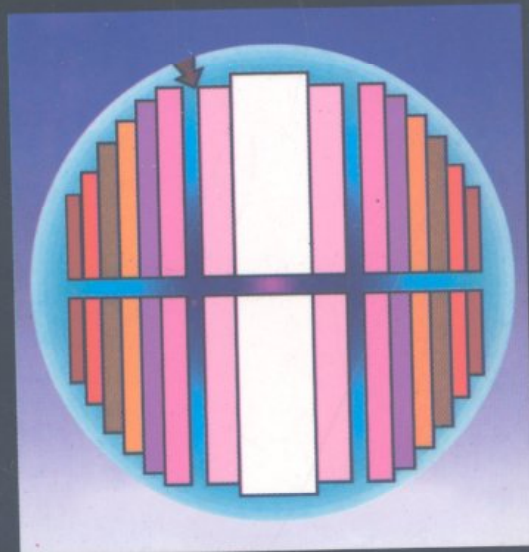


PHAN TỬ THỤ

T H I Ế T K Ế

MÁY BIẾN ÁP ĐIỆN LỰC



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

PHAN TỬ THỤ

THIẾT KẾ
MÁY BIẾN ÁP ĐIỆN LỰC

(In lần thứ 2 có sửa chữa bổ sung)



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI - 2002

LỜI NÓI ĐẦU

Quyển "Thiết kế Máy biến áp điện lực" này được viết trên cơ sở các giáo trình của tác giả đã được giảng dạy nhiều năm ở bộ môn Thiết bị điện - điện tử (bộ môn Máy điện - Khí cụ điện trước kia) thuộc khoa Điện, trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Nội dung sách không đi sâu vào lý thuyết máy biến áp mà chủ yếu trình bày về lý thuyết thiết kế và các bước tính toán một máy biến áp cụ thể: tính các đại lượng điện cơ bản, các kích thước chủ yếu, kết cấu của dây quấn, lõi thép đến các tham số ngắn mạch, không tải, tính toán nhiệt và vỏ thùng máy biến áp. Cuối cùng là ví dụ minh họa tính toán cho một máy biến áp. Để tiện sử dụng, các bảng tra cứu cần cho quá trình tính toán được để trong phần phụ lục ở cuối sách.

Trong những năm gần đây, ngành chế tạo máy biến áp đã có những tiến bộ rất lớn nhất là trên các lĩnh vực về sản xuất vật liệu dẫn từ, dẫn điện, vật liệu cách điện, về công nghệ chế tạo, qui trình thử nghiệm máy biến áp... Vì vậy nội dung quyển sách đã được bổ sung, cập nhật những tư liệu mới nhất tương ứng với các tiến bộ đó chủ yếu là ở CHLB Nga và một số nước có ngành công nghiệp chế tạo biến áp phát triển mạnh như CHLB Đức, Mỹ, Nhật Bản... Về kết cấu, ngoài cấu trúc phẳng thì cấu trúc không gian đã được nhiều hãng chế tạo máy biến áp nổi tiếng trên thế giới sử dụng vì tính năng kỹ thuật trên một số mặt tỏ ra nổi trội cũng sẽ được giới thiệu trong sách. Tuy nhiên cấu trúc phẳng cho đến nay và nhất là ở nước ta, vẫn là phổ biến và được ưa dùng nhất, nên sách chủ yếu chỉ trình bày cách tính toán cho cấu trúc này.

Quyển sách này được dùng làm tài liệu giảng dạy và học tập cho sinh viên, học sinh chuyên ngành Thiết bị điện nói riêng và ngành Điện nói chung ở các trường đại học kỹ thuật, cao đẳng hoặc trung học chuyên nghiệp; Cũng có thể làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư, kỹ thuật viên ngành Điện và các ngành liên quan trong thiết kế chế tạo, sử dụng, vận hành máy điện và máy biến áp cùng những ai quan tâm đến lĩnh vực này.

Các ý kiến đóng góp cho quyển sách xin gửi về bộ môn Thiết bị điện - điện tử, trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Tác giả

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ THIẾT KẾ MÁY BIẾN ÁP ĐIỆN LỰC

1.1. VÀI NÉT VỀ TÌNH HÌNH CHẾ TẠO MÁY BIẾN ÁP (M.B.A) HIỆN NAY VÀ QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN CỦA NÓ

Máy biến áp điện lực (viết tắt là m.b.a) là một bộ phận rất quan trọng trong hệ thống điện. Việc tải điện năng đi xa từ nhà máy điện đến hộ tiêu thụ trong các hệ thống điện hiện nay cần phải có tối thiểu 4 đến 5 lần tăng giảm điện áp. Do đó tổng công suất đặt (hay dung lượng) của các m.b.a gấp mấy lần công suất của máy phát điện. Gần đây người ta tính ra rằng nó còn có thể gấp 6 đến 8 lần hoặc hơn nữa. Hiệu suất của m.b.a thường rất lớn (98 ÷ 99%), nhưng do số lượng m.b.a nhiều nên tổng tổn hao trong hệ thống rất đáng kể vì thế cần phải chú ý đến việc giảm các tổn hao, nhất là tổn hao không tải trong m.b.a. Để giải quyết vấn đề này hiện nay trong ngành chế tạo m.b.a người ta dùng chủ yếu là thép cán lạnh - có suất tổn hao và công suất từ hóa thấp hay đặc biệt thấp, mặt khác còn thay đổi các kết cấu mạch từ một cách thích hợp như ghép nối nghiêng các lá tôn trong lõi thép, thay các kết cấu bulông ép trụ và gông xuyên lõi thép bằng các vòng đai ép hay dùng những qui trình công nghệ mới về cát dập lá thép tự động, vùi lá thép, vùi lấp ráp v.v... Nhờ vậy mà công suất và điện áp của các m.b.a đã được nâng lên rõ rệt. Hiện nay người ta đã chế tạo được những m.b.a dung lượng trên 1000 MVA và điện áp đến 1150 kV.

Đi đôi với việc tăng giới hạn trên về công suất, người ta cũng mở rộng thang công suất của m.b.a làm thành nhiều dãy (hay gam) máy hơn so với trước kia để đáp ứng một cách rộng rãi với nhu cầu sử dụng và vận hành máy biến áp. Những dãy m.b.a mới ra đời từ những năm 80 trở lại đây đã dần dần thay thế những m.b.a thuộc dãy cũ không còn thích hợp nữa.

Để bảo đảm chất lượng điện và cung cấp điện liên tục, các m.b.a điều chỉnh điện áp dưới tải ngày càng nhiều và chiếm tới khoảng 50% công suất tổng.

Để tiết kiệm vật liệu tác dụng, vật liệu cách điện, vật liệu kết cấu và giảm trọng lượng kích thước máy, ngoài việc dùng m.b.a tự ngẫu thay cho

m.b.a hai dây quấn người ta còn áp dụng những phương pháp làm lạnh tốt hơn, dùng những vật liệu kết cấu không từ tính nhẹ và bền hơn... Khuynh hướng dùng dây nhôm thay dây đồng cũng đang phát triển. Các m.b.a cỡ lớn và trung bình thường sản xuất loại ba pha ghép thành tổ biến áp ba pha để thuận tiện trong việc chuyên chở.

