máy sẽ quay quá với tốc độ đồng bộ, nó có thể bị mất điều khiển về tốc độ và quá trình biến đổi năng lượng bị dừng lại. Nói tóm lại mỗi máy chỉ có thể có một công suất biến đổi năng lượng nhất định và giới hạn đó tỷ lệ với khả năng biến đổi năng lượng của máy.

8. Điều đặc biệt là khi tốc độ máy $\omega_s = \omega_m$ sẽ tạo ra mômen quay trung bình khác không. Động cơ không thể tự khởi động được song sẽ tiếp tục quay nếu nó được

khởi động. Điều đó là do từ trở của máy luôn thay đổi theo vị trí rôto và điện áp cảm ứng trên cuộn dây stato chứa thành phần bậc 3 là thành phần không mong muốn tồn tại trong máy phát và giới hạn với cơ của động cơ. Các động cơ từ trở nhỏ được thiết kế để tạo ra mômen khởi động thường sử dụng cho các đồng hồ điện, máy ghi âm hay các thiết bị khác cần cung cấp tốc độ không đổi.

Ví dụ 5.6

Có một động cơ từ trở 2 cực từ hoạt động với tần số 60Hz và dòng 6A. Nếu điện cảm dọc trục và ngang trục của nó là 0,8H và 0,2H. Hãy xác định mômen trung bình lớn nhất của nó.

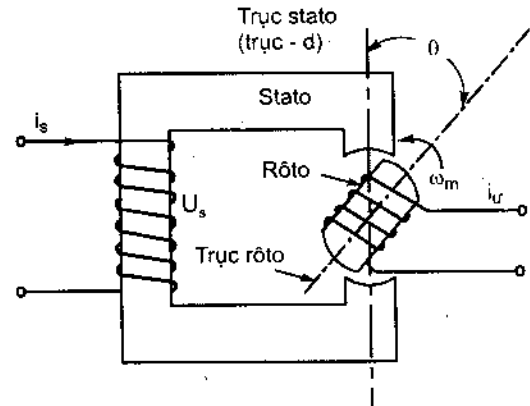
Lời giải:

Từ biểu thức 5.87.

$$M_{d(TB)} = -\frac{I^2(L_d - L_q)}{8} \sin 2\delta = \frac{36(0,8 - 0,2)}{8} \sin 2\delta = -2,7 \sin 2\delta$$

Khi $\sin 2\delta = 1$ tức $\delta = 45^\circ$

$$M_{d(TB)} = 2,7 \sin 90 = -2,7 \text{ N.m}$$



Hình 5.12. Hệ thống kích từ kép.

5.6. HỆ THỐNG QUAY NHIỀU KÍCH TỪ

Nguyên lý hoạt động chung đã trình bày ở phần trên cũng áp dụng cho hệ thống nhiều kích từ. Xét ví dụ về hệ thống hai kích từ trong hình 5.12, hệ thống này giống như sơ đồ trong hình 5.9, ngoại trừ một điều rôto chỉ có một cuộn dây được cấp điện từ nguồn bên ngoài qua chổi than và vành trượt. Từ thông móc vòng của cuộn dây stato và cuộn dây rôto theo thứ tự được viết là:

$$\Psi_s = L_{ss} i_s + L_{sr} i_r \quad (5.88)$$

$$\Psi_r = L_{rs} i_s + L_{rr} i_r \quad (5.89)$$

Ở đây:

L_{ss} – Hệ số tự cảm của cuộn dây stato;

L_{rr} – Hệ số tự cảm của cuộn dây rôto;

$L_{sr} = L_{rs}$ – Hệ số hỗ cảm của cuộn dây stato và rôto.

Các hệ số điện cảm này tùy thuộc vào vị trí góc θ của rôto (góc giữa trục của từ trường stato và trục từ trường của cuộn dây rôto). Khi hệ thống từ trường tuyến tính $L_{sr} = L_{rs}$, biểu thức 5.88 – 5.89 có thể biểu diễn dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} \Psi_s \\ \Psi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ss} & L_{sr} \\ L_{sr} & L_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ i_r \end{bmatrix} \quad (5.90)$$

Nếu rôto của hệ thống bị chặn không cho quay thì không có năng lượng cơ đầu

ra trên trục của nó, khi đó năng lượng từ trường lưu trữ của hệ thống phụ thuộc dòng i_s, i_r trong cuộn stato và rôto. Do đó:

$$dW_f = u_s i_s dt + u_r i_r dt = i_s d\psi_s + i_r d\psi_r \quad (5.91)$$

Do đó trong hệ thống tuyến tính, sự biến đổi của năng lượng từ trường có thể tìm thấy bằng cách thay 5.88 và 5.89 vào 5.91:

$$\begin{aligned} dW_f &= i_s d\psi_s + i_r d\psi_r = i_s d(L_{ss}i_s + L_{sr}i_r) + i_r d(L_{sr}i_s + L_{rr}i_r) \\ &= L_{ss}i_s di_s + L_{sr}d(i_s i_r) + L_{rr}i_r di_r \end{aligned} \quad (5.92)$$

Toàn bộ năng lượng lưu trữ trong từ trường có thể xác định theo biểu thức 5.92.

$$W_f = L_{ss} \int_0^{i_s} i_s di_s + L_{sr} \int_0^{i_r} i_r di_r + L_{sr} \int_0^{i_s, i_r} d(i_s i_r) = \frac{1}{2} L_{ss} i_s^2 + L_{sr} i_s i_r + \frac{1}{2} L_{rr} i_r^2 \quad (5.93)$$

Mômen có thể xác định từ công thức:

$$M_d = \frac{\partial W_f(i, \theta)}{\partial \theta} \Big|_{i=\text{hằng số}} \quad (5.94)$$

Trong một hệ thống từ tuyến tính thì năng lượng và đôi năng lượng bằng nhau.

$$W_f = W_d$$

Giá trị mômen tức thời có thể xác định theo biểu thức:

$$M_d = \frac{i_s^2}{2} \frac{dL_{ss}}{d\theta} + i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta} + \frac{i_r^2}{2} \frac{dL_{rr}}{d\theta} \quad (5.95)$$

Ở phương trình trên, số hạng thứ nhất và thứ ba của vế phải mô tả sự thay đổi mô men khi máy chuyển động do sự biến đổi của điện cảm ứng với các vị trí khác nhau của rôto, chúng nói nên rằng mômen từ trở là một thành phần của mômen. Số hạng thứ hai mô tả sự phụ thuộc của mômen vào hệ số hồ cảm giữa dây quấn stato và rôto. Các hệ thống quay nhiều kích từ, có từ hai cuộn trở nên thì cũng nghiên cứu tương tự.

Giả sử có hệ thống hai kích từ chỉ trong hình 5.12 và cho rằng R_s và R_r lần lượt là điện trở của cuộn dây stato và rôto.

Mối quan hệ giữa điện áp và dòng điện stato và rôto là:

$$u_s = i_s R_s + \frac{d\psi_s}{dt} \quad (5.96)$$

$$u_r = i_r R_r + \frac{d\psi_r}{dt} \quad (5.97)$$

Trường hợp chung thì điện cảm L_{ss} , L_{rr} và L_{sr} là hàm số của vị trí góc rôto và dòng điện là hàm số của thời gian. Do đó ở stato:

$$\frac{d\psi_s}{dt} = \frac{d}{dt} [L_{ss}(\theta) i_s(t) + L_{sr}(\theta) i_r(t)]$$

$$\text{hay} \quad \frac{d\psi_s}{dt} = L_{ss} \frac{di_s}{dt} + i_s \frac{dL_{ss}}{dt} \frac{d\theta}{dt} + L_{sr} \frac{di_r}{dt} + i_r \frac{dL_{sr}}{dt} \frac{d\theta}{dt} \quad (5.98)$$

Tương tự cho rôto:

$$\frac{d\Psi_r}{dt} = L_{rs} \frac{di_s}{dt} + i_s \frac{dL_{rs}}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} + L_{rr} \frac{di_r}{dt} + i_r \frac{dL_{rr}}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} \quad (5.99)$$

Thay 5.98 và 5.99 vào 5.96 và 5.97 theo thứ tự:

$$u_s = \left[i_s R_s + L_{ss} \frac{di_s}{dt} \right] + \left[\left(i_s \frac{dL_{ss}}{d\theta} + i_r \frac{dL_{rs}}{d\theta} \right) \frac{d\theta}{dt} \right] + \left[L_{rs} \frac{di_r}{dt} \right] \quad (5.100)$$

và

$$u_r = \left[i_r R_r + L_{rr} \frac{di_r}{dt} \right] + \left[\left(i_s \frac{dL_{rs}}{d\theta} + i_r \frac{dL_{rr}}{d\theta} \right) \frac{d\theta}{dt} \right] + \left[L_{rs} \frac{di_s}{dt} \right] \quad (5.101)$$

Trong biểu thức 5.100 và 5.101 số hạng đầu tiên của vế phải là điện áp rơi trên trở kháng của chính nó u_z , số hạng thứ 2 là điện áp phụ thuộc vào tốc độ u_m , thừa số thứ 3 là điện áp biến đổi u_t .

Do đó biểu thức của điện áp stato và rôto là:

$$u = u_z + u_m + u_t \quad (5.102)$$

Trong nhiều trường hợp hệ số tự cảm L_{ss} và L_{rr} không phụ thuộc vào vị trí góc của rôto. Như vậy biểu thức 5.95; 5.100 và 5.101 thành:

$$M_d = i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta} \quad (5.103)$$

$$u_s = \left[i_s R_s + L_{ss} \frac{di_s}{dt} \right] + \left[\left(i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta} \right) \frac{d\theta}{dt} \right] + \left[L_{rs} \frac{di_r}{dt} \right] \quad (5.104)$$

$$u_r = \left[i_r R_r + L_{rr} \frac{di_r}{dt} \right] + \left[\left(i_s \frac{dL_{sr}}{d\theta} \right) \frac{d\theta}{dt} \right] + \left[L_{rs} \frac{di_s}{dt} \right] \quad (5.105)$$

Nếu điện trở của stato và rôto là không đáng kể, thì biểu thức 5.104 và 5.105 biến thành:

$$u_s = \left[L_{ss} \frac{di_s}{dt} \right] + \left[\left(i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta} \right) \frac{d\theta}{dt} \right] + \left[L_{rs} \frac{di_r}{dt} \right] \quad (5.106)$$

$$u_r = \left[L_{rr} \frac{di_r}{dt} \right] + \left[\left(i_s \frac{dL_{sr}}{d\theta} \right) \frac{d\theta}{dt} \right] + \left[L_{rs} \frac{di_s}{dt} \right] \quad (5.107)$$

Dưới dạng ma trận, toàn bộ năng lượng từ trường lưu trữ như 5.93 có thể viết là:

$$W_f = \frac{1}{2} [i]^T [L] [i] \quad (5.108)$$

Trong đó $[i]$ = ma trận cột;

$[i]^T$ = ma trận hoán vị của ma trận i , là một ma trận hàng;

$[L]$ = ma trận điện cảm của hệ thống.

Biểu diễn dưới dạng ma trận, mômen được xác định theo biểu thức:

$$M_d = \frac{1}{2} [i]^T \frac{\partial}{\partial \theta} ([L] [i]) \quad (5.109)$$

Và điện áp có biểu thức là:

$$[u] = [i][R] + \frac{d}{dt}([L][i]) \quad (5.110)$$

Ví dụ 5.7

Có 1 hệ thống quay 2 kích từ như trong hình 5.12. Cho hệ số tự cảm của stato và rôto là 9H và 1H. Hệ số hồ cảm giữa dây quấn stato và rôto là 2H. Nếu dòng stato và rôto là 16A và 8A. Hãy xác định toàn bộ năng lượng từ trường tích lũy trong hệ thống.

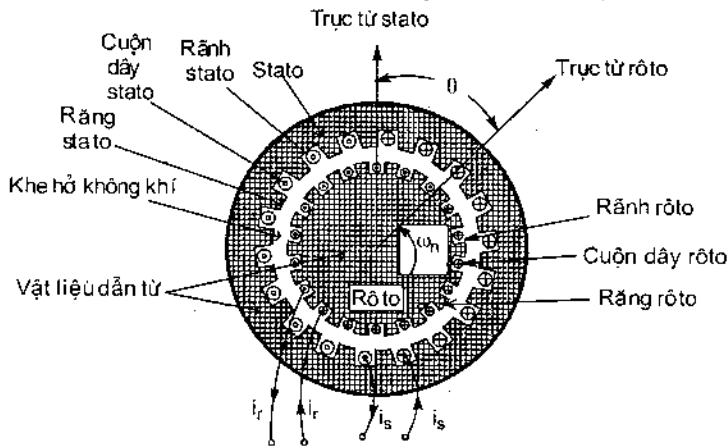
Lời giải:

Từ biểu thức 5.93 toàn bộ năng lượng từ trường tích lũy trong hệ thống là:

$$W_f = \frac{1}{2}L_{ss}i_s^2 + L_{sr}i_si_r + \frac{1}{2}L_{rr}i_r^2 = \frac{1}{2}(9H)(16A)^2 + (2H)(16A)(8A) + \frac{1}{2}(1H)(8A)^2 = 1440J.$$

5.7. MÁY HÌNH TRỤ

Trên hình 5.13 là hình vẽ mặt cắt ngang một chiếc máy điện một pha hai cực dạng tròn, khe hở không khí đều. Máy điện như vậy gọi là máy điện khe hở nhẵn hay máy có khe hở đều hoặc máy rôto tròn. Ở phần trước đã đề cập tới máy điện quay cực lồi. Trên hình 5.13 là một máy điện hình trụ có rôto hình trụ nằm trong stato hình trụ. Rôto quay tự do và vị trí góc quay tức thời θ của nó được định nghĩa như góc giữa trục từ trường rôto với trục từ trường stato. Trong một máy điện quay thực thì dây quấn được phân bố khắp các rãnh cho nên dạng sóng sức điện động có thể coi gần đúng như hình sin. Cấu trúc cho trong hình 5.13 thì gọi là máy điện có khe hở không khí đều bởi vì nó có thể được mô tả toán học chính xác bằng cách giả thiết rằng từ trở của từng phần mạch từ trong đó có một mạch không phụ thuộc vào vị trí rôto. Giả thiết trên chỉ đúng khi ta bỏ qua ảnh hưởng của răng rãnh. Tất nhiên răng và rãnh trong thực tế thì nhỏ hơn so với vẽ trên hình 5.13. Hơn nữa, với cấu trúc đặc biệt, làm rãnh nghiêng song song thì hiệu ứng trên là rất nhỏ. Kết quả là với cấu trúc đó có thể làm cho độ tự cảm L_{ss} và L_{rr} là không đổi và không sinh ra mômen từ trở. Hệ số hồ cảm L_{sr} thay đổi theo vị trí của rôto, do đó:



Hình 5.13. Mặt cắt ngang của động cơ 1 pha có rôto và stato dạng ống.

$$L_{sr} = M \cos \theta \quad (5.111)$$

Trong đó θ = là góc giữa trục stato và trục dây quấn rôto.

