

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

MÁY ĐIỆN



TẬP 1



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

VŨ GIA HANH (Chủ biên)

TRẦN KHÁNH HÀ PHAN TỬ THỤ

NGUYỄN VĂN SÁU



MÁY ĐIỆN I

In lần thứ 6, 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 - NĂM 2006

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 vành 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 Thụ 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. Tùy 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 vành 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 đề 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 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 TỬ THỤ -

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, khống 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

điện 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 góp.

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:

$$\oint Hdl = \sum i w = F$$

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 $\overline{df}_M$ tác dụng trên một đơn vị dòng điện $\overline{idl}$ đặt ở điểm M có từ cảm $\overline{B}_M$. Lực này bằng tích vectơ của vectơ đơn vị dòng điện với vectơ từ cảm:

$$\overline{df}_M = \overline{idl} \times \overline{B}_M$$

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

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

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

$$f = B l \sin \varphi.$$

4. Năng lượng trường điện từ

Năng lượng tổng trong một thể tích từ trường có μ 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 móc vòng bởi dòng điện i và từ cảm L của cuộn dây.

Nếu thiết bị điện từ có hai hoặc nhiều mạch điện có hồ cảm điện từ thì năng lượng điện từ của hai mạch điện hồ 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 tenxơ 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 Kirhốp bằng một phương trình ma trận có dạng:

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

trong đó:

$\vec{u}$ 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;

$\vec{i}$ 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:

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

trong đó $\vec{\Psi}$ là vectơ từ thông móc 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 $I_{cs} = I_{dm}$; $U_{cs} = U_{dm}$; $P_{cs} = P_{dm}$; $M_{cs} = M_{dm} = P_{dm}/9,81\omega_{dm}$;
 $z_{cs} = z_{dm} = U_{cs}/I_{cs} = U_{dm}/I_{dm}$; ...

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 silic khác nhau nhưng không vượt quá 4,5%. Hàm lượng silic 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°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°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 ~ 20 năm. Vì vậy khi sử dụng máy điện, tránh để máy quá tải làm nhiệt độ tăng cao trong một thời gian dài.

MỤC LỤC

Lời nói đầu	3
MỞ ĐẦU	
0.1. Các khái niệm cơ bản	5
0.2. Các định luật thường dùng để nghiên cứu máy điện	6
0.3. Sơ lược về các vật liệu chế tạo máy điện	8
Phần thứ nhất. MÁY BIẾN ÁP	
Chương 1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BIẾN ÁP	
1.1. Đại cương	12
1.2. Nguyên lý làm việc cơ bản của máy biến áp	13
1.3. Định nghĩa	14
1.4. Các lượng định mức	15
1.5. Các loại máy biến áp chính	16
1.6. Cấu tạo máy biến áp	16
Chương 2. TỔ NỐI DÂY VÀ MẠCH TỪ MÁY BIẾN ÁP	
2.1. Tổ nối dây của máy biến áp	26
2.2. Mạch từ của máy biến áp	31
Chương 3. QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY BIẾN ÁP	
3.1. Các phương trình cơ bản của máy biến áp	42
3.2. Mạch điện thay thế của máy biến áp	46
3.3. Đồ thị vector của máy biến áp	51
3.4. Cách xác định các tham số của máy biến áp	52
Chương 4. CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC Ở TẢI ĐỐI XỨNG CỦA MÁY BIẾN ÁP	
4.1. Giảm đồ năng lượng của máy biến áp	64
4.2. Độ thay đổi điện áp của máy biến áp và cách điều chỉnh điện áp	65
4.3. Hiệu suất của máy biến áp	69
4.4. Máy biến áp làm việc song song	72
Chương 5. MÁY BIẾN ÁP LÀM VIỆC VỚI TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG	
5.1. Đại cương	80
5.2. Mạch điện thay thế và tổng trở của máy biến áp đối với các thành phần đối xứng	81
5.3. Tải không đối xứng của máy biến áp	83
5.4. Ngắn mạch không đối xứng của máy biến áp	86

Chương 6. QUÁ TRÌNH QUÁ DỘ TRONG MÁY BIẾN ÁP

6.1. Đại cương	88
6.2. Quá dòng điện trong máy biến áp	88
6.3. Quá điện áp trong máy biến áp	93

Chương 7. CÁC LOẠI MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

7.1. Máy biến áp ba dây quấn	99
7.2. Máy biến áp tự ngẫu	102
7.3. Các máy biến áp đặc biệt	105

Phần thứ hai. NHỮNG VẤN ĐỀ LÝ LUẬN CHUNG CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