Ngoài m.b.a điện lực dùng để truyền tải điện năng, còn có nhiều loại biến áp dùng trong nhiều ngành chuyên môn khác như: biến áp lò điện dùng trong luyện kim, yêu cầu dòng thứ cấp rất lớn đến hàng vạn ampe; biến áp nhiều pha dùng để chỉnh lưu ra dòng một chiều; biến áp chống nổ dùng trong hầm mỏ; biến áp đo lường; biến áp thí nghiệm; biến áp hàn điện,...

Ở nước ta sau ngày giải phóng miền Bắc mới có một vài cơ sở thiết kế và chế tạo máy biến áp và đặc biệt là sau khi thống nhất đất nước (1975) nhiều nhà máy chế tạo m.b.a mới đã được xây dựng. Tuy vậy chúng ta cũng đã tiến hành sửa chữa, thiết kế chế tạo được một khối lượng khá lớn máy biến áp, phục vụ cho nhiều cơ sở sản xuất trong nước, và máy biến áp của ta cũng đã được xuất khẩu sang một số nước. Nhà máy Chế tạo Biến thế Hà Nội nay liên doanh với hãng thiết bị điện ABB đã chế tạo được nhiều loại m.b.a phân phối, điện áp tới 35 kV. Nhà máy Thiết bị Điện Đông Anh đã thiết kế chế tạo m.b.a truyền tải có công suất tới 63 MVA, điện áp 110 và 220 kV. Đó là những cố gắng và tiến bộ của ngành chế tạo máy biến áp ở nước ta.

1.2. TIÊU CHUẨN HÓA TRONG VIỆC CHẾ TẠO M.B.A

Một trong các nhiệm vụ của ngành chế tạo m.b.a là xác định được những yêu cầu riêng cho các m.b.a, vừa phải phản ánh được những yêu cầu về vận hành và điều kiện làm việc của nó, vừa phải xác định được điều kiện và khả năng hiện tại của ngành chế tạo m.b.a. Các tiêu chuẩn để chế tạo các m.b.a điện lực được xây dựng trên cơ sở đảm bảo sự phát nóng cho phép, năng lực quá tải, sơ đồ tổ nối dây, dung lượng, điện áp định mức, điều chỉnh điện áp, các đặc tính về không tải, ngắn mạch... Do yêu cầu về mở rộng thang công suất, điện áp và để nâng cao chất lượng cũng như tính năng m.b.a, nhiều tiêu chuẩn trước đây dần dần đã được thay bằng một loạt những tiêu chuẩn mới khác.

Trước đây các m.b.a được chia làm 4 thang công suất (4 cỡ) như sau:

Cỡ I từ 5 đến 100 kVA điện áp đến 35 kV.

Cỡ II từ 135 đến 560 kVA điện áp đến 35 kV.

Cỡ III từ 750 đến 5600 kVA điện áp đến 35 kV.

Cỡ IV từ 7500 đến 60000 kVA, điện áp từ 35 kV trở lên

Theo tiêu chuẩn mới nhất, *dãy công suất của m.b.a và máy biến áp tự ngẫu* được qui định như sau:

1	2	3	4	5
10	-	16	-	25
100	-	160	-	250
1000	-	1600	-	2500
10000	-	16000	-	25000
100000	125000	160000	200000	250000

6	7	8	9	10
-	40	-	63	-
-	400	-	630	-
-	4000	-	6300	-
32000	40000	-	63000	80000
320000	400000	500000	630000	800000

Các yêu cầu kỹ thuật và các thông số chính của các m.b.a điện lực được qui định như sau:

Dải công suất (kVA)	Làm lạnh bằng	Số pha	Cấp điện áp (kV)
25 ÷ 630	dầu	3	≤ 35
1000 ÷ 80000	dầu	3	≤ 35
2500 ÷ 400000	dầu	3	110 ÷ 150
40000 ÷ 1250000	dầu	1 và 3	220 ÷ 750
10 ÷ 160	không khí	3	0,66
160 ÷ 1600	không khí	3	≤ 15

Nếu là m.b.a và m.b.a tự ngẫu một pha thì công suất bằng 1/3 số liệu ghi ở trên.

Tiêu chuẩn về *điện áp dây định mức* của dây quấn sơ cấp và thứ cấp của m.b.a ba pha như sau (kV):

Lưới	Dây quấn sơ cấp	Dây quấn thứ cấp	Điện áp làm việc lớn nhất
0.22	0.22	0.23	-
0.38	0.38	0.40	-
0.66	0.66	0.69	-
3	3 và 3.15	3.15 và 3.3	3.5
6	6 và 6.3	6.3 và 6.6	6.9
10	10 và 10.5	10.5 và 11	11.5
20	20 và 21	21 và 22	23
35	35	38.5	40.5
110	110	121	126
150	150	165	172
220	220	242	252
330	330	347	363
500	500	525	525
750	750	787	787

Tiêu chuẩn về sơ đồ ký hiệu tổ nối dây quấn của m.b.a cũng được qui định lại như ghi trong bảng 1 ở cuối sách.

So với tiêu chuẩn cũ, những tiêu chuẩn mới về các đặc tính của m.b.a hiện nay có những yêu cầu cao hơn như tổn hao giảm đi đáng kể, hiệu suất tăng lên, giảm mức tăng nhiệt độ cho phép của dây quấn và dầu, ký hiệu sơ đồ nối dây mới, mở rộng phạm vi sử dụng điều chỉnh điện áp dưới tải, tăng cường những yêu cầu và trang bị của m.b.a bằng các thiết bị kiểm tra chất lượng và bảo quản dầu.

Gần đây người ta cũng làm lại và thông qua các tiêu chuẩn về phương pháp thử nghiệm m.b.a, thử nghiệm về độ bền cách điện của m.b.a, các tiêu chuẩn về xác định các thông số cơ bản, các yêu cầu về kỹ thuật đối với các m.b.a dầu ba pha hai và ba dây quấn công suất từ 2,5 đến 400 MVA, điện áp cao hơn 110 kV có điều chỉnh điện áp dưới tải. Đối với m.b.a ba dây quấn, các cuộn dây cao áp *CA*, trung áp *TA* và hạ áp *HA* được tính với toàn bộ công suất định mức, tuy thực tế công suất các cuộn có thể khác nhau. Và người ta qui định thứ tự bố trí các dây quấn từ trụ ra ngoài là *HA - TA - CA*. Đối với các biến áp từ 40 đến 80 MVA còn cho phép bố trí dây quấn theo thứ tự *TA - HA - CA*.

1.3. SỬ DỤNG VẬT LIỆU MỚI TRONG VIỆC CHẾ TẠO

Quá trình phát triển sản xuất m.b.a nói riêng cũng như các máy điện,

khí cụ điện nói chung liên quan chặt chẽ với những tiến bộ trong việc sản xuất các vật liệu dẫn điện, dẫn từ và vật liệu cách điện. Điều đó đòi hỏi các ngành công nghiệp tương ứng phải sản xuất ra các vật liệu mới có tính năng ngày càng hoàn thiện hơn.