M = giá trị đỉnh của điện cảm hồ cảm.

$$\text{Do đó} \quad \Psi_s = L_{ss} i_s + M \cos \theta i_r \quad (5.112)$$

$$\Psi_r = L_{rr} i_r + M \cos \theta i_s \quad (5.113)$$

$$\text{Ở đây} \quad i_s = I_s \cos \omega_s t \quad (5.114)$$

$$i_r = I_r (\cos \omega_r t + \alpha) \quad (5.115)$$

Mômen sinh ra trong máy điện hình trụ là:

$$M_d = i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta} \quad (5.116)$$

Vị trí của rôto tại thời điểm bất kỳ:

$$\theta = \omega_m t + \delta \quad (5.117)$$

Ở đây ω_m là vận tốc góc của rôto đơn vị là rad/s và δ là vị trí góc rôto tại $t = 0$.

Thay các biểu thức 5.111, 5.114 và 5.115 vào 5.116 ta có mômen điện từ tức thời.

$$M_d = -I_s I_r M \cos \omega_s t \cos(\omega_r t + \alpha) \sin(\omega_m t + \delta) \quad (5.118)$$

Biến đổi lượng giác ta được:

$$M_d = -\frac{I_s I_r M}{4} \{ \sin[\omega_m + (\omega_s + \omega_r)t + \delta + \alpha] + \sin[\omega_m - (\omega_s + \omega_r)t + \delta - \alpha] + \sin[\omega_m + (\omega_s - \omega_r)t + \delta - \alpha] + \sin[\omega_m - (\omega_s - \omega_r)t + \delta + \alpha] \} \quad (5.119)$$

Như vậy mômen biến đổi hình sin theo thời gian. Giá trị trung bình của mỗi thành phần hình sin trong biểu thức 5.119 là bằng 0, trừ khi hệ số t bằng 0. Do đó giá trị trung bình của mômen sẽ khác không nếu

$$\omega_m = \pm (\omega_s \pm \omega_r) \quad (5.120)$$

Hay có thể biểu diễn dưới dạng:

$$|\omega_m| = |\omega_s \pm \omega_r| \quad (5.121)$$

Trong những trường hợp khác, máy sẽ có mômen trung bình nếu nó chuyển động cùng hướng tại một tốc độ bằng tổng của các tốc độ góc dòng điện stato và dòng điện rôto.

5.7.1. Máy điện đồng bộ một pha

Coi như $\omega_r = 0$, $\alpha = 0$ và $\omega_m = \omega_s$. Ở đây dòng kích từ rôto là dòng một chiều I_r và máy quay với tốc độ đồng bộ. Do đó từ biểu thức 5.119 mômen của máy có thể viết theo biểu thức:

$$M_d = -\frac{I_s I_r M}{2} [\sin(2\omega_s t + \delta) + \sin \delta] \quad (5.122)$$

Giá trị tức thời của mômen luôn biến đổi (đập mạch), do đó giá trị trung bình được tính theo công thức:

$$M_{d(TB)} = -\frac{I_s I_r M}{2} \sin \delta \quad (5.123)$$

Máy hoạt động như một máy điện đồng bộ một pha lý tưởng và có một mômen lực trung bình. Máy có kích từ một chiều trong rôto và kích từ xoay chiều trong stato. Một đặc điểm quan trọng là khi tốc độ $\omega_m = 0$ thì mômen trung bình bằng không và nó không thể tự khởi động được. Sự dao động của mômen có thể là nguyên nhân gây tiếng ồn, tốc độ mất ổn định và máy rung. Đó là năng lượng lãng phí và có thể ngăn ngừa mômen đập mạch bằng một hệ thống nhiều pha. Tất cả những máy đồng bộ công suất lớn đều là những máy nhiều pha.

5.7.2. Máy điện cảm ứng một pha

Coi $\omega_m = \omega_s - \omega_r$ và ω_s khác ω_r , khi đó cả dây quấn stato và dây quấn rôto đều có dòng điện xoay chiều tuy nhiên khác nhau về tần số. Động cơ hoạt động tại một tốc độ không đồng bộ (ω_m khác ω_r).

Từ biểu thức 5.119 mômen tức thời có dạng:

$$M_d = -\frac{I_s I_r M}{4} \{ \sin[2\omega_s t - \delta + \alpha] + \sin[-2\omega_r t + \delta - \alpha] + \sin[2\omega_s t - 2\omega_r t + \delta - \alpha] + \sin[\delta + \alpha] \} \quad (5.124)$$

Giá trị mômen tức thời là đập mạch.

Giá trị mômen trung bình là:

$$M_{d(TB)} = -\frac{I_s I_r M}{4} \sin(\delta + \alpha) \quad (5.125)$$

Máy điện này hoạt động như một máy điện cảm ứng một pha. Cuộn dây stato của nó được kích từ bởi một dòng điện xoay chiều và một dòng điện xoay chiều được cảm ứng trong rôto. Như vậy máy điện cảm ứng một pha không thể tự khởi động, do $\omega_m = 0$ thì mômen lực trung bình không hướng về một phía. Máy này có thể đưa lên tốc độ $\omega_m = \omega_s - \omega_r$ để có một mômen khác không. Trong thực tế để có một mômen không đập mạch, người ta sử dụng máy điện cảm ứng nhiều pha.

Ví dụ 5.8

Xem một máy điện quay hai cực hình trụ như trong hình 5.13

Nếu nó hoạt động với tốc độ $\omega_m = \omega_s = \omega_r = 0$ và $\alpha = 0$. Xác định giá trị dưới đây:

a) Mômen tức thời.

b) Mômen trung bình.

Lời giải:

a) Khi $\omega_m = \omega_s = \omega_r = 0$ và $\alpha = 0$, kích từ là dòng một chiều I_s và I_r . Do đó từ biểu thức 5.119 mômen tức thời có thể tìm theo công thức:

$$M_d = -I_s I_r M \sin \delta \quad \text{là một giá trị không đổi.}$$

b) Như vậy mômen trung bình là

$$M_{d(TB)} = -I_s I_r M \sin \delta$$

Như vậy máy hoạt động như một cơ cấu quay một chiều, mômen là không đổi tại vị trí bất kỳ của δ bởi một mômen ngoài được đặt lên trục rôto.

5.8. LỰC TÁC DỤNG LÊN MỘT VẬT DẪN

Theo lý thuyết trường, lực tác dụng trên một vi phân độ dài thanh dẫn dL mang dòng điện i nằm trong từ trường B được xác định theo biểu thức:

$$dF = i dL \times B \quad (5.126)$$

Chiều của lực được xác định theo tích có hướng của vectơ dL và B . Giả sử có thanh dẫn mang dòng điện có chiều dài L đặt trong từ trường đều có mật độ từ thông B như trong hình 5.14a và 5.14b. Hình 5.14b chỉ mật độ từ trường B có hướng đi ra phía sau tờ giấy.

Lực tác động lên thanh dẫn sẽ làm cho thanh dẫn chuyển động có thể tính theo biểu thức:

$$F = i(L \times B) \quad (5.127)$$

Trong đó i = độ lớn của dòng điện trong thanh dẫn;

L = độ dài của thanh dẫn, là một đại lượng vectơ có chiều là chiều của dòng điện.

B = vectơ mật độ từ trường.

Chiều của lực sinh ra trên thanh dẫn có thể tìm theo quy tắc bàn tay phải của Flemming. Theo đó nếu chiều của những ngón tay của bàn tay phải hướng theo vectơ L và giữa lòng bàn tay hứng lấy hướng của vectơ B thì ngón tay cái sẽ chỉ chiều của lực tác dụng lên thanh dẫn. Trong trường hợp tổng quát, lực điện cơ có thể tính theo biểu thức:

$$F = B \times i \times L \times \sin\theta \quad (5.128)$$

Ở đây θ là góc giữa thanh dẫn và vectơ mật độ từ thông B . Lưu ý là khi dòng điện chảy trong thanh dẫn đặt trong từ trường B , thì chính từ trường đó sẽ tự thay đổi do ảnh hưởng của dòng điện. Do đó từ trường B trong biểu thức trên tồn tại trước khi có dòng điện i . Giá trị lớn nhất của lực tại góc $\theta = 90^\circ$.

$$\text{Như vậy} \quad F_{\max} = B \times i \times L \quad (5.129)$$

Tóm lại, lực cơ học sinh ra bởi dòng điện chạy trong thanh dẫn đặt trong từ trường tạo nên động cơ điện.

Ví dụ 5.9

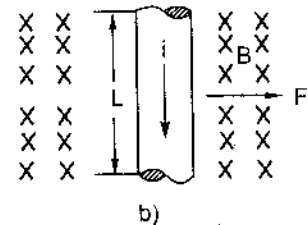
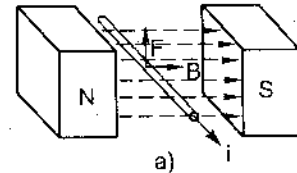
Có một thanh dẫn mang dòng điện đặt trong một trường điện từ như trong hình 5.14a. Coi như mật độ từ trường là $B = 0,3 \text{ Wb/m}^2$, có hướng ra phía sau trang giấy và dòng điện chảy qua đoạn dây dài 2m là 3A. Hãy xác định độ lớn và hướng của lực tác dụng lên thanh dẫn.

Lời giải:

Theo quy tắc bàn tay phải, hướng của lực $\vec{F}$ sang bên phải như trên hình 5.14a và có độ lớn là

$$F = B \times i \times L \times \sin\theta = (0,3 \text{ Wb/m}^2)(3\text{A})(2\text{m})\sin 90^\circ = 1,8\text{N}$$

Vậy $F = 1,8\text{N}$ và hướng sang bên phải



Hình 5.14. Một vật dẫn thẳng mang dòng điện trong từ trường.

5.9. ĐIỆN ÁP CẢM ỨNG TRÊN VẬT DẪN CHUYỂN ĐỘNG TRONG TỪ TRƯỜNG

Giả sử có một thanh dẫn chuyển động thẳng trong một từ trường như trên hình 5.15a. Sẽ có một điện áp cảm ứng trên thanh dẫn được xác định theo biểu thức:

$$e = (v \times B)L \quad (5.130)$$

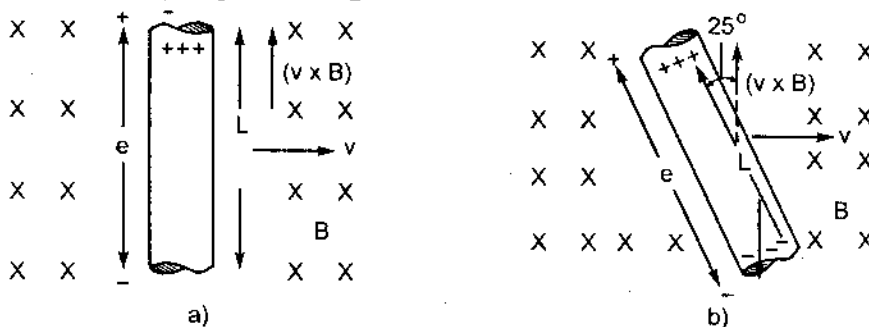
Ở đây v = vận tốc chuyển động của thanh dẫn;
 B = mật độ từ thông.
 L = độ dài của thanh dẫn.

Giả sử vectơ L có hướng từ đầu đến cuối thanh dẫn. Điện áp sinh ra trên thanh dẫn có chiều dương theo hướng của tích vectơ $(v \times B)$ như chỉ ra trên hình 5.15a. Như vậy điện áp cảm ứng trên thanh dẫn chuyển động đặt trong trường điện từ hoạt động như một máy phát. Chú ý rằng biểu thức tích vectơ $(v \times B)$ có độ lớn bằng độ lớn của vận tốc v và B và sin của góc giữa chúng. Chiều của nó có thể tìm thấy theo quy tắc bàn tay phải, khi đó ngón cái của bàn tay phải sẽ chỉ chiều của vận tốc v , và chiều của những ngón tay còn lại sẽ chỉ chiều của B , $(v \times B)$ có hướng song song với L . Nếu thanh dẫn không nằm trên hướng thẳng đứng, hướng của L phải được chọn sao cho tạo với $(v \times B)$ một góc nhỏ nhất.

Ví dụ 5.10

Cho một thanh dẫn dài 2m, chuyển động với vận tốc 4m/s sang bên phải, đặt trong 1 từ trường đều, như trọng hình 5.15a. Mật độ từ trường là $0,3\text{Wb/m}^2$, có hướng ra phía sau tờ giấy, và hướng của thanh dẫn là từ dưới lên trên. Hãy xác định các giá trị dưới đây:

- Độ lớn của điện áp cảm ứng.
- Cực tính của điện áp cảm ứng.



Hình 5.15a,b.

Lời giải:

a) Vectơ vận tốc v vuông góc với vectơ mật độ từ thông B và do đó $(v \times B)$ song song với vectơ L . Độ lớn của điện áp cảm ứng là:

$$\begin{aligned} e &= |(v \times B) \cdot L| = (vB \sin 90^\circ) L \cos 0^\circ = vBL \\ &= (4\text{m/s})(0,3\text{Wb/m}^2)(2\text{m}) = 2,4\text{V} \end{aligned}$$

b) Cực tính của điện áp cảm ứng thì dương tại phía trên của thanh dẫn và âm tại phía dưới của thanh dẫn như trên hình 5.15a.

