

VŨ GIA HANH (chủ biên)  
TRẦN KHÁNH HÀ - PHAN TỬ THỤ  
NGUYỄN VĂN SÁU

# MÁY ĐIỆN

★ TẬP 1



TP HCM

6

0 3



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

VŨ GIA HẠNH (Chủ biên)  
TRẦN KHÁNH HÀ, PHAN TỬ THỤ  
NGUYỄN VĂN SÁU

# MÁY ĐIỆN I

*In lần thứ 5, có sửa chữa và bổ sung*

*(Sách giáo trình dùng cho các trường đại học)*



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT  
HÀ NỘI -2005

*Chịu trách nhiệm xuất bản :* **PGS. TS. TÔ ĐĂNG HẢI**  
*Biên tập:* **NGUYỄN NGỌC - PHẠM VĂN**  
*Vẽ bìa :* **HƯƠNG LAN**

Mã số  $\frac{6C2.12}{KHKT - 2005}$  150 – 245.1- 4/2/05

---

In 1000 cuốn khổ 16 x 24 cm, tại xưởng in NXB Văn hoá dân tộc.  
Giấy phép xuất bản số: 150 – 245.1 – 4 /2 / 05.  
In xong và nộp lưu chiểu tháng 9 / 2005.

## LỜI NÓI ĐẦU

Bộ sách "MÁY ĐIỆN" này được biên soạn theo quyển "GIÁO TRÌNH MÁY ĐIỆN" do khoa Đại học tại chức trường Đại học Bách khoa xuất bản năm 1970-1971, quyển "MÁY ĐIỆN" do Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật xuất bản (lần thứ nhất năm 1997, lần thứ hai năm 1998) và là tổng kết quá trình giảng dạy trên 40 năm qua của bộ môn Thiết bị điện trường Đại học Bách khoa Hà Nội cho các ngành thuộc khoa Điện.

Tập một gồm ba phần: 1- Máy biến áp, 2- Những vấn đề lý luận chung của các máy điện quay, 3- Máy điện không đồng bộ. Tập hai gồm bốn phần: 4- Máy điện đồng bộ, 5- Máy điện một chiều, 6- Máy điện xoay chiều có vòng góp, 7- Lý thuyết tổng quát các máy điện. Sau mỗi phần đều có giới thiệu sơ lược một số máy điện đặc biệt và máy điện nhỏ dùng trong các mạch tự động và điều chỉnh. Phần 2, 4, 7 và mở đầu do Vũ Gia Hanh biên soạn; phần 1, 6 do Phan Tử Thụy biên soạn; phần 3 do Trần Khánh Hà biên soạn và phần 5 do Nguyễn Văn Sáu biên soạn.

So với các lần xuất bản trước, trong sách có một số thay đổi cơ bản như: Các máy điện quay được viết lại dựa trên quan điểm thống nhất là nguyên lý làm việc của chúng đều dựa vào hai định luật cơ bản về sức điện động cảm ứng và lực điện từ. Tuỳ theo cách tạo ra từ trường, kết cấu của mạch từ và dây quấn mà có thể phân máy điện quay thành máy điện không đồng bộ, máy điện đồng bộ, máy điện một chiều và máy điện xoay chiều có vòng góp. Trên cơ sở đó đã viết lại hoàn toàn các chương về dây quấn, sức điện động, sức từ động của các máy điện quay. Sách cũng được bổ sung thêm phần 7 để cập đến lý thuyết tổng quát các máy điện, trong đó các máy điện được biểu thị bằng một hệ phương trình các mạch điện có quan hệ điện từ với nhau. Điều đó là cần thiết khi xét hành vi của một máy điện quay lúc làm việc như một phần tử trong hệ thống điện hoặc trong một hệ thiết bị điện có các thiết bị biến đổi và thiết bị điều chỉnh. Ngoài ra trong sách cũng có bổ sung thêm các phương pháp điều chỉnh tốc độ, điện áp của các máy điện ứng dụng điện tử công suất và một số vấn đề khác. Những thay đổi này do Vũ Gia Hanh thực hiện.