Việc tìm kiếm một loại vật liệu mới là nhằm mục đích cải thiện các đặc tính của m.b.a như giảm tổn hao năng lượng, kích thước, trọng lượng và tăng độ tin cậy của nó. Khuynh hướng chung thường là thay những vật liệu quý, hiếm bằng những vật liệu rẻ và dễ kiếm hơn, như dùng dây nhôm thay dây đồng trong các m.b.a công suất nhỏ và trung bình là một ví dụ.

Vật liệu dùng trong m.b.a thường có ba loại:

- *Vật liệu tác dụng* dùng để dẫn điện như dây quấn, dẫn từ như lõi thép.
- *Vật liệu cách điện* để cách điện các cuộn dây hay các bộ phận khác như cactông cách điện, sứ, dầu máy biến áp,...
- *Vật liệu kết cấu* dùng để giữ, bảo vệ biến áp như xà ép, bulông, vỏ máy,...

Việc thay đổi vật liệu sử dụng đôi khi làm thay đổi cả một quá trình công nghệ quan trọng hay những kết cấu cơ bản của m.b.a và điều đó liên quan chặt chẽ đến sự tiến bộ của quá trình công nghệ trong ngành chế tạo m.b.a của một nước.

Vật liệu quan trọng trước tiên trong ngành chế tạo biến áp là tôn lá silic (hay còn gọi là thép lá kỹ thuật điện). Trong nhiều năm trước đây lõi thép m.b.a dùng chủ yếu là tôn cán nóng dày 0,5 mm và 0,35 mm. Chất lượng loại tôn này tuy đã có được cải tiến nhưng nói chung suất tổn hao vẫn cao. Khoảng từ những năm 50 trở lại đây đã xuất hiện tôn cán lạnh là loại tôn có vị trí sắp xếp các tinh thể gần như không đổi và có tính dẫn từ định hướng. Do đó suất tổn hao giảm nhỏ đến $2 \div 2,5$ lần so với tôn cán nóng. Độ từ thẩm thay đổi rất ít theo thời gian. Dùng tôn cán lạnh cho phép tăng cường độ từ cảm trong lõi thép lên tới $1,6 \div 1,65$ Tesla (T), trong khi đó tôn cán nóng chỉ đến $1,4 \div 1,45$ T. Cũng từ đó mà giảm được tổn hao trong máy, giảm được trọng lượng và kích thước máy, đặc biệt là rút bớt đáng kể chiều cao của m.b.a, rất thuận lợi cho việc chuyên chở. Tôn cán lạnh tuy có đắt hơn, nhưng do việc giảm được tổn hao và trọng lượng nên người ta tính ra rằng những m.b.a được chế tạo bằng loại tôn này trong vận hành kinh tế hơn so với m.b.a làm bằng tôn cán nóng.

Hiện nay ở các nước, tất cả các m.b.a điện lực trong thiết kế chế tạo đều dùng tôn cán lạnh. Các m.b.a của ta trước đây được chế tạo bằng tôn cán

nóng của Liên Xô, nay được thay bằng tôn cán lạnh của CHLB Nga và các nước thuộc SNG hoặc tôn cán lạnh của Nhật, Mỹ, CHLB Đức.

Cũng cần chú ý rằng việc chuyển hoàn toàn sang dùng tôn cán lạnh đồng thời đòi hỏi phải thay đổi một cách cơ bản công nghệ chế tạo và kết cấu lõi thép m.b.a. Thường sau khi tiến hành gia công cơ khí các lá thép như dập, phay, ép,... suất tổn hao trong thép sẽ tăng lên, do đó để bảo đảm phẩm chất từ tính của lá thép gần như lúc đầu, phải tiến hành ủ lại các lá thép. Song chú ý là việc ủ này không dùng cho các thép lá có cách điện bằng giấy, chỉ dùng cho thép lá cách điện bằng sơn. Mặt khác cũng để bảo đảm từ tính có chất lượng cao các lá thép ghép không được đột lỗ mà phải dùng hệ thống xà ép và bulông ngoài với các băng đai đặc biệt (xem chương 2).

Vật liệu tác dụng thứ hai của m.b.a là kim loại làm dây quấn. Trong nhiều năm đồng vẫn là kim loại duy nhất dùng chế tạo dây quấn mà không có thay đổi gì. Vì như ta đã biết đồng có điện trở suất nhỏ, dẫn điện tốt, dễ gia công (hàn, quấn...), bảo đảm độ bền cơ, điện... tốt. Gần đây người ta đã dùng nhôm thay đồng làm dây quấn. Nhôm có ưu điểm là nhẹ, dễ kiếm hơn, rẻ hơn, nhưng tất nhiên có nhược điểm là điện trở suất lớn hơn, do đó dẫn điện kém hơn, độ bền cơ cũng kém hơn và lại rất khó khăn trong việc hàn nối. Khi dùng nhôm thay đồng, để bảo đảm được một công suất tương đương thì thể tích nhôm tăng lên, chi phí cho các công việc về chế tạo dây quấn, chi phí về vật liệu cách điện, sơn tẩm... tăng lên. Những chi phí đó tăng thì được bù lại bởi giá thành dây nhôm rẻ hơn, nên nói chung giá thành toàn bộ m.b.a bằng dây nhôm và dây đồng thực tế cũng không khác nhau bao nhiêu. Dĩ nhiên dùng nhôm sẽ tiết kiệm được đồng là kim loại quý hiếm.

Về vật liệu cách điện thì phần lớn các m.b.a đều dùng dây quấn có cách điện bằng giấy cấp thuộc cách điện cấp A (như Nga ký hiệu bằng chữ ПБ đối với dây đồng, АПБ đối với dây nhôm) có nhiệt độ giới hạn cho phép là $+105^{\circ}\text{C}$ với chiều dày cách điện cả hai phía là $0,45 \div 0,5$ mm. Việc dùng dây dẫn có cấp cách điện cao hơn (E, B, F,...) không có ý nghĩa nhiều lắm vì nhiệt độ cho phép của dây quấn m.b.a được quyết định không chỉ ở cấp cách điện của vật liệu cách điện mà còn ở cả nhiệt độ cho phép của dầu ngâm dây quấn. Một loại cách điện hay dùng bọc dây dẫn là men cách điện (êmay). Việc thay cách điện bọc từ giấy cấp sang tráng men không những làm cho lớp cách điện mỏng hơn, độ bền cơ điện tốt hơn mà còn có tác dụng là giảm trọng lượng dây quấn, lõi thép, tuy rằng dây tráng men giá thành có đắt hơn. Đối với m.b.a khô hay dùng những dây dẫn có bọc cách điện cấp cao hơn như dây ПСД (cách điện bằng sợi thủy tinh) hay dây nhôm ПДА (tổng