Ví dụ 5.11

Cho một thanh dẫn dài 1,5m, chuyển động với vận tốc 5m/s sang bên phải, đặt trong 1 từ trường đều như trong hình 5.15b. Nếu mật độ từ thông là 0,8Wb/m², hướng ra phía sau tờ giấy và chiều dài thanh dẫn hướng từ dưới lên trên. Hãy xác định các giá trị dưới đây:

- a) Độ lớn của điện áp cảm ứng.
- b) Cực tính của điện áp cảm ứng.

Lời giải:

- a) Độ lớn của điện áp cảm ứng.

$$\begin{aligned} e_{cu} &= |(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{L}| = (vB \sin 90^\circ) L \cos 25^\circ \\ &= (5\text{m/s})(0,8\text{Wb/m}^2)(\sin 90^\circ)(1,5\text{m}) \cos 25^\circ = 5,44\text{V} \end{aligned}$$

b) Cực tính của điện áp cảm ứng là dương tại phía trên của thanh dẫn và âm tại phía dưới của thanh dẫn như chỉ ra trên hình 5.15a.

BÀI TẬP

5.1. Tốc độ quay của động cơ là 3000vòng/phút. Hãy xác định vận tốc góc của nó theo rad/s.

5.2. Nếu động cơ trong mục 5.1 hoạt động tại tần số 50Hz, thay vì 60Hz, xác định vận tốc góc mới của nó theo đơn vị rad /s.

5.3. Động cơ sử dụng cho mục đích đặc biệt hoạt động với tần số 25Hz. Hãy xác định các giá trị sau:

- a) Vận tốc góc theo đơn vị rad/s.
- b) Tốc độ quay theo đơn vị vòng/phút.

5.4. Nếu động cơ hoạt động với mômen tải là 200N.m ở tốc độ 3000vòng/phút. Hãy xác định các giá trị sau:

- a) Công suất cung cấp cho tải với đơn vị oát.
- b) Công suất cung cấp cho tải với đơn vị mã lực.

5.5. Cho một cuộn dây có diện tích 0,25m² với 15 vòng, quay quanh trục nằm ngang với tốc độ không đổi là 1800 vòng/phút trong một từ trường đều thẳng đứng, có mật độ từ thông $B = 0,75\text{T}$. Nếu toàn bộ từ thông chảy qua cuộn dây là $\phi = AB \cos \omega t$ (Wb) ở đây A là diện tích cuộn dây, xác định giá trị lớn nhất và hiệu dụng của điện áp cảm ứng của cuộn dây.

5.6. Cho một hệ thống điện cơ tuyến tính như trên hình 5.7. Do hệ tuyến tính nên từ trở của lõi sắt là rất nhỏ. Độ cao của lõi là b. Nếu hệ được kích thích bởi hai nguồn điện như nhau, hãy xác định các giá trị sau:

- a) Lực hút giữa các cực từ do dòng điện i và mối liên hệ giữa chúng.
- b) Lực hút giữa các cực nếu ta đảo chiều dòng điện của một cuộn dây.

5.7. Cho máy điện quay hình trụ 2 cực như trong hình 5.13 và nó hoạt động với $\omega_s = \omega_r$ và $\omega_m = 0$. Hãy xác định các giá trị sau:

- a) Giá trị mômen tức thời.
- b) Giá trị mômen trung bình.

5.8. Cho dòng điện chảy qua thanh dẫn, đặt trong một từ trường đều như hình 5.14a. cho mật độ từ trường là $0,25\text{Wb/m}^2$, đi ra phía sau tờ giấy và dòng điện chảy qua thanh dẫn dài $0,3\text{m}$ là $1,5\text{A}$. Hãy xác định các giá trị sau:

- a) Độ lớn của lực sinh ra với đơn vị N.
- b) Chiều của lực sinh ra nếu dòng điện chảy từ trên xuống dưới.
- c) Chiều của lực sinh ra nếu dòng điện chảy từ dưới lên trên.

5.9. Cho 1 dòng điện chảy trong thanh dẫn đặt trong 1 từ trường đều như trong hình 5.14a, cho mật độ từ thông là $0,5\text{Wb/m}^2$ và dòng điện đó chảy qua thanh dẫn dài $0,6\text{m}$ (có chiều như trong hình vẽ, hướng từ trên xuống dưới) có độ lớn là 2A . Hãy xác định các giá trị sau:

- a) Độ lớn của lực sinh ra đơn vị N.
- c) Hướng của lực sinh ra nếu vectơ B hướng ra phía ngoài tờ giấy.
- b) Hướng của lực sinh ra nếu vectơ B hướng ra phía sau tờ giấy.
- d) Hướng của lực sinh ra nếu vectơ mật độ từ thông hướng ra phía sau tờ giấy và hướng của dòng điện chảy ngược lại (từ dưới lên trên).
- e) Hướng của lực sinh ra nếu vectơ mật độ từ thông hướng ra phía ngoài của tờ giấy và hướng của dòng điện thì ngược lại (từ dưới lên trên)

5.10. Cho một thanh dẫn dài $0,5\text{m}$ có thể chuyển động với vận tốc 2m/s sang phía bên phải trong 1 từ trường đều như chỉ ra trong hình 5.15a. Cho mật độ từ cảm là $0,25\text{Wb/m}^2$, hướng ra phía sau tờ giấy và vectơ chiều dài thanh dẫn hướng từ dưới lên trên. Hãy xác định các giá trị sau:

- a) Độ lớn của điện áp cảm ứng.
- b) Cực tính của điện áp cảm ứng.
- c) Cực tính của điện áp cảm ứng nếu chiều dài thanh dẫn hướng từ trên xuống dưới.

5.11. Cho một thanh dẫn dài $0,5\text{m}$, chuyển động với vận tốc 4m/s sang phía phải trong 1 trường điện từ đều như chỉ ra trong hình 5.15b. Cho mật độ từ trường là $0,75\text{Wb/m}^2$, có hướng ra phía sau tờ giấy và hướng của thanh dẫn thì từ dưới lên trên. Hãy xác định các giá trị sau:

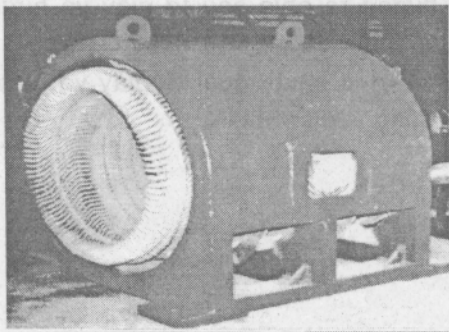
- a) Độ lớn của điện áp cảm ứng.
- b) Cực tính của điện áp cảm ứng.
- c) Cực tính của điện áp cảm ứng nếu vectơ B hướng ra phía ngoài tờ giấy.
- d) Cực tính của điện áp cảm ứng nếu vectơ B hướng ra phía sau tờ giấy và hướng của thanh dẫn thì từ dưới lên trên.
- e) Cực tính của điện áp cảm ứng nếu vectơ B hướng ra phía ngoài tờ giấy và hướng của thanh dẫn thì từ trên xuống dưới và thanh dẫn chuyển động sang phía trái.

6.1. GIỚI THIỆU CHUNG

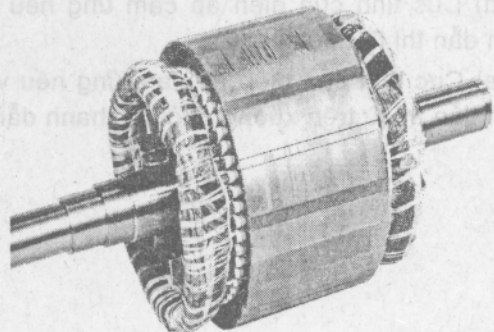
Dây quấn là phần mạch điện, là phần không thể tách rời của các máy điện nói chung và máy điện quay nói riêng. Trong máy điện quay, dây quấn là một bộ phận kết cấu mà ở đó thực hiện việc biến đổi năng lượng điện cơ. Dây quấn được bố trí đặt trên cả phần động (rôto) và phần tĩnh (stato). Tùy thuộc vào nhiệm vụ của từng cuộn dây mà người ta gọi một dây quấn là “dây quấn phần cảm” còn dây quấn còn lại gọi là “dây quấn phần ứng”.

Trong đa số các loại máy điện, dây quấn phần cảm có nhiệm vụ tạo ra từ trường ở khe hở không khí lúc không tải. Trong những trường hợp đó, dây quấn phần cảm còn được gọi là “dây quấn kích từ”, khi có dòng điện một chiều chạy trong dây quấn, nó sẽ từ hóa mạch từ để tạo nên các cực từ có cực tính thay đổi xen kẽ nhau dọc theo khe hở không khí. Từ trường được tạo ra bởi các cực từ này được thiết kế để phân bố hình sin dọc khe hở. Tuy nhiên cũng có những trường hợp do kết cấu mà chúng tạo ra từ trường có cực tính không đổi, nói cách khác là rôto hoặc stato chỉ là một cực tính.

Dây quấn phần ứng có nhiệm vụ cảm ứng được một sức điện động theo yêu cầu khi có từ trường phần cảm chuyển động tương đối với nó. Sức điện động cảm ứng trên dây quấn là xoay chiều hay một chiều tùy thuộc vào từ trường phần cảm là loại có cực tính thay đổi hay cực tính không đổi. Ngoài ra, dây quấn phần ứng còn phải chịu được dòng điện tương ứng với công suất của máy mà không bị phát nhiệt quá mức cho phép đồng thời phải được thiết kế sao cho việc chế tạo, lắp đặt được thuận lợi, đảm bảo được độ bền cơ khi máy hoạt động và tiết kiệm nguyên vật liệu. Vật liệu để chế tạo dây quấn máy điện quay thường là đồng đỏ hoặc nhôm, tuy nhiên đồng đỏ được sử dụng phổ biến hơn cả.



a)



b)

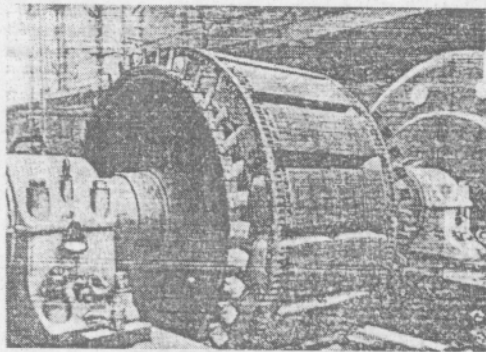
Hình 6.1. Stato quấn dây máy điện không đồng bộ.

a) Công suất lớn; b) Công suất nhỏ.

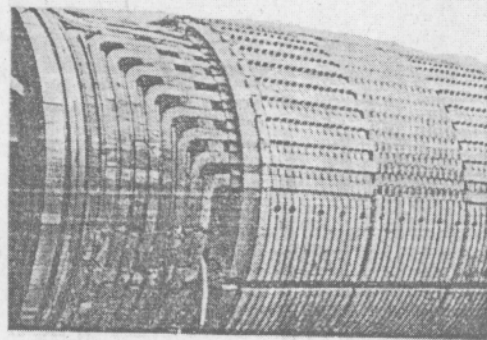
6.2. DÂY QUẤN PHẦN CẢM

Đối với máy điện một chiều là dây quấn cực từ chính, thường nằm ở stato; với máy điện đồng bộ là dây quấn rôto. Cả hai loại dây quấn này có đặc điểm chung là để tạo ra từ trường chính lúc không tải nhờ dòng điện kích thích một chiều chạy trong dây quấn phần cảm. Với máy điện không đồng bộ, việc phân biệt phần cảm và phần ứng còn chưa được rõ nét. Tuy nhiên, người ta thường gọi dây quấn rôto là dây quấn phần cảm với lý do khi máy hoạt động, tần số dòng điện rôto rất thấp. Gần đây, người ta đã nghiên cứu được cách điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng phương pháp điều chỉnh từ thông rôto tương tự như đối với việc điều chỉnh từ thông trong máy điện một chiều nên cách gọi như trên có tính thuyết phục hơn.

Với máy có cực tính không đổi thì dây quấn phần cảm được quấn thành cuộn tròn đặt đồng trục với rôto. Khi có dòng kích thích, rôto và stato sẽ hình thành nên 2 cực của máy và từ thông sẽ đi từ cực này sang cực kia thông qua khe hở không khí.



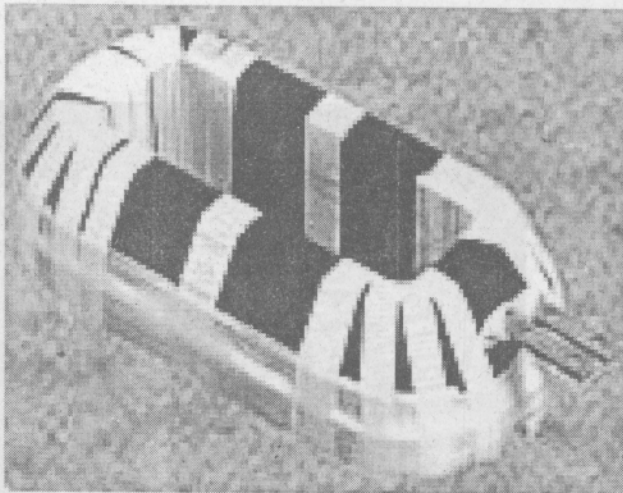
a)



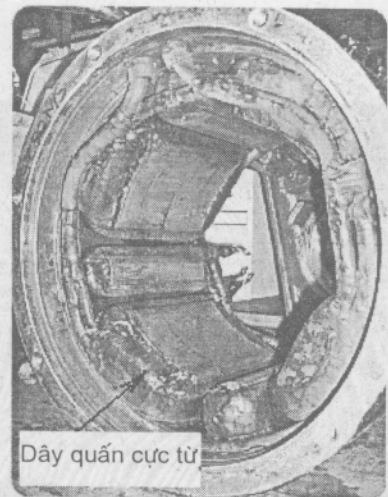
b)

Hình 6.2. Dây quấn cực từ máy điện đồng bộ.

a) Cực lồi; b) Cực ẩn.



a)



b)

Hình 6.3. Dây quấn cực từ máy điện một chiều

a) Cuộn dây cực từ; b) Stato – Phần cảm sau lắp ráp.