Bộ sách có thể được dùng làm tài liệu giảng dạy cho các trường đại học, cao đẳng và làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư, kỹ thuật viên quan tâm

nghiên cứu máy điện. Do trình độ có hạn, bộ sách chắc chắn không tránh khỏi còn thiếu sót, xin hoan nghênh mọi sự góp ý của bạn đọc. Các ý kiến đóng góp xin gửi về bộ môn Thiết bị điện - điện tử trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

*Các tác giả*

VŨ GIA HẠNH (CHỦ BIÊN) -  
TRẦN KHÁNH HÀ - PHAN TÙ THU -  
NGUYỄN VĂN SÁU

# MỞ ĐẦU

## 0.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

Trong quá trình khai thác sử dụng các tài nguyên thiên nhiên phục vụ cho nền kinh tế quốc dân, không thể không nói đến sự biến đổi năng lượng từ dạng này sang dạng khác.

Các máy thực hiện sự biến đổi cơ năng thành điện năng hoặc ngược lại được gọi là các máy điện.

Các máy điện biến cơ năng thành điện năng được gọi là máy phát điện và các máy điện dùng để biến đổi ngược lại được gọi là động cơ điện. Các máy điện đều có tính thuận nghịch, nghĩa là có thể biến đổi năng lượng theo hai chiều. Nếu đưa cơ năng vào phần quay của máy điện nó làm việc ở chế độ máy phát; nếu đưa điện năng vào thì phần quay của máy sẽ sinh ra công cơ học.

Máy điện là một hệ điện từ gồm có mạch từ và mạch điện liên quan với nhau. Mạch từ gồm các bộ phận dẫn từ và khe hở không khí. Các mạch điện gồm hai hoặc nhiều dây quấn có thể chuyển động tương đối với nhau cùng với các bộ phận mang chúng.

Sự biến đổi cơ điện trong máy điện dựa trên nguyên lý về cảm ứng điện từ. Nguyên lý này cũng đặt cơ sở cho sự làm việc của các bộ biến đổi cảm ứng dùng để biến đổi điện năng với những giá trị của thông số này (điện áp, dòng điện...) thành điện năng với những giá trị của thông số khác. Máy biến áp là một bộ biến đổi cảm ứng đơn giản thuộc loại này, dùng để biến đổi dòng điện xoay chiều từ điện áp này thành dòng điện xoay chiều có điện áp khác. Các dây quấn và mạch từ của nó đứng yên và quá trình biến đổi từ trường để sinh ra sức điện động cảm ứng trong các dây quấn được thực hiện bằng phương pháp điện.

Máy điện dùng làm máy biến đổi năng lượng là phần tử quan trọng nhất của bất cứ thiết bị điện năng nào. Nó được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp, nông nghiệp, giao thông vận tải, các hệ điều khiển và tự động điều chỉnh, không chế...

Máy điện có nhiều loại, có thể phân loại như sau:

- Máy đứng yên: máy biến áp.
- Máy điện quay : Tùy theo lưới điện có thể chia làm hai loại: máy

diện xoay chiều và máy điện một chiều.

Máy điện xoay chiều có thể phân thành máy điện đồng bộ, máy điện không đồng bộ và máy điện xoay chiều có vành gùp.

## 0.2. CÁC ĐỊNH LUẬT THƯỜNG DÙNG ĐỂ NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN

Trong nghiên cứu máy điện, ta thường sử dụng các định luật sau:

### 1. Định luật về cảm ứng điện từ. Định luật Faraday

Trong các thiết bị điện từ, định luật này thường được viết dưới dạng phương trình Maxwell :

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Điều đó nói rằng, một sự biến thiên của tổng từ thông móc vòng một mạch điện sẽ tạo ra một sức điện động tỷ lệ với đạo hàm của tổng từ thông biến thiên đó.

Cũng có thể viết dưới dạng:

$$e = B.l.v$$

trong đó  $v$  là tốc độ chuyển động của một thanh dẫn  $l$  nằm trong từ trường có từ cảm  $B$  vuông góc với chiều chuyển động của thanh dẫn đó.