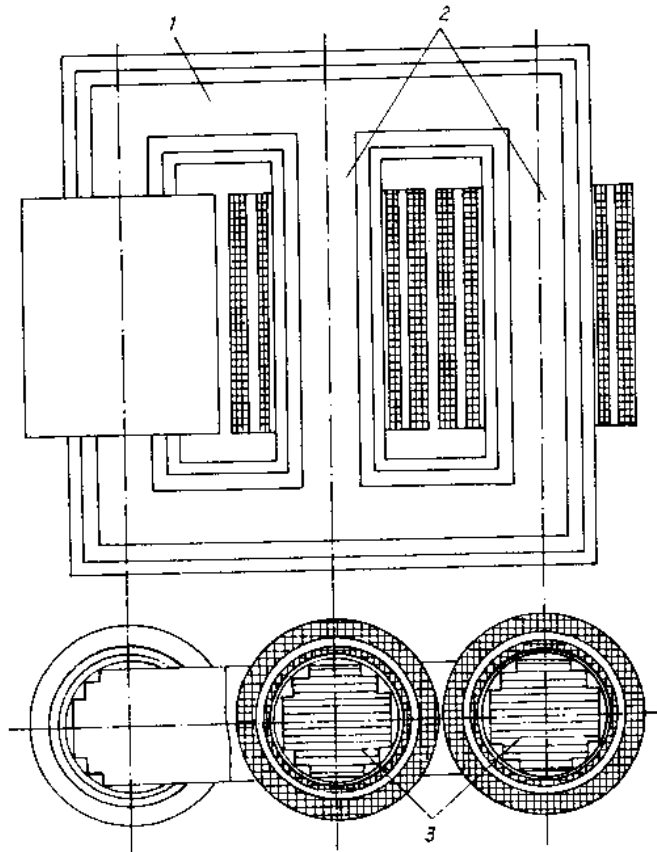
hợp từ sợi amiăng có tấm sơn). Với loại dây dẫn có cấp cách điện cao hơn, do có nhiệt độ cho phép cao hơn nên có thể chọn mật độ dòng điện dây dẫn cao hơn, vì thế kích thước cuộn dây và do đó máy sẽ gọn hơn. Song người ta cũng chỉ dùng đến cách điện cấp B mà ít khi dùng loại dây có cấp cách điện cao hơn nữa, vì lý do là nhiệt độ cho phép càng cao mật độ dòng điện chọn càng lớn thì tổn hao ngắn mạch tăng lên làm cho hiệu suất của m.b.a giảm xuống đáng kể. Có thể dùng nó trong trường hợp yêu cầu về kết cấu gọn nhẹ là tối cần thiết, như các thiết bị điện trong giao thông vận tải, trong máy bay...

1.4. CÁC KẾT CẤU CHÍNH CỦA M.B.A

M.b.a thường gồm những bộ phận chính sau đây: lõi sắt (hay còn gọi là mạch từ) và các kết cấu của nó; dây quấn; hệ thống làm lạnh và vỏ máy.

1.4.1. Lõi sắt và các kết cấu của nó

Lõi sắt làm mạch cho từ thông trong m.b.a, đồng thời làm khung để quấn dây. Lõi sắt gồm các lá thép silic ghép lại được ép bằng những xà ép và các bulông tạo thành bộ khung m.b.a. Trên đó còn bắt các giá đỡ đầu dây dẫn ra nối với các sứ xuyên hoặc các ty đỡ nắp máy,... Ở các m.b.a dầu, toàn bộ lõi sắt có quấn dây và các dây dẫn ra... được ngâm trong thùng đựng dầu biến áp, gọi là ruột máy. Các m.b.a nhỏ, ruột máy gắn với nắp máy có thể nhấc ra khỏi thùng dầu khi lắp ráp, sửa chữa. Các



Hình 1-1. Lõi sắt của m.b.a ba pha kiểu trụ có dây quấn.
1- Gông; 2- Trụ; 3- Tiết diện trụ

m.b.a công suất từ 1000 kVA trở lên, vì ruột máy rất nặng nên được bắt cố định với đáy thùng và lúc tháo lắp sửa chữa phải nâng vỏ thùng lên khỏi đáy và ruột máy.

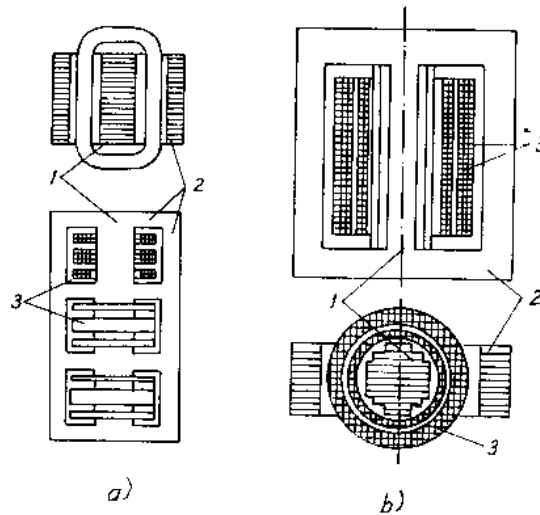
Lõi sắt gồm có hai phần: *trụ T* và *gông G*. Trụ là phần lõi có lồng dây quấn; gông là phần lõi không có dây quấn dùng để khép mạch từ giữa các trụ (hình 1-1).

Có nhiều cách phân loại lõi sắt:

a) Theo sự sắp xếp tương đối giữa trụ, gông và dây quấn, lõi sắt được chia ra làm hai loại: kiểu *trụ* và kiểu *bọc*.

1. Lõi sắt kiểu *trụ* (hình 1-1): Dây quấn ôm lấy trụ sắt, gông từ chỉ giáp phía trên và phía dưới dây quấn mà không bao lấy mặt ngoài của dây quấn, trụ sắt thường để đứng. Tiết diện trụ thường gần hình tròn (đối với m.b.a công suất nhỏ có thể làm chữ nhật) và dây quấn cũng có dáng hình trụ tròn. Kết cấu này đơn giản, làm việc bảo đảm, dùng ít vật liệu, vì vậy hầu hết các m.b.a điện lực hiện nay đều dùng kiểu này.