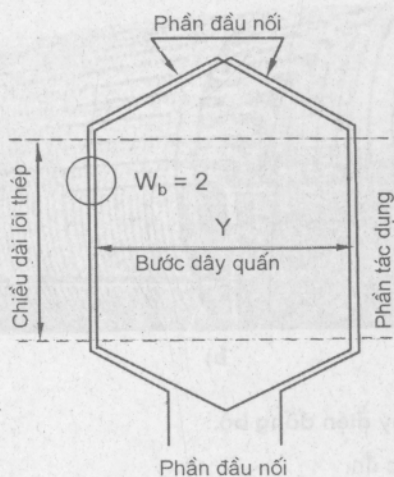
6.3. DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN QUAY

Dây quấn được đặt trong các rãnh của phần ứng. Tùy thuộc vào kiểu máy có cực tính xen kẽ hay cực tính không đổi và cũng tùy thuộc vào kết cấu và công nghệ chế tạo mà dây quấn phần ứng có nhiều kiểu khác nhau.

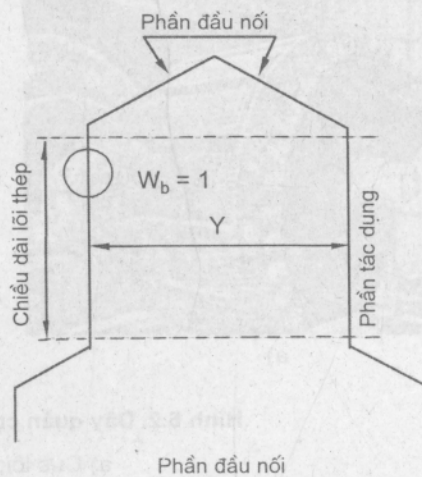
6.3.1. Máy có cực tính xen kẽ

Dây quấn có tác dụng hình thành nên các cực phân bố xen kẽ nhau dọc theo chu vi khe hở không khí khi có dòng điện chạy trong dây quấn. Đây là trường hợp phổ biến nhất với dây quấn máy điện quay.

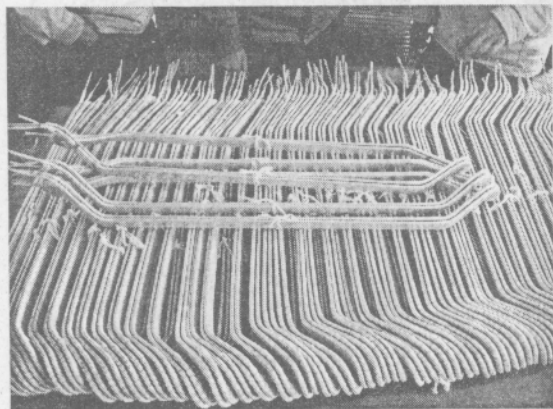
Dây quấn được chế tạo thành từng bối đặt trong các rãnh của phần ứng và được nối với nhau theo các quy luật nhất định để tạo nên các cực từ. Mỗi bối dây được tổ hợp từ một hoặc nhiều vòng dây. Hình 6.4a, b là hình vẽ đơn giản của một bối dây và c, d là hình ảnh thực của bối dây dạng xếp và dạng sóng.



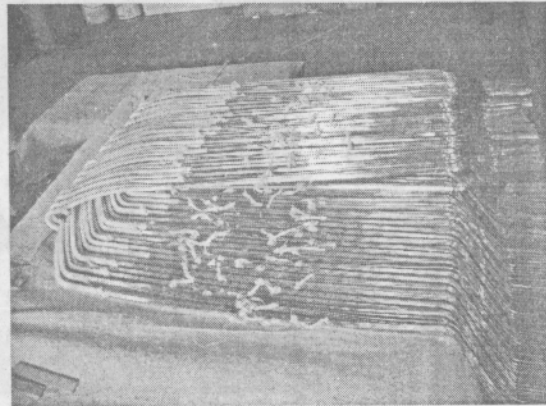
a)



b)

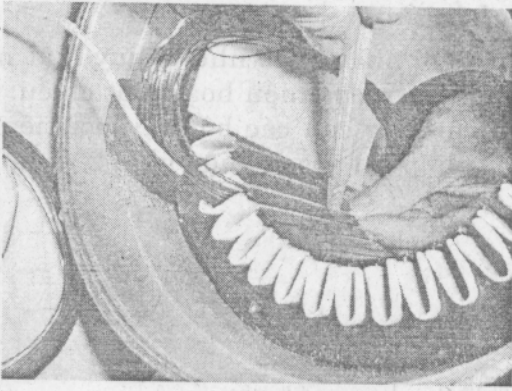


c)

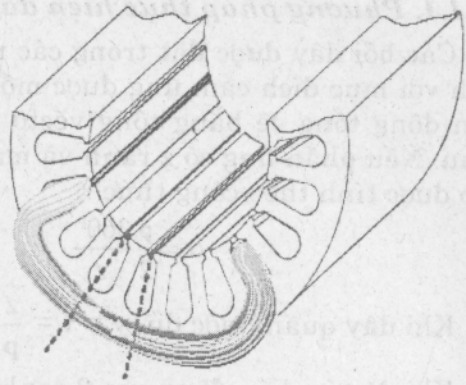


d)

Hình 6.4. Bối dây máy điện quay : (a, c) dây quấn xếp ; (b, d) dây quấn sóng.



a)



b)

Hình 6.5. Đặt dây quấn vào rãnh.

Mỗi bố dây là tổ hợp của w_b vòng quấn liên tiếp với nhau. Phần của bố dây đặt trong rãnh được gọi là phần tác dụng, phần còn lại ở 2 đầu nằm ngoài rãnh gọi là phần đầu nối. Khoảng cách giữa 2 cạnh tác dụng tính bằng số rãnh được gọi là bước dây quấn ký hiệu là y . Ví dụ trên hình 6.5a bước dây quấn là 6 nghĩa là nếu một cạnh tác dụng của bố dây được đặt ở rãnh 1 thì cạnh còn lại nằm ở rãnh 7. Người ta có thể gọi là dây quấn có bước $y = 6$ hay bước 1 – 7. Nếu phần ứng có z rãnh và máy có số cực là p thì bước cực được tính theo số rãnh sẽ là :

$$\tau = \frac{z}{p} \quad (6.1)$$

Nếu bước dây quấn bằng bước cực, nghĩa là $y = \tau$ gọi là dây quấn bước đủ; nếu $y > \tau$ gọi là dây quấn bước dài và $y < \tau$ gọi là dây quấn bước ngắn. Hệ số $\beta = \frac{y}{\tau}$ gọi là hệ số bước ngắn. Tùy theo các tiêu chí cụ thể của từng loại máy mà có thể thực hiện dây quấn bước đủ, bước dài hay bước ngắn và dây quấn cũng có thể được thiết kế 1 lớp hoặc 2 lớp. Với dây quấn một lớp, mỗi rãnh chỉ chứa một cạnh tác dụng của một bố dây còn dây quấn 2 lớp thì một rãnh thường chứa 2 cạnh tác dụng của 2 bố dây khác nhau. Trong một bố dây, nếu cạnh tác dụng này nằm ở lớp trên thì cạnh còn lại sẽ nằm ở lớp dưới. Với dây quấn 2 lớp thì việc thực hiện quấn dây theo bước dài hay bước ngắn đều thuận lợi. Để tiết kiệm vật liệu, người ta muốn rút ngắn tối thiểu phần đầu nối và như vậy bước ngắn là hợp lý hơn cả. Tuy nhiên, vì lý do chế tạo và cải thiện dạng sóng sức điện động nên chọn bước dây quấn phải được tính toán kỹ. Dây quấn cũng có thể được chập từ 1 hoặc nhiều sợi dây nhỏ lại với nhau để quấn. Tiết diện của một vòng dây là tổng tiết diện của n sợi chập lại.

$$S_v = \sum_{i=1}^n S_{si} \quad (6.2)$$

Ở đây : S_v : tiết diện mặt cắt ngang của một vòng dây

S_{si} : Tiết diện mặt cắt ngang của sợi dây thứ i .

6.3.1.1. Phương pháp thực hiện dây quấn phân ứng

Các bố dây được đặt trong các rãnh và nối với nhau theo những quy luật nhất định với mục đích cảm ứng được một sức điện động xoay chiều hoặc một chiều. Sức điện động tổng sẽ bằng tổng vectơ các sức điện động của các bố dây nối tiếp với nhau. Nếu phần ứng có z rãnh và máy có số cực là p thì góc độ điện giữa 2 rãnh liên tiếp được tính theo công thức :

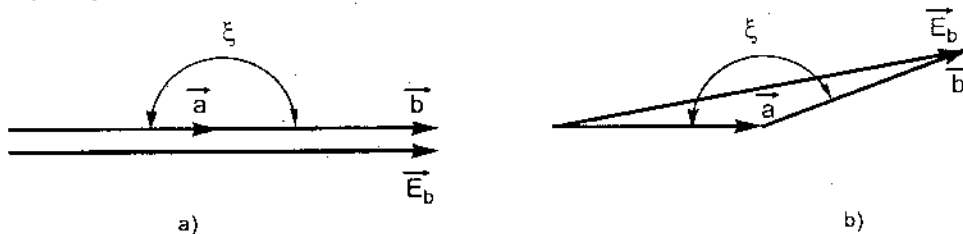
$$\alpha = \frac{p}{2} \cdot \frac{360^\circ}{z} \quad (6.3)$$

Khi dây quấn bước đủ $y = \tau = \frac{z}{p}$

Khi đó sức điện động của 2 cạnh tác dụng lệch nhau một góc :

$$\zeta = \frac{p}{2} \cdot \frac{360^\circ}{z} \cdot \frac{z}{p} = 180^\circ \quad (6.4)$$

Nếu sức điện động cảm ứng trên mỗi cạnh tác dụng được biểu diễn là một vectơ thì sức điện động của bố dây sẽ là tổng của 2 vectơ như hình 6.6



Hình 6.6.

a) Sức điện động của bố dây bước đủ; b) Sức điện động của bố dây bước ngắn.

Hình 6.6a là sức điện động của bố dây quấn bước đủ, do góc lệch giữa 2 cạnh tác dụng là 180° điện nên sức điện động tổng bằng 2 lần sức điện động một cạnh. Đối với bố dây quấn bước ngắn hoặc bước dài, góc $\zeta < 180^\circ$ nên tổng của chúng có độ lớn nhỏ hơn so với dây quấn bước đủ.

Đối với máy điện xoay chiều, nếu dây quấn được có số pha là m thì mỗi pha sẽ chiếm số rãnh là $\frac{z}{m}$. Với dây quấn một lớp, số bố dây của một pha tương ứng sẽ là

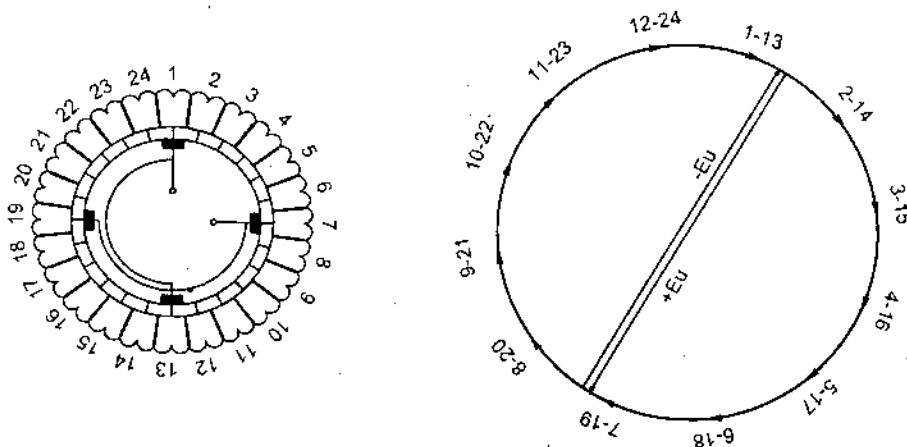
$\frac{z}{2m}$ bố. Tương tự với dây quấn 2 lớp, do mỗi bố dây có 2 cạnh tác dụng và mỗi cạnh chỉ chiếm $1/2$ rãnh nên số bố dây chính bằng số rãnh của một pha tức bằng $\frac{z}{m}$. Dưới mỗi cực được chia thành m vùng pha và như vậy trong 360° điện tương

ứng của một đôi cực sẽ có $2m$ vùng pha và góc của mỗi vùng là $\gamma = \frac{360^\circ}{2m}$. Ví dụ máy

3 pha mỗi vùng pha sẽ là 60° , máy 2 pha vùng pha sẽ là 90° . Mỗi pha sẽ chiếm 2 vùng lệch nhau 180° điện, một vùng dưới cực N và một vùng dưới cực S. Với dây quấn 2 lớp, do số bố dây của mỗi pha bằng $\frac{z}{m}$ nên mỗi vùng pha sẽ có số rãnh hay

số bố dây dưới một cực là $q = \frac{z}{mp}$. Vùng pha của các pha lệch nhau góc $\gamma' = \frac{360^\circ}{m}$.

Với dây quấn phần ứng máy điện một chiều, ta có thể coi như đó là dây quấn máy điện xoay chiều 1 pha tức $m = 1$ và được kết hợp với hệ thống vành góp như một bộ chỉnh lưu cơ khí để biến đổi sức điện động từ xoay chiều thành một chiều. Các bội dây được nối liên tiếp với nhau thành một mạch kín, hai đầu dây của mỗi bội dây được nối với 2 phiến góp. Các vectơ sức điện động bội dây nối tiếp nhau sẽ hình thành 2 đa giác sức điện động. Hai vectơ tổng các sức điện động của các bội dây dưới cực N sẽ ngược với hai vectơ tổng các sức điện động bội dây E_u dưới cực S. Hệ thống cổ góp và chổi điện sẽ chỉnh lưu các sức điện động $-E_u$ thành $+E_u$ và như vậy giữa các hệ thống chổi điện sẽ hình thành 4 nhánh có sức điện động E_u ghép lại với nhau (hình 6.7).



Hình 6.7

6.3.1.2. Dây quấn của máy điện xoay chiều

Như đã trình bày ở trên, dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều có thể thực hiện dưới dạng 1 lớp hoặc 2 lớp và với số pha $m = 1; 2; 3$ tùy theo từng loại máy. Dây quấn có thể quấn tập trung và có thể quấn rải với số rãnh của một pha dưới một cực $q > 1$. Thông thường q được lấy là số nguyên song có những trường hợp đặc biệt khi số rãnh không thể tăng lên được do độ bền về mặt cơ khí của răng không đảm bảo và cũng không thể rút số rãnh đi nhiều do ảnh hưởng về dạng sóng sức điện động nên người ta chọn q là phân số.