### 2. Định luật toàn dòng điện

Định luật này được diễn tả như sau:

$$\oint H dl = \sum i w = F$$

Tích phân vòng của cường độ từ trường theo một đường khép kín bất kỳ quanh một số mạch điện bằng tổng dòng điện trong  $w$  vòng dây của các mạch.  $F$  chỉ giá trị của sức từ động tổng tác động lên mạch từ đó.

### 3. Định luật về lực điện từ. Định luật Laplace

Đây là một định luật cho ta trị số của lực  $\bar{df}_M$  tác dụng trên một đơn vị dòng điện  $i dl$  đặt ở điểm  $M$  có từ cảm  $\bar{B}_M$ . Lực này bằng tích vectơ của vectơ đơn vị dòng điện với vectơ từ cảm:

$$\bar{df}_M = i dl \times \bar{B}_M$$

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

$$\bar{f} = \int_0^l B \sin \varphi dl$$

trong đó  $\varphi$  là góc giữa vectơ từ cảm  $\bar{B}$  với vectơ dòng điện  $\bar{i}$ . Nếu từ trường đều và dây dẫn thẳng, ta có:

$$f = Bl \sin \varphi.$$

#### 4. Năng lượng trường điện từ

Năng lượng tổng trong một thể tích từ trường có  $\mu$  không đổi bằng:

$$W = \int \frac{\mu H^2}{2} dV = \frac{1}{2} Li^2.$$

Trong trường hợp này,  $Li = \Psi$  chỉ từ thông mọc vòng bởi dòng điện  $i$  và từ cảm  $L$  của cuộn dây.

Nếu thiết bị điện từ có hai hoặc nhiều mạch điện có hố cảm điện từ thì năng lượng điện từ của hai mạch điện hố cảm bằng:

$$W_{12} = \int \frac{\mu H^2}{2} dV = \frac{L_1 i_1^2}{2} + \frac{L_2 i_2^2}{2} + M_{12} i_1 i_2.$$

Có thể dùng phương pháp tổng quát và thống nhất dựa trên cơ sở của phép tính tensor và ma trận để nghiên cứu, phân tích tất cả các loại máy điện.

Tất cả các phương trình cân bằng điện áp của các loại máy điện được biểu thị theo định luật Kirhoff bằng một phương trình ma trận có dạng:

$$\bar{u} = Z\bar{i}$$

trong đó:

$\bar{u}$  là vectơ điện áp có các thành phần bằng các điện áp đặt vào các mạch điện tương ứng với các dây quấn của mạch điện;

$\bar{i}$  là vectơ dòng điện có các thành phần dòng điện chạy trong các mạch điện;

$Z$  là ma trận tổng trở.

Mômen điện từ sinh ra trong máy điện sẽ bằng:

$$M = k |\bar{\Psi} \times \bar{i}|.$$

trong đó  $\bar{\Psi}$  là vectơ từ thông mọc vòng có các thành phần bằng từ thông do các dây quấn sinh ra;  $k$  là một hệ số tỷ lệ.

#### 5. Đơn vị tương đối

Trong nghiên cứu thiết kế và tính toán các máy điện, để được tiện lợi người ta thường dùng hệ đơn vị tương đối. Trong hệ đơn vị tương đối các đại lượng như điện áp, dòng điện, công suất, tần số, tốc độ góc, mômen...

đều được biểu thị theo các lượng định mức tương ứng lấy làm cơ sở. thí dụ:

$$I_* = I/I_{cs}; U_* = U/U_{cs}; P_* = P/P_{cs}; M_* = M_{cs}; z_* = z/z_{cs}; \dots$$

trong đó  $I_{cs} = I_{dm}$ ;  $U_{cs} = U_{dm}$ ;  $P_{cs} = P_{dm}$ ;  $M_{cs} = M_{dm} = P_{dm}/9,81\omega_{dm}$ ;

$$z_{cs} = z_{dm} = U_{cs}/I_{cs} = U_{dm}/I_{dm}; \dots$$

### 0.3. SƠ LƯỢC VỀ CÁC VẬT LIỆU CHẾ TẠO MÁY ĐIỆN

Các vật liệu dùng để chế tạo máy điện có thể chia làm ba loại: vật liệu tác dụng, vật liệu kết cấu và vật liệu cách điện.

