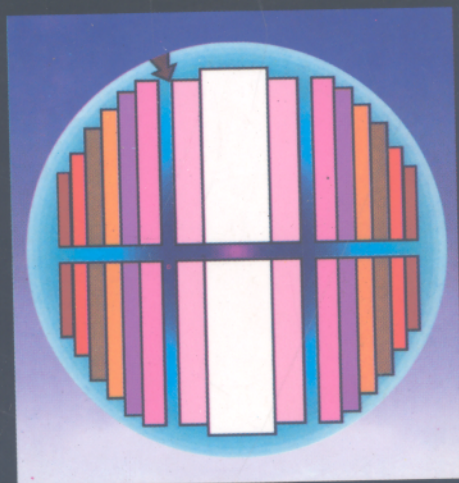


PHAN TỬ THỤ

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 ($98 \div 99\%$), 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 mối 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 cắt dập lá thép tự động, vẽ ủ lá thép, vẽ lắp 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.

Sơ 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 hàng 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

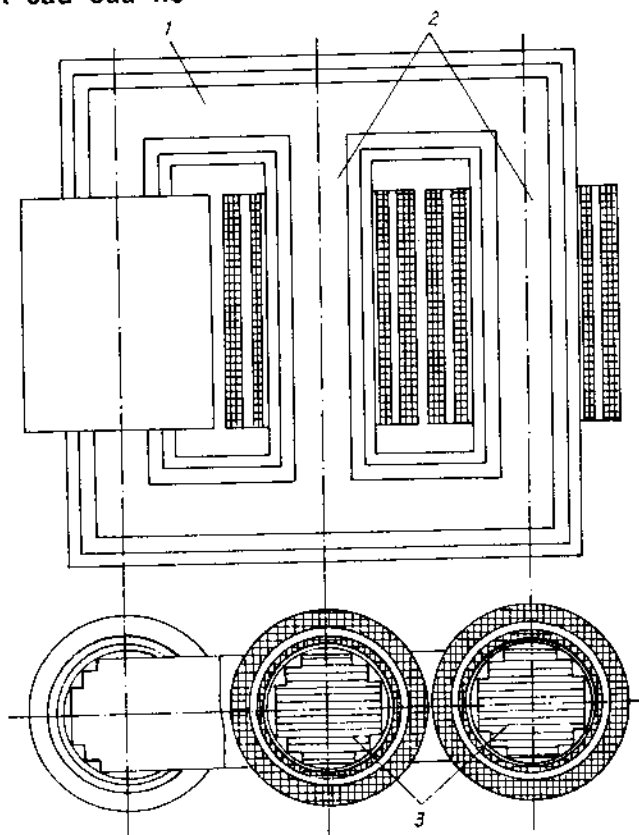
hợp từ sợi amiang có tấm sơn). Với loại dây dẫn có cấp cách điện cao hơn, do có nhiệt độ cho phép cao hơn nên có thể chọn mật độ dòng điện dây dẫn cao hơn, vì thế kích thước cuộn dây và do đó máy sẽ gọn hơn. Song người ta cũng chỉ dùng đến cách điện cấp B mà ít khi dùng loại dây có cấp cách điện cao 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 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.

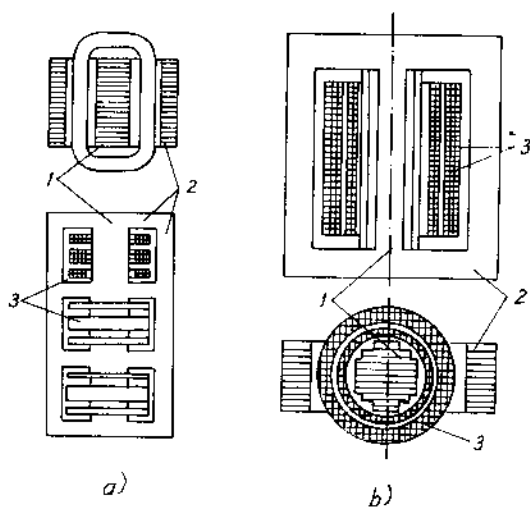
Lõi sắt gồm có hai phần: *trụ* *T* và *gông* *G*. Trụ là phần lõi có lồng dây quấn; gông là phần lõi không có dây quấn dùng để khép mạch từ giữa các trụ (hình 1-1).

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 dạng 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.

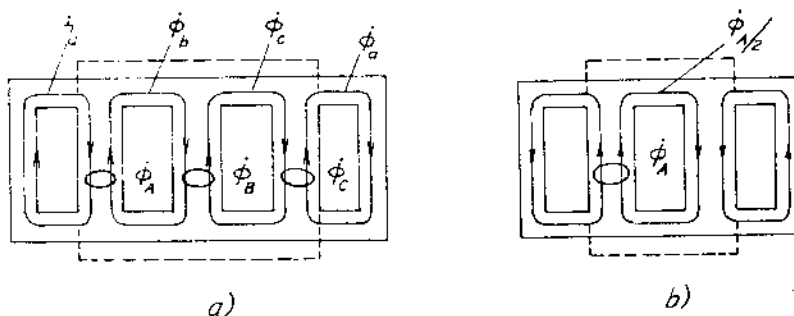
2. Lõi sắt kiểu bọc (hình 1-2a): Kiểu này gông từ không những bao lấy phần trên và dưới dây quấn mà còn bao cả mặt bên của dây quấn. Lõi sắt như "bọc" lấy dây quấn nên có tên gọi đó. Trụ thường để nằm ngang, tiết diện trụ thường có hình chữ nhật. M.b.a kiểu này có ưu điểm là thường không cao nên vận 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.

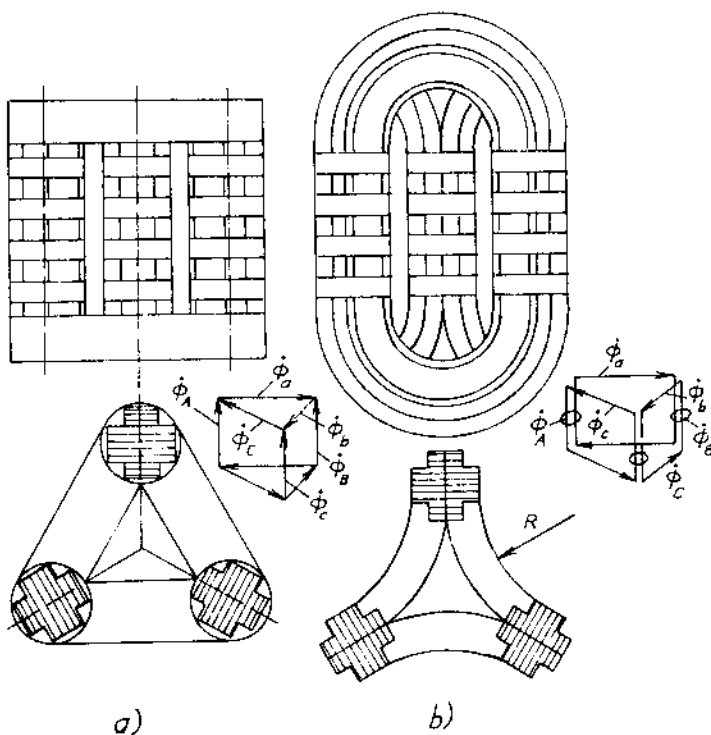
Ngoài ra còn có thể có loại trung gian giữa kiểu trụ và kiểu bọc gọi là



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).

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

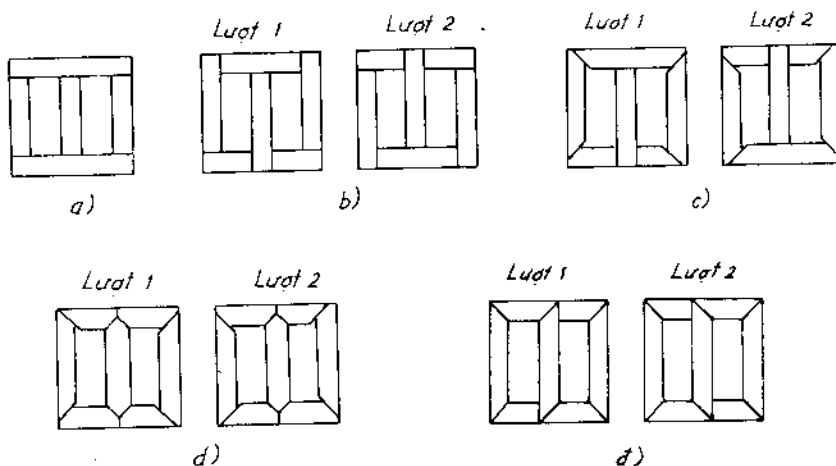


Hình 1-4. Mạch từ đối xứng của mba ba pha (mạch từ không gian)
a) Trụ bằng thép lá ghép nối với gông bằng thép cuộn; b) Trụ và gông đều bằng thép cuộn.

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 nện 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.

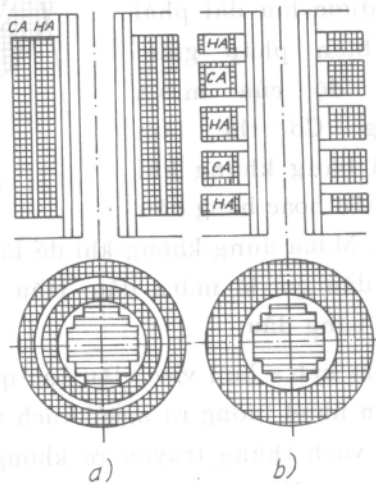
1.4.2. Dây quấn

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



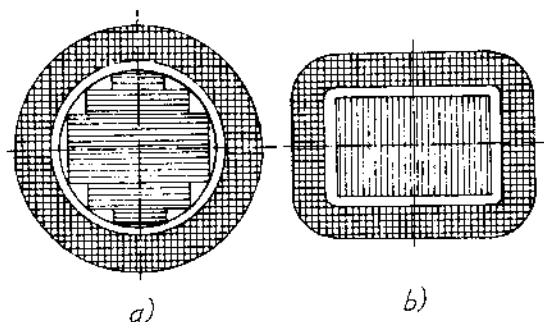
Hình 1-6. Dây quấn đồng tâm (a) và dây quấn xen kẽ (b)

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 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, trọng 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 có sẵn 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_o , P_n , u_n và i_n 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 giãn 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.

TÍNH TOÁN CÁC KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU CỦA M.B.A

§2.1. TÍNH CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN CƠ BẢN CỦA M.B.A VÀ M.B.A TỰ NGẪU

Dựa vào nhiệm vụ thiết kế đã cho (xem §1.5), trước hết xác định các đại lượng điện cơ bản sau đây:

1. Công suất mỗi pha của m.b.a:

$$S_{\phi} = \frac{S}{m} \text{ , (kVA)} \quad (2-1)$$

2. Công suất mỗi trụ:

$$S' = \frac{S}{t} \text{ , (kVA)} \quad (2-2)$$

trong đó t là số trụ tác dụng (là trụ trên đó có quấn dây). Đối với m.b.a ba pha $t = 3$; đối với m.b.a một pha $t = 2$, vì một pha dây quấn của m.b.a một pha thường được chia làm đôi và quấn trên hai trụ.

S là công suất định mức của m.b.a. Đối với m.b.a ba dây quấn thì lấy S lớn nhất trong ba cuộn.

3. Dòng điện dây định mức:

Tính tương ứng với từng dây quấn HA , CA (và TA nếu có):

- Đối với m.b.a ba pha:

$$I = \frac{S.10^3}{\sqrt{3}U} \text{ , (A)} \quad (2-3)$$

trong đó S đối với m.b.a ba dây quấn lấy ứng với từng dây quấn CA , TA và HA .

U là các điện áp dây tương ứng.

- Đối với m.b.a một pha:

$$I = \frac{S.10^3}{U} \text{ , (A)} \quad (2-4)$$

4. Dòng điện pha:

- khi dây quấn nối sao hay ziczác:

$$I_l = I ; \text{ (A)} \quad (2-5)$$

- khi dây quấn nối tam giác:

$$I_l = I/\sqrt{3} \text{ . (A)} \quad (2-6)$$

5. Điện áp pha:

- khi dây quấn nối sao hay ziczác:

$$U_l = U/\sqrt{3} ; \text{ (V)} \quad (2-7)$$

- khi dây quấn nối tam giác:

$$U_l = U \text{ (V)} \quad (2-8)$$

Trường hợp dây quấn nối ziczác, điện áp pha tổng là tổng hình học điện áp ở trên hai phần dây quấn đặt trên hai trụ khác nhau (hình 2-1a). Thường trong các m.b.a điện lực, hai phần dây quấn đó bằng nhau và lệch nhau 60° (hình 2-1b). Điện áp trên mỗi phần dây quấn là:

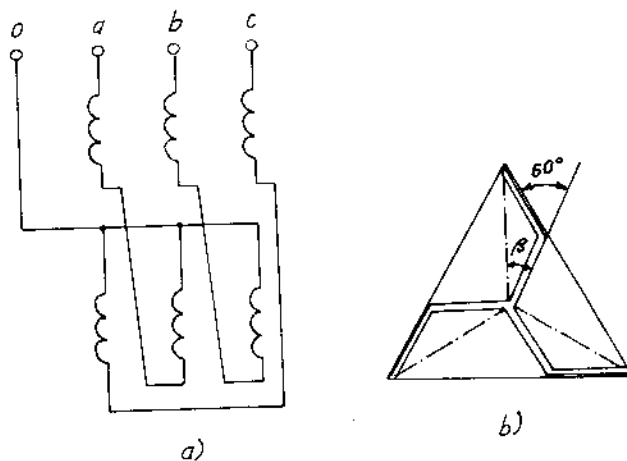
$$U' = \frac{U_l}{2\cos 30^\circ} = \frac{U_l}{\sqrt{3}} \text{ . (V)} \quad (2-9)$$

Như vậy số vòng dây trên một pha sẽ không phải tính theo U_l như dây quấn nối Y mà phải tính theo $2U' = 2U_l/\sqrt{3} = 1,155U_l$, nghĩa là số vòng trên mỗi trụ cũng phải tăng lên 1,155 lần so với lúc nối Y.

Dòng điện và điện áp trên mỗi trụ của m.b.a một pha tùy thuộc vào cách nối các

phần dây quấn trên trụ. Nếu hai phần dây quấn trên hai trụ nối nối tiếp thì dòng điện trụ bằng dòng điện định mức, còn điện áp trụ bằng nửa điện áp định mức; nếu nối song song thì dòng điện trụ bằng nửa dòng định mức, điện áp trụ bằng điện áp định mức.

6. Các thành phần điện áp ngắn mạch:



Hình 2-1. Sơ đồ nối ziczác

Thành phần tác dụng của điện áp ngắn mạch:

$$u_{nr} = \frac{I_1 r_n}{U_1} 100 \cdot \frac{m I_1 \cdot 10^{-3}}{m I_1 \cdot 10^{-3}} = \frac{P_n}{10S}, (\%) \quad (2-10)$$

trong đó P_n tính bằng W; S bằng kVA.

Thành phần phản kháng của điện áp ngắn mạch:

$$u_{rx} = \sqrt{u_n^2 - u_{nr}^2} \cdot (\%) \quad (2-11)$$

Đối với máy biến áp tự ngẫu, tính toán các đại lượng điện cơ bản có một số đặc điểm cần chú ý: cần phân biệt công suất thiết kế (hay còn gọi là công suất tính toán) với công suất truyền tải.

- Công suất thiết kế của m.b.a tự ngẫu một pha là:

$$S_{tk} = U_1 I_1 \cdot 10^{-3} = U_2 I_2 \cdot 10^{-3}, (\text{kVA}) \quad (2-12)$$

hay có thể xác định theo công suất truyền tải S_{tr} :

với m.b.a tự ngẫu tăng áp (hình 2-2a):

$$S_{tk} = S_{tr} \frac{U' - U}{U'} = k_l S_{tr} \quad (2-13,a)$$

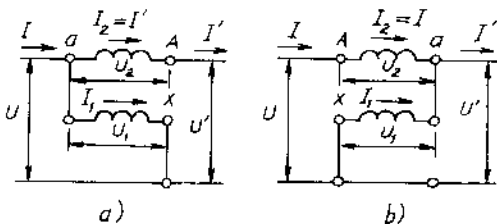
với tự ngẫu giảm áp (hình 2-2b):

$$S_{tk} = S_{tr} \frac{U - U'}{U} = k_l S_{tr} \quad (2-13,b)$$

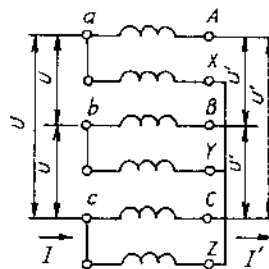
trong đó $k_l = \frac{U' - U}{U'}$ đối với m.b.a tự ngẫu tăng áp;

$$= \frac{U - U'}{U} \text{ đối với m.b.a tự ngẫu giảm áp.}$$

gọi là hệ số có lợi về công suất truyền tải, thường k_l nhỏ hơn 1 một ít.



Hình 2-2. Sơ đồ nối dây của m.b.a tự ngẫu một pha hai dây quấn tăng áp (a) và giảm áp (b)



Hình 2-3. Sơ đồ nối dây của m.b.a tự ngẫu ba pha hai dây quấn tăng áp.

Nếu là m.b.a tự ngẫu ba pha (hình 2-3) thường dây quấn nối Y (không nối D), điện áp U và U' xem là điện áp dây. Dòng điện dây định mức của m.b.a tự ngẫu ba pha và một pha cũng tính như đối với m.b.a thường, biểu thức (2-3) và (2-4).

- Dòng điện và điện áp trong các phần dây quấn theo sơ đồ 2-2a và 2-2b tính như sau:

Đối với m.b.a tự ngẫu một pha tăng áp (hình 2-2a)

$$I_2 = I'; I_1 = I - I_2 = I - I'; \quad (A)$$

$$U_1 = U; U_2 = U' - U, \quad (V)$$

Đối với m.b.a tự ngẫu một pha giảm áp (hình 2-2b):

$$I_2 = I; I_1 = I' - I_2 = I' - I, \quad (A)$$

$$U_1 = U'; U_2 = U - U', \quad (V)$$

trong đó I và I' là dòng điện dây định mức của m.b.a tự ngẫu tính theo (2-3) và (2-4);

U và U' là điện áp pha định mức, nếu là m.b.a tự ngẫu ba pha nối Y thì:

$$U = U_d/\sqrt{3}; U' = U'_d/\sqrt{3},$$

trong đó U_d và U'_d là điện áp dây định mức đã cho.

- Điện áp ngắn mạch của m.b.a tự ngẫu thường cho đối với lưới u_{nl} (%) tức tính theo các trị số lớn nhất trong hai điện áp U và U' . Do đó khi tính toán các kích thước chủ yếu của máy biến áp tự ngẫu cần phải xác định trị số *điện áp ngắn mạch tính toán* u_{nt} (%), tính theo điện áp của một trong các cuộn dây U_1 hay U_2 . Với m.b.a tự ngẫu giảm áp hay tăng áp ta có:

$$u_{nt} \% = \frac{u_{nl} \%}{k_1} \quad (2-14)$$

Sau khi đã xác định được công suất tính toán, dòng điện, điện áp các dây quấn và điện áp ngắn mạch tính toán, việc tính toán máy biến áp tự ngẫu lại được tiến hành như m.b.a thường.

6. Điện áp thử U_{th} :

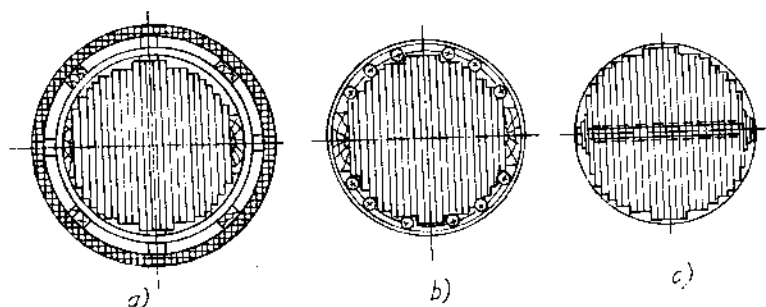
Để xác định khoảng cách cách điện giữa các dây quấn, các phần dẫn điện khác và các bộ phận nối đất của m.b.a cần phải biết các trị số điện áp thử của chúng. Dựa theo cấp điện áp của dây quấn chọn điện áp thử tương ứng và phải không được nhỏ hơn trị số cho trong bảng 2 và 3.

§2.2. THIẾT KẾ SƠ BỘ LỖI SẮT VÀ TÍNH TOÁN CÁC KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU CỦA M.B.A

2.2.1. Lỗi sắt kiểu trụ

Như đã biết ở chương 1, lõi sắt m.b.a có nhiều kiểu, nhưng hầu hết m.b.a điện lực hiện nay đều dùng kiểu trụ. Do đó để đơn giản trong tài liệu này chỉ giới thiệu phương pháp tính toán lõi sắt kiểu d).

Lõi sắt là phần mạch từ của m.b.a do đó thiết kế nó cần phải làm sao bảo đảm được tổn hao sắt chính và phụ nhỏ, dòng điện không tải nhỏ, lượng tôn silic ít và hệ số điền đầy của lõi sắt cao. Mặt khác lõi sắt còn làm khung mà trên đó để nhiều bộ phận quan trọng của m.b.a như dây quấn, giá đỡ dây dẫn ra hay trong một số m.b.a lõi sắt thường được nối với nắp máy bằng những bulông để có thể nâng cầu toàn bộ lõi sắt khỏi vỏ khi lắp ráp. Hơn nữa, lõi sắt còn có thể chịu những ứng lực cơ học lớn khi dây quấn bị ngắn mạch. Vì vậy yêu cầu thứ hai của lõi sắt là phải bền và ổn định về cơ khí để bảo đảm lúc nâng cầu lõi an toàn cũng như chịu được những ứng lực lúc m.b.a bị ngắn mạch.



Hình 2-4. Các phương pháp ép trụ khác nhau.

d) Bảng nêm và ống cách điện cứng với dây quấn //A; b) Bảng đai thủy tinh; c) Bảng bulông xuyên lõi.

Ở các m.b.a điện lực thường dây quấn quấn thành hình trụ, nên tiết diện ngang của trụ sắt có dạng bậc thang đối xứng nội tiếp với hình tròn (hình 2-4). Đường kính d của đường tròn đó gọi là *đường kính trụ sắt*, một tham số quan trọng hàng đầu trong quá trình tính toán về kích thước, kết cấu của m.b.a và sẽ được tìm hiểu kỹ hơn ở dưới.