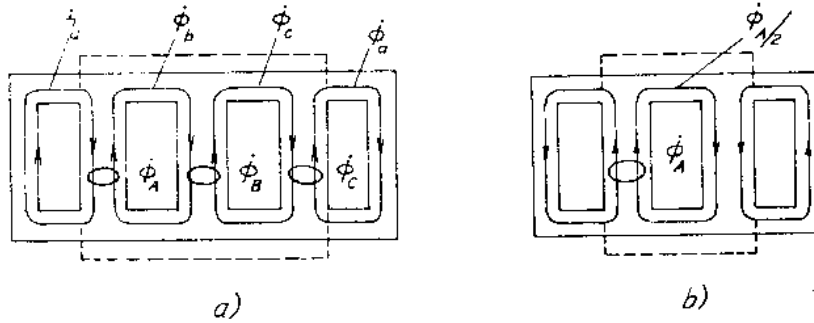
2. Lõi sắt kiểu *bọc* (hình 1-2a): Kiểu này gông từ không những bao lấy phần trên và dưới dây quấn mà còn bao cả mặt bên của dây quấn. Lõi sắt như "bọc" lấy dây quấn nên có tên gọi đó. Trụ thường để nằm ngang, tiết diện trụ thường có hình chữ nhật. M.b.a kiểu này có ưu điểm là thường không cao nên vận chuyển dễ dàng, giảm được chiều dài của dây dẫn từ dây quấn đến sứ ra; chống sét tốt vì hay dùng dây quấn xen kẽ nên điện dung dây quấn C_{dq} lớn, điện dung đối với đất C_d nhỏ nên sự phân bố điện áp sét trên dây quấn đều hơn (xem Máy điện tập I). Nhưng khuyết điểm của kiểu này là chế tạo phức tạp cả lõi sắt và dây quấn; các lá tôn silic nhiều loại kích thước khác nhau khi dây quấn quấn thành ống tiết diện tròn; trong trường hợp dây quấn



Hình 1-2. Lõi sắt kiểu bọc và kiểu trụ - bọc
 a) Lõi biến áp ba pha kiểu bọc; b) Lõi biến áp một pha kiểu trụ - bọc;
 1. Trụ. 2. Gông. 3. Dây quấn.

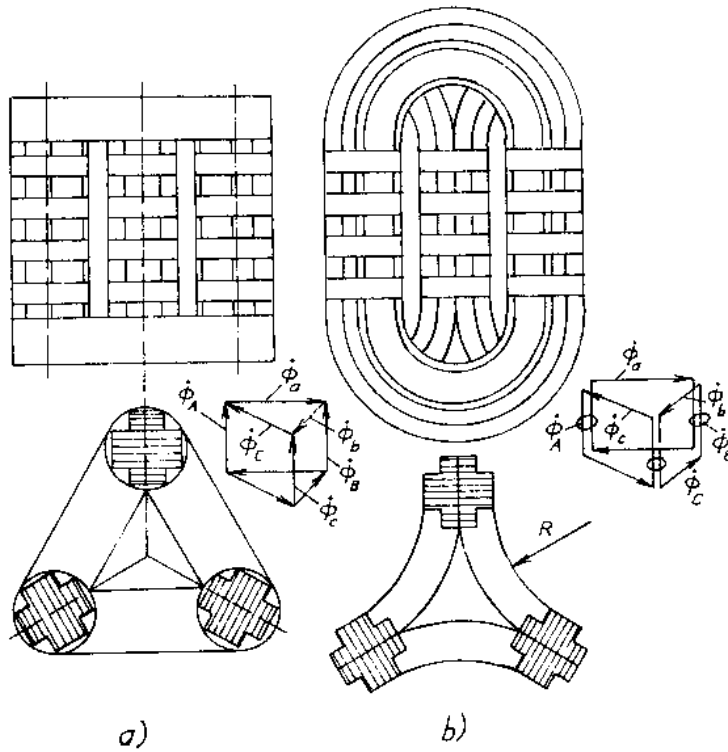
quấn thành ống chữ nhật thì độ bền về cơ kém vì các lực cơ tác dụng lên dây quấn không đều, tổn nguyên vật liệu. Lõi sắt kiểu này thường thấy ở một số nước Tây Âu chế tạo cho các biến áp lò điện.

Ngoài ra còn có thể có loại trung gian giữa kiểu trụ và kiểu bọc gọi là



Hình 1-3. Một kiểu mạch từ khác của m. b. a
a) Lõi ba pha năm trụ b) Lõi một pha bốn trụ.

kiểu trụ - bọc (hình 1-2b). Loại này hay dùng trong các m.b.a một pha hay ba pha với công suất lớn (hơn 100 ngàn kVA một pha) và để giảm bớt chiều cao phải "san" gông sang hai bên (hình 1-3a, b).



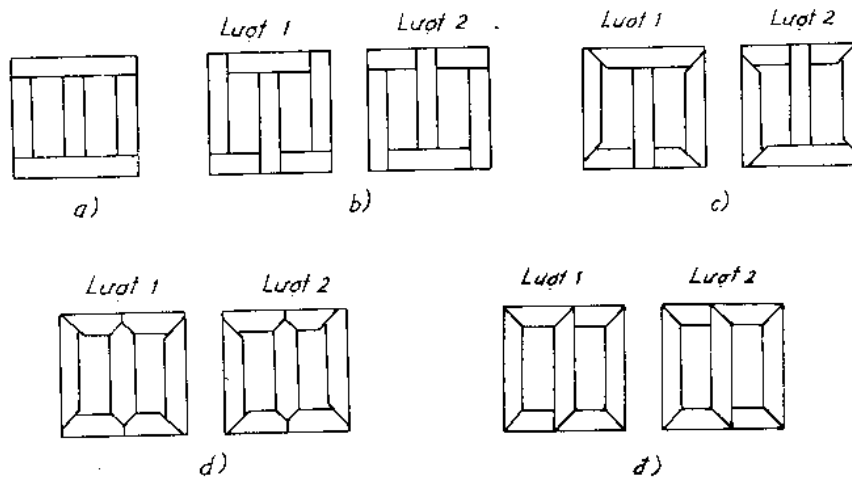
Hình 1-4. Mạch từ đối xứng của m.b.a ba pha (mạch từ không gian)
a) Trụ bằng thép lá ghép nối với gông bằng thép cuộn; b) Trụ và gông đều bằng thép cuộn.

b) Theo sự sắp xếp không gian giữa trụ và gông có thể phân biệt lõi thép có mạch từ đối xứng và không đối xứng. Ví dụ m.b.a ba pha ba trụ (hình 1-1a) là

loại mạch từ không đối xứng, vì mạch từ của pha giữa ngắn hơn mạch từ hai pha bên cạnh. Còn tổ biến áp ba pha - tức gồm ba m.b.a một pha (hình 1-2b) là loại mạch từ đối xứng. Một ví dụ nữa về biến áp ba pha đối xứng với kiểu bố trí mạch từ ba pha nằm trong ba mặt phẳng như hình 1-4 gọi là m.b.a có *kết cấu mạch từ không gian*. Lõi sắt thường làm bằng thép lá cuộn cả 3 pha (hình 1-4b) hay gông thì dùng thép cuộn, còn trụ thì dùng thép lá (hình 1-4a). Ưu điểm kiểu này là giảm được tổn hao và dòng điện không tải, nhưng kết cấu phức tạp nên ít dùng. Ở một số nước châu Âu cũng có chế tạo lõi sắt kiểu này nhưng công suất không lớn. Ở Nga cũng đã dùng kết cấu mạch từ này cho một số biến áp dưới 6300 kVA.

c) Theo phương pháp ghép trụ và gông có thể chia lõi sắt thành hai kiểu: lõi *ghép nối* và lõi *ghép xen kẽ*.