6.3.2. Máy có cực tính không đổi

Trong những trường hợp đặc biệt, có một số loại máy mà cực tính không đổi. Với máy điện xoay chiều như máy phát cảm ứng tần số cao, stato quấn dây quấn 1 pha hoặc 3 pha như các máy điện khác song cũng đặt luôn dây quấn kích từ. Rôto đơn giản chỉ là một khối thép được ghép từ các lá mỏng lại với nhau và trên đó được chế tạo thành các răng với mục đích thay đổi từ trở. Trên rôto hoàn toàn không đặt dây quấn. Từ trường dọc khe hở trong phạm vi một răng và một rãnh phân bố hình sin tương tự như một đôi cực từ.

Với máy điện một chiều cần dòng điện lớn với điện áp thấp thì rôto thường là

một khối đồng hình trụ quay trong từ trường có cực tính không đổi. Hai đầu rôto sứ cảm ứng một sức điện động. Để lấy điện ra ngoài, 2 đầu rôto thường được tiếp xúc với khối kim loại lỏng như thủy ngân và tránh việc tiếp xúc chổi điện.

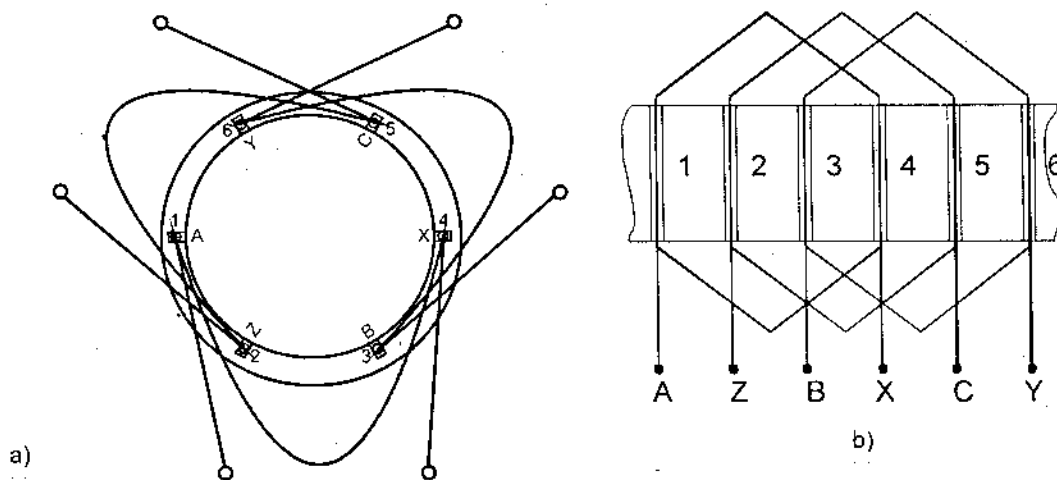
6.4. XÂY DỰNG SƠ ĐỒ DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

6.4.1. Dây quấn có q là số nguyên

6.4.1.1. Dây quấn 1 lớp

Xét máy điện xoay chiều 2 cực với số pha $m = 3$ và số rãnh là $z = 6$. Dễ thấy rằng mỗi pha sẽ chiếm 2 rãnh và số bội dây của mỗi pha là $\frac{z}{2m} = 1$ bội.

Bước cực $\tau = \frac{z}{p} = \frac{6}{2} = 3$. Dây quấn bước đủ nên $y = \tau = 3$ hay $y = 1 - 4$. Điều này có nghĩa là một cạnh của bội dây đặt ở rãnh 1 thì cạnh còn lại sẽ đặt ở rãnh 4.



Hình 6.8. Dây quấn phần ứng một lớp bước đủ.

a) Sơ đồ tròn; b) Sơ đồ trải.

Pha B lệch với pha A một góc $\gamma = \frac{360^\circ}{3} = 120^\circ$ nên đầu vào của pha B sẽ là rãnh 3 và đầu ra là rãnh 6. Tương tự đối với pha C, đầu vào là rãnh 5 và đầu ra là rãnh 2.

Sơ đồ dây quấn trên hình 6.8 là sơ đồ đơn giản nhất. Quấn dây như trên gọi là cách quấn tập trung bởi dưới mỗi cực, mỗi pha chỉ có một cạnh bội dây hay 1 rãnh. Ta cũng nhận thấy quy luật sắp xếp theo trình tự là A Z B X C Y nếu máy có nhiều đôi cực hơn thì quy luật trên sẽ được lặp lại cho các đôi cực tiếp theo.

Tuy nhiên việc quấn tập trung như trên cũng có nhiều nhược điểm như việc phân bố dây quấn khó trải đều trên chu vi khe hở, kết cấu mạch từ và dây quấn không chắc chắn do rãnh phải chế tạo lớn và dây quấn chỉ có một bội dây nên chứa nhiều vòng và khả năng tận dụng vật liệu kém hơn. Mặt khác, quấn tập trung cũng làm cho tính năng của máy không được cải thiện do tồn tại sóng điều hòa bậc cao

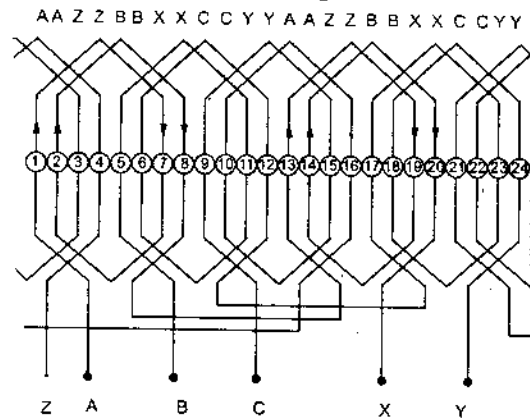
với tỷ lệ lớn. Với những nhược điểm đó, khi thiết kế máy điện người ta thường quấn rải dây. Quấn rải ở đây được hiểu là chia nhỏ bối dây lớn thành nhiều bối nhỏ hơn nối tiếp hoặc song song với nhau trải đều trên chu vi khe hở. Số rãnh của một pha dưới một cực q tăng lên và số răng rãnh cũng nhiều lên. Người ta rất muốn q lớn song vì lý do cơ khí cũng như nhiều lý do công nghệ khác mà q phải giới hạn và đôi khi phải lấy q là phân số như đã nói ở phần trên.

q tăng lên nghĩa là số rãnh của một pha dưới một cực tăng song về quy luật đặt dây quấn vẫn tuân thủ như cũ, nghĩa là : Nếu $q = 2$, dưới một đôi cực, dây quấn 3 pha sẽ tuân thủ theo quy luật A A Z Z B B X X C C Y Y và nếu máy có nhiều đôi cực hơn thì quy luật trên sẽ được lập lại cho các đôi cực tiếp theo và $q = 3$, quy luật sẽ là A A A Z Z Z B B B X X X C C C Y Y Y tương tự với q có trị số nguyên khác.

Xét ví dụ sau đây : $z = 24, p = 4, m = 3, a = 1, y = \tau = \frac{z}{p} = \frac{24}{4} = 6$

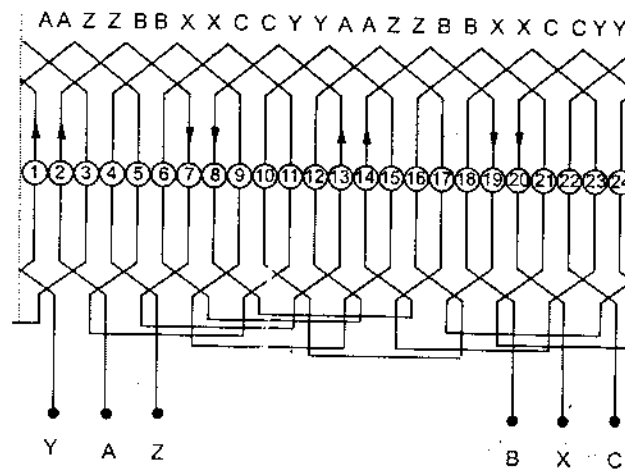
Ta thiết lập được sơ đồ trải như sau :

Phương án 1. Dây quấn đồng khuôn đơn giản



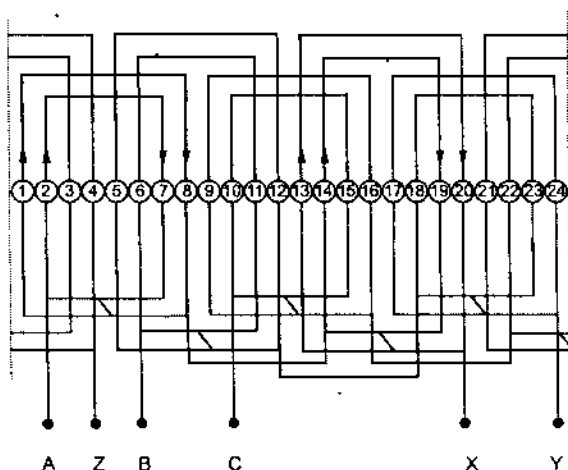
Hình 6.9 Sơ đồ trải dây quấn đồng khuôn đơn giản với $z = 24, m = 3, p = 4, a = 1$.

Phương án 2. Dây quấn đồng khuôn phân tán



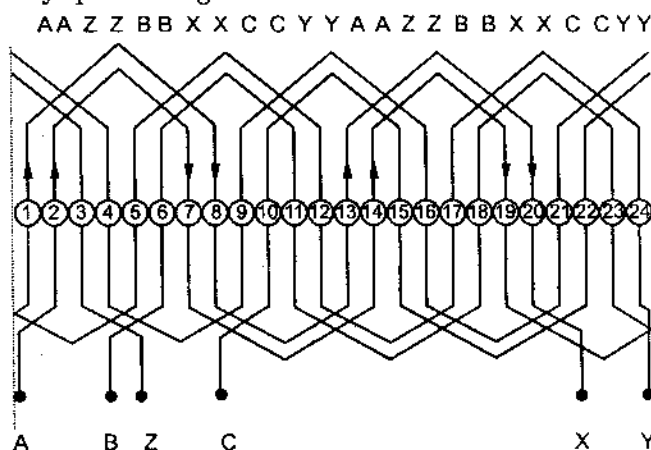
Hình 6.10. Sơ đồ trải dây quấn đồng khuôn phân tán với $z = 24, m = 3, p = 4, a = 1$.

Phương án 3. Dây quấn đồng tâm 2 mặt phẳng.



Hình 6.11. Sơ đồ trái dây quấn đồng tâm với $z = 24, m = 3, p = 4, a = 1$.

Phương án 4. Dây quấn sóng.



Hình 6.12. Sơ đồ trái dây quấn sóng với $z = 24, m = 3, p = 4, a = 1$.

So sánh các phương án quấn dây trên hình 6.9 đến 6.12 nhận thấy rằng chúng chỉ khác nhau ở phần đầu nối còn ở trong rãnh (phần tác dụng) là không thay đổi. Việc chọn đầu dây ra cũng không nhất thiết phải lấy tại một vị trí cố định mà có thể lấy ở vị trí bất kỳ thuộc pha cần xét. Ví dụ sơ đồ hình 6.9 pha A có thể lấy ra ở rãnh 1 hoặc rãnh 2 hay rãnh 13 và 14 đều được. Điều này rất quan trọng khi tính toán dây nối.

Với sơ đồ hình 6.10, kiểu dây quấn đồng khuôn phân tán cho thấy có thể rút ngắn phần đầu nối và tiết kiệm được dây quấn, tuy nhiên cũng nhận thấy rằng phía đầu nối dây đã tăng thêm 2 mối nối.

Với các máy công suất nhỏ thì dây quấn đồng tâm như hình 6.11 tỏ ra ưu việt bởi việc lồng dây quấn vào rãnh khá thuận lợi. Các pha có thể lồng hoàn toàn độc lập với nhau và do đó việc sửa chữa cũng thuận tiện hơn.

Hình 6.12 là dây quấn sóng, thực tế cho thấy dây quấn này khá phức tạp, tuy

nhiên trong một số trường hợp như dây quấn rôto phần tử cứng thì dây quấn này tỏ rõ hiệu quả về sự cân bằng và lồng dây thuận lợi đặc biệt là việc bố trí các mối nối.

Hình 6.9 ta nhận thấy bước dây quấn được rút ngắn và làm phần đầu nối ngắn lại và vì vậy làm tiết kiệm dây quấn. Tuy nhiên, với dây quấn một lớp việc rút ngắn bước dây quấn không phải dễ thực hiện song điều này lại rất đơn giản đối với dây quấn 2 lớp.

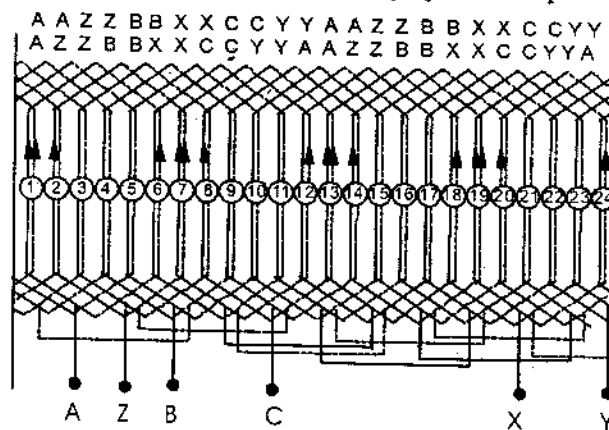
6.4.1.2. Dây quấn 2 lớp

Dây quấn 2 lớp thực chất là 2 dây quấn một lớp xếp chồng nhau. Mỗi bối dây sẽ có một cạnh tác dụng đặt ở lớp trên và cạnh còn lại phải đặt ở lớp dưới. Như vậy ta thấy ngay rằng việc thực hiện bước ngắn, bước đủ hay bước dài đều có thể thực hiện được một cách dễ dàng.

Đối với dây quấn 2 lớp, thường thực hiện theo kiểu quấn xếp với dây quấn đồng khuôn hoặc quấn sóng. Thông thường việc quấn sóng thường chỉ sử dụng để chế tạo dây quấn rôto của động cơ không đồng bộ công suất lớn với dây quấn kiểu thanh dẫn cứng.