Số bậc thang trong trụ (đếm trong một phần tư vòng tròn trụ) càng nhiều thì tiết diện trụ càng gần hình tròn, nhưng số tập lá tôn càng tăng, nghĩa là số lượng các lá tôn có kích thước khác nhau càng nhiều làm cho quá trình công nghệ chế tạo, lắp ráp lõi sắt càng phức tạp. Có thể chọn số

bạc thang theo bảng 4 và 5.

Lõi sắt các m.b.a điện lực hiện nay thường dùng tôn silic dày $0,27 \div 0,35$ mm. Trước đây còn dùng tôn dày 0,5 mm, nhưng vì tổn hao sắt tăng lên tới 30 - 40% so với tôn 0,35 mm nên hầu như loại tôn này hiện nay rất ít dùng.

Để bảo đảm được đường kính trụ tiêu chuẩn, kích thước các lá thép của từng tập trong trụ cũng được tiêu chuẩn hóa như đã cho trong bảng 41 (chương 5).

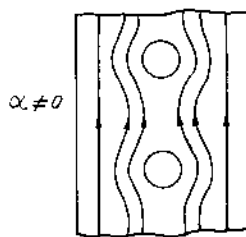
Trụ và gông cần phải được ép thành một bộ bảo đảm chắc chắn lúc nâng cấu lõi sắt cũng như lúc có lực ngắn mạch ở dây quấn tác dụng lên, đồng thời lại giảm được những dao động tự do hay những tiếng kêu, tiếng ù khi máy biến áp vận hành. Nhằm mục đích đó, thường áp lực ép lên những lá thép lớn nhất trong trụ vào khoảng $0,4 \div 0,6$ MPa - đọc là MễgaPascal (hay $40 \div 60$ N/cm²).

Ép trụ có nhiều cách, tùy theo công suất máy biến áp và đường kính trụ d .

- Với máy biến áp công suất đến 630 kVA, $d \leq 0,22$ m dùng nêm gỗ suốt giữa ống giấy bakelit với trụ hay với cuộn dây HA.

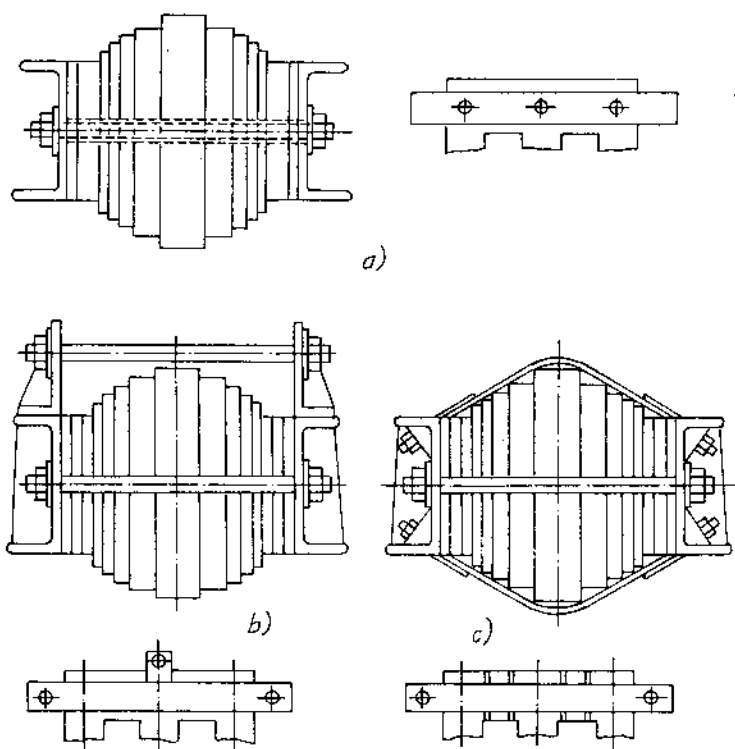
- Với máy biến áp công suất từ 1000 kVA trở lên, $d > 0,22$ m thì phải dùng phương pháp ép bảo đảm hơn như dùng đai thép hay băng vải thủy tinh. Theo chiều cao trụ, cứ khoảng 0,12 ÷ 0,25 m bố trí một đai (hình 2-4b). Nếu dùng đai thép phải có lót cách điện với lõi và không được tạo thành mạch vòng kín. Để tiến hành đai ép được trụ sắt thì trước đó phải ép trụ trên bộ đồ gá bằng máy ép với lực ép khoảng 0,4 đến 1,0 ÷ 2,0 MN.

Trước đây các m.b.a làm bằng tôn cán nóng nên có thể ép trụ bằng bulông xuyên trụ (hình 2-4c). Phương pháp này rõ ràng là không tốt vì lực ép phân bố không đều làm lõi sắt có khuynh hướng "xòe nan quạt" ở các mép lá thép và nhất là đối với tôn cán lạnh do dẫn từ không đẳng hướng thì vì phải đục lỗ xuyên bulông nên các đường sức từ lúc đi qua phần có lỗ đục phải đổi hướng (hình 2-5), sẽ làm tăng suất tổn hao tác dụng và phản kháng trong lõi sắt lên. Mặt khác việc đục lỗ làm lá thép bị hóa cứng, giảm phẩm chất từ tính.



Hình 2.5. Đường sức từ khi lá tôn có đục lỗ

Ép gông trước đây đối với máy biến áp làm bằng tôn cán nóng thường dùng xà ép với cách xiết bulông xuyên qua gông có lót cách điện như ở



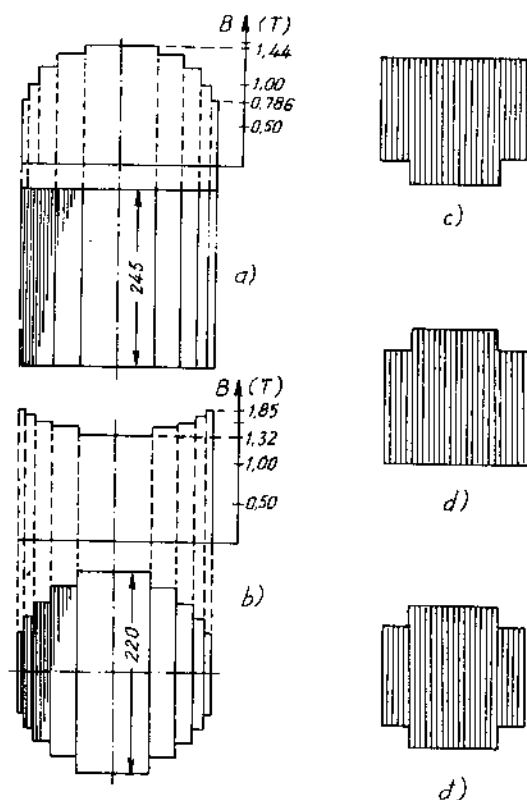
Hình 2-8. Các phương pháp ép gông bằng xà ép gông
a) Bulông xuyên lõi; b) Bulông ngoài lõi; c) Bulông và đai ôm gông

hình 2-6a. Nhưng kết cấu này cũng không hợp lý như đã trình bày với ép trụ, nhất là đối với tôn cán lạnh. Vì vậy người ta dùng xà ép với bulông xiết ra phía ngoài gông (hình 2-6b) đối với các m.b.a công suất dưới 6300 kVA hay có thể dùng những đai thép nửa vòng trên và dưới (đai bán nguyệt), có đầu vít vào xà ép (hình 2-6c) đối với các m.b.a công suất từ 1000 kVA trở lên.

Xà ép gông trên và dưới được liên kết với nhau bằng những bulông thẳng đứng thường chạy dọc cửa sổ lõi sắt giữa hai cuộn dây. Để hệ thống xà sắt đó không tạo thành mạch từ kín qua các đai ép gông thì giữa xà ép với gông cũng như giữa các đai thép với gông phải lót bằng những đệm caotôn cách điện một cách cẩn thận. Nhiều năm trước đây, đối với tôn cán nóng để giảm bớt quá trình công nghệ gông từ, tiết diện gông không làm nhiều bậc mà có khuynh hướng làm đơn giản hơn. Hoặc là hình chữ nhật (hình 2-7a), hình chữ T thuận (hình 2-7c) hình chữ T ngược (hình 2-7d)

hoặc hình chữ thập (hình 2-7*d*). Nhưng những tiết diện gông hình dáng đó của chúng thật ra đều không hợp lý vì sự phân bố không đều từ cảm giữa các tiết diện trụ và gông trong cùng một tập lá thép. Nguyên nhân là vì, như ta đã biết từ thông trong trụ và gông bằng nhau nên tiết diện trụ và gông phải bằng nhau, do đó muốn làm tiết diện gông đơn giản (giả sử lấy tiết diện hình chữ nhật làm thí dụ) thì rõ ràng tiết diện các tập lá thép ở gông càng nhỏ dần vào giữa so với các tập lá thép tương ứng ở trụ. Từ thông trong các tập lá thép này không dễ đi sang được các tập lá thép khác vì có cách điện lá và khe không khí, nên chỉ chạy trên cùng tập với nhau giữa trụ và gông. Như vậy từ cảm trụ sẽ giảm nhỏ ở những

tập lá thép giữa và tăng ở những tập lá thép ngoài biên; còn ở gông thì ngược lại. Trên hình 2-7 có vẽ tỷ lệ sự phân bố của từ cảm trong các tập lá thép khi gông là tiết diện chữ nhật (hình 2-7*a*), còn trụ là hình nhiều bậc (hình 2-7*b*). Sự phân bố từ cảm không đều trong lõi như vậy làm tăng tổn hao và dòng điện không tải nhất là đối với tôn cán lạnh. Người ta tính ra rằng, chẳng hạn đối với gông chữ nhật tổn hao không tải tăng 5÷6%, dòng không tải tăng 12÷15% so với gông có số bậc bằng số bậc ở trụ. Vì vậy tiết diện ngang của gông từ có số bậc bằng số bậc của trụ là tốt nhất. Nhưng để bảo đảm lực ép phân bố đều hơn trên các lá thép gông, thường 2÷3 tập lá thép ngoài cùng của gông được gộp lại làm một cỡ, như vậy số bậc trong gông sẽ ít hơn số bậc trong trụ (hình 2-6) và dĩ nhiên tiết diện của gông sẽ lớn hơn tiết diện của trụ một ít.



Hình 2-7. Các dạng tiết diện gông dùng cho tôn cán nóng với sự phân bố từ cảm trong trường hợp tiết diện gông chữ nhật (*a*) và tiết diện trụ có hình nhiều bậc đối xứng (*b*).

Để chỉ sự gia tăng tiết diện gông so với tiết diện trụ ta dùng hệ số gia tăng tiết diện gông k_g :

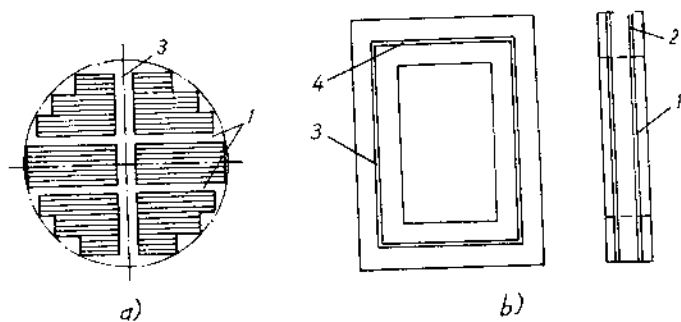
$$k_g = \frac{T_g}{T_l} \quad (2-15)$$

trong đó T_g là tiết diện tác dụng của gông;

T_l là tiết diện tác dụng của trụ.

Bảng 6 giới thiệu cách chọn phương pháp ép trụ, gông, hình dáng tiết diện gông và hệ số gia tăng gông đối với các m.b.a làm bằng tôn cán lạnh. Kinh nghiệm cho thấy nếu trụ và gông ép bằng bulông xuyên qua chúng làm tổn hao không tải tăng lên khoảng $9 \div 25\%$, dòng điện không tải tăng lên $50 \div 200\%$. Trường hợp tiết diện gông làm đơn giản số bậc di so với tiết diện trụ thì tổn hao không tải tăng khoảng $5 \div 6\%$, dòng điện không tải tăng $8 \div 10\%$.

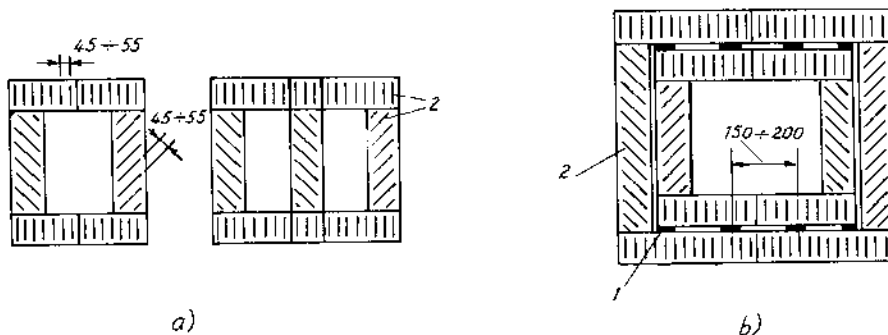
Các m.b.a dung lượng lớn, đường kính d từ 0,36 m trở lên, để đảm bảo làm mát các phần bên trong lõi phải có các rãnh dầu trong trụ và gông. Có loại rãnh dọc và loại rãnh ngang. Rãnh ngang lá thép (hình 2-8a) có hiệu ứng làm nguội tốt hơn vì dầu tiếp xúc được với tất cả các lá thép, nhưng chế tạo phức tạp vì phải tạo thành một hệ thống mạch từ kép (hình 2-8b), cho nên chỉ dùng cho những biến áp có công suất và đường kính lớn và thường cũng không quá một rãnh ngang. Rãnh dọc lá thép (hình 2-8a) chế tạo đơn giản hơn và được dùng phổ biến. Các rãnh dầu phải được thông từ trụ đến gông và khoảng cách từ rãnh này đến rãnh kia vào khoảng $85 \div 100$ mm, còn rãnh ngoài cùng cách biên khoảng 120 mm. Nên bố trí rãnh giữa hai bậc thang vì như vậy ép lõi sẽ dễ dàng và chặt hơn.



Hình 2-8. Các rãnh ngang và dọc trong lõi sắt của m.b.a
a) Tiết diện ngang của trụ có rãnh ngang và rãnh dọc
b) Hệ thống khung mạch từ kép để tạo rãnh ngang
(1, 2 - rãnh dọc; 3, 4 - rãnh ngang).

Có thể tạo các rãnh dầu bằng những thanh sắt nhỏ (đối với rãnh dọc) hay những đệm gỗ (đối với rãnh ngang). Các thanh sắt kê trong rãnh dọc

thường để cách nhau khoảng 45÷55 mm, nhưng trong gông thì đặt thẳng đứng, còn trong trụ thì đặt nghiêng một góc 45° để dầu lưu thông được dễ dàng (hình 2-9a). Các đệm gỗ trong rãnh ngang thường đặt cách nhau khoảng 150÷200mm (hình 2-9b). Kích thước và số rãnh dầu trong trụ m.b.a cho ở bảng 7. Trong bảng này ở phần chú thích có ghi cả những kích thước đường kính tiêu chuẩn của trụ các m.b.a theo tiêu chuẩn quốc tế.



Hình 2-9. Cách tạo rãnh dọc (a) và rãnh ngang (b) trong lõi sắt của m.b.a.
1- Đệm gỗ; 2- Thanh sắt nhỏ

Trong tính toán sơ bộ, để xác định toàn bộ tiết diện trụ thường dùng hệ số *chêm kín* tiết diện hình tròn T_{lr} đường kính d bởi diện tích hình bậc thang T_b :

$$k_c = \frac{T_b}{T_{lr}} = \frac{T_b}{\frac{\pi d^2}{4}}, \quad (2-16)$$

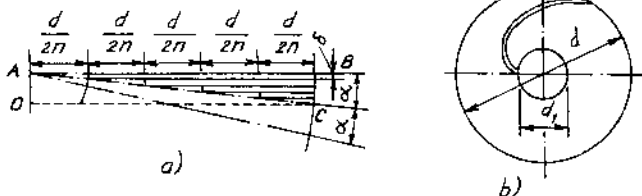
trong đó T_b là diện tích hình bậc thang sau khi đã trừ tiết diện rãnh làm lạnh (nếu có) cùng các chi tiết máy chiếm chỗ khác như đệm cách điện, đai ép,....

Sơ bộ hệ số chêm kín k_c có thể chọn trong bảng 4 và 5. Sau này khi tính toán cuối cùng vẽ mạch từ sẽ tính lại chính xác theo kích thước cụ thể của trụ sắt.

Chú ý: Có trường hợp trụ sắt ghép các lá thép theo sự phối hợp hình tia (hình 2-10a) hay uốn theo đường thân khai (hình 2-10b). Thường trụ và gông ghép riêng và kết lại với nhau bằng phương pháp ghép nối. Lúc đó có thể tính hệ số k_c như sau:

Trường hợp lá thép ghép theo hình tia, có thể xem toàn bộ trụ gồm những hình rế quạt nguyên tố có góc tâm α .

Diện tích mỗi hình rế quạt là **Hình 2-10.** Ghép trụ thép bằng sự phối hợp hình tia (a) và uốn theo đường thân khai (b).



$$T_q \approx \frac{1}{2} \text{ chữ nhật } ABCD = \frac{1}{2} \left(\frac{d}{2} \cdot n\delta \right) = \frac{nd\delta}{4}$$

Trong mỗi hình rế quạt đó thì diện tích không có lá thép là n tam giác vuông, có diện tích:

$$T_0 = n \cdot \frac{d}{2n} \cdot \frac{\delta}{2} = \frac{d\delta}{4}$$

Do đó hệ số chênh kén:

$$k_c = \frac{T_q - T_0}{T_q} = \frac{n - 1}{n} \quad (2-17)$$

Ta thấy k_c không phụ thuộc vào đường kính trụ và chiều dày lá thép. Chẳng hạn $n = 4, 5, 6, 7, 8$ thì $k_c = 0,75; 0,8; 0,833; 0,857; 0,875$.

Trường hợp lá thép uốn theo đường thân khai thì diện tích vòng tròn toàn phần đường kính d vẫn là $T_{tr} = \pi d^2/4$, còn diện tích không có lá thép gồm diện tích vòng tròn ở tâm $T_{o1} = \pi d_1^2/4$ và diện tích các tam giác ng yên tố ở biên vòng tròn có thể tính gần đúng là:

$$T_{o2} = n \cdot \frac{\pi d\delta}{2n} = \frac{\pi d\delta}{2}$$

Do đó hệ số chênh kén sẽ là:

$$\begin{aligned} k_c &= \frac{T_{tr} - (T_{o1} + T_{o2})}{T_{tr}} = \frac{d^2 - (d_1^2 + 2d\delta)}{d^2} = \\ &= 1 - \frac{d_1^2}{d^2} - \frac{2\delta}{d} \end{aligned}$$

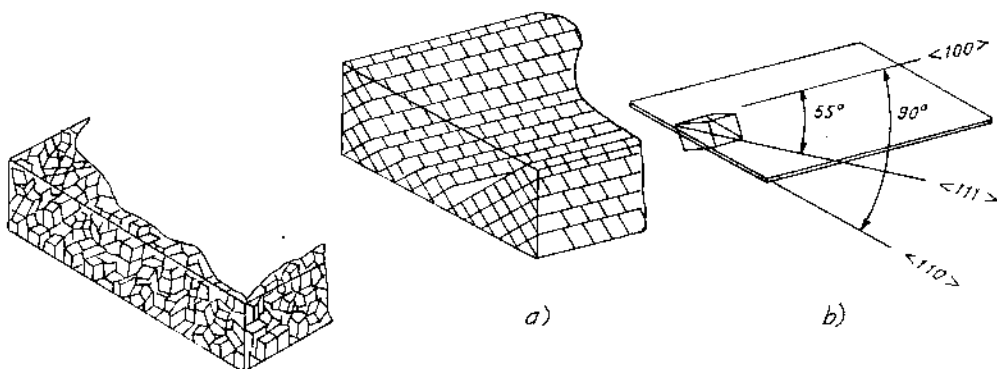
2.2.2. Chọn tôn silic, cách điện của chúng và cường độ từ cảm trong trụ

Vật liệu làm lõi sắt m.b.a thường có hai loại: tôn silic cán nóng và tôn silic cán lạnh.

Nhiều năm trước đây, lõi sắt máy biến áp của ta chủ yếu dùng tôn cán

nóng của Liên Xô 941, 942, dày 0,5 mm và từ cảm trong lõi dưới 1,45 T. Nhưng do suất tổn hao lớn, làm cho tổn hao không tải, dòng không tải tăng lên, và vì từ cảm thấp nên kích thước, trọng lượng lõi sắt lớn lên vì thế gần đây tôn cán nóng không được sử dụng nữa mà đã được thay thế bằng tôn cán lạnh dày 0,35 mm hoặc nhỏ hơn. Dùng tôn mỏng dưới 0,5 mm thì sẽ có nhược điểm là số lần cắt dập, lắp ghép lá thép tăng lên, giá thành về công nghệ lõi tăng lên. Nhưng nếu dùng loại đó với tôn cán lạnh thì do có suất tổn hao thấp nên có thể chọn mật độ từ cảm tăng lên tới $1,6 \div 1,65$ T (đặc biệt có khi đến 1,7 T). Điều này sẽ dẫn tới giảm kích thước, trọng lượng máy, giảm được cả tổn hao không tải, ngắn mạch và dòng điện không tải một cách đáng kể.