Ghép nối là gông và trụ ghép riêng sau đó được đem nối với nhau nhờ những xà và bulông ép (hình 1-5a). Ghép kiểu này đơn giản nhưng khe hở không khí giữa trụ và gông lớn, do không bảo đảm tiếp xúc tương ứng từng lá thép trụ và gông với nhau nên tổn hao và dòng điện không tải lớn, vì vậy ít dùng.



Hình 1-5. Thứ tự ghép lõi sắt ba pha.

a) Ghép nối; b) Ghép xen kẽ mỗi nối thẳng; c) Ghép xen kẽ mỗi nối nghiêng ở bốn góc; d) Ghép xen kẽ mỗi nối nghiêng ở sáu góc; đ) Ghép xen kẽ hỗn hợp.

Ghép *xen kẽ* là từng lớp lá thép của trụ và gông lần lượt đặt xen kẽ theo vị trí 1 rồi 2... như trên hình 1-5b. Sau đó dùng xà ép và bulông vít chặt lại. Muốn lồng dây quấn vào thì dỡ hết gông trên ra, cho dây quấn đã được quấn trên ống bakêlit lồng vào trụ. Trụ được lên chặt với ống bakêlit bằng cách ném cách điện (gỗ, bakêlit,...) sau đó xếp lá thép vào gông như cũ và

ép gông lại.

Đối với thép cán lạnh, để giảm bớt tổn hao do tính dẫn từ không đẳng hướng thường ghép xen kẽ nhưng với mối nối nghiêng giữa trụ và gông ở bốn góc (hình 1-5c) hay mối nối nghiêng cả trụ giữa (hình 1-5d) hoặc ghép xen kẽ với mối nối hỗn hợp (hình 1-5d) mà không dùng mối nối thẳng như đối với thép cán nóng (hình 1-5b). Phương pháp ghép xen kẽ đơn giản, kết cấu vững chắc nên được dùng rất phổ biến trong ngành chế tạo biến áp hiện nay.

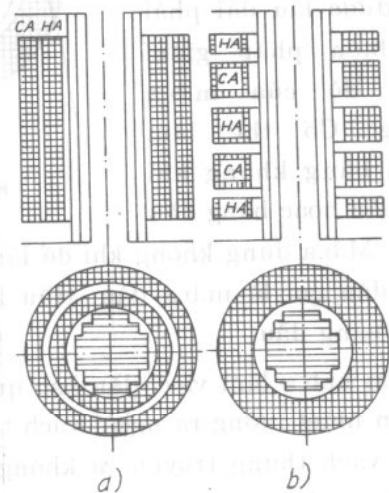
1.4.2. Dây quấn

Dây quấn m.b.a là bộ phận dùng để thu nhận năng lượng vào và truyền tải năng lượng đi. Trong biến áp hai dây quấn có cuộn hạ áp (viết tắt là HA) nối với lưới điện áp thấp và cuộn cao áp (viết tắt là CA) nối với lưới có điện áp cao hơn.

Theo phương pháp bố trí dây quấn trên lõi thép có thể chia dây quấn biến áp thành hai kiểu chính: *đồng tâm* và *xen kẽ*.

1. Dây quấn đồng tâm: Cuộn HA và CA (nếu có ba dây quấn thì còn có cuộn điện áp trung bình ký hiệu là TA) là những hình ống đồng tâm đối với nhau (hình 1-6a). Chiều cao (theo chiều trục) của chúng nên thiết kế bằng nhau vì nếu không sẽ sinh ra lực chiều trục lớn (nhất là lúc ngắn mạch) có tác dụng ép hoặc đẩy gông từ hay cuộn dây không lợi về mặt kết cấu. Khi bố trí cuộn dây, cuộn HA đặt trong cùng, cuộn CA đặt ngoài (nếu biến áp ba dây quấn, thường cuộn trung áp TA đặt giữa, cũng có thể đặt trong cùng). Cuộn CA đặt ngoài sẽ đơn giản được việc rút đầu dây điều chỉnh điện áp cũng như giảm được kích thước rãnh cách điện giữa các cuộn dây và giữa cuộn dây với trụ sắt. Dây quấn đồng tâm được dùng phổ biến trong các m.b.a điện lực với lõi sắt kiểu trụ.

2. Dây quấn xen kẽ: Cuộn CA và HA được quấn thành từng bánh có chiều cao thấp và quấn xen kẽ (hình 1-5b) do đó giảm được lực dọc trục khi ngắn mạch. Để giảm lực cơ theo hướng kính các bánh dây cố gắng thiết kế có đường kính gần bằng nhau. Dây quấn xen kẽ có nhiều rãnh dầu ngang nên tản nhiệt tốt hơn nhưng về mặt cơ thì kém vững chắc hơn



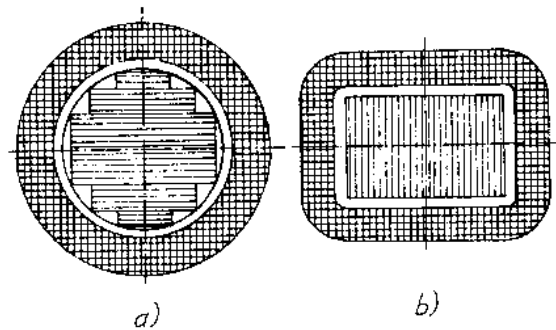
Hình 1-6. Dây quấn đồng tâm (a) và dây quấn xen kẽ (b)

so với dây quấn đồng tâm. Mặt khác dây quấn kiểu này có nhiều mối hàn giữa các bánh dây trong khi đó dây quấn đồng tâm có thể từ đầu đến cuối cuộn dây không có mối hàn nào. Loại dây quấn này chủ yếu được dùng trong các m.b.a lò điện hay trong một số m.b.a khô để bảo đảm sự làm lạnh được tốt.

Theo hình dáng tiết diện cuộn dây có thể chia dây quấn thành hai loại: cuộn dây tròn và cuộn dây chữ nhật. Cuộn dây tròn có dạng hình trụ và tiết diện ngang là hình tròn (hình 1-7a). Cuộn dây chữ nhật có tiết diện ngang là hình chữ nhật với các góc uốn tròn (hình 1-7b). Loại dây quấn sau có ưu điểm là lấp đầy được phần không gian trong cuộn dây, nhưng có nhược điểm là chỗ góc uốn cong cách điện dễ bị yếu đi do bị rạn nứt lúc uốn, nhất là khi góc uốn nhỏ; độ bền cơ cũng kém... Chính vì thế hầu hết các m.b.a điện lực hiện nay đều dùng loại cuộn dây tròn vì kết cấu đơn giản hơn, độ bền cơ, điện tốt hơn. Loại dây quấn kiểu cuộn chữ nhật chỉ được dùng trong một số m.b.a đặc biệt thường với lõi thép kiểu học và dùng trong các m.b.a công suất nhỏ và rất nhỏ.