Chương 8. ĐẠI CƯƠNG VỀ CÁC MÁY ĐIỆN QUAY

8.1. Kết cấu chung của các máy điện quay	112
8.2. Nguyên lý làm việc của các máy điện quay	112
8.3. Mô tả toán học của các quá trình biến đổi năng lượng cơ điện trong các máy điện quay	117

Chương 9. DÂY QUẤN CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

9.1. Đại cương	120
9.2. Dây quấn phần cảm của máy điện quay	121
9.3. Dây quấn phần ứng của máy điện quay	122
9.3.1. Máy có cực tính xen kẽ	122
9.3.1.1. Nguyên-tắc thực hiện dây quấn phần ứng	123
9.3.1.2. Các loại dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều	126
9.3.1.3. Dây quấn phần ứng máy điện một chiều	135
9.3.2. Máy có cực tính không đổi	149
9.3.3. Cách thực hiện dây quấn phần ứng	150

Chương 10. SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN QUAY

10.1. Khái niệm	154
10.2. Sức điện động cảm ứng khi dây quấn phần ứng chuyển động tương đối với từ trường phần cảm	154
10.3. Sức điện động cảm ứng khi từ thông phần cảm xuyên qua dây quấn phần ứng biến thiên	164

Chương 11. SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN QUAY

11.1. Đại cương	167
11.2. Sức từ động của dây quấn phần cảm máy điện quay	172

11.3. Sức từ động của dây quấn phần ứng máy điện quay	175
---	-----

Chương 12. ĐIỆN KHÁNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

12.1. Đại cương	191
12.2. Điện kháng chính của dây quấn máy điện xoay chiều	193
12.3. Điện kháng tản của dây quấn máy điện xoay chiều	193

Chương 13. MẠCH TỪ CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

13.1. Đại cương	199
13.2. Tính sức từ động khe hở	201
13.3. Tính sức từ động răng	203
13.4. Tính sức từ động ở lưng phần ứng	207
13.5. Tính sức từ động trên cực từ và gông từ	207
13.6. Đường cong từ hóa	208

Chương 14. PHÁT NÓNG VÀ LÀM LẠNH CỦA CÁC MÁY ĐIỆN

14.1. Đại cương	214
14.2. Sự phát nóng và nguội lạnh của máy điện	217
14.3. Vấn đề làm lạnh các máy điện	221

Phần thứ ba. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Chương 15. ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

15.1. Phân loại và kết cấu	226
15.2. Các lượng định mức	230
15.3. Công dụng của máy điện không đồng bộ	230

Chương 16. QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

16.1. Đại cương	232
16.2. Máy điện không đồng bộ làm việc khi rôto đứng yên	232
16.3. Máy điện không đồng bộ làm việc khi rôto quay	237
16.4. Các chế độ làm việc; giản đồ năng lượng và đồ thị vectơ của máy điện không đồng bộ	242
16.5. Biểu thức mômen điện từ của máy điện không đồng bộ	246
16.6. Mômen phụ của máy điện không đồng bộ	251
16.7. Các đường đặc tính của máy điện không đồng bộ	254
16.8. Các đường đặc tính của máy điện không đồng bộ trong điều kiện không định mức	256

Chương 17. ĐỒ THỊ VÒNG TRÒN CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

17.1. Đại cương	265
17.2. Cách xây dựng đồ thị vòng tròn	265
17.3. Xác định đặc tính làm việc của máy điện không đồng bộ bằng đồ thị vòng tròn	267
17.4. Xây dựng đồ thị vòng tròn bằng số liệu thí nghiệm không tải và ngắn mạch. Cách vẽ thực tế	272
17.5. Đồ thị vòng tròn chính xác	276

Chương 18. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ ỨNG DỤNG HIỆU ỨNG MẠT NGOÀI Ở DÂY QUẦN RÔTÔ LỒNG SÓC

18.1. Đại cương	279
18.2. Động cơ điện rô-tô rãnh sâu	279
18.3. Động cơ điện hai lồng sóc	282
18.4. Các dạng rãnh rô-tô khác	285

Chương 19. MỞ MÁY VÀ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ

19.1. Quá trình mở máy động cơ điện không đồng bộ	286
19.2. Các phương pháp mở máy	287
19.3. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ	291

Chương 20. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC VÀ CÁC DẠNG KHÁC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

20.1. Đại cương	303
20.2. Các chế độ làm việc đặc biệt của máy điện không đồng bộ	303
20.3. Các dạng khác của máy điện không đồng bộ	308

Chương 21. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

21. Đại cương	319
21.2. Nguyên lý làm việc	319
21.3. Phương pháp mở máy và các loại động cơ điện một pha	323

PHỤ LỤC

327