Trong chế tạo m.b.a hiện nay ở nước ta chủ yếu dùng tôn cán lạnh của Nga sản xuất với các mã hiệu sau: 3404, 3405, 3406, 3407 và 3408 (bảng 8) hoặc cũng có lúc dùng tôn cán lạnh của Nhật Z11 hay Mỹ M5X, M6X hoặc của Anh, Thụy Điển (bảng 9). Trong mã hiệu thép của Nga, con số thứ nhất chỉ dạng thức cán: 3 được hiểu là cán lạnh định hướng; con số thứ hai 4 chỉ hàm lượng silic cao ($2,8 \div 3,8\%$) tức từ tính tốt, nhưng thép càng giòn; con số thứ ba 0 chỉ sự phân nhóm thép theo suất tổn hao sắt; con số thứ tư chỉ thứ tự mã hiệu thép với số càng lớn thì suất tổn hao sắt càng nhỏ. Tôn cán lạnh chủ yếu được chế tạo thành cuộn có các cỡ 650, 750, 800, 860 và 1000 mm với độ dày lá tôn 0,35; 0,30 và 0,27 mm. Tôn cán lạnh dạng tấm cũng có chế tạo nhưng không nhiều vì phải pha cắt phức tạp hơn và liệu thừa nhiều. Tôn cán nóng có cấu trúc tinh thể rất hỗn độn (hình 2.11) trong khi đó tôn cán lạnh tức tôn được cán ở trạng thái lạnh (nguội) nên các cấu trúc



Hình 2-11. Giản đồ phân bố các tinh thể trong tôn cán nóng

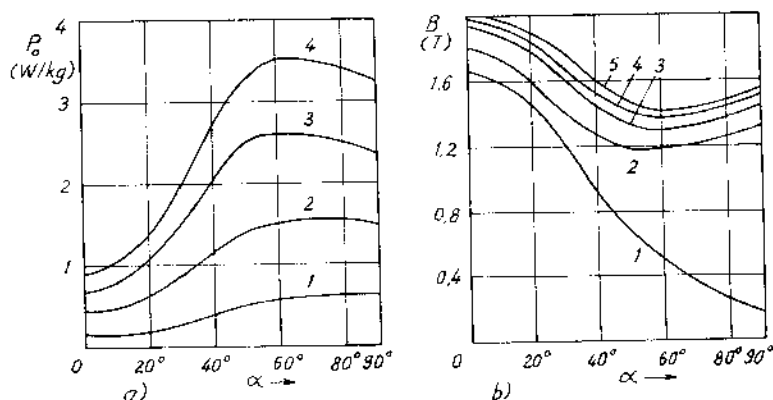
Hình 2-12. Tôn cán lạnh kết cấu vân dẹt

a) Giản đồ phân bố các tinh thể;

b) các hướng tinh thể học

vì tinh thể kim loại được sắp xếp theo kiểu vân dẹt có mép các tinh thể trùng với hướng cán (hình 2-12a).

Vì thế đối với tôn cán nóng việc dẫn từ theo mọi hướng là như nhau - dẫn từ đẳng hướng. Đối với tôn cán lạnh thì theo hướng cán (hướng $\langle 100 \rangle$) từ trở bé nhất, độ từ thẩm lớn nhất, nên dẫn từ tốt nhất, suất tổn hao sắt nhỏ nhất. Lệch hướng cán với $\alpha = 55^\circ$ là hướng từ hóa xấu nhất, tức dẫn từ kém nhất, suất tổn hao sắt lớn nhất (hướng $\langle 111 \rangle$). Lệch hướng cán với $\alpha = 90^\circ$ là hướng từ hóa trung bình (hướng $\langle 110 \rangle$). Như vậy tôn cán lạnh có phẩm chất dẫn từ không đẳng hướng - dẫn từ định hướng. Trên hình 2-13 cho thấy sự biến đổi phẩm chất từ tính của tôn cán lạnh khi góc α thay đổi từ $0 \div 90^\circ$. Rõ ràng ở đây từ tính kém nhất là vùng $\alpha = 50 \sim 60^\circ$, và tốt nhất là lúc $\alpha = 0^\circ$.



Hình 2-13. Ảnh hưởng của góc α đến từ tính của tôn cán lạnh: a) Suất tổn hao sắt khi $f = 50$ Hz và với từ cảm là 0,5 - 1,0 - 1,3 - 1,5 T (đường 1, 2, 3, 4). b) Từ cảm khi H là 80 - 400 - 2000 - 4000 - 8000 A/m (đường 1, 2, 3, 4, 5)

Đối với tôn cán lạnh do tính dẫn từ không đẳng hướng như vậy, nên việc ghép nối giữa trụ và gông không thể thực hiện kiểu mối nối vuông góc như tôn cán nóng được (hình 2-14a). Bởi vì khi nối vuông góc, toàn bộ khối thép ở vùng nối (gạch chéo trên hình vẽ) $\alpha \neq 0$ khá lớn làm tăng tổn hao sắt. Nếu dùng mối nối nghiêng (cắt chéo lá tôn) như ở hình 2-14b thì vùng ghép nối với $\alpha \neq 0$ sẽ nhỏ đi nhiều và tổn hao sắt giảm đáng kể. Do đó dùng mối nối nghiêng, tốt nhất là ở tất cả các góc (hình 1-5d) hay có thể đơn giản hơn chỉ ghép nghiêng ở bốn góc (hình 1-5c) hoặc mối nối hỗn hợp (hình 1-5d). Các lá thép silic trước khi ghép thành lõi m.b.a phải được cách điện ở mặt ngoài. Có thể dùng sơn cách điện hay dán giấy mỏng. Ở vùng nhiệt đới như nước ta vì giấy hút ẩm mạnh làm điện trở cách điện giảm nhiều, nên thích hợp nhất là dùng sơn cách điện loại 302 của Nga phủ một lớp rất

mỏng khoảng $0,01 + 0,02$ mm. Đối với máy biến áp công suất lớn, các lá tôn có thể phủ tới 2 + 3 lớp sơn. Phủ sơn vừa mỏng, hệ số diện dày lại cao, tản nhiệt tốt và có thể tiến hành ủ được sau khi gia công lá thép (cắt, dập) để hồi phục và tang từ tính lên. Còn cách điện bằng giấy thì không có được những ưu điểm vừa kể trên lại không cho phép

ủ sau khi gia công cơ khí các lá tôn, vì vậy cách điện bằng giấy rất ít dùng. Các loại tôn cán lạnh hiện nay còn được tiến hành phủ một lớp chịu nhiệt ở hai mặt lá tôn bằng phương pháp nhiệt thì những ưu điểm trên còn nổi bật hơn nữa.

Khi ghép các lá tôn silic lại với nhau, do giữa các lá tôn có cách điện, đồng thời không thể ghép thật chặt được nên tiết diện thuần thép của lõi không thể bằng tiết diện của lõi đã chiếm chỗ trong không gian, do đó có hệ số diện dày k_d :

$$k_d = \frac{T_t}{T_b} \quad (2-19)$$

trong đó T_t (hay T_g) là tiết diện thuần thép hay tiết diện tác dụng của trụ (hay gông);

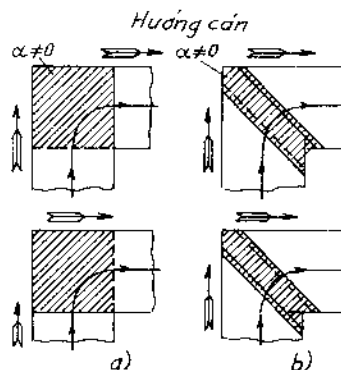
T_b là tiết diện toàn bộ hình bậc thang của trụ (hay gông).

Hệ số k_d phụ thuộc vào vật liệu cách điện, chiều dày lá tôn và kỹ thuật ép chặt lõi, có thể tra ở bảng 10.

Như vậy sau khi ghép và ép lõi sắt ta có một hệ số chung gọi là hệ số lợi dụng k_{ld} của lõi sắt:

$$k_{ld} = k_c \cdot k_d \quad (2-20)$$

Sau khi đã chọn được loại tôn và cách điện của chúng thích hợp, việc chọn trị số từ cảm trong trụ có một ý nghĩa rất quan trọng đối với việc thiết kế m.b.a. Chọn từ cảm nhỏ thì cho phép giảm được tổn hao và dòng điện không tải, nhưng làm trọng lượng thép và dây quấn tăng lên; ngược lại chọn từ cảm lớn sẽ tiết kiệm được vật liệu tác dụng nhưng lại làm tăng tổn hao và dòng điện không tải. Do đó việc chọn từ cảm thích hợp phải được so sánh nhiều mặt và thường làm sao bảo đảm được một sự tối ưu về mặt kinh tế.



Hình 2-14. Mối nối thẳng (a) và chéo (b) giữa trụ và gông

Có thể dùng bảng 11 để tham khảo chọn từ cảm thích hợp.

2.2.3. Quan hệ giữa công suất và kích thước của m.b.a

Công suất và kích thước (theo chiều dài) của m.b.a quan hệ với nhau theo một qui luật nhất định. Ngay trong một dây m.b.a, công suất càng lớn thì kích thước càng lớn. Khi kích thước thay đổi, trọng lượng máy sẽ thay đổi, tổn hao công suất trên đơn vị trọng lượng,... cũng thay đổi. Sau đây ta sẽ biểu thị những mối quan hệ đó. Để đơn giản ta giả thiết rằng trong phạm vi một dây công suất biến áp, tỷ số giữa các kích thước dài là không đổi, nghĩa là tất cả các m.b.a trong cùng một dây công suất đã cho sẽ có hình dáng hình học giống nhau; ta cũng cho rằng tải điện từ của vật liệu tác dụng tức mật độ dòng điện trong dây quấn và từ cảm trong lõi sắt là như nhau.

Ta đã biết công suất trên một trụ của m.b.a là:

$$S' = U.I,$$

trong đó U là điện áp của dây quấn trên một trụ;

I là dòng điện tương ứng.

Nếu thay $U = u_v.w$ và $I = \Delta.T$ với u_v là điện áp của một vòng dây, w là số vòng dây của trụ, Δ là mật độ dòng điện trong dây quấn, T là tiết diện của một vòng dây, ta có:

$$S' = u_v w \Delta T.$$

Sau đó nếu thay $u_v = 4,44 f B_t T_1$, trong đó B_t là từ cảm trong trụ (tính bằng T); $T_1 = \pi d^2 k_{ld}/4$ là tiết diện tác dụng của trụ (m^2), ta được:

$$S' = (1,11 \pi f k_{ld}) (B_t \Delta) (d^2 w T).$$

Nếu m.b.a có số trụ tác dụng là t thì công suất sẽ là:

$$S = t S' = k (d^2 w T),$$

trong đó k là một hằng số.

Xem tích số wT là diện tích tiết diện của tất cả các vòng dây thì tích số đó sẽ tỷ lệ với bình phương của kích thước dài và như vậy công suất sẽ tỷ lệ với lũy thừa bậc bốn của kích thước dài:

$$S \equiv l^4. \quad (2-22)$$

Hay có thể nói kích thước dài của biến áp tăng lên với căn bậc bốn của công suất:

$$l \equiv S^{1/4}. \quad (2-23)$$

Điện áp một vòng dây $u_v \equiv d^2 \equiv l^2$, nghĩa là:

$$u_v \equiv S^{1/2}, \quad (2-24)$$

Trọng lượng của vật liệu tác dụng tăng lên tỷ lệ với thể tích tức tỷ lệ với lũy thừa bậc ba của kích thước dài, nên:

$$G \equiv l^3 \equiv S^{3/4}, \quad (2-25)$$

Do đó tiêu hao vật liệu tác dụng trên đơn vị công suất

$$g = \frac{G}{S} = \frac{S^{3/4}}{S} = \frac{1}{S^{1/4}}, \quad (2-26)$$

nghĩa là sẽ giảm xuống khi công suất tăng lên.

Tổn hao công suất trong lõi sắt và dây quấn ΣP khi giữ tải điện từ không đổi sẽ tỷ lệ với thể tích hay trọng lượng máy, nghĩa là:

$$\Sigma P \equiv S^{3/4} \quad (2-27)$$

do đó tổn hao trên đơn vị công suất gọi là suất tổn hao công suất:

$$p = \frac{\Sigma P}{S} \equiv \frac{1}{S^{1/4}} \quad (2-28)$$

Ta thấy suất tổn hao giảm xuống khi công suất biến áp tăng lên và lúc đó hiệu suất biến áp cũng tăng lên.

Bề mặt làm nguội của m.b.a tỷ lệ với bình phương của kích thước dài $M_1 \equiv l^2 \equiv S^{1/2}$, nên tổn hao công suất trên đơn vị bề mặt sẽ là:

$$q = \frac{\Sigma P}{M_1} \equiv \frac{S^{3/4}}{S^{1/2}} = S^{1/4}. \quad (2-29)$$

Từ các biểu thức (2-26) và (2-28) cho thấy: máy biến áp có dung lượng càng lớn thì càng kinh tế vì hao phí vật liệu cho 1 kVA công suất sẽ giảm đi, suất tổn hao công suất giảm đi làm cho hiệu suất m.b.a tăng lên. Nhưng chú ý là lúc đó việc làm nguội m.b.a sẽ phức tạp hơn vì bề mặt làm nguội sẽ giảm đi (biểu thức (2-29)).

Trên thực tế, các m.b.a trong các dây không hoàn toàn bảo đảm tính đồng dạng với nhau nên những biểu thức trên chỉ là gần đúng, tuy nhiên cũng đủ để đánh giá sơ bộ những quan hệ có tính qui luật giữa công suất, tổn hao, trọng lượng và kích thước của chúng. Bảng a dưới đây cho thấy sự biến đổi của trọng lượng vật liệu tác dụng, tổn hao và kích thước của các m.b.a ba pha hai dây quấn dùng dây nhôm khi công suất thay đổi.

Những quan hệ trên có thể giúp cho việc đánh giá một cách kinh tế trong việc sản xuất toàn bộ các cỡ m.b.a cần dùng cho một nước. Việc đánh giá này phải căn cứ vào suất tổn hao vật liệu, suất tổn hao công suất của

các cỡ biến áp để xem nên sản xuất cỡ nào thì có lợi nhất về mặt kinh tế, từ đó định được kế hoạch sản xuất hàng năm các loại máy biến áp thích hợp. Ví dụ ở Nga số liệu thống kê trong những năm gần đây cho thấy sản lượng các cỡ m.b.a và tiêu hao vật liệu tác dụng tương ứng tính theo phần trăm so với tổng, phân bố như ở bảng b.

Bảng a

Các thông số kỹ thuật	Công suất định mức (kVA)		
	63	1000	16000
Cấp điện áp (kV)	10	35	35
Đường kính trụ (m)	0.11	0.22	0.48
Chiều cao dây quấn (mm)	0.395	0.765	1.53
Suất tiêu hao thép (kg/kVA)	2.64	1.28	0.795
Suất tiêu hao kim loại dây quấn (kg/kVA)	0.67	0.325	0.132
Suất tổn hao ngắn mạch (W/kVA)	21.3	11.67	5.61
Suất tổn hao không tải (W/kVA)	4.57	2.06	1.24
β	1.26	1.40	1.46

Bảng b

Công suất (kVA)	CA (kV)	Tổng sản lượng (%)	Kim loại tiêu hao (%)	
			Tôn silic	Kim loại dây quấn
Đến 100	10	23	40,0	43,0
100 - 630				
1000 - 6300	35	5,6	8,0	7,0
63000 - 80000	110	22,0	20,0	20,0
40000 - 1000000	110 - 750	49,4	32,0	30,0
Tổng	-	100	100	100

Từ bảng b cho thấy các m.b.a công suất cỡ 25 - 6300 kVA chiếm khoảng 28,6% tổng sản lượng nhưng chiếm đến gần 50% tiêu hao vật liệu tác dụng, tức tổn hao công suất cũng cỡ đó. Người ta tính ra rằng nếu kể các m.b.a đặc biệt nữa thì hao phí vật liệu tác dụng và tổng tổn hao có thể tới 50%. Vì thế lúc thiết kế các m.b.a cỡ đó cần phải chú ý nhiều tới việc tiết kiệm nguyên vật liệu. Cũng vì thế ở các nước công nghiệp điện lực phát triển có khuynh hướng thiết kế chế tạo nhiều cỡ m.b.a có công suất thật lớn, điện áp thật cao.

2.2.4. Xác định các kích thước chủ yếu của m.b.a

Để xác định được các kích thước chủ yếu của m.b.a, hãy nghiên cứu một m.b.a ba pha hai dây quấn kiểu trụ phẳng, dây quấn đồng tâm (hình 2-15). Các kích thước chủ yếu của m.b.a là:

- Đường kính trụ sắt d .

- Chiều cao dây quấn l , thường hai dây quấn có chiều cao bằng nhau, nếu khác nhau thì lấy giá trị trung bình.

- Đường kính trung bình giữa hai dây quấn hay của rãnh dầu giữa hai dây quấn d_{12} .

Nếu các kích thước này đã được xác định thì hình dáng, thể tích và các kích thước khác như chiều cao trụ sắt l_1 , khoảng cách giữa hai trụ C , ... cũng được xác định.

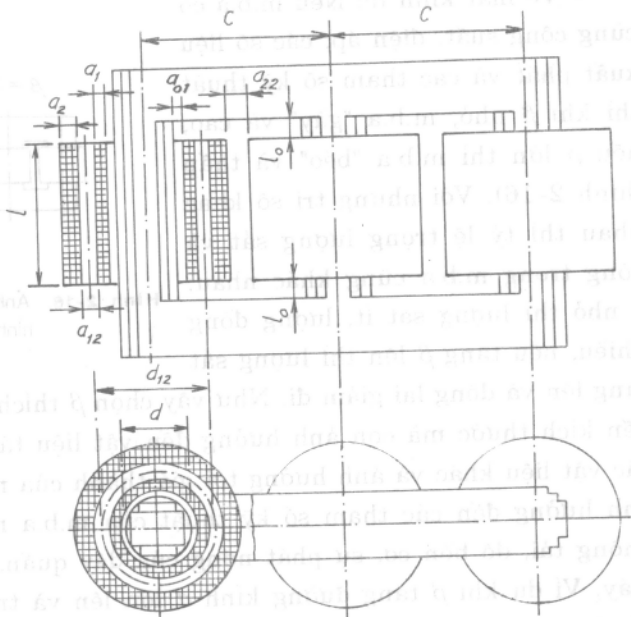
Trong thiết kế b.a thường dùng trị số β để chỉ quan hệ giữa đường kính trung bình của các dây quấn d_{12} với chiều cao l của dây quấn, gọi là *tỷ số kích thước cơ bản* (cũng là quan hệ về chiều rộng và chiều cao máy):

$$\beta = \frac{\pi d_{12}}{l} \quad (2-30)$$

Một cách gần đúng có thể xem $\pi d_{12} \approx l_{\sqrt{}}$ là chiều dài trung bình của một vòng dây của hai dây quấn. Như vậy:

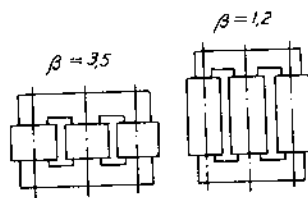
$$\beta = l_{\sqrt{}}/l \quad (2-31)$$

Trị số β thường biến thiên trong một phạm vi rất rộng, từ 1,0 đến 3,5 và nó ảnh hưởng rất rõ rệt tới đặc tính kỹ thuật và kinh tế của m.b.a. Thật vậy:



Hình 2-15. Các kích thước chủ yếu của m.b.a

- Về mặt kinh tế: Nếu m.b.a có cùng công suất, điện áp, các số liệu xuất phát và các tham số kỹ thuật thì khi β nhỏ, m.b.a "gầy" và cao, nếu β lớn thì m.b.a "béo" và thấp (hình 2-16). Với những trị số khác nhau thì tỷ lệ trọng lượng sắt và đồng trong m.b.a cũng khác nhau: β nhỏ thì lượng sắt ít, lượng đồng nhiều, nếu tăng β lên thì lượng sắt



Hình 2-16. Ảnh hưởng của trị số β đối với hình dáng của m.b.a.

tăng lên và đồng lại giảm đi. Như vậy chọn β thích hợp không chỉ ảnh hưởng đến kích thước mà còn ảnh hưởng đến vật liệu tác dụng chế tạo m.b.a, đến các vật liệu khác và ảnh hưởng tới giá thành của nó. Sự thay đổi của β cũng ảnh hưởng đến các tham số kỹ thuật của m.b.a như tổn hao và dòng điện không tải, độ bền cơ, sự phát nóng của dây quấn, kích thước chung của cả máy. Ví dụ khi β tăng đường kính d lớn lên và trọng lượng sắt tăng do đó tổn hao sắt tăng, dòng điện không tải cũng tăng lên. Muốn giữ cho tổng tổn hao không đổi khi β tăng thì trọng lượng đồng phải giảm xuống, nhưng lúc đó sẽ làm cho mật độ dòng điện và lực cơ giới tác dụng lên dây quấn lại tăng lên.

Ta sẽ thiết lập biểu thức tính toán đường kính d của trụ sắt liên quan với trị số β để từ đó phân tích việc chọn β sao cho hợp lý khi thiết kế.

Ta đã biết công suất trên một trụ:

$$S' = UI \cdot 10^{-3} \text{ (kVA)} \quad (2-32)$$

Thành phần phản kháng của điện áp ngắn mạch (theo lý thuyết m.b.a):

$$u_{rx} = \frac{7,9fIw\pi d_{12}a_r k_r}{u_v \cdot l} 10^{-4} (\%)$$

hay:

$$u_{rx} = \frac{7,9fIw \beta a_r k_r}{u_v} 10^{-4} (\%) \quad (2-33)$$

trong đó: $\beta = \frac{\pi d_{12}}{l}$ và $a_r = a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3}$;

k_r là hệ số Rogowski, qui từ trường tản lý tưởng về từ trường tản thực.

Điện áp một vòng dây:

$$u_v = 4,44f \cdot B_l \cdot T_l \quad (2-34)$$

trong đó B_t là từ cảm cực đại trong trụ (T);

$$T_t = k_{ld} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \text{ là tiết diện tác dụng của trụ (m}^2\text{);}$$

k_{ld} là hệ số lợi dụng của trụ sắt.

Thay vào (2-32) trị số I rút từ (2-33) và điện áp $U = u_v \cdot w$ ta có:

$$S' = \frac{u_v \cdot w u_{nx} u_v \cdot 10^4 \cdot 10^{-3}}{7,9 f w \beta a_r k_r} = \frac{(4,44/B_t \cdot \frac{\pi d^2}{4} k_{ld})^2 u_{nx} 10}{7,9 f \beta a_r k_r}$$

Rút gọn và giải ra ta được:

$$d = 0,507 \sqrt[4]{\frac{S' \beta a_r k_r}{f u_{nx} B_t^2 k_{ld}^2}} \quad (2-35)$$

trong đó $0,507 = \sqrt[4]{7,9/(\pi^2 \cdot 1,11^2 \cdot 10)}$.

Trong biểu thức (2-35) có thể chia ra ba loại đại lượng:

Thứ nhất là những số liệu cho trước khi tính toán như S' (kVA), f (Hz), u_{nx} (%).

Thứ hai là các đại lượng phải chọn khi tính toán như β , B_t , k_{ld} .

Thứ ba là các đại lượng được xác định trong quá trình tính toán sau này như a_r , k_r .