1.4.3. Hệ thống làm lạnh và vỏ máy

Khi m.b.a làm việc, lõi sắt và dây quấn đều có tổn hao năng lượng làm cho m.b.a nóng lên. Muốn m.b.a làm việc được lâu dài phải tìm biện pháp giảm nhiệt độ của m.b.a xuống. Có thể làm nguội bằng không khí tự nhiên hoặc bằng dầu



Hình 1-7. Cuộn dây tròn và chữ nhật

m.b.a. M.b.a dùng không khí để làm nguội gọi là m.b.a khô, m.b.a làm nguội bằng dầu gọi là m.b.a dầu. Hầu hết các m.b.a điện lực hiện nay đều làm nguội bằng dầu.

Khi m.b.a làm việc, dầu bao quanh lõi thép và dây quấn sẽ nóng lên và chuyển nhiệt lượng ra ngoài vách thùng nhờ hiện tượng đối lưu. Nhiệt lượng lại từ vách thùng truyền ra không khí xung quanh bằng quá trình đối lưu và bức xạ. Nhờ vậy mà hiệu ứng làm lạnh được tăng lên cho phép tăng tải điện từ đối với lõi thép và dây quấn, tăng được công suất máy, giảm được

kích thước và trọng lượng máy. Đối với m.b.a nhỏ dung lượng dưới 25÷40 kVA, vách thùng dầu có thể làm phẳng hay gợn sóng; đối với các m.b.a lớn hơn, để tăng bề mặt tản nhiệt vách thùng thường gắn thêm những dây cánh tản nhiệt hay những dây ống hoặc hơn nữa có thể làm những hệ thống dàn ống, gọi là bộ tản nhiệt hay bộ làm lạnh và được làm nguội nhờ không khí tự nhiên. Ở những m.b.a công suất từ 10 đến 16 ngàn kVA trở lên, thường phải tăng cường làm nguội bằng đối lưu cưỡng bức không khí nhờ hệ thống quạt gió hay có thể đối lưu cưỡng bức dầu trong thùng nhờ một hệ thống bơm riêng hoặc phối hợp cả hai.

Để bảo đảm dầu trong m.b.a luôn luôn đầy trong quá trình vận hành, trên nắp m.b.a có một bình dầu phụ hình trụ, thường đặt nằm ngang nối với thùng dầu chính bằng ống dẫn dầu. Tùy theo nhiệt độ của m.b.a mà dầu giãn nở tự do trong bình dầu phụ không ảnh hưởng tới mức dầu ở trong m.b.a. Vì vậy bình dầu phụ còn được gọi là bình giãn dầu.

Trên nắp thùng còn có các sứ để bắt các dây dẫn ra nối các dây quấn trong m.b.a với lưới điện; thiết bị đổi nối để điều chỉnh điện áp; thiết bị đo nhiệt độ biến áp; role bảo vệ; ống phòng nổ; móc treo;...

Dầu m.b.a ngoài tác dụng làm lạnh còn là một chất cách điện tốt, nhưng có nhược điểm là dầu m.b.a đồng thời cũng là một vật liệu dễ cháy nên dễ sinh ra hỏa hoạn, vì vậy trong nhiều trường hợp phải có thiết bị và biện pháp chống cháy thích hợp.

Ở các m.b.a khô vỏ máy chỉ là để bảo vệ. Vì không khí có khả năng làm nguội và cách điện kém hơn dầu m.b.a nên trong các m.b.a khô, các khe rãnh cách điện cần làm lớn hơn, còn tải điện từ thì lại phải nhỏ hơn so với m.b.a dầu. Cũng vì những lý do đó mà kích thước, trọng lượng và giá thành của m.b.a khô sẽ tăng lên. Điều này thấy rõ khi công suất và điện áp của máy càng cao. Do vậy m.b.a khô thường chỉ chế tạo với công suất tối đa tới 1600 - 2500 kVA, điện áp không quá 15 kV và cũng chỉ dùng trong điều kiện khô ráo.

1.5. MỤC ĐÍCH, YÊU CẦU VÀ NHIỆM VỤ THIẾT KẾ

Nhiệm vụ thiết kế m.b.a có thể khác nhau. Có loại *thiết kế dây (hay gam)* và có loại *thiết kế đơn chiếc*. Nếu thiết kế một dây biến áp mới thì nhiệm vụ thiết kế khá phức tạp, không những phải xác định các kích thước tối ưu mà còn phải xác định cả những thông số kỹ thuật như tham số không tải, tham số ngắn mạch. Giải quyết những vấn đề đó rất phức tạp và cần

lập nhiều phương án tính toán, so sánh rồi chọn lấy phương án tối ưu. Có thể coi mỗi phương án tính toán lại là một bài toán thiết kế m.b.a đơn chiếc ở trong một hạn chế nhất định nào đó. Nếu thiết kế đơn chiếc thì thường biết trước một loạt những số liệu ban đầu như công suất, điện áp, tần số, số pha, tính chất và đặc điểm tải, địa điểm đặt thiết bị, hệ thống làm nguội, những yêu cầu tiêu chuẩn về các tham số không tải, ngắn mạch. Thực tế cho thấy bằng những số liệu ban đầu đó có thể có được những quan hệ khác nhau về kích thước chính của m.b.a, về tải điện từ, về giá thành, trong lượng máy,... Do đó cần có những phương án hạn chế để lựa chọn một phương án bảo đảm thích hợp với các yêu cầu đã cho trước khi vào tính toán cụ thể như: hình thức kết cấu mạch từ, vật liệu làm lõi (mã hiệu thép kỹ thuật điện), cường độ từ cảm trong lõi, phương pháp cách điện lõi, hình thức kết cấu dây quấn, vật liệu làm dây quấn (đồng hay nhôm), hình thức cách điện, vật liệu cách điện dây quấn... Những số liệu cho trước và các phương án tính toán lựa chọn thường xác định theo kinh nghiệm cơ bản về chế tạo m.b.a, về các đặc tính của vật liệu mới, vào thói quen chế tạo của nhà máy hay các phương pháp công nghệ tiên tiến... Việc thiết kế đơn chiếc m.b.a nói chung đơn giản hơn thiết kế dây m.b.a và trong phạm vi tài liệu này chủ yếu sẽ trình bày nhiệm vụ thiết kế đơn chiếc trong thiết kế dây m.b.a.

Trong nhiệm vụ thiết kế đơn chiếc m.b.a hai dây quấn cần phải cho những số liệu sau đây:

1. Công suất toàn phần (hay dung lượng) m.b.a S (kVA);
 2. Số pha m ;
 3. Tần số f (Hz);
 4. Điện áp dây định mức HA: U_1 và CA: U_2 (V), số cấp và phạm vi điều chỉnh điện áp;
 5. Sơ đồ và tổ nối dây quấn;
 6. Phương pháp làm nguội m.b.a;
 7. Đặc điểm của tải là dài hạn hay ngắn hạn; nếu tải ngắn hạn phải cho biết trị số tải ứng với các thời gian làm việc và thời gian nghỉ;
 8. Đặc điểm của thiết bị: đặt trong nhà hay ngoài trời;
- Ngoài ra trong nhiệm vụ thiết kế thường còn cho những tham số cơ bản sau đây của m.b.a:
9. Điện áp ngắn mạch u_n (%);
 10. Tổn hao ngắn mạch P_n (W);

11. Tổn hao không tải P_0 (W);

12. Dòng điện không tải i_0 (%).

Trong nhiệm vụ có thể qui định m.b.a thiết kế theo một yêu cầu nào đó theo tiêu chuẩn quốc gia, cũng có thể cung cấp một số điều kiện phụ khác như mã hiệu thép nhất định, dây quấn làm bằng đồng hay nhôm,...