Nếu thực hiện dây quấn bước ngắn, ngoài việc tiết kiệm dây quấn còn có khả năng cải thiện dạng sóng sức điện động do triệt tiêu hoặc làm yếu đi các sóng bậc cao làm cho dạng sóng sức điện động gần hình sin hơn. Cả hai yếu tố trên đều là những biện pháp nâng cao hiệu suất máy. Tuy nhiên cũng nhận thấy rằng việc thực hiện dây quấn 2 lớp phức tạp hơn nhiều so với dây quấn một lớp và việc sửa chữa cũng gặp khó khăn hơn.

Dưới đây là một ví dụ về xây dựng sơ đồ dây quấn 2 lớp bước ngắn.



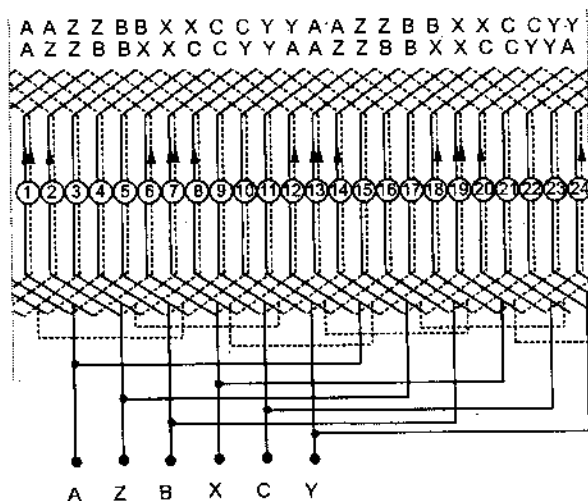
Hình 6.13. Sơ đồ trải dây quấn xếp 2 lớp với $z = 24$, $m = 3$, $p = 4$, $a = 1$.

Dây quấn trên có bước cực $\tau = \frac{z}{p} = \frac{24}{4} = 6$ và bước dây quấn $y = \tau - 1 = 5$ hay bước

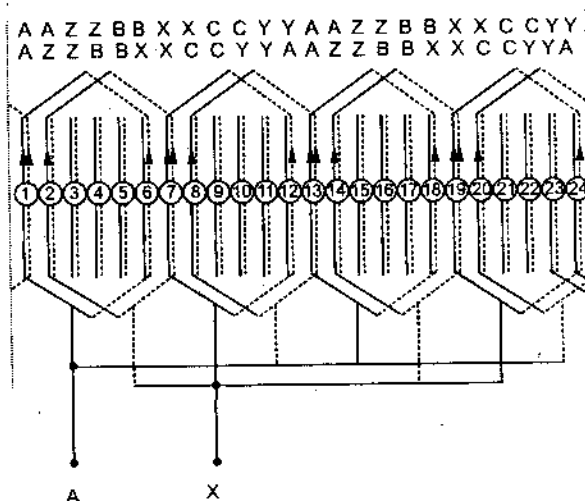
1-6. Hệ số bước ngắn $\beta = \frac{5}{6}$. Số bối dây của một pha dưới một cực $q = \frac{z}{mp} = \frac{24}{3 \cdot 4} = 2$.

Lớp trên đặt theo quy luật A A Z Z B B X X C C Y Y A A Z Z B B X X C C Y Y. Do cạnh của bối dây thứ nhất pha A ở lớp trên rãnh 1 nên cạnh thứ hai của nó phải đặt ở lớp dưới rãnh 6. Do đó ta đặt X vào lớp dưới rãnh 6 sau đó tiếp tục một vòng theo

quy luật $XXCCYYAAZZBBXXCCYYAAZZBB$ kể từ rãnh 6 đến rãnh 5 và ta xây dựng được sơ đồ nối dây như hình vẽ với mỗi pha có một mạch nhánh, nghĩa là tất cả các bồi dây được nối nối tiếp với nhau theo quy luật vòng tròn. Trong nhiều trường hợp, các bồi dây có thể tổ hợp với nhau thành 2 hay nhiều mạch nhánh song song. Tuy nhiên số mạch nhánh song song phải là số mà số tổ bồi dây một pha chia hết cho số đó. Ví dụ $z = 24$ thì mỗi pha sẽ có 8 bồi dây. Do $q = 2$ nên sẽ có 4 tổ bồi dây. Do đó số mạch nhánh song song chỉ có thể là 1; 2 hoặc 4.

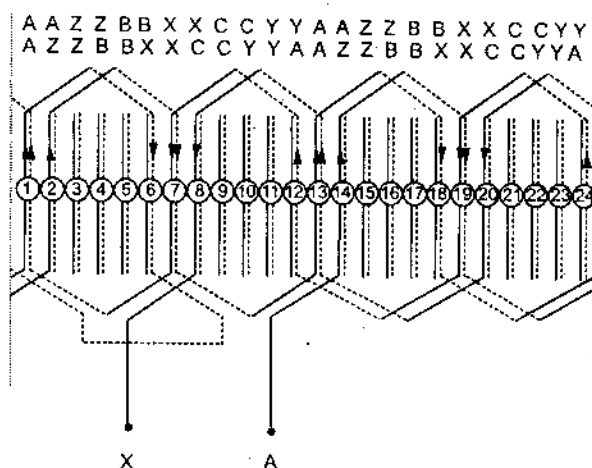


Hình 6.14. Sơ đồ trải dây quấn xếp 2 lớp với $z = 24$, $m = 3$, $p = 4$, $a = 2$.

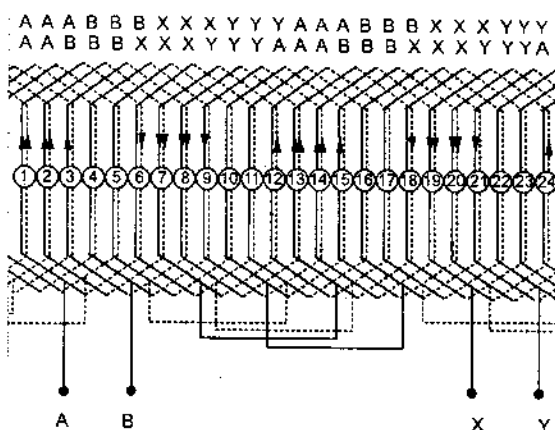


Hình 6.15. Sơ đồ trải dây quấn xếp 2 lớp với $z = 24$, $m = 3$, $p = 4$, $a = 4$.

Tương tự với dây quấn một lớp, dây quấn 2 lớp cũng có thể thực hiện quấn sóng với việc thay đổi cách nối dây ở phần đầu nối. Tuy nhiên, đối với dây quấn sóng số mạch nhánh song song luôn bằng 1. Hình 6.16 vẽ sơ đồ trải dây quấn sóng với số liệu như sơ đồ hình 6.13. Để đơn giản cho việc theo dõi ta chỉ vẽ một pha.



Hình 6.16. Sơ đồ trái dây xoắn song 2 lớp với $z = 24, m = 3, p = 4$.



Hình 6.17. Sơ đồ trái dây xoắn xếp 2 lớp với $z = 24, m = 2, p = 4$.

Với dây xoắn 2 pha, hai cuộn dây đặt lệch nhau trong không gian góc 90° điện và tuân thủ theo quy luật ABXY với dây xoắn tập trung cho một đôi cực. Với dây xoắn rải với $q > 1$ ta vẫn theo quy luật trên tương tự với dây xoắn 3 pha. Sơ đồ trái dây xoắn với $z = 24, p = 4, m = 2, q = 3, y = 5$ được trình bày trên hình 6.17.

6.4.2. Dây xoắn có q là phân số

Trong một số trường hợp, số rãnh của một pha dưới một cực không thể lớn vì liên quan đến kích thước của răng không cho phép hoặc giả sử tăng số rãnh lên mà kích thước răng đảm bảo thì phải tăng đường kính lõi thép hay tăng kích thước máy. Song nếu chọn q quá nhỏ có thể ảnh hưởng đến chất lượng dạng sóng sức điện động do từ trường sóng bậc cao gây nên đặc biệt đối với các máy tốc độ thấp. Trong tình trạng như vậy, tốt hơn hết là chọn q là phân số.

Giả sử số rãnh của máy là z và số pha là 3 thì số rãnh chia đều cho mỗi pha là $\frac{z}{3}$. Nếu xoắn 1 lớp, số bồi dây mỗi pha sẽ là $\frac{z}{3}$ còn nếu xoắn 2 lớp số bồi dây 1 pha

sẽ là $\frac{z}{2.3} = \frac{z}{6}$. Số bố dây này phải phân bố dưới các cực sao cho ở mỗi cực số bố đều

là số nguyên gần nhất với giá trị của q .

Ví dụ : $z = 30, p = 4, m = 3$, quấn 2 lớp.

Ta có : Số rãnh của một pha là 10 rãnh.

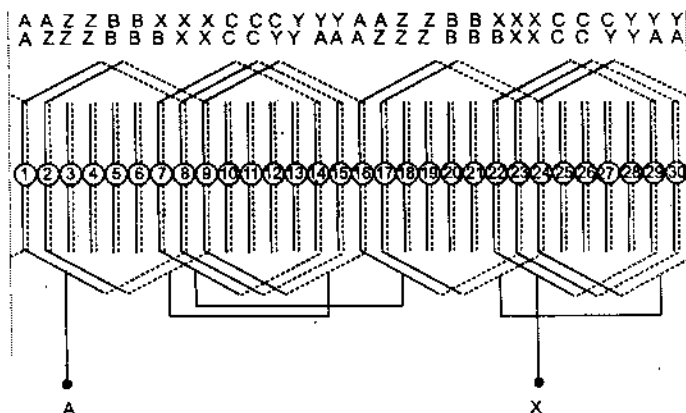
Số bố dây của một pha là 10 bố.

$$\text{Số bố dây của một pha dưới một cực } q = \frac{z}{m.p} = \frac{30}{12} = 2\frac{1}{2}$$

Số nguyên gần nhất của $2\frac{1}{2}$ là 2 và 3.

Nhận thấy rằng nếu chia đều cho 4 cực thì sẽ có 2 cực có số bố dây là 2 và 2 cực còn lại có số bố dây là 3. Bước cực $\tau = \frac{z}{p} = \frac{30}{4} = 7\frac{1}{2}$. Chọn bước dây quấn $y = 7$ nghĩa

là bước 1-8. Hệ số bước ngắn $\beta = \frac{y}{\tau} = \frac{7}{30/4} = 0,933$. Khi đó ta bố trí dây quấn như hình 6.18. Để đơn giản ta chỉ vẽ 1 pha.



Hình 6.18. Dây quấn 2 lớp với q là phân số.

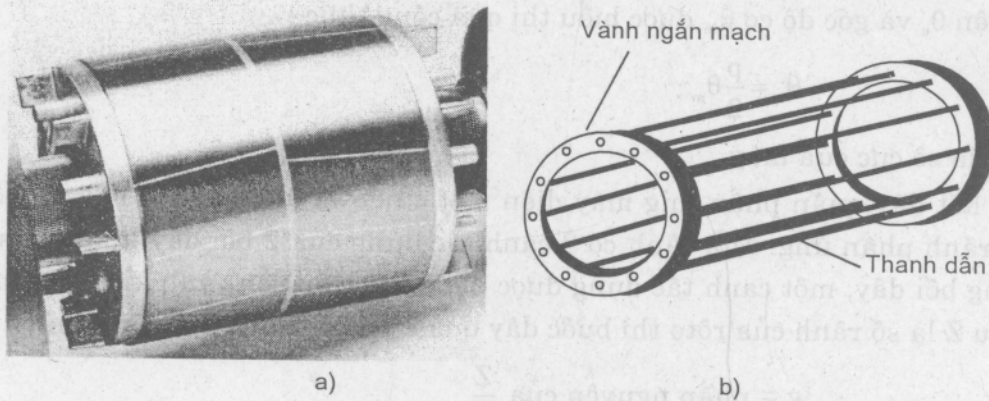
Việc chuyển từ dây quấn xếp như hình 6.18 sang dây quấn sóng hoàn toàn đơn giản như dây quấn một lớp. Ở đây chỉ lưu ý rằng ta chỉ thay thế phần đầu nối còn phần tác dụng đặt trong rãnh là hoàn toàn giữ nguyên.

6.5. DÂY QUẤN LỒNG SÓC

Thường sử dụng cho rôto động cơ không đồng bộ, dây quấn căn hoặc dây quấn mở máy của máy điện đồng bộ.

Dây quấn lồng sóc được tạo thành từ các thanh dẫn được đặt vào rãnh. Vật liệu chế tạo thường bằng nhôm đúc hoặc bằng đồng với các máy có công suất lớn mà vấn đề đúc gặp khó khăn hoặc giá thành quá cao. Hai đầu của các thanh dẫn được nối với 2 vòng ngắn mạch. Vòng ngắn mạch này có thể đúc liền với các thanh dẫn ở 2 đầu lõi thép khi lồng sóc chế tạo từ nhôm đúc hoặc chế tạo bằng đồng, có cùng chất liệu với thanh dẫn đặt trong rãnh.

Để tăng mômen và hạn chế dòng điện mở máy, người ta thường làm rãnh sâu, rãnh có hình dáng phức tạp, lồng sóc kép hoặc 2 lồng sóc để phù hợp với việc ứng dụng hiệu ứng mặt ngoài làm tăng điện trở rôto trong quá trình khởi động.



Hình 6.19. Cấu tạo của rôto lồng sóc đúc nhôm

a) Rôto lồng sóc đúc nhôm; b) Cấu tạo lồng sóc.

Để hạn chế và làm giảm thiểu ảnh hưởng của sóng điều hòa răng người ta thường làm rãnh rôto chéo đi một bước rãnh stato. Đối với các động cơ công suất lớn, việc làm chéo rãnh ở Rôto gặp khó khăn thì người ta chế tạo rãnh thẳng song song với trục máy và chọn sự phối hợp răng rãnh phù hợp giữa Rôto với Stato hoặc làm chéo rãnh ở Stato.

Đối với dây quấn kiểu này, mỗi thanh dẫn sẽ là một pha và số vòng dây của mỗi pha $w = \frac{1}{2}$. Dễ thấy rằng dây quấn lồng sóc là quấn tập trung và coi như bước đủ.

Để tăng cường mômen mở máy và hạn chế dao động mômen, ngày nay người ta thường chế tạo thêm một hoặc một số vòng ngăn mạch nằm ở giữa rôto như hình 6.19a.