Lý thuyết cũng như thực tế cho thấy việc lựa chọn các đại lượng β , B_t , k_{ld} ảnh hưởng rất quyết định tới kết quả tính toán m.b.a về trọng lượng vật liệu lõi sắt, dây quấn; tham số không tải, ngắn mạch và giá thành m.b.a. Phải chọn sao cho m.b.a thiết kế ra có những đặc điểm tối ưu và lại bảo đảm được những tham số đã cho. Khi thiết kế dây thường những đặc điểm tối ưu được xác định cho mỗi loại m.b.a trong dây, vấn đề chính là phải tính toán các chỉ tiêu về tổn hao không tải và ngắn mạch bảo đảm cho m.b.a vận hành kinh tế nhất. Khi thiết kế m.b.a đơn chiếc tức m.b.a đã được xác định trong một dây cho trước thì bài toán có phần đơn giản hơn. Tuy nhiên nếu cho lần lượt nhiều phương án trong từng số liệu, mỗi phương án lại tính đầy đủ cho một m.b.a thì bài toán tổng hợp lại rất phức tạp (ví dụ cho 3 - 4 trị số B_t và 3 - 4 trị số β sẽ có tới 10 - 16 phép tính toán đầy đủ) và nếu rút gọn bớt phương án sẽ không chọn được cách giải tối ưu mà đến người tính toán có kinh nghiệm cũng không có khả năng giải quyết được. Dĩ nhiên bài toán sẽ trở nên đơn giản hơn khi ta sử dụng máy tính. Vấn đề đó sẽ được đề cập trong một giáo trình khác.

Để giảm bớt khối lượng tính toán, tiết kiệm thời gian, không cần phải tính toán chi tiết ngay, nhưng vẫn bảo đảm được một sự chính xác cần thiết, lại đơn giản và nhanh chóng ta phải tìm một phương pháp tính toán tổng quát để có thể quyết định được phương án thích hợp. Phương pháp tìm ra không phải chỉ ra một cách giải đơn thuần mà phải cho thấy toàn bộ các vấn đề mà ta quan tâm như trọng lượng nguyên vật liệu, các tham số kỹ thuật của máy, giá thành máy khi thay đổi những số liệu xuất phát chính và từ đó cho phép chọn được cách giải quyết có lợi nhất, bằng sự đánh giá tính kinh tế của phương án nghiên cứu có kể đến những yếu tố khác như vấn đề công nghệ kết cấu, sử dụng vật liệu sao cho hợp lý, sử dụng các tiêu chuẩn quốc gia v.v... Mặt khác phương pháp tính toán làm sao lại có được tính linh hoạt và thuận lợi, nghĩa là có thể tính được cho cả biến áp ba pha, một pha, cho loại biến áp làm bằng tôn cán nóng hay cán lạnh, làm bằng dây đồng hay dây nhôm, cho biến áp hai dây quấn hay ba dây quấn. Để có được phương pháp tính toán tổng quát đó ta phải tìm những biểu thức liên hệ giữa các đại lượng đã cho (công suất, tần số, cấp điện áp, khoảng cách cách điện chính), những đại lượng chọn khi tính toán (từ cảm, hệ số điền đầy, tỷ số kích thước chủ yếu), các kích thước chủ yếu, giá thành m.b.a cũng như các đặc tính vận hành (không tải, ngắn mạch)...

Như đã phân tích ở trên, đường kính trụ d và tỷ số kích thước β có ảnh hưởng rất quyết định tới các số liệu khác của m.b.a và sự thay đổi chúng cho ta một khái niệm rất rõ ràng về sự thay đổi toàn bộ m.b.a thiết kế. Do đó thường ta chọn đại lượng d và β làm biến độc lập trong những mối quan hệ cần tìm.

Từ biểu thức đường kính d của trụ (2-35) ta có những nhận xét sau:

- Đối với m.b.a thiết kế đã cho số liệu thì S', u_{m}, f đã biết.
- Từ cảm B_l được chọn tương ứng với thép sử dụng. Nếu mã hiệu thép đã chọn, công nghệ chế tạo tương ứng đã xác định thì thường kinh nghiệm cho thấy B_l hầu như không đổi.
- Hệ số lợi dụng k_{ld} đối với một loại kết cấu lõi và vật liệu làm lõi m.b.a đã định cũng xem là không đổi.
- Hệ số Rogovski đối với một dải công suất và điện áp rộng nơi chung thay đổi rất ít, có thể xem là không đổi, thường bằng 0,95. Chiều rộng qui đổi từ trường tần $a_r = a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3}$, trong đó a_{12} đã chọn theo điện áp thử

cuộn CA là không đổi, còn $\frac{a_1 + a_2}{3}$ là một loại kích thước dài nên phụ thuộc công suất m.b.a, một cách gần đúng xem bằng:

$$\frac{a_1 + a_2}{3} \approx k \sqrt[4]{S'} \cdot 10^{-2}, \quad (2-36)$$

trong đó k tra theo bảng 12.

Qua đây ta thấy $\frac{a_1 + a_2}{3}$ gần như không thay đổi theo β . Nhưng thực tế khi β tăng lên thì $(a_1 + a_2)/3$ tăng lên chút ít. Song có thể xem $(a_1 + a_2)/3$ ở trong thành phần a_r thì thực ra lúc β tăng k_r có giảm xuống chút ít nên có thể xem với β tăng lên, tích số $a_r \cdot k_r$ gần như không đổi.

Vậy trong biểu thức đường kính d , chỉ còn β là biến đổi trong một phạm vi rộng quyết định sự thay đổi đường kính d :

$$d = A \cdot x, \quad (2-37)$$

trong đó A là một hằng số:

$$A = 0,507 \sqrt[4]{\frac{S' a_r k_r}{f u_{rx} B_1^2 k_{ld}^2}}, \quad (2-38)$$

$$\text{và} \quad x = \sqrt[4]{\beta}. \quad (2-39)$$

Vấn đề là phải tìm được trị số β tối ưu, nghĩa là có được những đặc tính của m.b.a đã cho, giá thành m.b.a nhỏ nhất, vận hành kinh tế nhất.

Trước hết ta hãy xác định trọng lượng tác dụng của m.b.a.

a) Trọng lượng tác dụng của lõi sắt:

Lõi sắt gồm hai phần trụ và gông. Căn cứ vào kích thước hình học của nó, biết tỷ trọng sắt, có thể tính được trọng lượng.

- Trọng lượng sắt trụ (hình 2-15):

$$\begin{aligned} G_t &= t \cdot T_l \cdot \gamma_{Fe} (l + 2l_o) \\ &= t \frac{\pi d^2}{4} k_{ld} \gamma_{Fe} \left(\frac{\pi d_{12}}{\beta} + 2l_o \right), \end{aligned} \quad (2-40)$$

trong đó t là số trụ tác dụng. Đối với biến áp ba pha ba trụ $t = 3$; đối với biến áp một pha $t = 2$.

γ_{Fe} là tỷ trọng của sắt. Đối với tôn cán lạnh $\gamma_{Fe} = 7650 \text{ kg/m}^3$; đối với tôn cán nóng $\gamma_{Fe} = 7550 \text{ kg/m}^3$.

Thông thường tỷ số giữa d_{12} và d hầu như không thay đổi với một trị số α :

$$d_{12} = a.d. \quad (2-41)$$

Trong tính toán sơ bộ có thể lấy a ở bảng 13.

Đối với m.b.a công suất từ 25 đến 63000 kVA, tôn cán nóng, dây quấn đồng thì $a = 1,3 \div 1,38$; nếu dùng tôn cán lạnh $a = 1,3 \div 1,42$. Trị số a phụ thuộc vào công suất, cấp điện áp cũng như phụ thuộc vào cấp độ tổn hao ngắn mạch P_n và kim loại làm dây quấn. Đối với dây nhôm, a lớn hơn dây đồng. Đối với máy biến áp làm lạnh bằng không khí, công suất 10 ÷ 160 kVA, cấp điện áp 0,5 kV với dây đồng, lấy $a \approx 1,75 \div 1,65$, với dây nhôm $a \approx 1,85 \div 1,75$ công suất 160 ÷ 1600 kVA, điện áp 10 kV, với dây đồng lấy $a \approx 1,7 \div 1,6$, dây nhôm $a \approx 1,8 \div 1,7$.

Thay $d = Ax$, $d_{12} = ad = aAx$ và $\beta = x^4$ vào (2-40) rồi rút gọn lại ta có trọng lượng sắt của trụ:

$$G_1 = \frac{A_1}{x} + A_2 x^2, \quad (2-42)$$

trong đó đối với máy biến áp ba pha, dùng tôn cán lạnh:

$$A_1 = 5,663.10^4 a A^3 k_{ld}, \quad (\text{kg}) \quad (2-43)$$

$$A_2 = 3,605.10^4 A^2 k_{ld} l_v, \quad (\text{kg}) \quad (2-44)$$

Đối với m.b.a một pha có hai trụ tác dụng, các hệ số trong (2-43) và (2-44) tương ứng bằng $3,78.10^4$ và $2,40.10^4$.

- Trọng lượng sắt gông:

Khi tính toán, mỗi gông xem gồm hai bộ phận: Một bộ phận trong phạm vi hai trục của hai trụ biên, có tiết diện T_g với chiều dài $(t - 1)C$ và trọng lượng của bộ phận này ở gông trên và gông dưới là G_g^+ ; một bộ phận gồm 2 nửa góc mạch từ ở phía ngoài hai trụ biên với trọng lượng của gông trên và gông dưới là G_g^- . Như vậy trọng lượng sắt của cả hai gông là :

$$G_g = G_g^+ + G_g^- \quad (2-45)$$

Ở đây trọng lượng sắt gông ở bộ phận thứ nhất là :

$$\begin{aligned} G_g^+ &= 2T_g(t - 1)C\gamma_{Fe} \\ &= 2k_g \frac{\pi d^2}{4} k_{ld} \gamma_{Fe} (t - 1)C \end{aligned} \quad (2-45a)$$

trong đó theo hình 2-15, khoảng cách giữa hai trụ:

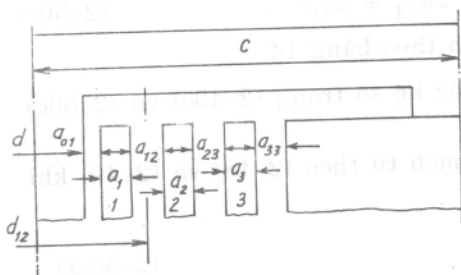
$$C = d_{12} + a_{12} + 2a_2 + a_{22} \quad (2-46)$$

Đối với m.b.a ba dây quấn (hình 2-17):

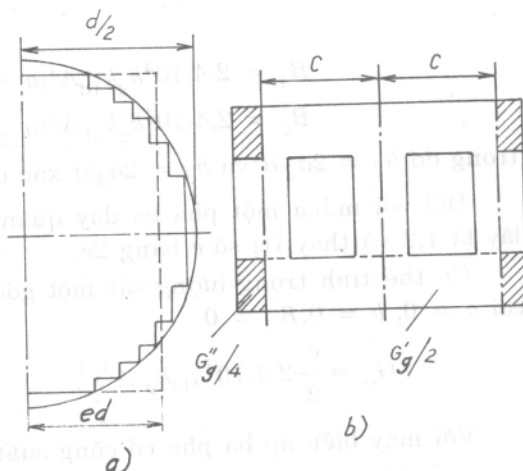
$$C = d_{12} + a_{12} + 2a_2 + 2a_{23} + 2a_3 + a_{33}.$$

Ở đây chiều dày cuộn dây cao áp a_2 có thể tính gần đúng:

$$2a_2 \approx b.d \quad (2-47)$$



Hình 2-17. Vị trí của dây quấn trong của sổ của m.b.a ba dây quấn.



Hình 2-18. Dùng để xác định trị số a trong công thức (2-45).

với trị số b lấy gần đúng theo bảng 14.

Đối với máy biến áp làm nguội bằng không khí công suất từ 10 ÷ 160 kVA, cấp điện áp 0,5 kV, dây quấn đồng $b \approx 0,26$; dây quấn nhôm $b \approx 0,33$. Đối với m.b.a công suất từ 160 ÷ 400 kVA, cấp điện áp 10 kV, dây đồng $b \approx 0,22$, dây nhôm $b \approx 0,28$. Đối với biến áp công suất 630 ÷ 1600 kVA cũng với điện áp đó dây đồng, $b \approx 0,18$; dây nhôm $b \approx 0,23$, còn hệ số tăng cường gông k_g chọn theo chỉ dẫn ở 2.2.1 (bảng 6).

Trọng lượng sắt gông ở bộ phận thứ hai - tức trọng lượng sắt ở 4 nửa góc mạch từ (phần gạch chéo trong hình 2-18b) là:

$$G_g'' = 4T_g ed \gamma_{Fe} = 4T_g e A x \gamma_{Fe}, \quad (2-45, b)$$

trong đó e là một hệ số qui đổi một nửa tiết diện trụ hình bậc thang về hình chữ nhật tương đương với một cạnh là ed (xem hình 2-18a). Đối với máy biến áp ba pha ba trụ công suất ≤ 630 kVA, $e = 0,405$; máy biến áp công suất ≥ 1000 kVA, $e = 0,41$. Nếu gông có tiết diện chữ nhật $e = 0,4$.

Thay trị số C , $2a_2$, a và $d = Ax$, $d_{12} = aAx$ vào (2-45) ta có trọng lượng sắt gông:

$$G_g = B_1 x^3 + B_2 x^2, \quad (2-48)$$

trong đó đối với m.b.a ba pha:

$$B_1 = 2,40 \cdot 10^4 k_g k_{ld} A^3 (a + b + e); \quad (2-49a)$$

$$B_2 = 2,40 \cdot 10^4 k_g k_{ld} A^2 (a_{12} + a_{22}). \quad (2-50a)$$

Đối với biến áp một pha:

$$B_1 = 1,2 \cdot 10^4 k_g k_{ld} A^3 (a + b + 2e); \quad (2-49b)$$

$$B_2 = 1,2 \cdot 10^4 k_g k_{ld} A^2 (a_{12} + a_{22}). \quad (2-50b)$$

Đối với m.b.a ba pha ba dây quấn:

$$B_1 = 2,4 \cdot 10^4 k_d k_g A^3 (a + b_2 + b_3 + e); \quad (2-49c)$$

$$B_2 = 2,4 \cdot 10^4 k_d k_g A^2 (a_{12} + 2a_{23} + a_{33}) \quad , \quad (2-50c)$$

trong đó $b_2 = 2a_2/d$ và $b_3 = 2a_3/d$ xác định theo bảng 14.

Đối với m.b.a một pha ba dây quấn, các hệ số trong (2-49c) và (2-50c) lấy là 1,2 và thay trị số e bằng $2e$.

Có thể tính trọng lượng sắt một góc mạch từ theo (2-48) và (2-49) khi coi $a = 0$, $b = 0$, $B_2 = 0$

$$G_{\alpha} = \frac{e}{2} 2,4 \cdot 10^4 k_d k_g A^3 x^3. \quad (2-50,d)$$

Với máy biến áp ba pha có công suất ≤ 630 kVA:

$$G_{\alpha} = 0,486 \cdot 10^4 k_d k_g A^3 x^3. \quad (2-50,d)$$

Với máy biến áp công suất ≥ 1000 kVA:

$$G_{\alpha} = 0,492 \cdot 10^4 k_d k_g A^3 x^3. \quad (2-50,e)$$

Với máy biến áp tiết diện trụ hình chữ nhật:

$$G_{\alpha} = 0,48 \cdot 10^4 k_d k_g A^3 x^3. \quad (2-50,g)$$

Cũng có thể tính trọng lượng sắt một góc mạch từ G_{α} theo bảng 42a, b với công thức (5-9), (5-10), (5-11) và từ đó có thể tính toán sơ bộ tổn hao không tải P_0 theo (5-23) và công suất từ hóa theo (5-31) ở Chương 5.

Như vậy trọng lượng tác dụng của lõi sắt máy biến áp sẽ là:

$$G_{Fe} = G_l + G_g = \frac{A_l}{x} + (A_2 + B_2)x^2 + B_1 x^3 \quad . \quad (2-51)$$

Những biểu thức xác định trọng lượng sắt của trụ, gông và toàn bộ lõi có thể dùng cho tất cả các m.b.a kiểu trụ một pha, ba pha, hai dây quấn và ba dây quấn, với dây đồng hay dây nhôm (vì kim loại làm dây quấn được kể vào lúc tính a_r và A)⁽¹⁾.

b) Trọng lượng kim loại dây quấn:

Theo chương 4, ta có quan hệ (xem mục 4.1):

$$K \Delta^2 G_{dq} = P_d = k_i P_0, \quad (2-52)$$

trong đó K là hằng số phụ thuộc vào điện trở suất của dây quấn, $K_{Cu} = 2,4 \cdot 10^{-12}$, $K_{Al} = 12,75 \cdot 10^{-12}$.

Δ là mật độ dòng điện (A/m²);

P_d là tổn hao chính trong dây quấn (W);

k_i là hệ số tính đến tổn hao phụ trong dây quấn, trong dây dẫn ra, trong vách thùng và các chi tiết kim loại khác do dòng điện xoáy ($k_i < 1$). Gần đúng có thể tra ở bảng 15.

Do đó trọng lượng kim loại dây quấn:

(1) Ở đây không trình bày cách tính cho mạch từ không gian.

$$G_{dq} = \frac{k_f P_n}{K \Lambda^2} \quad (2-53)$$

Thường khi thiết kế m.b.a, P_n đã biết nên phải xác định mật độ dòng điện theo biểu thức (chương 3):

$$\Delta = 0,746 k_f \frac{P_n u_v}{S d_{12}} \quad (2-54a)$$

Nếu là dây nhôm thì:

$$\Delta = 0,463 k_f \frac{P_n u_v}{S d_{12}} \quad (2-54b)$$

trong đó k_f là hệ số trong biểu thức (2-52) đã nói ở trên.

Trong m.b.a khô vì điều kiện làm nguội khó khăn hơn nên tính trị số Δ nhỏ hơn, thường sau khi tính theo công thức trên phải nhân thêm hệ số 0,95.

Thay vào (2-54a) với $d_{12} = a A x$, $u_v = 4,44 f B_1 T_1$ và $T_1 = \frac{\pi d^2}{4} k_{ld}$ vào (2-53) ta có:

$$G_{dq} = \frac{C_1}{x^2} \quad (2-55)$$

trong đó:

$$C_1 = K'_{dq} \cdot \frac{S a^2}{k_f k_{ld}^2 B_1^2 f^2 u_{nr} A^2} \quad (2-56a)$$

Đối với dây đồng $K'_{dqCu} = 61,1$; đối với dây nhôm $K'_{dqAl} = 30,1$.

Nếu tần số 50 Hz thì:

$$C_1 = K_{dq} \cdot \frac{S a^2}{k_f k_{ld}^2 B_1^2 u_{nr} A^2} \quad (2-56b)$$

Đối với dây đồng $K_{dqCu} = 2,46 \cdot 10^{-2}$; dây nhôm $K_{dqAl} = 1,2 \cdot 10^{-2}$.

Với m.b.a khô, dây đồng $K_{dqCu} = 2,6 \cdot 10^{-2}$, dây nhôm $K_{dqAl} = 1,27 \cdot 10^{-2}$.
 u_r là thành phần tác dụng của điện áp ngắn mạch (%).

Nếu kể cả trọng lượng cách điện của dây quấn và phần dây quấn tăng thêm dùng để điều chỉnh điện áp ở cuộn CA thì trọng lượng toàn bộ dây quấn tính theo (2-55) phải nhân thêm một hệ số $k = 1,03.1,03 \approx 1,06$ đối với dây đồng và $k = 1,1.1,03 \approx 1,13$ đối với dây nhôm.

Sau khi đã tính được trọng lượng lõi sắt và dây quấn ta có thể tính được giá thành vật liệu tác dụng nói chung là

$$C_{ld} = c_{lc}(G_l + G_g) + c_{dq} k G_{dq} \quad (2-58)$$

trong đó c_{lc} và c_{dq} tương ứng là giá 1 kg sắt làm lõi và 1 kg kim loại làm dây quấn biến áp đã kể các chi phí về chế tạo lõi sắt và dây quấn cũng như đã kể các kim loại khác cũng như các phế liệu không dùng được.

Thông thường để dễ so sánh các phương án tính toán khác nhau, người ta biểu diễn giá thành theo đơn vị qui ước (d.v.q.ư) với cách chọn giá thành 1 kg sắt làm đơn vị, như vậy giá thành vật liệu tác dụng của m.b.a sẽ là:

$$C'_{ld} = \frac{C_{ld}}{c_{Fe}} = B_1 x^3 + (B_2 + A_2)x^2 + \frac{A_1}{x} + k_{dq.Fe} k \frac{C_1}{x}, \quad (2-59)$$

trong đó hệ số: $k_{dq.Fe} = \frac{c_{dq}}{c_{Fe}}$

phụ thuộc vào vật liệu làm lõi sắt và kim loại làm dây quấn, có thể tra ở bảng 16.

Đạo hàm (2-59) và cho triệt tiêu: $\frac{dC'_{ld}}{dx} = 0$ sẽ xác định được trị số x ứng với giá thành vật liệu tác dụng cực tiểu từ phương trình

$$x^5 + Bx^4 - Cx - D = 0 \quad (2-60)$$

trong đó $B = \frac{2}{3} \frac{B_2 + A_2}{B_1}$; $C = \frac{A_1}{3B_1}$; $D = \frac{2C}{3B_1} k_{dq.Fe} k$.

Như vậy có thể vẽ đồ thị quan hệ $C'_{ld} = f(\beta)$ và có β ứng với giá thành vật liệu tác dụng nhỏ nhất.

Song chọn β nào cũng cần phải căn cứ vào những tham số kỹ thuật của m.b.a thiết kế. Ta hãy tính các tham số đó.

- Tổn hao không tải của m.b.a được tính theo biểu thức sau:

$$P_o = k'_l(p_l G_l + p_g G_g), \quad (2-6)$$

trong đó p_l, p_g là suất tổn hao trong trụ và gông (theo bảng 44 và 45 chương 5).

k'_l là hệ số phụ, chủ yếu kể đến các đặc điểm của vật liệu làm lõi sắt (xem bảng 43). Đối với tôn cán lạnh do từ tính không phục hồi đầy đủ sau khi ủ, hoặc do có thể có mối ghép vuông góc, hoặc do có sự nắn uốn lá tôn lúc lắp ghép... làm cho suất tổn hao tăng lên, lấy $k'_l \approx 1,25$. Đối với tôn cán nóng khi tiết diện gông chữ nhật lấy $k'_l = 1,05 \div 1,10$; khi tiết diện gông nhiều bậc lấy $k'_l = 1,03 \div 1,05$.