Đối với m.b.a ba dây quấn, phải ghi rõ công suất của từng cuộn dây nếu chúng khác nhau (công suất định mức của máy coi là công suất lớn nhất trong ba cuộn), điện áp định mức của từng dây quấn ứng với sơ đồ và tổ nối dây và ba trị số điện áp ngắn mạch đã qui về công suất định mức của m.b.a ứng với từng đôi dây quấn CA và HA , CA và TA , TA và HA .

Đối với m.b.a tự ngẫu thường ghi công suất "truyền tải" S_{tr} , tức:

- với m.b.a tự ngẫu một pha:

$$S_{tr} = UI.10^{-3} \text{ (kVA);}$$

- với m.b.a tự ngẫu ba pha:

$$S_{tr} = \sqrt{3}UI.10^{-3} \text{ (kVA).}$$

trong đó U , I là điện áp và dòng điện dây định mức. Ngoài ra trong nhiệm vụ thiết kế còn ghi điện áp dây định mức sơ cấp U và thứ cấp U' , điện áp ngắn mạch đối với lưới u_m (%), nghĩa là đã qui về một trong các trị số điện áp định mức lớn nhất U hay U' .

M.b.a thiết kế ra phải thỏa mãn các tham số kỹ thuật yêu cầu, có kích thước hợp lý, bảo đảm độ bền về điện, cơ, nhiệt, kinh tế trong vận hành, đồng thời chế tạo đơn giản, giá thành rẻ. Những vấn đề đó liên quan tới việc lựa chọn một cách đúng đắn các tham số kỹ thuật của m.b.a như tổn hao không tải, ngắn mạch (thường đã cho theo tiêu chuẩn quốc gia), lựa chọn các kích thước kết cấu máy, các loại vật liệu một cách hợp lý, đồng thời liên quan tới việc tổ chức và sử dụng hợp lý các qui trình qui phạm về kỹ thuật, về công nghệ chế tạo m.b.a.

Ngoài việc tính toán điện từ, việc tính toán m.b.a liên quan rất mật thiết tới giai đoạn thứ hai là thiết kế kết cấu m.b.a. Muốn làm tốt giai đoạn này, ở phần tính toán điện từ người thiết kế đã phải hình dung khá đầy đủ về m.b.a được thiết kế, cụ thể là về các bộ phận chính của nó như lõi sắt, dây quấn, các chi tiết cách điện, dây dẫn ra,... phạm vi có thể sử dụng những bộ phận đó với những ưu khuyết điểm của nó. Tài liệu này sẽ không đề cập đến toàn bộ giai đoạn hai của quá trình thiết kế (nội dung này xem ở tài liệu công nghệ và kết cấu m.b.a của bộ môn Thiết bị điện) mà chỉ đưa vào một

số hiệu biết nhất định về kết cấu m.b.a để thuận tiện cho việc tính toán ở giai đoạn một - thiết kế điện từ m.b.a.

Như vậy công việc thiết kế thường qua ba giai đoạn:

a) Định nhiệm vụ kỹ thuật:

Chủ yếu định rõ công dụng của sản phẩm, phạm vi sử dụng, tạm thời định hình dáng của m.b.a như kết cấu, phương thức làm nguội.

b) Tính toán điện từ, thường qua các khâu chính sau đây:

- Tính các kích thước chủ yếu;
- Thiết kế cuộn dây, các kết cấu cách điện của chúng;
- Tính toán và kiểm nghiệm các đặc tính về điện, từ, cơ;
- Tính toán cụ thể lõi sắt;
- Tính toán nhiệt và thiết kế vỏ máy.

c) Thiết kế thi công:

Tính toán và vẽ đầy đủ các chi tiết kết cấu toàn bộ máy. Tính toán kinh tế về sản phẩm chế tạo. Như đã trình bày trên, phần này sẽ không trình bày ở đây, chỉ đề cập những vấn đề rất cần thiết về kết cấu để phục vụ cho hai phần đầu.

Để đảm bảo cho việc tính toán hợp lý, tốn ít thời gian, việc thiết kế m.b.a sẽ lần lượt được tiến hành theo trình tự như sau:

1. Xác định các đại lượng điện cơ bản:

- Tính dòng điện pha và điện áp pha của các dây quấn.
- Xác định điện áp thử của các dây quấn.
- Xác định các thành phần của điện áp ngắn mạch.

2. Tính toán các kích thước chủ yếu:

- Chọn sơ đồ và kết cấu lõi sắt.
- Chọn loại và mã hiệu tôn silic, cách điện của chúng. Chọn cường độ từ cảm lõi sắt.

- Chọn các kết cấu và xác định các khoảng cách cách điện chính của cuộn dây.

- Tính toán sơ bộ m.b.a và chọn quan hệ của kích thước chủ yếu β theo những trị số P_{ϕ} , P_n , u_n và i_{ϕ} đã cho.

Xác định đường kính trụ và chiều cao dây quấn. Tính toán sơ bộ lõi sắt.

3. Tính toán dây quấn HA và CA:

- Chọn loại dây quấn *HA* và *CA*.
 - Tính cuộn dây *HA*.
 - Tính cuộn dây *CA*.
4. Tính toán ngắn mạch:
- Xác định tổn hao ngắn mạch
 - Tính toán điện áp ngắn mạch.
 - Tính lực cơ của dây quấn khi m.b.a bị ngắn mạch.
5. Tính toán cuối cùng về hệ thống mạch từ và tham số không tải của m.b.a.
- Xác định kích thước cụ thể của lõi sắt.
 - Xác định tổn hao không tải, dòng điện không tải và hiệu suất m.b.a.
6. Tính toán nhiệt và hệ thống làm nguội m.b.a.
- Quá trình truyền nhiệt trong m.b.a.
 - Khái niệm về hệ thống làm nguội m.b.a.
 - Tiêu chuẩn về nhiệt độ chênh.
 - Tính toán nhiệt m.b.a.
 - Tính gần đúng trọng lượng và thể tích bộ phận dầu.
7. Tính toán và chọn một số chi tiết kết cấu m.b.a.

Phần này trình bày sơ lược cách tính và chọn một số chi tiết kết cấu quan trọng như bulông của xà ép gông, đai ép trụ và gông, vách, nắp và đáy thùng, ống xả dầu... Có thể hình dung thêm kết cấu m.b.a thông qua một số bản vẽ chi tiết về lõi sắt, dây quấn và bản vẽ sơ bộ tổng lắp ráp m.b.a để ở cuối sách.