#### 1. Vật liệu tác dụng

Vật liệu tác dụng gồm vật liệu dẫn từ và vật liệu dẫn điện. Các vật liệu này được dùng để tạo điều kiện cần thiết sinh ra các biến đổi điện từ.

a. *Vật liệu dẫn từ*. Để chế tạo mạch từ của máy điện, người ta dùng các loại thép từ tính khác nhau nhưng chủ yếu là thép lá kỹ thuật điện, có hàm lượng silíc khác nhau nhưng không vượt quá 4,5%. Hàm lượng silíc này dùng để hạn chế tổn hao do từ trễ và tăng điện trở của thép để giảm tổn hao do dòng điện xoáy. Người ta hay sử dụng các lá thép dày 0,35 hay 0,27 mm dùng trong máy biến áp và 0,5 mm dùng trong máy điện quay, ghép lại làm lõi sắt để giảm tổn hao do dòng điện xoáy gây nên. Tùy theo cách chế tạo, người ta phân thép kỹ thuật điện làm hai loại: cán nóng và cán nguội. Loại cán nguội có những đặc tính từ tốt hơn như độ từ thẩm cao hơn, tổn hao thép ít hơn loại cán nóng. Thép lá cán nguội lại chia làm hai loại: dị hướng (hoặc có hướng) và đẳng hướng (hoặc vô hướng). Loại dị hướng có đặc điểm là dọc theo chiều cán thì tính năng từ tính tốt hơn hẳn so với lệch chiều cán, do đó thường được dùng trong máy biến áp; còn loại đẳng hướng thì đặc tính từ đều theo mọi hướng nên thường được dùng trong máy điện quay.

b. *Vật liệu dẫn điện*. Thường dùng đồng. Đồng dùng làm dây dẫn không được có tạp chất quá 0,1%. Điện trở suất của đồng ở  $20^{\circ}\text{C}$  là  $\rho = 0,0172 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ . Nhôm cũng được dùng rộng rãi làm vật liệu dẫn điện. Điện trở suất của nhôm ở  $20^{\circ}\text{C}$  là  $\rho = 0,0282 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , nghĩa là gấp gần 2 lần điện trở suất của đồng.

#### 2. Vật liệu kết cấu

Vật liệu kết cấu dùng để chế tạo các bộ phận và chi tiết truyền động

hoặc kết cấu của máy theo các dạng cần thiết, đảm bảo cho máy điện làm việc bình thường. Người ta thường dùng gang, thép, các kim loại màu, hợp kim và các vật liệu bằng chất dẻo.

### 3. Vật liệu cách điện

Để cách điện các bộ phận mang điện với các bộ phận không mang điện của máy, người ta dùng vật liệu cách điện. Những vật liệu này đòi hỏi phải có độ bền điện cao, độ dẫn nhiệt tốt, chịu ẩm, chịu được hóa chất và có độ bền cơ nhất định.

Vì các vật liệu cách điện chịu nhiệt kém nên người ta chia vật liệu cách điện làm 7 cấp theo nhiệt độ làm việc cho phép của chúng.

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

Khi máy làm việc, do tác động của nhiệt độ, chấn động và các tác động hóa lý khác, cách điện sẽ bị lão hóa, nghĩa là mất dần các tính bền về điện và cơ. Thực nghiệm cho biết, khi nhiệt độ tăng quá nhiệt độ làm việc cho phép  $8 \sim 10^{\circ}\text{C}$  thì tuổi thọ của vật liệu cách điện giảm đi một nửa. Ở nhiệt độ làm việc cho phép, tuổi thọ của vật liệu cách điện vào khoảng  $15 \sim 20$  năm. Vì vậy khi sử dụng máy điện, tránh để máy quá tải làm nhiệt độ tăng cao trong một thời gian dài.