- Thành phần phản kháng của dòng điện không tải có thể tính theo công suất từ hóa Q_o (VA):

$$i_{ox} = \frac{Q_o}{S} \frac{10^2}{10^3} = \frac{Q_o}{10S}, \quad (\%) \quad (2-62)$$

Một cách gần đúng khi tính toán sơ bộ đối với tôn cán lạnh có thể tính Q_o theo biểu thức:

$$Q_o = k''_l(Q_c + Q_f + Q_\delta), \quad (VA) \quad (2-63)$$

trong đó:

k''_t là hệ số kể đến sự phục hồi từ tính không hoàn toàn khi ủ lại lá tôn cũng như sự uốn nắn và ép lõi sắt, có thể lấy $k''_t = 1,20 \div 1,25$.

Q_c là công suất tổn hao chung của trụ và gông:

$$Q_c = q_t G_t + q_g G_g, \quad (\text{VA}) \quad (2-64)$$

q_t, q_g là suất từ hóa ở trụ và gông (VA/kg) xác định theo bảng 49, 50, 51 (chương 5).

Q_t là công suất từ hóa phụ đối với "góc" có mối nối thẳng (hình 2-14a), có thể xác định:

$$Q_t = 40 q_t G_o, \quad (\text{VA}) \quad (2-65)$$

G_o là trọng lượng của một "góc", nếu tiết diện gông là chữ nhật:

$$G_o = 0,48 \cdot 10^4 k_g k_{ld} A^3 x^3, \quad (2-66a)$$

Trường hợp tiết diện gông gồm nhiều bậc thì với công suất đến 630 kVA:

$$G_o = 0,486 \cdot 10^4 k_g k_{ld} A^3 x^3, \quad (2-66b)$$

với công suất từ 1000 kVA trở lên:

$$G_o = 0,492 \cdot 10^4 k_g k_{ld} A^3 x^3. \quad (2-66c)$$

Q_k là công suất từ hóa ở những khe hở không khí nối giữa các lá thép:

$$Q_k = 3,2 q_k T_k, \quad (\text{VA}) \quad (2-67)$$

q_k là suất từ hóa khe hở đối với B_t (VA/m²):

T_k là diện tích tiết diện tác dụng ở khe nối. Nếu mối nối thẳng thì:

$$T_k = T_t = 0,785 k_{lt} A^2 x^2 \quad (\text{m}^2). \quad (2-68a)$$

Nếu mối nối nghiêng:

$$T_k = \sqrt{2} T_t = 1,11 k_{lt} A^2 x^2 \quad (\text{m}^2). \quad (2-68b)$$

Đối với m.b.a làm bằng tôn cán nóng thì công thức tính Q_o đơn giản hơn:

$$Q_o = k'_t (q_t G_t + q_g G_g), \quad (\text{VA}) \quad (2-69)$$

trong đó

k'_t là hệ số kể đến công suất từ hóa trong khe không khí, lấy bằng 1,6 ÷ 1,2 đối với m.b.a công suất từ 25 ÷ 1000 kVA; 1,15 đối với m.b.a từ 1600 ÷ 6300 kVA; 1,2 ÷ 1,25 đối với m.b.a từ 1600 ÷ 6300 kVA; 1,2 ÷ 1,25 đối với m.b.a từ 10000 ÷ 80000 kVA.

Cũng có thể tính sơ bộ công suất từ hóa không tải Q_o theo (5-31) và dòng điện không tải i_o theo (5-32) ở chương 5, nhưng lưu ý rằng trong tính toán sơ bộ lúc chọn phương án có thể coi gần đúng dòng điện không tải $i_o \approx i_{ox}$.

Mật độ dòng điện trong dây quấn theo (2-53):

$$\Delta = \sqrt{\frac{k_t P_n}{K \cdot G_{dq}}} \quad (2-70)$$

Để m.b.a làm việc bình thường, mật độ dòng điện không được lớn quá mức cho phép. Người ta qui định đối với m.b.a dầu $\Delta_{Cu} \leq 4,5 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$, $\Delta_{Al} \leq 2,7 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$ (đối với m.b.a khô tương ứng là $3 \cdot 10^6$ và $2 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$).

Ta đã biết $G_{dq} = C_1/x^2$, vậy nếu kết hợp với qui định về mật độ dòng điện ở trên, từ (2-70) ta có thể suy ra được giới hạn trên của trị số x :

- đối với đồng:

$$x \leq 4,5 \sqrt{\frac{2,4C_1}{k_f P_n}}; \quad (2-71)$$

- đối với nhôm:

$$x \leq 2,7 \sqrt{\frac{12,75C_1}{k_l P_n}}. \quad (2-72)$$

- Dây quấn m.b.a cũng phải chịu được những lực cơ học xuất hiện khi ngắn mạch. Lực hướng kính tác dụng lên một trong hai dây quấn kiểu hình trụ có thể viết (theo chương 4) như sau:

$$F_r = 0,628(i_{\max} w)^2 \beta k_r \cdot 10^{-6}, \text{ (N)}$$

trong đó $i_{\max}$ là trị số tức thời lớn nhất của dòng điện ngắn mạch của một trong hai dây quấn.

w là số vòng dây của dây quấn tương ứng.

Biến đổi biểu thức trên với chú ý:

$$i_{\max} = k_n I; \quad k_n = 1,41 \cdot \frac{100}{u_n} (1 + e^{-\pi u_n / u_{\max}})$$

$$w = U/u_v; \quad u_v = 4,44/B_t \frac{\pi}{4} d^2 k_{ld}$$

và chú ý rằng $d^4 = A^4 \beta = (0,507)^4 \frac{S' a_r k_r}{f u_{\max} B_t^2 k_{ld}^2}$. β thì ta có:

Đối với m.b.a ba pha:

$$F_r = 26 \cdot 10^{-2} \frac{k_n^2 u_{\max} S}{f a_r}; \text{ (N)} \quad (2-73)$$

Đối với b.a một pha:

$$F_r = 39 \cdot 10^{-2} \frac{k_n^2 u_{\max} S}{f a_r}. \text{ (N)} \quad (2-73')$$

Do đó ứng suất kéo tác dụng lên tiết diện sợi dây dẫn

$$\sigma_r = \frac{F_r}{2\pi w T}, \text{ (MN/m}^2\text{)} \quad (2-74)$$

trong đó T là tiết diện một vòng dây của dây quấn (m^2).

Biến đổi (2-74) với F_r từ (2-73) và $w = U/u_v$; $T = I/\Delta$;

$$\Delta_{Cu} = 0,746 \cdot 10^4 \frac{P_n u_v}{S d_{12}} \beta \text{ đối với dây đồng và } \Delta_{Al} = 0,463 \cdot 10^4 \frac{P_n u_v}{S d_{12}}$$

đối với dây nhôm; $d_{12} = aAx$; $u_{\text{TK}} = \frac{7,9fS'\beta a_t k_r}{u_v^2} \cdot 10^{-4}$, ta có:

$$\sigma_r = Mx^3, \quad (2-75)$$

trong đó đối với m.b.a ba pha dây đồng:

$$M_{Cu} = 0,244 \cdot 10^{-6} k_n k_t k_r \frac{P_n}{aA}; \quad (2-76)$$

$$\text{đối với dây nhôm: } M_{Al} = 0,152 \cdot 10^{-6} k_n k_t k_r \frac{P_n}{aA}. \quad (2-76')$$

Đối với m.b.a một pha thì các công thức (2-76) tương ứng thay bằng các hệ số $0,366 \cdot 10^{-6}$ và $0,223 \cdot 10^{-6}$.

Từ biểu thức (2-75) cho thấy, ứng suất kéo tăng lên khi β tăng. Thường giới hạn của $\sigma_r \leq 60 \text{ MN/m}^2$ (hay MPa) đối với dây đồng và $\sigma_r \leq 25 \text{ MN/m}^2$ đối với dây nhôm. Nếu vậy ta lại có thể xác định được trị số tối hạn của x theo σ_r bởi quan hệ sau:

Đối với dây đồng:

$$x \leq \sqrt[3]{\frac{60}{M_{Cu}}}; \quad (2-77)$$

Đối với dây nhôm:

$$x \leq \sqrt[3]{\frac{25}{M_{Al}}}. \quad (2-77')$$

Tùy theo từng cơ m.b.a thiết kế, lần lượt cho β thay đổi trong một phạm vi thích hợp (xem bảng 17) và tính các đại lượng cần quan tâm đã đề cập ở trên như: trọng lượng và giá thành vật liệu tác dụng G_{td} , C'_{td} , tổn hao và dòng điện không tải P_{00} , i_{00} (%); mật độ dòng điện và ứng suất kéo của dây quấn Δ , σ_r .

Từ đó vẽ đường biểu diễn các quan hệ tương ứng theo β . Để dễ so sánh có thể vẽ biểu đồ phối hợp các đặc tính kỹ thuật và kinh tế như hình 2-19. Biểu đồ này là ví dụ tính toán một m.b.a ở cuối sách, trên đó đã ghi sẵn những trị số với các phương án tính toán và đường kính d tiêu chuẩn trong phương án đó. Phần gạch chéo là những giới hạn đã được định trước theo tiêu chuẩn qui định hay theo những số liệu xuất phát ban đầu. Đối với giá thành vật liệu tác dụng thì phạm vi có thể chấp nhận được thường có độ chênh lệch khoảng trên dưới 1% so với giá thành cực tiểu. Như vậy có thể hoàn toàn xác định được trị số β tối ưu vừa thỏa mãn yêu cầu về giá thành vật liệu tác dụng nhỏ nhất vừa bảo đảm các đặc tính kỹ thuật. Trường hợp không đồng thời thỏa mãn được các yêu cầu đó có thể dựa vào yêu cầu cụ

thể, những đặc điểm của nhiệm vụ thiết kế để chọn được trị số β thích hợp. Trị số β chọn ra có thể so sánh với trị số β tối ưu đã ghi trong bảng 17. Trường hợp cần tính nhanh và không yêu cầu so sánh phương án để chọn β một cách chặt chẽ có thể dùng bảng này để quyết định trị số β cho việc thiết kế m.b.a đơn chiếc được. Nhưng cần chú ý như đã phân tích trên cho thấy, trị số β lớn thường làm tăng trọng lượng tác dụng, tổn hao không tải, giá thành hệ thống làm lạnh, vật liệu làm thùng dầu cũng như các chi tiết khác, do đó trọng lượng tổng của máy tăng lên. Bởi thế khi chọn β cuối cùng trên thực tế có khuynh hướng lấy giá trị nhỏ.

Như vậy sau khi đã chọn được β thích hợp phải tính lại các kích thước chủ yếu:

a) Đường kính trụ sát theo (2-35):

$$d = 0,507 \sqrt[4]{\frac{S' a_f \beta k_r}{f u_{\text{m}} B_1^2 k_{\text{ld}}^2}}$$

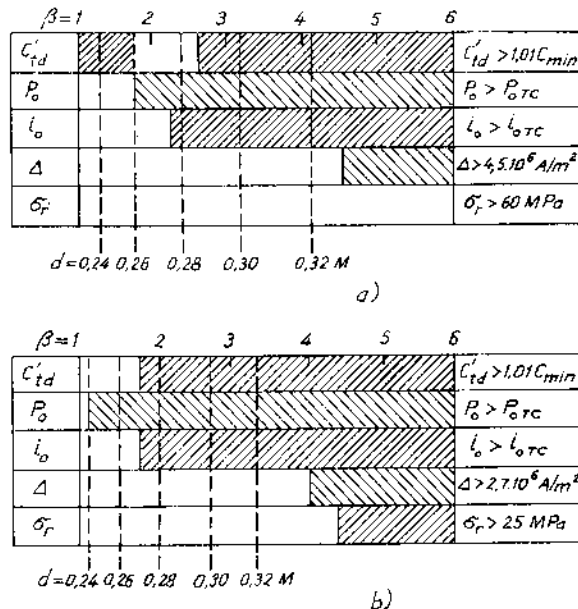
Khi tính toán theo biểu thức này cần lưu ý mấy điểm sau:

- Công suất của dây quấn trên một trụ.

$$S' = S/t, \text{ (kVA)}$$

Nếu là m.b.a ba dây quấn thì S là công suất lớn nhất trong ba cuộn, đối với m.b.a tự ngẫu thì S là công suất tính toán (hay thiết kế).

- Chiều rộng qui đổi về rãnh từ tần lý tưởng về từ tần thực $a_f = a_{12} + (a_1 + a_2)/3$, trong đó a_{12} tra theo điện áp thử cuộn CA (bảng 19, chương 3). Đối với m.b.a khô thì dùng bảng 35; $(a_1 + a_2)/3$ sơ bộ dùng công thức (2-36). Nếu là m.b.a ba dây quấn cũng dùng biểu thức như vậy nhưng hiểu là đối với hai dây quấn trong cùng HA và TA. Tất nhiên trị số $(a_1 + a_2)/3$ tìm theo công thức đó chỉ là gần đúng, những tính toán về sau phải căn cứ vào kích thước cụ thể của



Hình 2-19: Ví dụ một biểu đồ dùng để xác định trị số β tối ưu của m.b.a 1600/35 khi thiết kế dây quấn bằng đồng (a) và khi thiết kế dây quấn bằng nhôm (b).

dây quấn đã thiết kế.

- Hệ số Rogovski k_r gần đúng có thể lấy $k_r \approx 0,95$.

- Với máy biến áp công suất từ 10000 kVA trở lên vì u_r quá nhỏ có thể xem $u_x \approx u_n$. Đối với m.b.a ba dây quấn thì lấy $u_x \approx u_n$ của hai dây quấn trong cùng (HA và TA). Đối với m.b.a tự ngẫu thì dùng trị số điện áp ngắn mạch tính toán u_{nt} .

- Hệ số lợi dụng lõi sắt $k_{ld} = k_l k_d$ chọn theo những phân tích đã trình bày ở §2.2 (bảng 4, 5 và 10).

Đường kính d tính ra lấy tròn theo đường kính tiêu chuẩn d_{dm} gần nhất (đường kính tiêu chuẩn tra sát cho trong bảng 7- xem phần chú thích). Với d_{dm} tính lại trị số β_{dm} tương ứng:

$$\beta_{dm} = \left(\frac{d_{dm}}{A} \right)^4. \quad (2-76)$$

Nếu trị số β chọn ở trong bảng 17 thì:

$$\beta_{dm} = \beta \left(\frac{d_{dm}}{d} \right)^4. \quad (2-76')$$

b) Đường kính trung bình của rãnh dầu giữa hai dây quấn:

$$d_{12} = d_{dm} + 2a_{01} + 2a_1 + a_{12}, \text{ (cm)} \quad (2-77)$$

hay $d_{12} = a.d_{dm}$ [xem (2-41)].

Trong (2-77), khoảng cách a_{01} và a_{12} tra ở bảng 18 và 19, còn bề dày cuộn HA sơ bộ có thể tính:

$$a_1 \approx k_1 \frac{a_1 + a_2}{3} \quad (2-78)$$

với $(a_1 + a_2)/3$ xác định theo (2-36); $k_1 = 1,1$ đối với m.b.a công suất 25 ÷ 630 kVA; 1,4 đối với m.b.a từ 1000 ÷ 6300 kVA khi điện áp dây quấn CA là 10 kV và 10000 ÷ 80000 kVA khi điện áp 35 kV; 1,05 ÷ 1,1 đối với các biến áp điện áp cuộn CA 110 kV.

c) Chiều cao dây quấn:

$$l = \pi d_{12} / \beta_{dm} \quad (2-79)$$

Cuối cùng cần tính thêm các đại lượng sau:

- Tiết diện thuần sắt của trụ:

$$T_l = k_d T_b = k_d k_c \frac{\pi d_{dm}^2}{4}; \text{ (m}^2\text{)} \quad (2-80)$$

- Điện áp một vòng dây:

$$u_v = 4,44 f B_l T_l; \text{ (V)} \quad (2-81)$$

Những đại lượng tính toán trên chỉ là sơ bộ nhưng rất cần cho những tính toán về sau và chúng sẽ được tính lại chính xác sau khi m.b.a đã được thiết kế cụ thể.

TÍNH TOÁN DÂY QUẮN M.B.A

§3.1. CÁC YÊU CẦU CHUNG ĐỐI VỚI DÂY QUẮN

Các yêu cầu chung có thể chia làm hai loại: yêu cầu về vận hành và yêu cầu về chế tạo.

1. Yêu cầu về vận hành gồm các mặt điện, cơ và nhiệt.

a) *Về mặt điện*: Khi vận hành thường dây quấn m.b.a có điện áp, do đó cách điện của m.b.a phải tốt, nghĩa là phải chịu được điện áp làm việc bình thường và quá điện áp do đóng ngắt mạch trong lưới điện hay do sét (quá điện áp thiên nhiên) gây nên. Ảnh hưởng của quá điện áp do đóng ngắt mạch với điện áp làm việc bình thường, thường chủ yếu là đối với *cách điện chính* của m.b.a, tức là cách điện giữa các dây quấn với nhau và giữa dây quấn với vỏ máy; còn quá điện áp do sét đánh lên đường dây thường ảnh hưởng đến *cách điện dọc* của m.b.a, tức là giữa các vòng dây, lớp dây hay giữa các bánh dây của từng dây quấn.

b) *Về mặt cơ học*: Dây quấn không bị biến dạng hoặc hư hỏng dưới tác dụng của lực cơ học do dòng điện ngắn mạch gây nên.

c) *Về mặt chịu nhiệt*: Khi vận hành bình thường cũng như trong trường hợp ngắn mạch, trong một thời gian nhất định, dây quấn không được có nhiệt độ cao quá. Vì lúc đó chất cách điện sẽ bị nóng quá mà chóng hư hỏng hoặc bị già hóa làm cho nó mất tính đàn hồi, hóa giòn và mất tính chất cách điện. Vì vậy khi thiết kế phải bảo đảm sao cho tuổi thọ của chất cách điện từ 15 đến 20 năm.

2. Yêu cầu về chế tạo:

Yêu cầu làm sao kết cấu đơn giản, tốn ít nguyên liệu và nhân công, thời gian chế tạo ngắn và giá thành hạ nhưng vẫn bảo đảm được các yêu cầu về mặt vận hành.

Như vậy yêu cầu đối với việc thiết kế m.b.a là:

- Phải có quan điểm toàn diện; kết hợp một cách hợp lý giữa hai yêu cầu về chế tạo và vận hành để sản phẩm có chất lượng tốt với giá thành hạ.
- Phải chú ý đến kết cấu và cách chế tạo dây quấn sao cho thích hợp

với trình độ kỹ thuật của cơ sở sản xuất.

- Phải nắm vững những lý luận có liên quan đến dây quấn CA, vật liệu cách điện.

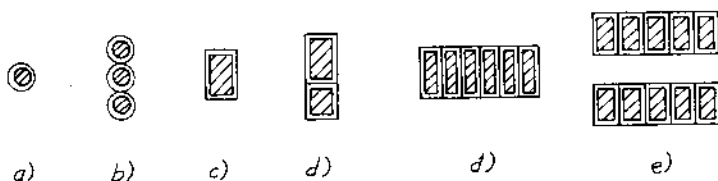
Quá trình thiết kế dây quấn có thể tiến hành theo ba bước:

- Chọn kiểu và kết cấu dây quấn,
- Tính toán, sắp xếp và bố trí dây quấn,
- Tính toán các đặc tính của dây quấn m.b.a (hay các tham số của chúng).

§3.2. CÁC KIỂU VÀ KẾT CẤU DÂY QUẤN

3.2.1. Các chi tiết kết cấu của dây quấn

- *Vòng dây*: Phần tử cơ bản của dây quấn là vòng dây. Tùy theo dòng điện tải bé hay lớn mà vòng dây có thể gồm một hay nhiều dây tròn ghép lại hoặc một hay nhiều dây bẹt (dây chữ nhật) ghép lại. Hình 3.1 vẽ một số tiết diện vòng dây khác nhau khi có dòng điện tải khác nhau.



Hình 3-1. Một số tiết diện ngang khác nhau của một vòng dây quấn của m.b.a.

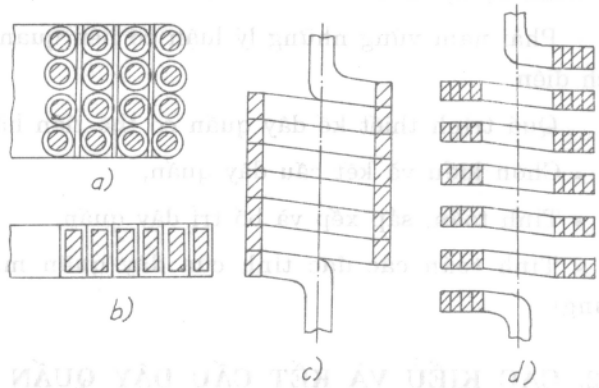
- *Lớp*: Nhiều vòng quấn trên một mặt trụ gọi là lớp. Có loại lớp gồm hàng chục đến hàng trăm vòng; có loại lớp chỉ có vài hoặc một vòng.

- *Bánh dây* (hay *vành dây* hoặc *galet*): Nhiều vòng dây quấn liên tiếp tạo thành một khối hay nhiều khối tách rời nhau gọi là bánh dây. Một dây quấn có thể gồm vài hay một số bánh dây. Bánh dây có thể gồm một số lớp hay chỉ có một lớp vòng dây. Hình 3-2 là một vài kiểu bánh dây.

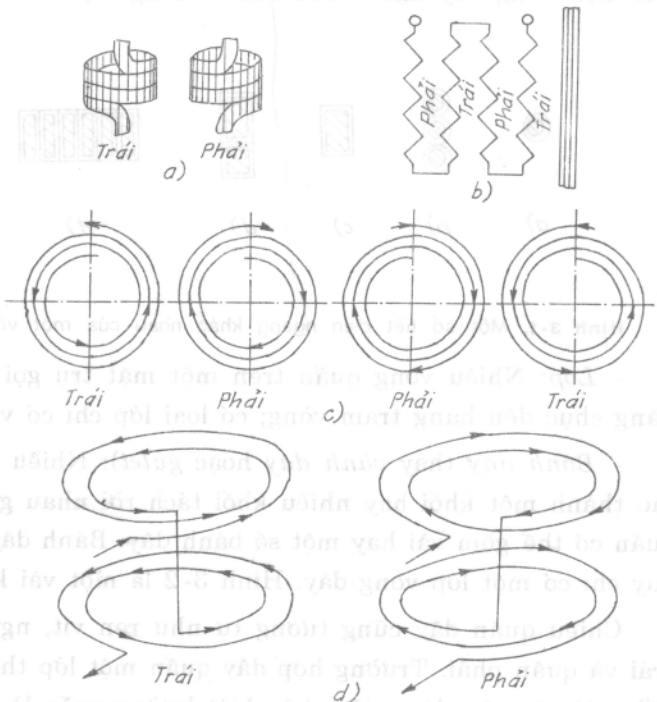
Chiều quấn dây cũng tương tự như ren vít, người ta chia ra loại quấn trái và quấn phải. Trường hợp dây quấn một lớp thì chiều quấn không thay đổi suốt cả cuộn dây, việc phân biệt hướng quấn là trái hay phải không khó khăn gì, giống như qui ước vẽ ren vít (hình 3-3a).