6.6. DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Dây quấn phần ứng máy điện một chiều là các cuộn dây nối liên tiếp với nhau và được thiết kế 2 lớp kiểu quấn xếp hoặc quấn sóng. Đối với các máy công suất nhỏ, cuộn dây được quấn trực tiếp vào rãnh phần ứng nhờ máy quấn dây tự động. Đối với các máy công suất lớn, cuộn dây được quấn định hình sau đó mới được đặt vào rãnh. Mỗi cuộn dây gồm nhiều vòng, giữa các vòng dây được cách điện với nhau và cách điện với lõi thép phần ứng. Mỗi cạnh tác dụng của một vòng dây được gọi là một “thanh dẫn”, số thanh dẫn của máy được xác định theo công thức :

$$N = 2Cw_b \quad (6.5)$$

Trong đó : N: Số thanh dẫn rôto

C: Số cuộn dây của rôto

w_b : Số vòng trong mỗi cuộn dây.

Sức điện động cảm ứng trên thanh dẫn đặt dưới cực S ngược với sức điện động cảm ứng trên thanh dẫn đặt dưới cực N. Bước dây quấn được tính toán bằng 180° điện tức là bằng một bước cực. Ở máy 2 cực, 180° điện bằng 180° độ cơ song đối với máy 4 cực thì 180° điện chỉ bằng 90° cơ. Trường hợp tổng quát, mối quan hệ giữa góc độ điện θ_e và góc độ cơ θ_m được biểu thị qua công thức :

$$\theta_e = \frac{p}{2} \theta_m \quad (6.6)$$

với p là số cực của máy.

Hầu hết dây quấn phần ứng máy điện một chiều là dây quấn 2 lớp. Số bội dây bằng số rãnh phần ứng. Mỗi rãnh có 2 cạnh tác dụng của 2 bội dây khác nhau. Khi định dạng bội dây, một cạnh tác dụng được đặt ở lớp trên còn cạnh kia sẽ nằm ở lớp dưới. Nếu Z là số rãnh của rôto thì bước dây quấn y được tính theo công thức:

$$y = \text{phần nguyên của } \frac{Z}{p} \quad (6.7)$$

Nếu một cạnh bội dây ta đặt vào rãnh m, cạnh kia của bội dây sẽ phải đặt tại rãnh $m + y$. Cách nối các cuộn dây với nhau sẽ tạo nên kiểu dây quấn. Gọi E_c và I_c là điện áp và dòng điện trên cuộn dây. Nếu a là số đoạn mạch song song giữa 2 chổi điện thì số thanh dẫn nối tiếp trong một mạch nhánh sẽ là N/a . Do đó sức điện động trung bình và dòng điện phần ứng được xác định theo công thức:

$$\begin{aligned} E &= \frac{N}{a} E_c \\ I_a &= a I_c \end{aligned} \quad (6.8)$$

6.6.1. Dây quấn xếp đơn

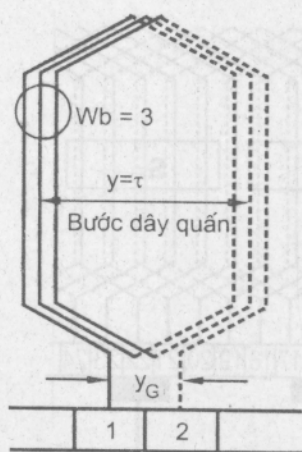
Với dây quấn này, đầu cuối của một cuộn dây được nối với đầu đầu của cuộn dây kế tiếp. Hai đầu ra của mỗi cuộn được nối với 2 phiến góp kế nhau, bước góp $y_g = 1$. Cuộn dây có N_c vòng trong kiểu quấn xếp đơn được thể hiện trên hình 6.20.

Trong dây quấn xếp đơn, số mạch nhánh song song giữa 2 chổi điện bằng số cực nghĩa là $a = p$. Kiểu dây quấn này thường sử dụng cho các máy có điện áp thấp và dòng điện lớn.

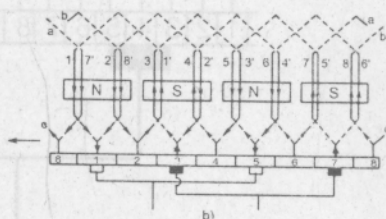
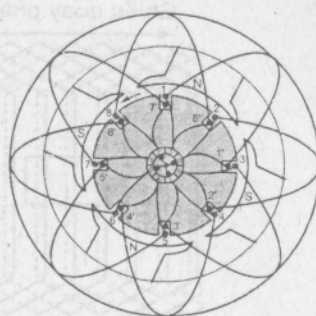
Ta xét máy 4 cực, dây quấn 2 lớp, kiểu xếp đơn với 8 rãnh. Nếu số vòng dây mỗi bội $W_b = 1$ thì tổng số thanh dẫn trong một mạch nhánh là $N = 2.8 = 16$. Từ công thức 6.7 ta tính được bước dây quấn :

$$y = \frac{Z}{p} = \frac{8}{4} = 2 \text{ rãnh.}$$

Hình 6.21a chỉ ra việc nối dây 2 đầu của một bội được nối với 2 phiến góp liên tiếp. Số mạch nhánh song song ta có thể nhìn thấy rõ trên sơ đồ trải hình 6.21b.



Hình 6.19. Dây quấn xếp đơn với bước gộp $y_G = 1$.



Hình 6.21. Sơ đồ dây quấn xếp đơn $Z = 8, p = 4$.

a) Sơ đồ tròn; b) Sơ đồ trải.

6.6.2. Dây quấn xếp phức

Khác với dây quấn xếp đơn, 2 đầu của một bối dây không nối lên 2 phiến góp liên tiếp nghĩa là $y_G = m K1$, thường $m = 2$. Khi $y_G = 2$ thì đầu cuối của bối dây thứ nhất sẽ không nối với đầu đầu của bối dây thứ 2 kế tiếp mà nối với đầu đầu của bối dây thứ 3 và đầu cuối của bối thứ 3 lại nối với đầu đầu của bối thứ 5 và cứ như thế tuần tự cho đến khi chúng tự khép với nhau thành mạch kín. Những phần tử còn lại (2, 4, 6...) lại được nối với nhau thành vòng kín thứ hai xen kẽ với vòng kín thứ nhất và được nối song song với nhau qua chổi điện trong trường hợp $\frac{G}{m} = b$ là số nguyên trong đó G là số phiến góp. Trường hợp b không nguyên thì dây quấn xếp phức chỉ có một mạch nhánh.

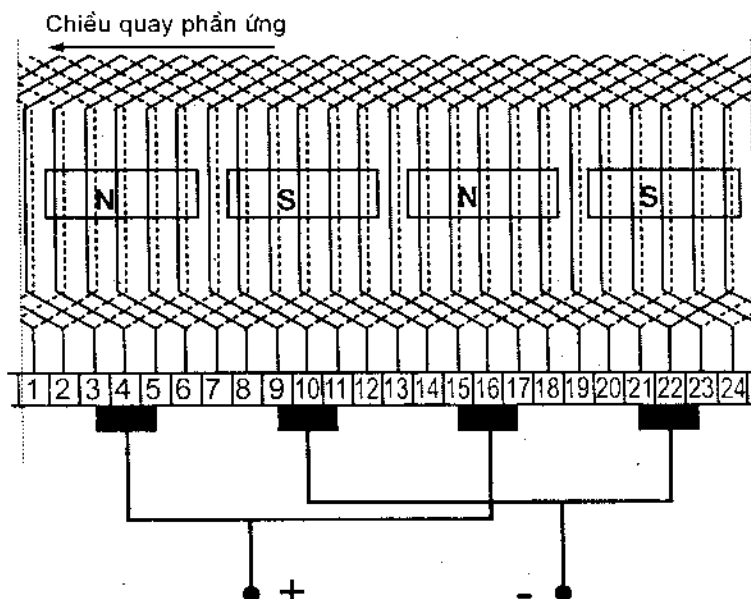
Ví dụ : $Z = G = 24, p = 4, y_G = m = 2$,

Theo 6.7 ta tính được bước dây quấn:

$$y = \frac{Z}{p} = \frac{24}{4} = 6 \text{ rãnh.}$$

Vì $m = 2$ nên $\frac{G}{m} = \frac{24}{2} = 12$ là số nguyên do đó sẽ có 2 mạch nhánh song song song

độc lập. Mạch thứ nhất gồm các bối dây thứ tự lẻ 1, 3, 5...23 nối tiếp với nhau và mạch thứ 2 gồm các bối dây thứ tự chẵn là 2, 4, 6, 8...24 nối tiếp với nhau. Nhận thấy rằng dây quấn xếp phức do m dây quấn xếp đơn hợp lại đấu chung với chổi điện. Do đó số mạch nhánh song song của dây quấn xếp phức gấp m lần dây quấn xếp đơn nghĩa là $a = mp$.



Hình 6.22. Sơ đồ trải dây quấn xếp phức $Z = 24, p = 4, y_G = 2$.

Trong trường hợp b không phải là số nguyên, giả thiết vẫn số liệu trên song $G = Z = 23$, khi đó sẽ không tồn tại hai mạch nhánh độc lập mà chúng nối tiếp với nhau để tạo thành vòng kín có nghĩa là phần tử 1, 3, 5...23 nối với nhau, sau đó lại nối tiếp với phần tử 2, 4, 6...22 và trở về 1 tạo thành mạch kín. Số mạch nhánh song song vẫn được tính $a = mp$.

6.6.3. Dây quấn sóng đơn

Với dây quấn xếp đơn ở trên đã xét, hai đầu của bối dây được nối với 2 phiên góp liên tiếp với bước góp $y_G = 1$. Trong dây quấn sóng, hai đầu bối dây được nối với các phiên góp đặt cách nhau xấp xỉ 360° điện (tức 2 bước cực). Như vậy tất cả các cuộn dây có dòng điện chạy cùng chiều được nối nối tiếp với nhau. Do đó chỉ có duy nhất 2 mạch nhánh song song giữa 2 chổi điện nghĩa là $a = 2$ độc lập với số cực của máy. Loại dây quấn này được sử dụng cho các máy có điện áp cao và dòng điện nhỏ.

Bước dây quấn tính theo công thức 6.7. Tuy nhiên bước góp được tính theo công thức sau:

$$y_G = 2 \frac{G \pm 1}{p} \quad (6.9)$$

Ở đây dấu $\pm$ chỉ chiều quấn dây. Dấu $+$ ứng với dây quấn phải và dấu $-$ ứng với dây quấn trái.

Ví dụ : Dây quấn sóng đơn có $Z = G = 15, p = 4, m = 1$.

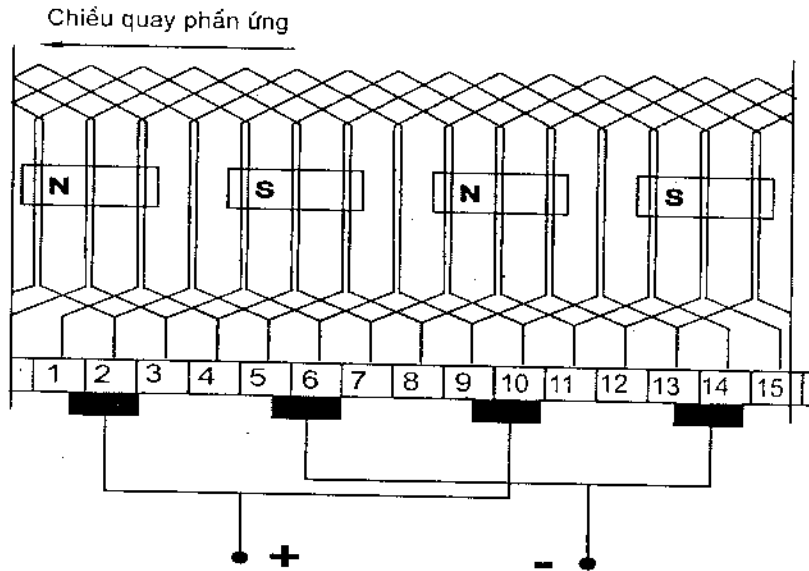
Ta có: Bước dây quấn y theo công thức 6 - 7:

$$y = \text{phần nguyên của } \frac{Z}{p} = \text{phần nguyên của } \frac{15}{4} = 3 \text{ rãnh.}$$

Bước gộp y_G theo công thức 6 – 9:

$$y_G = 2 \frac{G \pm 1}{p} = 2 \frac{15 - 1}{4} = 7 \quad (\text{quấn trái})$$

Ta được sơ đồ dây quấn như hình 6.23.



Hình 6.23. Sơ đồ trái dây quấn sóng đơn.

6.6.4. Dây quấn sóng phức

Khi $m \geq 2$ ta có dây quấn sóng phức. Ta có thể coi dây quấn sóng phức là m dây quấn sóng đơn hợp lại với nhau. Nếu dây quấn sóng đơn chỉ có 2 mạch nhánh song song thì dây quấn sóng phức tương ứng sẽ có $2m$ mạch nhánh song song. Tương tự như dây quấn xếp phức, nó cũng có thể có nhiều mạch nhánh song song độc lập nhau song cũng có thể không độc lập mà chỉ nối với nhau thành mạch kín.

Với dây quấn sóng phức, bước gộp y_G được tính theo công thức :

$$y_G = 2 \frac{G \pm m}{p} \quad (6.10)$$

Xét ví dụ : $Z = G = 18, p = 4, m = 2$.