- Khi dây quấn nhiều lớp thì hướng quấn các lớp sẽ lần lượt thay đổi

nhau từ trong ra ngoài (hình 3-1b). Người ta qui ước gọi chiều quấn của dây quấn là chiều của lớp đầu tiên trong cùng. Trường hợp dây quấn kiểu bánh, thường quấn theo đường xoay ốc phải. Lúc đó chiều quấn không những phụ thuộc vào cách qui ước đầu nào là đầu và cuối bánh dây mà còn phụ thuộc vào vị trí quan sát bánh dây. Ví như trên hình 3-3c cho thấy nếu thay đổi qui ước đầu và cuối hay thay đổi vị trí quan sát thì bánh dây quấn "trái" sẽ thành "phải" hay ngược lại. Về mặt công nghệ lắp ráp dây quấn như vậy rõ ràng không được. Trong trường hợp này người ta qui ước chiều quấn dây cho từng cặp dây quấn một. Các đầu và cuối coi là ở vòng ngoài cùng, chuyển tiếp giữa hai bánh thực hiện ở vòng trong cùng và lúc đó phân biệt quấn trái hay phải như hình 3-3d. Phân biệt được chiều quấn rất quan trọng khi tiến hành lắp ráp dây quấn m.b.a, vì nối mới đúng và mới



Hình 3-2. Các loại bánh dây khác nhau.
a) Bánh 16 vòng; b) Bánh 6 vòng; c) Bánh 7 vòng;
d) Bánh 6 vòng (4 sợi song song).



Hình 3-3. Dây quấn quấn trái và quấn phải
a) Hình ống một lớp; b) Hình ống nhiều lớp;
c) Bánh dây đơn của dây quấn kiểu bánh dây;
d) Bánh dây kép của dây quấn kiểu bánh dây.

bảo đảm được tổ nối dây đã cho. Trên thực tế để thuận tiện cho công nhân thường làm thuận tay phải, các dây quấn hay quấn trái.

3.2.2. Cách điện trong m.b.a

Muốn m.b.a làm việc liên tục thì điều quan trọng là dây quấn và các bộ phận nối với nó là các phần dẫn điện cần phải được cách điện chắc chắn đối với các bộ phận nối đất của m.b.a như lõi sắt, xà ép, vỏ máy... Cách điện của m.b.a phải bảo đảm độ bền về điện, nhiệt, cơ và không chịu những tác động hóa học khi vận hành. Người ta tính ra rằng giá thành cách điện trong m.b.a chiếm tới 1/4 giá thành toàn bộ m.b.a. Việc lựa chọn đúng các vật liệu, các kết cấu và các khoảng cách cách điện có ý nghĩa rất quan trọng trong thiết kế m.b.a.

1. Các vật liệu cách điện dùng trong m.b.a:

Dưới đây sẽ kể đến một số vật liệu cách điện thường dùng trong m.b.a và sơ lược những đặc tính chủ yếu của chúng.

a) *Giấy cáp*: Thường có các loại giấy cáp dày 0,08; 0,12; 0,17 mm. Trong m.b.a thường dùng loại dày 0,12 mm để bọc quanh các sợi dây đồng; ngoài ra giấy cáp còn dùng làm cách điện giữa các lớp dây quấn hay cắt thành băng nhỏ để cách điện cho các dây dẫn ra và tăng cường cách điện cho các vòng dây đầu của cuộn CA từ 6; 10 đến 500 kV. Giấy cáp là một trong những chất cách điện chính trong m.b.a. Mã hiệu giấy cáp của Nga là K-08, K-12, K-17.

b) *Giấy điện thoại*: Mỏng hơn giấy cáp (thường dày $0,05 \pm 5\%$ mm) thường dùng làm cách điện giữa các lớp, cách điện cho các dây dẫn ra của một số dây dẫn tròn. Mã hiệu giấy điện thoại của Nga là KT-50.

c) *Vải sơn*: Máy biến áp dầu thường dùng loại vải hay lụa đã qua 3 lần tẩm dầu sơn có chiều dày 0,17; 0,20; 0,24 mm. Mã hiệu vải sơn của Nga là IXMM. Vải sơn dưới dạng băng nhỏ (rộng $2 \div 3$ cm) dùng để quấn quanh các dây dẫn ra hay dùng ở các mối hàn, chỗ uốn cong. Tuyệt đối không dùng vải sơn loại đen vì nó tẩm hắc ín, khi ngâm trong dầu hắc ín sẽ bị hòa tan. Ngoài ra còn có vải thủy tinh tẩm sơn silic hữu cơ có cấp chịu nhiệt cao được sử dụng trong m.b.a khô.

d) *Băng vải*: Có hai loại: Loại sợi chéo dày $0,54 \pm 0,02$ mm và loại sợi thẳng dày $0,28 \pm 0,02$ mm, rộng từ $1,5 \div 5$ cm. Trong m.b.a dùng băng vải này để giữ chặt các vòng dây của dây quấn, hay bọc chặt cách điện của dây quấn, không nhằm để cách điện.

d) *Bìa cách điện*: Bìa cách điện được chế tạo thành từng tấm có nhiều cỡ chiều dày 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 mm hay cũng có loại chế tạo thành từng cuộn rộng tới 1000 mm, dày 0,5 mm. Thường dùng làm tấm đệm giữa các bánh dây, giá đỡ cách điện, bức vách tấm chắn, vòng đệm hay ống cách điện giữa các dây quấn. Với các m.b.a dầu điện áp 110 và 220 kV nên dùng bìa cách điện mã hiệu AM, A hay B; với các m.b.a khô hay dùng bìa có mã hiệu ΘB .

e) *Thành phẩm giấy bakêlit*: Thường làm ống cách điện, bề dày (cả hai phía) 2, 4, 6, 8 mm và hơn nữa để làm cách điện các dây dẫn ra. Các loại ống lớn dùng để cách điện giữa các dây quấn hay giữa dây quấn và trụ sắt.

g) *Ghêlinac*: Chế tạo bằng giấy bakêlit tấm sơn ép chặt ở nhiệt độ cao làm thành phiến có chiều dày khác nhau, có độ bền cơ và điện cao, thường dùng để làm bảng đầu nối hay bảng điều chỉnh điện áp.

h) *Gỗ*: Thường dùng là gỗ dẻ trắng làm que nêm (căn dọc) để lồng dây quấn và cách điện hình trụ hay làm que nêm giữa các lớp dây quấn nếu $U \leq 10$ kV, cũng có thể dùng để nêm giữa lõi sắt và dây quấn HA. Gỗ dẻ đỏ dùng làm kẹp dây dẫn ra, làm dầm ép gông. Chú ý là các loại gỗ có nhựa như thông, sồi... không dùng trong m.b.a dầu được.

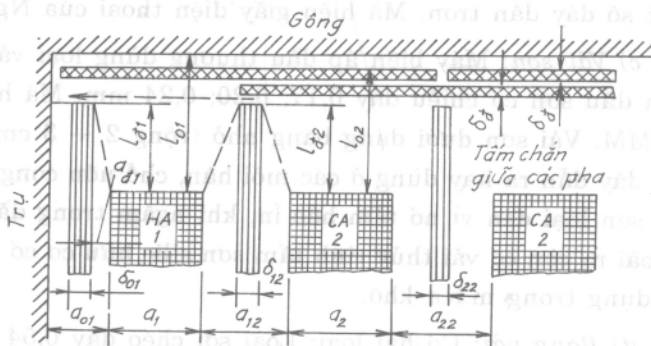
i) *Sứ*: Dùng trong m.b.a dầu để xuyên dây dẫn vào.

k) *Dầu máy biến áp*: Dùng làm cách điện và làm nguội máy biến áp.

2. Các kết cấu cách điện và khoảng cách cách điện:

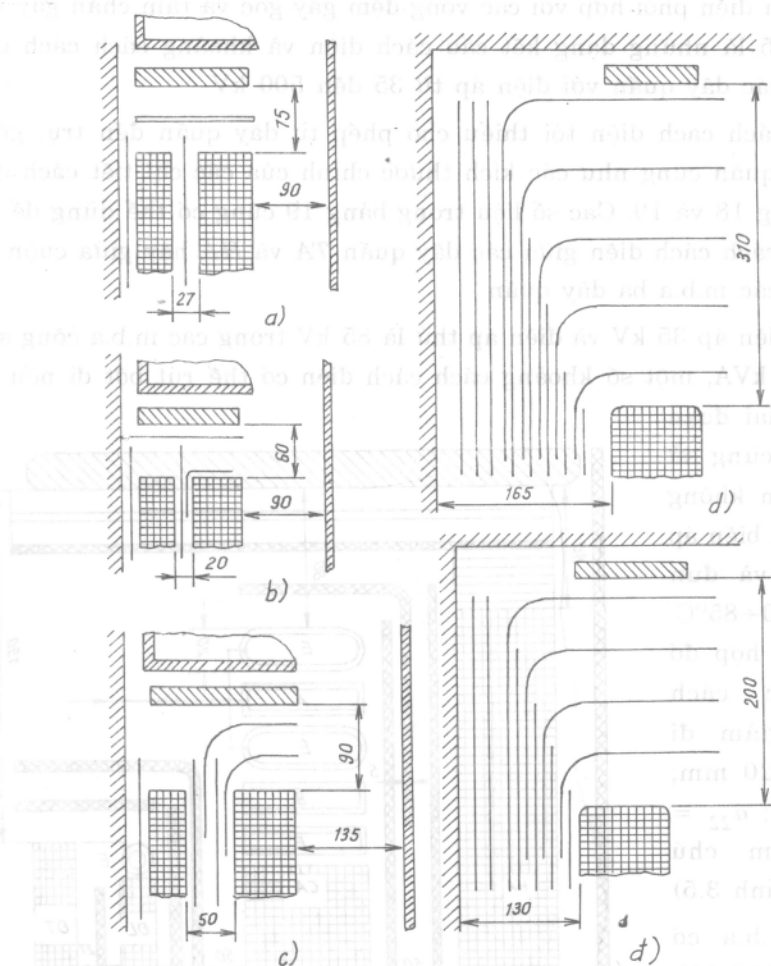
Cách điện dây quấn m.b.a thường chia làm các loại:

a) *Cách điện chính*: là cách điện giữa các dây quấn với nhau cũng như giữa dây quấn với các bộ phận nối đất. Cách điện chính phải bảo đảm cho m.b.a làm việc chịu được những quá điện áp ngắn hạn (có lúc cao tới 4 lần điện áp định mức) do những thao tác thông thường trong lưới (như đóng ngắt tải lớn...) hay sự cố (ngắn mạch, đứt



Hình 3-4. Khoảng cách cách điện chính của dây quấn CA với điện áp thủ từ 5÷85 kV. Đường đứt nét trong hình vẽ chỉ khoảng phóng điện có thể, đường đó quyết định kích thước l_d .

dây...). Cách điện chính được xác định dựa trên cơ sở độ bền điện ứng với điện áp thử cho ở bảng 2 và 3 với tần số 50 Hz.



Hình 3-5. Khoảng cách và kết cấu cách điện ở đầu các dây quấn của m.b.a. dầu với cấp điện áp từ 35 đến 500 kV (tính bằng mm): a) cấp điện áp 35/85 kV; b) Cấp điện áp 35/85 kV nhưng khoảng cách cách điện được giảm bớt: $a_{12} = 20$ mm; $l_{02} = 60$ mm, $a_{22} = 20$ mm; c) Cấp điện áp 110/200 kV, d) Cấp điện áp 500/630 kV; đ) Cấp điện áp 330/460 kV.

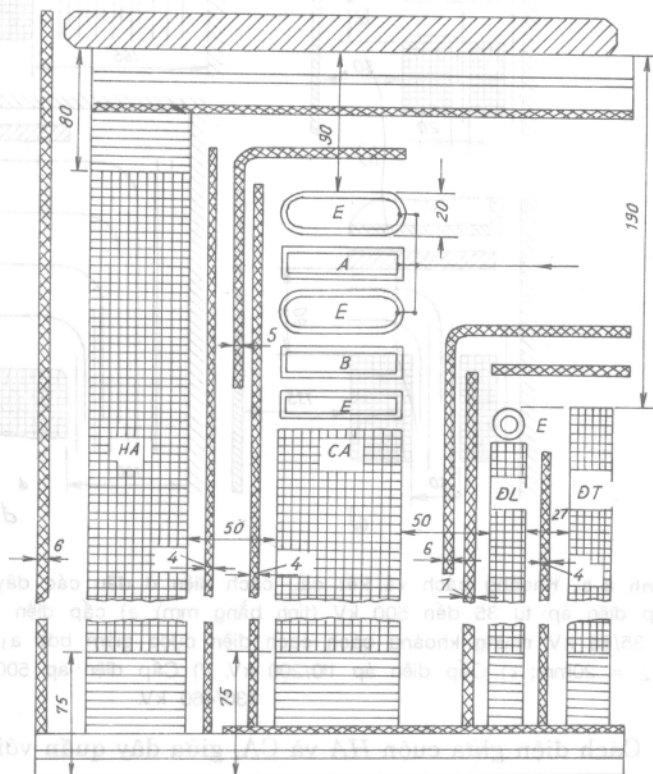
Cách điện giữa cuộn HA và CA, giữa dây quấn với trụ thường dùng dạng ống cứng làm từ giấy bakêlit. Cách điện giữa dây quấn với gông trên và dưới thường dùng các vòng đệm. Nếu điện áp cuộn CA không quá 35 kV (tức điện áp thử không quá 85 kV) thì kết cấu của các ống cách điện và tấm đệm cách điện có dạng đơn giản. Thường các ống cách điện cao hơn dây quấn và vành

đệm phẳng (hình 3-4). Khi cấp điện áp và điện áp thử tăng lên, các chi tiết kết cấu và không gian đầu dây quấn càng phức tạp thì khoảng cách cách điện của cách điện chính tăng lên, trong trường hợp này, người ta thường sử dụng ống cách điện phối hợp với các vòng đệm gãy góc và tấm chắn gãy góc. Trên hình 3-5 là những dạng kết cấu cách điện và khoảng cách cách điện chính ở đầu các dây quấn với điện áp từ 35 đến 500 kV.

Khoảng cách cách điện tối thiểu cho phép từ dây quấn đến trụ, gông, giữa các dây quấn cũng như các kích thước chính của các chi tiết cách điện cho trong bảng 18 và 19. Các số liệu trong bảng 19 cũng có thể dùng để xác định khoảng cách cách điện giữa các dây quấn TA và HA hay giữa cuộn CA và TA trong các m.b.a ba dây quấn.

Với cấp điện áp 35 kV và điện áp thử là 85 kV trong các m.b.a công suất $1000 \div 6300$ kVA, một số khoảng cách cách điện có thể rút bớt đi nếu các m.b.a đó ở giai đoạn lắp ráp cuối cùng sử dụng sấy chân không và đổ đầy dầu biến áp đã khử khí và đun nóng lên $80 \div 85^\circ\text{C}$. Trong trường hợp đó khoảng cách cách điện được giảm đi thành $a_{12} = 20$ mm; $l_{02} = 60$ mm; $a_{22} = 20$ mm (xem chú thích b, của hình 3.5)

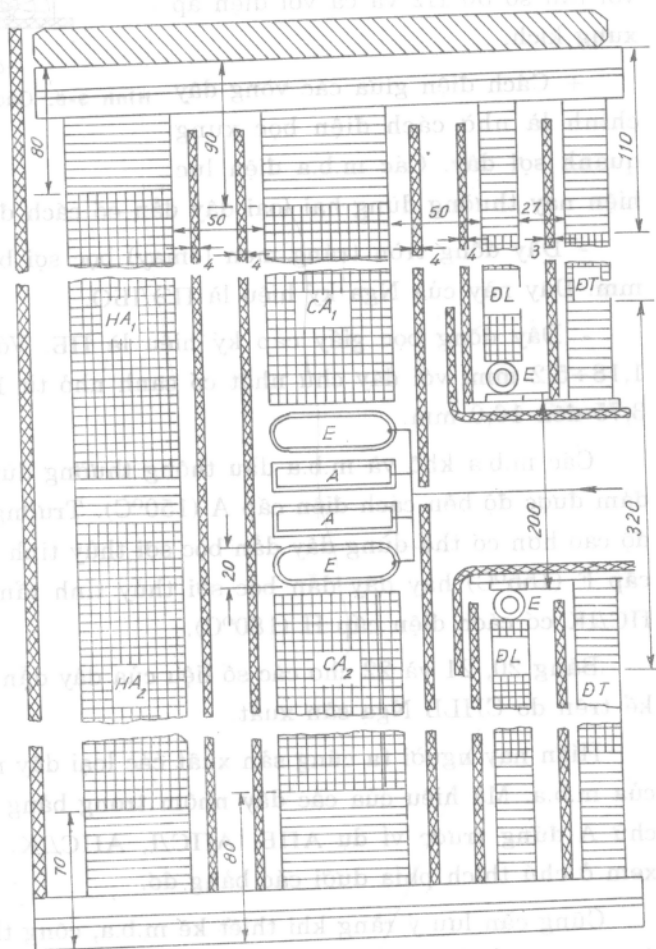
Ở các m.b.a có cấp điện áp 110 kV, tùy theo cách dẫn điện vào cuộn CA ở trên đầu cuộn dây hay giữa cuộn dây mà kết cấu và kích thước của cách điện chính sẽ khác nhau. Hình 3-6 thể hiện các khoảng cách cách



Hình 3-6. Cách điện chính của dây quấn CA cấp điện áp 110 kV có dây dẫn vào ở trên đầu dây quấn (điện áp thử giữa hai dây- 200 kV, giữa dây và trung tính- 100 kV)

diện chính các dây quấn CA với điện áp 110 kV khi dẫn điện vào trên đầu dây quấn. Các m.b.a này thường có điều chỉnh điện áp dưới tải. Bộ phận dây quấn điều chỉnh (D) được chia thành hai phần: một phần dùng điều chỉnh lớn (DL) hay điều chỉnh thô, một phần dùng để điều chỉnh tinh (DT) và thường bố trí ngoài cùng của cuộn CA. Bánh dây vào A của cuộn CA được bố trí giữa hai vành điện dung E. Vành điện dung được quấn cách điện bằng giấy cáp mỗi bên dày 4 mm. Bốn bánh dây tiếp theo của cuộn CA được tăng cường cách điện (theo bảng 29). Khoảng cách giữa hai cuộn tinh chỉnh DT của hai pha cạnh nhau tối thiểu là 40 mm với tấm chắn giữa bằng cát tông cách điện dày 3 mm. Trường hợp m.b.a hai dây quấn hay m.b.a ba dây quấn có dây quấn HA được phân đôi thì dây quấn CA cũng được phân đôi thành hai nửa trên và dưới nối song song. Lúc đó đầu vào của dây quấn CA được nối ở giữa chiều cao dây quấn như hình 3-7. Hai bánh dây đầu A, rồi đến hai vành điện dung E và bốn bánh dây CA có cách điện tăng cường (bảng 29). Khoảng cách điện ở đầu trên cuộn CA đến vành sắt ép cuộn dây tối thiểu là 90 mm, đầu dưới đến gông dưới là 80 mm. Giữa chúng lót các vành đệm bằng cát tông cách điện hay gỗ tẩm dầu, phủ sơn cách điện.

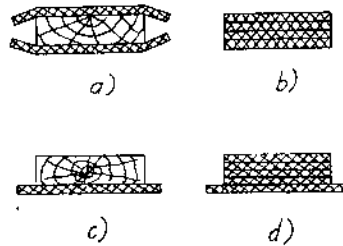
Để tạo rãnh dầu dọc trục giữa các dây quấn với nhau hay giữa dây quấn với trụ



Hình 3.7. Cách điện chính của dây quấn CA cấp điện áp 110 kV có dây dẫn vào ở giữa chiều cao cuộn dây

sắt người ta dùng những que nôm (hay cán dọc). Que nôm có thể làm bằng gỗ hay bằng bìa cách điện dán lại (hình 3-8).

b) *Cách điện dọc*: Cách điện dọc là cách điện giữa các vòng dây, giữa các lớp dây và giữa các bánh dây. Cách điện dọc phải bảo đảm cho dây quấn chịu được những hiện tượng quá điện áp thiên nhiên, thường do sóng điện áp xung kích của sét truyền từ ngoài đường dây tới m.b.a. Những sóng quá điện áp này trong trường hợp nghiêm trọng có thể lớn gấp 10 lần điện áp pha với khoảng thời gian tác dụng chỉ hàng micro giây. Cách điện này có thể xác định theo độ bền điện cả với tần số 50 Hz và cả với điện áp xung kích.



Hình 3-8. Các loại tiết diện ngang của que nôm dọc.

+ Cách điện giữa các vòng dây chính là nhờ cách điện bọc xung quanh sợi dây. Các m.b.a điện lực hiện nay thường dùng hai loại dây dẫn có cách điện như sau:

- Dây đồng tròn tráng men (êmay) bọc sợi bông đường kính $0,38 \pm 0,96$ mm. Dây này của Nga ký hiệu là ПЭ/БО.
- Dây đồng bọc giấy cáp ký hiệu là ПБ. Với dây tròn có đường kính $1,18 \pm 5,2$ mm; với dây chữ nhật có cạnh nhỏ từ $1,4 \pm 5,6$ mm, cạnh lớn từ 3,75 đến 16,0 mm.

Các m.b.a khô và m.b.a dầu thông thường dùng với các dây dẫn đó bảo đảm được độ bền cách điện cấp A (150°C). Trường hợp m.b.a cần chịu nhiệt độ cao hơn có thể dùng dây dẫn bọc sợi thủy tinh ký hiệu ПСД có cách điện cấp F (155°C) hay dây dẫn bọc sợi thủy tinh tẩm sơn silic hữu cơ ký hiệu ПСДК có cách điện cấp H (180°C).

Bảng 20, 21 và 22 cho các số liệu của dây dẫn tròn và dây dẫn chữ nhật kể trên do CHLB Nga sản xuất.

Hiện nay người ta cũng sản xuất các loại dây nhôm để chế tạo dây quấn của m.b.a. Mã hiệu của các dây nhôm trong bảng 20, 21, 22 được ghi thêm chữ A đứng trước ví dụ АПБ, АПСД, АПСДК. Các cỡ dây nhôm cụ thể xem ở chú thích phía dưới các bảng đó.

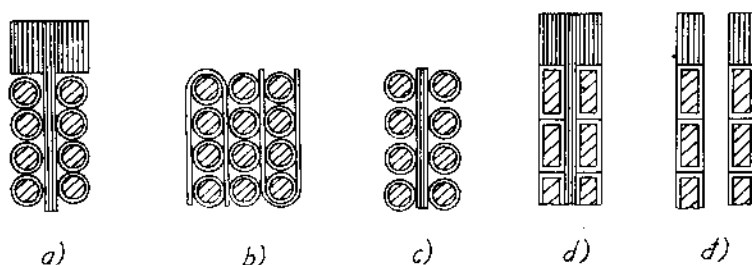
Cũng cần lưu ý rằng khi thiết kế m.b.a, công thức tính toán trọng lượng dây quấn chỉ tính trọng lượng thuần đồng (hay nhôm) mà không tính trọng lượng cách điện bọc sợi dây. Nhưng giá thành của dây dẫn được tính cả

trọng lượng cách điện sợi dây. Vì vậy, khi cần tính toán kinh tế hay cần đặt mua dây dẫn cho m.b.a thiết kế, phải tính trọng lượng dây quấn có cả cách điện sợi dây. Bảng 23, 24 cho biết phần trọng lượng tăng thêm của các dây dẫn (%) kể cả cách điện của các loại dây đồng và nhôm do Nga sản xuất.

Cách điện giữa các vòng dây do chính cách điện bản thân dây dẫn quyết định nên, phương pháp chọn cách điện của dây dẫn được ghi trong bảng 25. Chú ý bảng này chỉ ghi cách điện cho các vòng dây của các bánh dây thường. Trường hợp các bánh dây có tăng cường cách điện được ghi ở bảng khác.

+ Cách điện giữa các lớp dây

Thường là dùng giấy cáp hay giấy điện thoại, bìa cách điện hay có thể dùng rãnh dầu hoặc dùng rãnh không khí dọc trục (hình 3-8). Bảng 26 ghi cách điện giữa các lớp dùng cho loại dây quấn có dây dẫn tròn và dây chữ nhật.



Hình 3-8. Cách điện giữa các lớp

a) Giấy cáp; b) Giấy cáp hoặc giấy điện thoại; c và đ) Bìa cách điện; d) Rãnh dầu.

Trong dây quấn hình ống nhiều lớp phân đoạn dây dẫn tròn⁽¹⁾, cách điện giữa các lớp có chiều cao bằng chiều cao của lớp dây và chọn theo điện áp làm việc toàn phần giữa hai lớp của một bánh dây theo bảng 27.

Trong dây quấn hình ống hai lớp dây chữ nhật⁽²⁾, cách điện giữa hai lớp nếu điện áp tổng nhỏ hơn 1 kV thì dùng rãnh dầu rộng không bé hơn 4 mm hay lót hai lớp bìa cách điện khoảng 0,5 mm. Nếu điện áp giữa hai lớp lớn từ 1 ÷ 6 kV dùng rãnh dầu 6 ÷ 8 mm và hai lớp bìa cách điện dày 1 mm. Đối với m.b.a khô rãnh dọc trục phải rộng tới 15 ÷ 20 mm và cũng chỉ dùng với điện áp nhỏ hơn 1 kV.

Trong các dây quấn hình xoắn⁽³⁾ và xoáy ốc liên tục⁽⁴⁾ không dùng cách điện giữa các lớp.

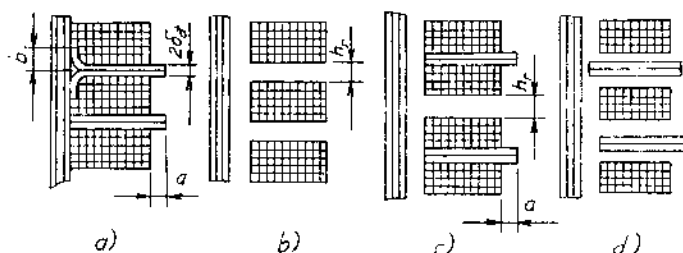
(1), (2), (3), (4) các kiểu dây quấn này xem mục 3.2.3

+ Cách điện giữa các bánh dây

Đối với dây quấn kiểu bánh dây, có thể phân ra nhiều loại bánh khác nhau. Có bánh dây thường (hay bánh dây chính), có bánh dây điều chỉnh điện áp (thường hay bố trí ở giữa chiều cao cuộn dây), có bánh dây cách điện tăng cường (thường ở đầu và cuối cuộn dây). Tùy theo từng loại mà kích thước và khoảng cách cách điện của chúng cũng khác nhau.

Đối với bánh dây chính, cách điện giữa chúng thường là các rãnh dầu ngang (hình 3-9a) hoặc có thêm những đệm cách điện thẳng (hình 3-9c,d) hay đệm gãy góc (hình 3-9a). Trường hợp thêm đệm cách điện ở giữa là dùng cho bánh dây có điện áp lớn. Chiều rộng rãnh dầu thường chọn không nhỏ hơn 4 mm; nếu dùng đệm cách điện thì ghép hai tấm, mỗi tấm dày $\delta_d = 5$ mm với dầu thừa $a \geq 6$ mm.

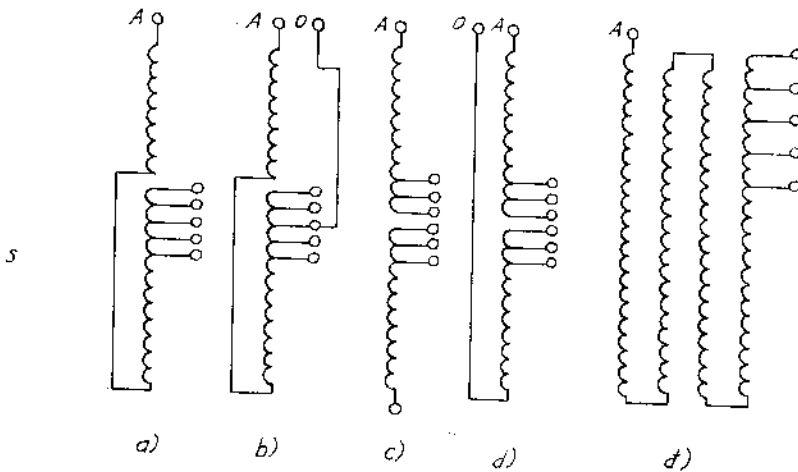
Đối với các bánh dây điều chỉnh điện áp thì khoảng cách cách điện ở chỗ cắt của dây quấn h_{dc} phải lớn hơn các rãnh dầu ngang của bánh dây chính và tùy theo cách chọn sơ đồ điều chỉnh điện áp mà kích thước rãnh điều chỉnh h_{dc} sẽ thay đổi theo (xem bảng 28). Trên thực tế hay dùng sơ đồ điều chỉnh điện áp như ở hình 3-10a, c và d với kết cấu cách điện của rãnh điều chỉnh như ở hình 3-11a. Các sơ đồ và kết cấu cách điện khác ít dùng. Nếu điện áp 110 kV hay dùng sơ đồ h.3-10,d với kết cấu cách điện của rãnh điều chỉnh như ở hình 3-11d. Sơ đồ điều chỉnh ở hình 3-10d dùng cho dây quấn hình ống dây tròn không bị cắt ở giữa.



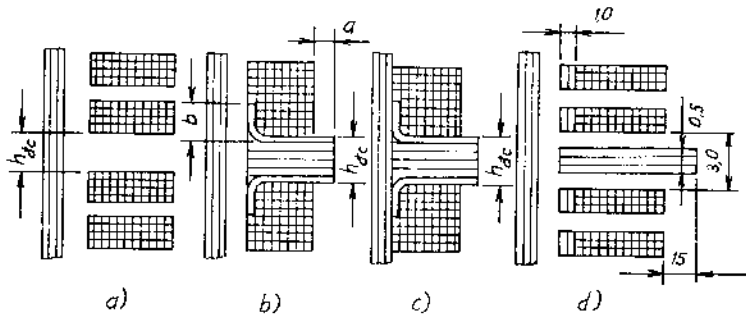
Hình 3-9. Cách điện giữa các bánh dây.

Khi có sóng quá điện áp, vì đầu sóng dốc đứng nên những bánh dây đầu tiên chịu phân bố điện áp lớn. Để cho những bánh dây (hay những vòng dây) này không bị chọc thủng cách điện thì ta phải tăng cường cách điện so với các bánh dây (hay vòng dây) chính. Những bánh dây này gọi là những bánh dây tăng cường. Các dây quấn có $U_l < 55$ kV theo nguyên tắc không cần tăng cường cách điện. Các dây quấn có $U_l \geq 55$ kV, cách điện tăng cường tra ở bảng 29.

Đối với các bánh tăng cường, điều kiện làm nguội khó khăn hơn, có thể làm nhiệt độ dây quấn tăng lên vì thế cần giảm mật độ dòng điện trong các bánh dây này xuống bằng việc tăng tiết diện dây dẫn lên khoảng 10 đến 15% so với bánh dây chính.



Hình 3-10. Các sơ đồ nguyên lý điều chỉnh điện áp dây quấn CA.

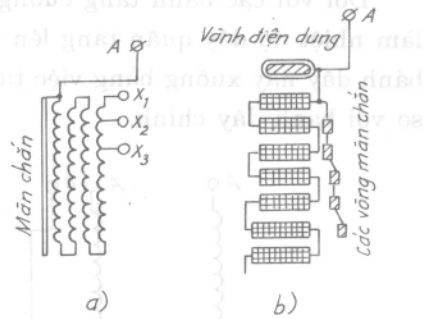


Hình 3-11. Các kết cấu cách điện ở vị trí cắt đứt cuộn dây để điều chỉnh điện áp.

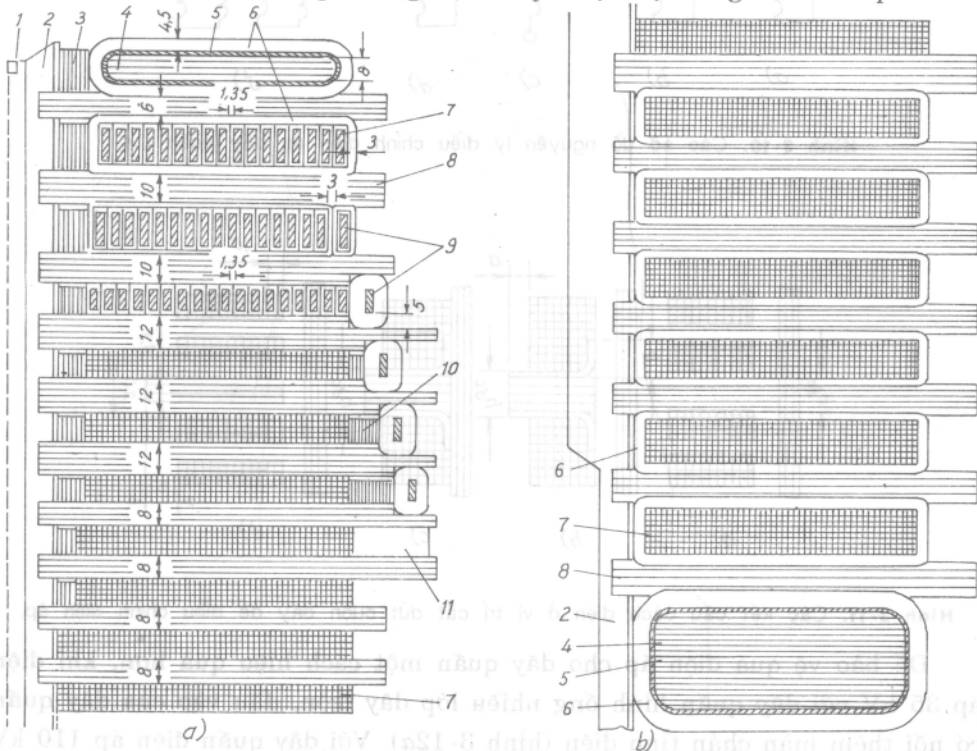
Để bảo vệ quá điện áp cho dây quấn một cách hiệu quả hơn, khi điện áp 35 kV với dây quấn hình ống nhiều lớp dây tròn, đầu vào của dây quấn có nối thêm màn chắn tĩnh điện (hình 3-12a). Với dây quấn điện áp 110 kV kiểu dây quấn liên tục người ta vừa dùng màn chắn cho một vài bánh dây đầu, phối hợp với vòng điện dung (hình 3-12b). Màn chắn tĩnh điện là một vòng kim loại hở không dẫn từ (thường bằng đồng) dây 0,5 mm có bọc cách điện ôm lấy dây quấn. Vòng điện dung cũng là một vòng kim loại hở thường

làm bằng lá đồng mỏng quấn lên trên những đệm cactông cách điện và ngoài cùng có bọc cách điện cẩn thận. Hình 3-13a và b là một ví dụ về kết cấu bảo vệ quá điện áp cho dây quấn 110 kV. Ở đây bố trí vòng điện dung cả đầu và cuối dây quấn, còn rãnh cách điện ngang được tăng lên thành 10 đến 12 mm.

Để tạo nên các rãnh đầu ngang trực ta dùng những miếng đệm (gọi là cần ngang). Miếng đệm thường làm bằng vải lớp bìa cách điện dày $0,5 \div 3,0$ mm, có chiều rộng b khoảng $40 \div 60$ mm, còn chiều dài tùy thuộc chiều dày của dây quấn (hình 3-14). Những miếng đệm này được đặt lồng vào các que nêm

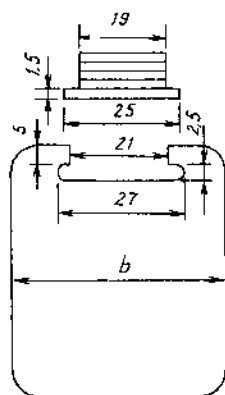


Hình 3-12. Các sơ đồ bảo vệ điện dung của dây quấn.

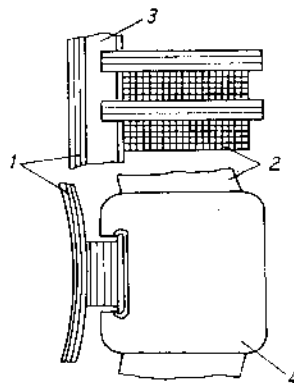


Hình 3-13. Bảo vệ điện dung dây quấn CA cấp điện áp 110 kV a) Phần trên dây quấn; b) Phần dưới dây quấn; 1- Ống cacton cách điện; 2- Que nêm; 3- Vòng làm bằng dài cacton cách điện; 4- Vòng ép bằng cacton cách điện; 5- Cuộn dây bằng lá đồng mỏng; 6- Giấy cách điện; 7- Bánh dây; 8- Đệm cacton; 9- Vòng chắn (theo sơ đồ 3-11b); 10- Các băng cacton cách điện; 11- Các xecmăng đệm bằng cacton cách điện ở hình (tất cả kích thước cho bằng mm).

suốt chiều cao dây quấn nhờ vấu đuôi nhận ở phía trong miếng đệm (hình 3-15). Số lượng que nêm và miếng đệm trên một vòng tròn dây quấn có thể sơ bộ chọn theo bảng 30.



Hình 3-14. Tiết diện ngang que nêm và tấm đệm giữa các bánh dây

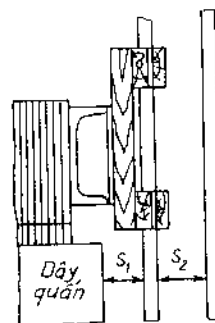


Hình 3-15. Cách đặt que nêm và tấm đệm giữa các bánh dây: 1- Ống cách điện; 2- Bánh dây; 3- Que nêm; 4- Tấm đệm giữa các bánh dây

c) Cách điện của dây dẫn ra và bộ đổi nối

Dây dẫn ra là những dây nối các dây quấn với nhau hay nối từ dây quấn lên sứ xuyên ở nắp m.b.a hay nối với bộ đổi nối. Dây dẫn ra của mỗi dây quấn cần được cách điện chắc chắn với vỏ máy, với các bộ phận nối đất (như xà ép gông, bulông nối đất...) cũng như với các bộ phận dẫn điện khác (như dây quấn và các dây dẫn ra khác).

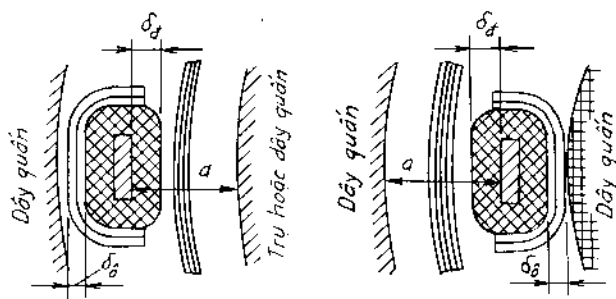
Một ví dụ về cách đặt dây dẫn ra vẽ ở hình 3-16. Xác định những khoảng cách cách điện (như s_1 và s_2) của dây dẫn ra phải dựa vào điện áp thử của dây dẫn ra (tức của dây quấn có dây dẫn ra) với tần số 50 Hz. Bảng 31 qui định khoảng cách cách điện tối thiểu từ dây dẫn ra đến vách thùng và các chi tiết nối đất khác như xà ép gông. Khoảng cách cách điện từ dây dẫn ra của dây quấn trong cùng như cuộn HA (hay TA) đến vách thùng và các chi tiết nối đất khác cũng ghi trong bảng 31, nhưng đến cuộn dây CA ở ngoài thì ghi ở bảng 32.



Hình 3-16. Bố trí dây dẫn ra giữa dây quấn và vách thùng.

Các kích thước cách điện và khoảng cách nhỏ nhất của dây dẫn ra đi trong

rãnh dọc giữa các dây quấn hay giữa dây quấn với trụ có thể tra ở bảng 33 và 34. Cách bố trí các dây dẫn ra đi trong rãnh dọc với các kết cấu cách điện của nó như hình 3-17.



Hình 3-17. Cách điện của dây dẫn ra trong các rãnh dọc của dây quấn.

Khi tính cách điện cho m.b.a khô, ngoài điều kiện cần phải đảm bảo cách điện phải đặc biệt chú ý đến điều kiện làm nguội bằng không khí. Các khoảng cách cách điện chính (hình 3-18) có thể chọn theo bảng 35 và 36.

3.2.3. Các kiểu dây quấn m.b.a

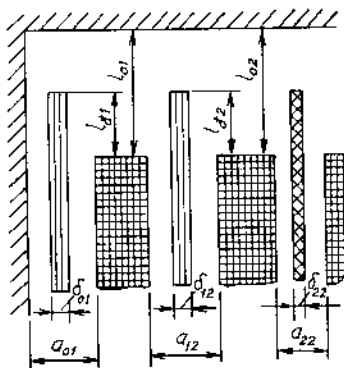
Theo cách quấn dây ta có thể chia dây quấn m.b.a ra làm các kiểu chính sau đây:

- Dây quấn hình ống dây dẫn chữ nhật;
- Dây quấn hình ống dây dẫn tròn;
- Dây quấn hình xoắn;
- Dây quấn xoáy ốc liên tục.

Ngoài ra người ta còn có thể phân biệt ra loại dây quấn một mạch (đơn) hay hai mạch (kép), có hoán vị hay không hoán vị,...

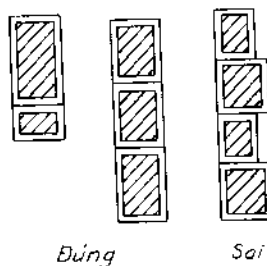
1. Dây quấn hình ống dây dẫn chữ nhật

Loại dây này quấn dùng dây tiết diện chữ nhật quấn thành hình trụ. Nếu dòng điện lớn quá thì ghép nhiều sợi song song. Lúc đó tốt nhất là dùng các sợi cùng kích thước ghép kề nhau theo hướng trục, không nên ghép kề theo hướng kính để cho từ thông tản trong các sợi dây giống nhau và như vậy tổn hao về dòng điện xoáy trong chúng sẽ giống nhau và về mặt cơ khí ghép hướng trục cũng tốt hơn. Mặt khác dùng một cỡ dây sẽ đỡ phức tạp

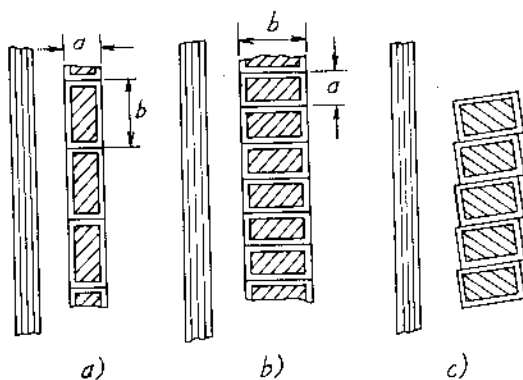


Hình 3-18. Cách điện chính của dây quấn của m.b.a khô.

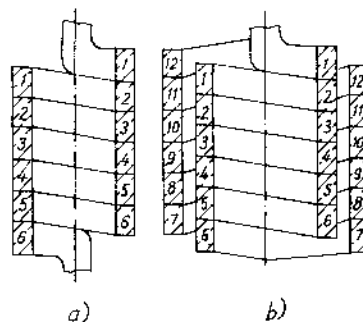
cho việc đặt hàng. Nếu phải dùng dây có tiết diện khác nhau thì phải có một bề kề nhau bằng nhau để ghép (hình 3-19). Nói chung dây quấn nên quấn nẹp (theo cạnh lớn) sợi dây (hình 3-20a), không nên quấn gân dẹt (theo cạnh nhỏ) sợi dây (hình 3-20b) vì sẽ khó quấn hơn mà cũng làm cho các sợi dây dễ bị nghiêng đi (hình 3-20c); tổn hao phụ do dòng điện xoáy tăng lên, tản nhiệt lại kém. Có thể dùng cách quấn dẹt khi tỷ lệ các cạnh của sợi dây ở trong phạm vi tỷ lệ sau: $1,3 < b/a < 3,0$.



Hình 3-19. Sự phối hợp đúng và không đúng khi có nhiều sợi ghép song song.



Hình 3-20. Các phương pháp quấn dây
a) quấn nẹp sợi dây; b) quấn gân dẹt sợi dây; c) quấn gân dẹt nhưng không đạt yêu cầu.



Hình 3-21. Dây quấn hình ống. a) ống đơn 6 vòng; b) ống kép 12 vòng.