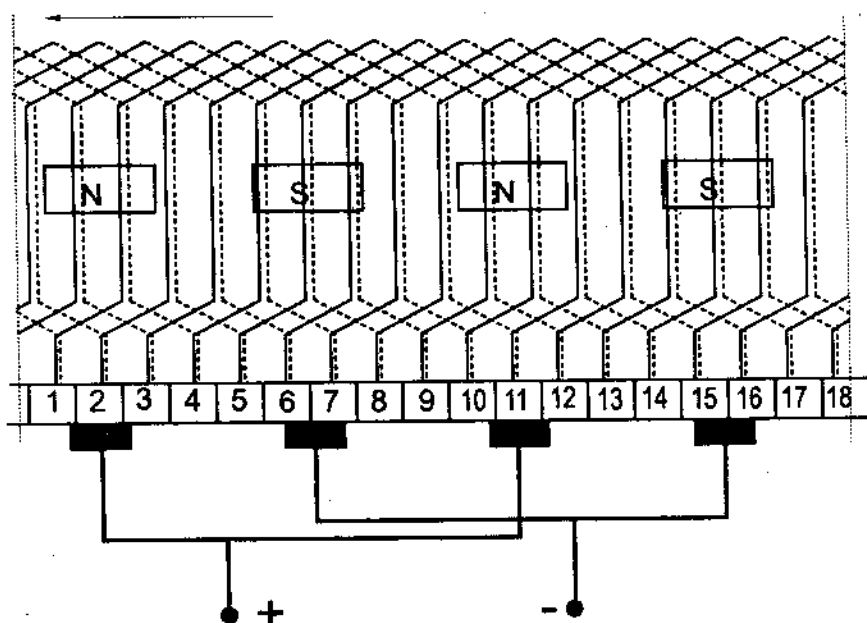
Ta có: Bước dây quấn y theo công thức 6 – 7:

$$y = \text{phần nguyên của } \frac{Z}{p} = \text{phần nguyên của } \frac{18}{4} = 4 \text{ rãnh.}$$

Bước gộp y_G theo công thức 6 – 9:

$$y_G = 2 \frac{G - 2}{p} = 2 \frac{18 - 2}{4} = 8 \quad (\text{quấn trái}).$$

Sơ đồ trái như hình 6.24.



Hình 6.24. Sơ đồ trái dây quấn sóng phức.

6.6.5. Dây quấn hỗn hợp

Là dây quấn trên đó có 2 kiểu quấn là vừa xếp đơn vừa xếp sóng phức. Số mạch nhánh song song của máy bằng tổng số mạch nhánh song song của 2 dây quấn. Loại dây quấn này thường sử dụng cho máy công suất lớn và tốc độ cao.

Trong các máy điện một chiều công suất lớn, do yêu cầu cao về chất lượng điện áp cũng như sức điện động mà số bội dây cần tăng lên. Tuy nhiên việc tăng số bội dây sẽ liên quan đến việc tăng số rãnh và đó là sự khó khăn trong chế tạo. Vì vậy trong một rãnh có thể đặt nhiều cạnh tác dụng của các bội dây khác nhau. Mỗi cạnh tương ứng với một phần rãnh (trên một lớp). Phần rãnh đó gọi là rãnh nguyên tố. Số rãnh nguyên tố luôn bằng số phiên góp và bằng số bội dây của máy.

Trong máy điện một chiều công suất lớn, do có nhiều mạch nhánh song song ghép lại với nhau và trên phương diện lý thuyết thì sức điện động cảm ứng trong các mạch nhánh phải bằng nhau và khi có tải, dòng điện sẽ phân đều trên các mạch nhánh. Song do nhiều nguyên nhân dẫn đến sự phân bố dòng điện trong các mạch nhánh khác nhau gây bất lợi cho hoạt động của máy. Để khắc phục hiện tượng đó, người ta nối các dây cân bằng điện thế tại các điểm theo lý thuyết là cùng điện thế với nhau.

Các dây cân bằng này có thể lắp ở phía vành góp hoặc cũng có thể nối ở phía đổi điện. Tuy nhiên nối ở phía vành góp sẽ thuận lợi hơn cho việc chế tạo do có thể hàn chung vào phiên góp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu tiếng Việt:

- [1]. Phạm Văn Bình - Lê Văn Doanh (2002), *Máy biến áp, lý thuyết vận hành, bảo dưỡng, thử nghiệm*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Lê Văn Doanh, Nguyễn Thế Công, Trần Văn Thịnh (2005), *Điện từ công suất lý thuyết - thiết kế - ứng dụng, tập 2*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh (1997), *Kỹ thuật điện*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Vũ Gia Hanh, Trần Khánh Hà, Phan Từ Thụ, Nguyễn Văn Sáu, (2001) *Máy điện I, 2* Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [5]. Nguyễn Bình Thành - Lê Văn Bảng - Phương Xuân Nhân - Nguyễn Thế Thắng (1972), *Cơ sở lý thuyết mạch tập III, quyển 2*, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội.
- [6]. Nguyễn Xuân Phú (2002), *Sử dụng hợp lý tiết kiệm và hiệu quả điện năng trong sản xuất & sinh hoạt*, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội.
- [7]. Chính phủ (2003), *Nghị định về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả*.
- [8]. Bộ Công nghiệp (2006), *Chương trình mục tiêu quốc gia về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả*.

Tài liệu tiếng Anh:

- [9]. Barry W.Kennedy (2000), *Power Quality Primer*, McGraw-Hill.
- [10]. Doktoringenieur (2004), *Power Quality Studies in Distribution Systems Involving Spectral Decomposition*, genehmigt durch die Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
- [11]. Roger C.Dugan, Mark F. McGranaghan, and Wayne H. Beaty (2005), *Electrical Power Systems Quality*, Product Line: McGraw-Hill.
- [12]. Ontario Hydro (1996), *Power Quality Reference Guide 6th edition*, Canada.
- [13]. Kabelo Clifford Modipane (2005), *An Investigation of the Effects of Voltage and Current Harmonics on an Electrical Distribution Island*, University of Johannesburg.
- [14]. Philippe Ferracci (2001), *Power Quality*, Cahier technique no. 199, Schneider Electric.
- [15]. Mike Mehrdad, E.K.Stanek, A.S. Jannati, *Influence of Voltage and Current Harmonics on Behavior of Electric Devices*.
- [16]. Turan Gonen (1998), *Electrical machines*, Power International Press, carmichael, California.

MỤC LỤC

Chương 1. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN

Lời nói đầu.....	3
1.1. Giới thiệu	5
1.2. Khái quát chung về máy điện.....	7
1.3. Các định luật chủ yếu để nghiên cứu máy điện	9
1.3.1. Định luật Faraday về cảm ứng điện từ.....	9
1.3.2. Định luật toàn dòng điện.....	9
1.3.3. Định luật Laplace về lực điện từ.....	9
1.3.4. Năng lượng trường điện từ	9
1.3.6. Phương trình cân bằng điện áp.....	10

Chương 2. MẠCH ĐIỆN MỘT PHA VÀ BA PHA

2.1. Mạch điện một pha hình sin.....	11
2.1.1. Các đại lượng đặc trưng cho dòng điện hình sin	11
2.1.2. Các phần tử trong mạch điện	11
2.1.3. Mạch điện một chiều và xoay chiều	13
2.1.4. Dòng điện sin.....	13
2.1.5. Dòng điện hình sin trong mạch điện thuần trở.....	15
2.1.6. Dòng điện hình sin trong mạch điện thuần cảm.....	16
2.1.7. Dòng điện hình sin trong mạch điện thuần dung.....	16
2.1.8. Dòng điện hình sin trong mạch điện R – L – C nối tiếp	17
2.2. Công suất của dòng điện hình sin	18
2.2.1. Công suất tác dụng P	18
2.2.2. Công suất phản kháng Q	18
2.2.3. Công suất biểu kiến S	18
2.3. Mạch điện 3 pha	19
2.3.1. Khái quát chung.....	19
2.3.2. Hệ thống 3 pha	20
2.4. Nguồn 3 pha lý tưởng.....	21
2.4.1. Nguồn 3 pha nối sao lý tưởng.....	22
2.4.2. Nguồn 3 pha lý tưởng nối tam giác	24
2.4.3. Tải 3 pha đối xứng.....	25
2.5. Tải 3 pha không đối xứng	28
2.6. Đo công suất trung bình trong mạch điện 3 pha.....	30
2.7. Hiệu chỉnh hệ số công suất.....	31

Chương 3. MẠCH TỪ

3.1. Giới thiệu	33
3.2. Từ trường của dây dẫn có dòng điện chạy qua	34
3.3. Định luật Ampe về mạch từ.....	36
3.4. Mạch từ.....	38
3.5. Mạch từ với khe hở không khí.....	43
3.6. Sơ lược về vật liệu sắt từ	45
3.7. Tổn hao dòng lõi từ.....	48
3.7.1. Tổn hao từ trễ.....	48
3.7.2. Tổn hao dòng điện xoáy	49
3.8. Cách xác định từ thông với sức từ động cho trước.....	55
3.8.1. Phương pháp loại trừ	56
3.8.2. Phương pháp đồ thị	56
3.8.3. Phương pháp đường cong từ hóa	57
3.9. Nam châm vĩnh cửu	59

Chương 4. MÁY BIẾN ÁP

4.1. Giới thiệu chung	62
4.2. Kết cấu máy biến áp	64
4.3. Các định luật sử dụng nghiên cứu máy biến áp	67
Định luật cảm ứng điện từ của FARADAY và của LENZ	67
4.4. Máy biến áp lý tưởng	69
4.4.1. Quy ước cực tính trong máy biến áp	72
4.4.2. Trở kháng của máy biến áp	72
4.4.3. Quan hệ giữa công suất đầu vào và ra của máy biến áp lý tưởng	74
4.5. Máy biến áp thực tế	75
4.6. Mạch điện quy đổi tương đương của MBA thực tế	78
4.7. Các thông số của mạch điện tương đương	82
4.7.1. Kiểm tra hở mạch	82
4.7.2. Kiểm tra ngắn mạch	84
4.8. Các thông số của MBA ở chế độ định mức	86
4.9. Máy biến áp ba pha	87
4.10. Cách đấu dây máy biến áp ba pha	89
4.11. Máy biến áp tự ngẫu	97
4.12. Máy biến áp ba dây quấn	100
4.13. Máy biến áp đo lường	102
4.14. Hiện tượng quá dòng	104

Chương 5. NGUYÊN LÝ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG CƠ ĐIỆN

5.1. Giới thiệu chung	107
5.2. Các khái niệm cơ bản	107
5.3. Biến đổi năng lượng điện cơ	112
5.3.1. Trường năng lượng	113
5.3.2. Lực từ	116
5.3.3. Năng lượng và đổi năng lượng	117
5.3.4. Từ lực trong hệ thống bảo hoà	118
5.4. Nghiên cứu máy điện quay	120
5.5. Hệ thống quay một kích từ	120
5.6. Hệ thống quay nhiều kích từ	124
5.7. Máy hình trụ	127
5.7.1. Máy điện đồng bộ một pha	128
5.7.2. Máy điện cảm ứng một pha	129
5.8. Lực tác dụng lên một vật dẫn	130
5.9. Điện áp cảm ứng trên vật dẫn chuyển động trong từ trường	131

Chương 6. DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN QUAY

6.1. Giới thiệu chung	134
6.2. Dây quấn phần cảm	135
6.3. Dây quấn phần ứng máy điện quay	136
6.3.1. Máy có cực tính xen kẽ	136
6.3.2. Máy có cực tính không đổi	139
6.4. Xây dựng sơ đồ dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều	140
6.4.1. Dây quấn có q là số nguyên	140
6.4.2. Dây quấn có q là phân số	145
6.5. Dây quấn lồng sóc	146
6.6. Dây quấn phần ứng máy điện một chiều	147
6.6.1. Dây quấn xếp đơn	148
6.6.2. Dây quấn xếp phức	149
6.6.3. Dây quấn sóng đơn	150
6.6.4. Dây quấn sóng phức	151
6.6.5. Dây quấn hỗn hợp	152
Tài liệu tham khảo	153

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

Tổ chức bản thảo và chịu trách nhiệm nội dung:

Chủ tịch HĐQT kiêm Giám đốc CTCP Sách ĐH-DN
TRẦN NHẬT TÂN

Biên tập và sửa bản in:

NGUYỄN DUY MẠNH

Trình bày bìa:

NGUYỄN VĂN HIẾN

Chế bản:

ĐÌNH XUÂN DỪNG

MÁY ĐIỆN – TẬP MỘT

Mã số : 7B666y8 – DAI

In 1.500 cuốn (QĐ: 05), khổ 16 x 24 cm., In tại Công ty CP In – Thương mại Hà Tây.

Địa chỉ : Số 15, đường Quang Trung, TP. Hà Đông, Hà Tây.

Số ĐKKH xuất bản : 04 – 2008/CXB/213 – 1999/GD.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 1 năm 2008.



CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH ĐẠI HỌC - DẠY NGHỀ
HEVOBCO
25 HÀN THUYỀN – HÀ NỘI
Website : www.hevobco.com.vn



VƯƠNG MIỀN KIM CƯƠNG
CHẤT LƯỢNG QUỐC TẾ

TÌM ĐỌC SÁCH THAM KHẢO KỸ THUẬT CỦA NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

- 1. Sửa chữa Điện xí nghiệp - Điện tử công nghiệp**
Trần Nhật Tân
- 2. Giáo trình Kỹ thuật lắp đặt và vận hành trạm biến áp**
Phan Đăng Khải
- 3. Giáo trình Kỹ thuật điện**
Nguyễn Văn Chất
- 4. Bài tập Kỹ thuật điện**
Đặng Văn Đào
- 5. Sửa chữa và quấn lại động cơ điện**
Bùi Văn Yên
- 6. Hỏi đáp về Điện - Điện tử dân dụng**
Bùi Văn Yên
- 7. Công nghệ chế tạo thiết bị điện**
Nguyễn Đức Sỹ
- 8. Cơ sở lý thuyết tính toán và thiết kế hệ thống cung cấp điện**
Phan Đăng Khải
- 9. Máy điện 1**
Bùi Đức Hùng – Triệu Việt Linh
- 10. Máy điện 2**
Bùi Đức Hùng – Triệu Việt Linh
- 11. Giáo trình Vận hành và sửa chữa thiết bị điện**
Nguyễn Đức Sỹ
- 12. Giáo trình Lưới điện**
Trần Bách

Bạn đọc có thể mua tại các Công ty Sách - Thiết bị trường học ở các địa phương hoặc các Cửa hàng sách của Nhà xuất bản Giáo dục :

Tại Hà Nội : 25 Hàn Thuyên ; 187B Giảng Võ ; 232 Tây Sơn ; 23 Tràng Tiền ;

Tại Đà Nẵng : Số 15 Nguyễn Chí Thanh ; Số 62 Nguyễn Chí Thanh ;

Tại Thành phố Hồ Chí Minh : Cửa hàng 451B - 453, Hai Bà Trưng, Quận 3 ;
240 Trần Bình Trọng Quận 5.

Tại Thành phố Cần Thơ : Số 5/5, đường 30/4 ;

Website : www.nxbgd.com.vn



8 934980 859032



Giá: 23.000 đ