Nếu quấn một lớp ta có kiểu dây quấn hình ống một lớp hay còn gọi là ống đơn (hình 3-21a). Nếu quấn hai lớp ta có kiểu hình ống kép (hình 3-21b). Kiểu hình ống kép thì hai lớp nối tiếp với nhau (quấn lớp trong từ trên xuống sau đó lớp ngoài quấn ngược từ dưới lên như ở hình 3-21b). Như vậy đầu dây lớp trong và đuôi dây lớp ngoài có điện áp bằng điện áp pha của dây quấn.

Nếu U_{dm} dưới 1000 V thì cách điện giữa hai lớp rất đơn giản, hoặc dùng một rãnh dầu rộng 4+8 mm hoặc dùng một ống giấy cách điện là đủ. Nếu điện áp từ 3 đến 6 kV thì phải làm rãnh dầu có bìa cách điện ở giữa dây

2 mm. Nếu $U > 6000$ V thì cách điện sẽ khó khăn hơn do đó không dùng kiểu dây quấn này cho các m.b.a công suất từ $25 \div 630$ kVA.

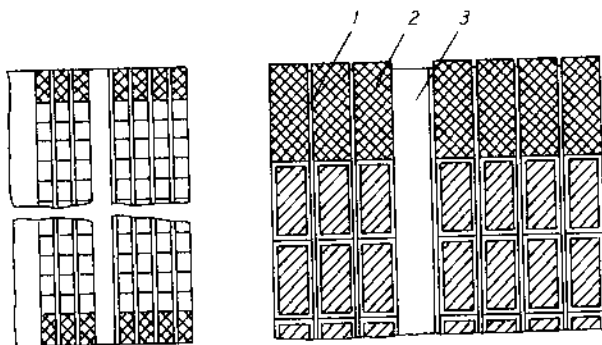
Để có rãnh dầu thường dùng que nêm cách điện bằng gỗ. Không nên làm nhiều que nêm quá vì dầu sẽ khó lưu thông; cũng không nên ít quá vì ống dây dễ bị biến dạng thành hình đa giác. Khoảng cách giữa các que nêm thường vào khoảng $150 \div 120$ mm.

Kiểu dây quấn hình ống đơn có nhược điểm là hai đầu không có gì giữ chặt nên dễ bị tung ra do đó thường chỉ dùng trong các m.b.a nhỏ, công suất mỗi trụ từ 3 đến 10 kVA. Dây quấn hình ống kép ổn định về cơ khí hơn và nối chung chế tạo cũng đơn giản nên được dùng phổ biến trong các m.b.a công suất từ 630 kVA trở xuống và điện áp dưới 6 kV.

Trong m.b.a thì dây quấn hình ống đơn và kép chủ yếu làm cuộn HA.

Gần đây người ta đã nghiên cứu và sử dụng có kết quả loại dây quấn hình ống nhiều lớp dây chữ nhật cho cả các cuộn dây CA. Kết cấu của loại dây quấn này chỉ khác với dây quấn hình ống đơn giản trên là ở chỗ nó gồm nhiều lớp và các sợi dây song song đều dùng cùng một loại kích thước và tiết diện. Ở loại dây quấn này cũng không dùng kiểu quấn dựng các sợi dây vì kích thước ống dây tăng lên làm tăng quá lớn các tổn hao phụ của dây quấn. Chiều quấn dây ở các lớp cũng khác nhau, thường các lớp lẻ quấn theo một chiều, các lớp chẵn quấn theo chiều khác. Giữa các lớp có lót vài lớp giấy cáp làm cách điện lớp và để phòng phóng điện giữa các lớp, cách điện lớp phải cao hơn dây quấn $30 \div 50$ mm. Mỗi lớp ở phía trên và dưới vẫn phải có những vành đệm phụ bằng cacton cách điện buộc chặt vào các vòng trên và vòng dưới của

dây quấn (hình 3-22). Việc lót cách điện như vậy là rất cần thiết vì loại dây quấn này điện áp giữa vòng đầu của bất kỳ một lớp nào với vòng cuối của lớp tiếp theo cũng chính là điện áp giữa hai lớp có thể đạt đến $5000 \div 6000$ V nếu điện áp làm việc của dây quấn là 35 kV.

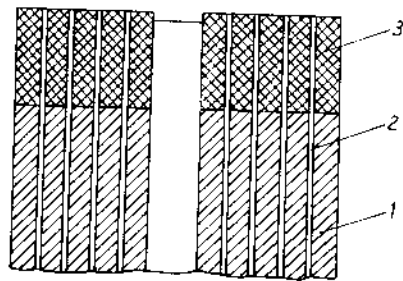


Hình 3-22. Dây quấn hình ống nhiều lớp dây chữ nhật.
1- Cách điện lớp bằng giấy cáp; 2- Vành đệm phụ bằng cacton cách điện; 3- Nêm dọc tạo rãnh làm lạnh.

Để tăng bề mặt làm lạnh của dây quấn, thường toàn bộ dây quấn được làm một vài rãnh dọc trục giữa các lớp. Chiều rộng rãnh thường vào khoảng 1/100 chiều cao của dây quấn.

Dây quấn hình ống nhiều lớp tiết diện dây chữ nhật thường được làm dây quấn cao áp CA cho các m.b.a dung lượng từ 630 đến 40000 ÷ 80000 kVA, điện áp 10 và 35 kV. Kiểu dây quấn này ngày càng được sử dụng rộng rãi vì độ bền cơ học của nó khi có ngắn mạch khá bảo đảm do kết cấu dây quấn gọn chặt. Mặt khác nó còn có ưu điểm nữa là lấp đầy cửa sổ mạch từ tốt hơn các dây quấn khác. Rãnh dầu làm lạnh dọc trục cũng có hiệu quả truyền nhiệt tốt hơn các loại dây quấn có rãnh dầu hướng kính. Độ bền về điện khi có quá điện áp cũng tốt hơn các loại dây quấn kiểu bánh dây. Tuy nhiên loại dây quấn này có nhược điểm cơ bản là bề mặt làm lạnh bị giảm đi nhiều so với loại dây quấn kiểu bánh dây.

Một biến thể mới của *dây quấn hình ống* nữa là dây quấn bằng các tấm nhôm hay đồng mỏng không bọc cách điện hay được dùng trong các m.b.a đến 1000 kVA, điện áp HA dưới 1 kV. Hình 3-23 là một ví dụ về dây quấn hình ống nhiều lớp quấn từ các tấm nhôm. Mỗi lớp là một vòng, chiều rộng của tấm nhôm bằng chiều cao của dây quấn. Cách điện giữa các vòng dây thường là một hai lớp giấy tu điện, giấy điện thoại hay giấy cáp cao hơn tấm dây quấn 16 đến 24 mm. Dây quấn kiểu này có ưu điểm là dễ quấn nhưng kém chịu lực cơ lúc ngắn mạch. Muốn có độ bền cơ cao phải dùng nhôm tấm đã ủ hay nhôm có độ cứng cao như A6, hay A5. Tuy nhiên, vì tấm nhôm hay đồng không bọc cách điện nên kiểu dây quấn này lại có ưu điểm là tản nhiệt tốt hơn so với loại dây quấn kiểu dây dẫn. Lấp đầy cửa sổ mạch từ cũng tốt hơn nhưng công nghệ quấn dây sẽ phức tạp hơn khi điện áp càng cao, và vì lá nhôm hay đồng mỏng nên kẹp giữ các dây dẫn ra cũng khó khăn hơn. Do đó kiểu dây quấn bằng kim loại tấm này thường dùng cho cuộn CA với điện áp không quá 10 kV.



Hình 3-23. Dây quấn hình ống nhiều lớp làm bằng các tấm nhôm. 1 - Tấm nhôm mỏng, 2- Cách điện lớp bằng giấy, 3- Đệm dầu dây quấn bằng bìa cách điện.

2. Dây quấn hình xoắn

Dây quấn gồm một hay nhiều sợi dây chữ nhật chập lại quấn theo chiều trục như đường ren ốc. Các sợi dây chập thường xếp theo hướng kính và nhất thiết phải có tiết diện và kích thước các sợi như nhau.

Nếu chập các sợi thành một mạch quấn từ trên xuống dưới ta có kiểu dây quấn *hình xoắn mạch đơn* (hình 3-24a). Khi dòng điện lớn quá phải chập thành hai mạch để quấn, ta có kiểu dây quấn *hình xoắn mạch kép* (hình 3-24b).

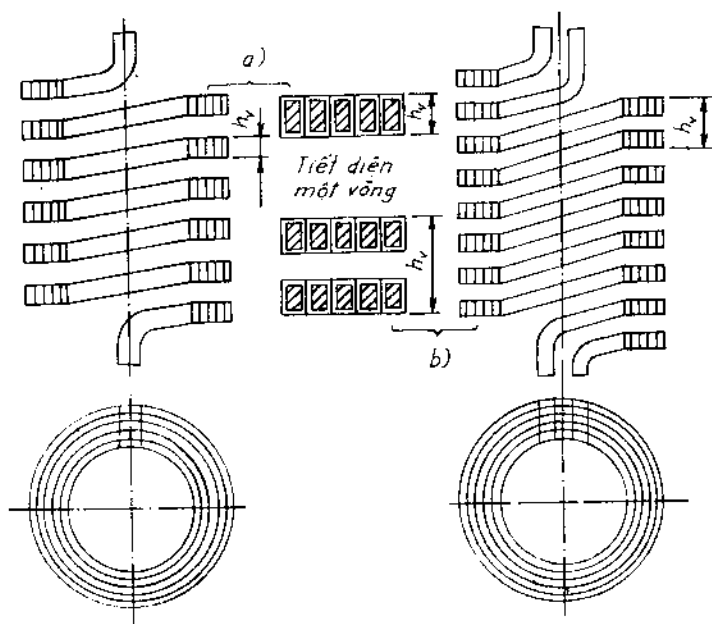
Kiểu dây quấn này có số vòng dây ít, tiết diện lớn nên dùng làm dây quấn HA. Ưu điểm của nó là chịu được lực cơ học tốt, tản nhiệt tốt. Nhưng nhược điểm là chiều dài các sợi dây ghép không bằng nhau nên điện trở khác nhau, từ thông tản không đều (càng xa trụ sắt từ thông tản càng nhỏ) nên điện kháng cũng khác nhau. Mặt khác dòng điện phân bố không đều làm tăng tổn hao phụ. Vì vậy các sợi dây chập quấn quanh trụ cần được hoán vị.

Đối với dây quấn hình xoắn mạch đơn theo chiều dài dây quấn người ta thường hoán vị tập trung ba chỗ (hình 3-25) gồm:

- Hai hoán vị phân bố ở khoảng $1/4$ và $3/4$ chiều cao cuộn dây.

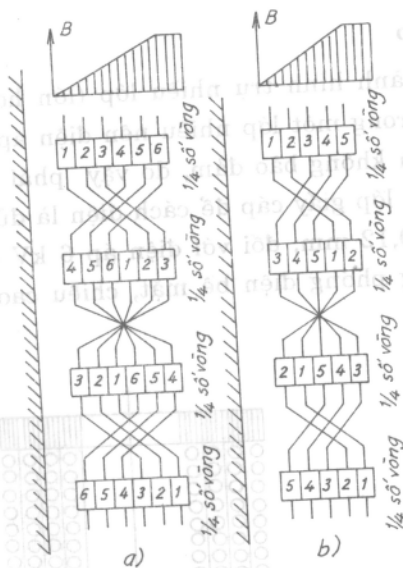
- Một hoán vị toàn bộ ở giữa cuộn dây.

Tại chỗ hoán vị các sợi ghép chập phải đối chỗ cho nhau (sợi ở ngoài vào trong, sợi ở trong ra ngoài...)



Hình 3-24. Dây quấn hình xoắn a) mạch đơn (6 vòng dây); b) mạch kép (4 vòng dây).

vì thế cần phải có một khoảng để các sợi dây "tránh" nhau. Như vậy chiều cao dây quấn tăng thêm một rãnh dầu và một bánh dây (hình 3-26). Nói

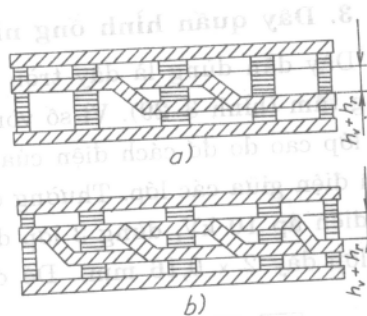


Hình 3-25. Vị trí hoán vị theo chiều dài dây xoắn trong dây xoắn hình xoắn mạch đơn.

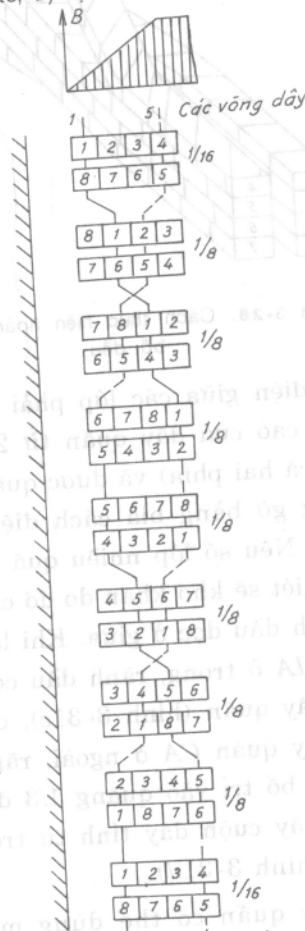
chung để hoán vị được dễ dàng và dây xoắn chắc chắn thì số sợi ghép cặp không nên quá 4.

Đối với dây xoắn hình xoắn mạch kép người ta không dùng kiểu hoán vị tập trung tại ba chỗ như vậy mà hoán vị phân bố đều, nghĩa là có bao nhiêu sợi dây cặp thì có bấy nhiêu lần hoán vị và phân bố vị trí hoán vị trên toàn chiều cao dây xoắn (hình 3-27). Vì nhờ có hai mạch chạy song song nhau nên chỗ hoán vị không cần phải "tránh" nhau mà có thể đối lẫn vị trí các sợi dây dễ dàng, do đó việc hoán vị không ảnh hưởng tới chiều cao dây xoắn (hình 3-28).

Dây xoắn hình xoắn thích dụng cho các cuộn HA điện áp từ 0,230 đến 35 kV với các m.b.a có công suất



Hình 3-26. Một ví dụ về tăng chiều cao dây xoắn của dây xoắn mạch đơn có 4 sợi song song khi hoán vị. a) tại chỗ hoán vị phân tổ; b) tại chỗ hoán vị toàn bộ.

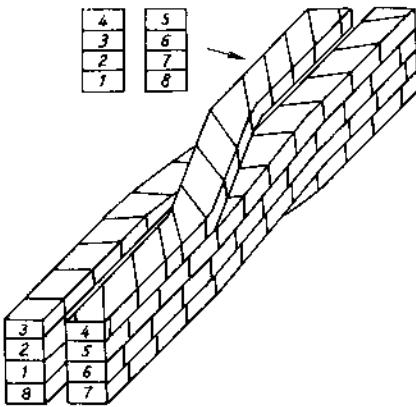


Hình 3-27. Hoán vị phân bố đều của dây xoắn hình xoắn mạch kép.

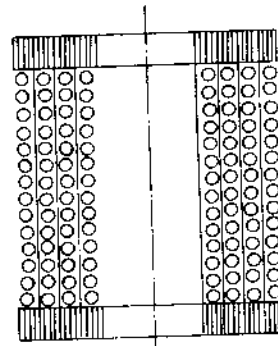
từ 160 ÷ 1000 kVA.

3. Dây quấn hình ống nhiều lớp

Dây dẫn dùng là dây tròn quấn thành hình trụ nhiều lớp (lớn hơn 2), đồng tâm (hình 3-29). Vì số vòng dây trong một lớp nhiều nên điện áp giữa các lớp cao do đó cách điện của dây dẫn không bảo đảm, do vậy phải thêm cách điện giữa các lớp. Thường dùng vài lớp giấy cáp để cách điện là đủ (đối với điện áp 10 kV, dùng 3 lớp dây $3 \times 0,12$ mm; đối với điện áp 6 kV dùng hai lớp dây $2 \times 0,16$ mm). Để đề phòng phóng điện bề mặt, chiều cao của



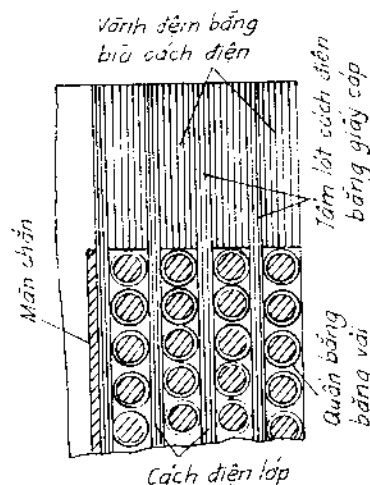
Hình 3-28. Cách thực hiện hoán vị phần bố đều.



Hình 3-29. Dây quấn hình ống nhiều lớp dây tròn.

cách điện giữa các lớp phải cao hơn chiều cao của dây quấn từ 20 ÷ 50 mm (cả hai phía) và được quấn thêm những gờ bằng bìa cách điện (hình 3-30). Nếu số lớp nhiều quá thì việc tản nhiệt sẽ khó khăn do đó cần phải có rãnh dầu dọc ở giữa. Khi làm dây quấn HA ở trong, rãnh dầu có thể ở giữa dây quấn (hình 3-31c), còn khi làm dây quấn CA ở ngoài, rãnh dầu thường bố trí vào quãng 1/3 đến 2/5 chiều dày cuộn dây tính từ trong ra ngoài (hình 3-31d).

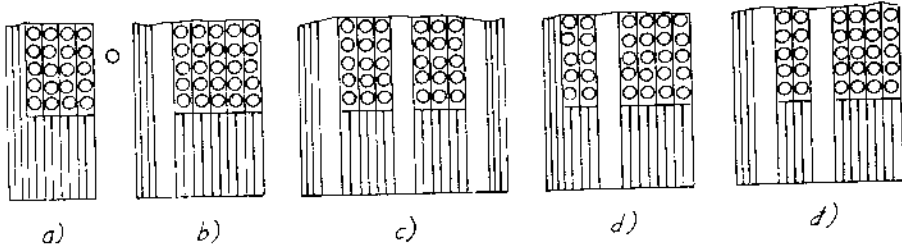
Dây quấn có thể dùng một sợi hay hai sợi chập lại, nhưng ít khi



Hình 3-30. Cách điện phần đầu của dây quấn hình ống nhiều lớp.

dùng tới 4 sợi. Khi dùng nhiều sợi cũng không cần hoán vị vì vị trí của nó phân bố đã tương đối đều đặn.

Việc rút đầu dây phân áp cũng dễ dàng mà không cần cắt hàn đầu dây (hình 3-32).



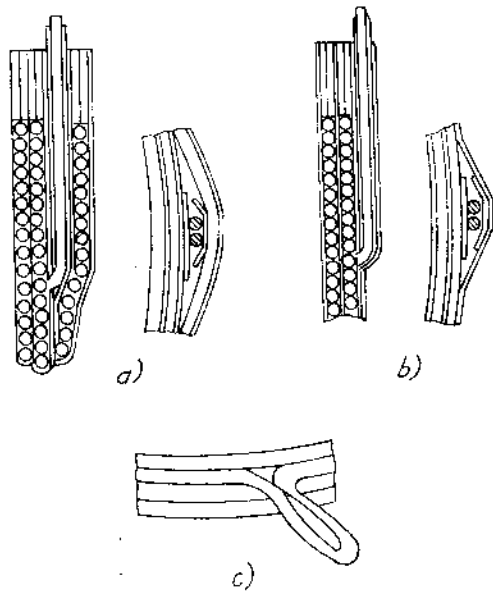
Hình 3-31. Những cách bố trí khác nhau của dây quấn hình ống nhiều lớp. a) Cuộn CA quấn lên ống cách điện; b) Cuộn CA quấn lên que nêm; c) Dây quấn IIA; d) Cuộn CA quấn lên ống cách điện và có rãnh đầu; đ) Cuộn CA quấn lên que nêm và có rãnh đầu.

Kiểu dây quấn này có diện dung hướng trục lớn, do đó hệ số $\alpha = \sqrt{C_q/C_d}$ (trong đó C_d là tổng diện dung dọc và C_q là tổng diện dung ngang của dây quấn) nhỏ nên chống sét tốt. Mặt khác kết cấu đơn giản, quá trình chế tạo cũng dễ. Nhược điểm là chịu lực cơ giới kém và tản nhiệt có phần khó khăn.

Dây quấn này chủ yếu được áp dụng cho các m.b.a có S dưới 630 kVA và thường làm cuộn cao áp với điện áp 6, 10 hay 35 kV.

Ngoài ra còn có một kiểu gần giống kiểu ống nhiều lớp dây tròn nửa gọi là *dây quấn*

hình ống nhiều lớp phân đoạn (hình 3-33), ở đây cũng làm bằng dây tròn. Việc phân đoạn thành nhiều bánh dây như vậy (thường là từng đôi một) sẽ giảm được điện áp giữa các lớp cạnh nhau trong từng bánh dây, nhờ đó có thể cải thiện được vấn đề cách điện giữa các lớp. Mặt khác việc làm nguội



Hình 3-32. Cách lấy các đầu phân áp ở dây quấn hình ống nhiều lớp.

a) Dưới một lớp dây quấn; b) Dưới một lượt băng cách điện; c) Cách lấy đầu phân áp

cuộn dây cũng dễ dàng hơn. Nhược điểm của dây quấn này là việc quấn dây phức tạp hơn, do đó giá thành cao hơn.

Kiểu dây quấn này thường có số bánh dây chẵn chủ yếu dùng làm cuộn cao áp và cho các m.b.a công suất từ 1000 kVA trở xuống.

4. Dây quấn kiểu xoáy ốc liên tục

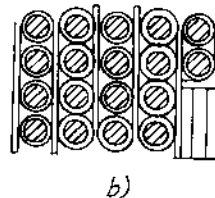
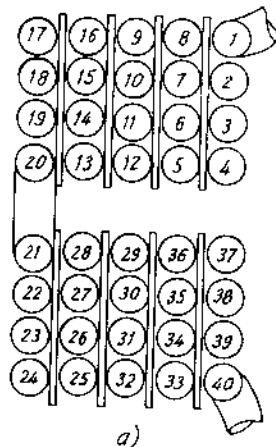
Ở đây người ta dùng dây tiết diện chữ nhật quấn liên tục thành nhiều bánh theo đường xoáy ốc phẳng. Như vậy chiều cao bánh dây vừa bằng chiều cao sợi dây. Giữa tất cả các bánh dây hay vài bánh dây một có rãnh dầu ngang (hình 3-34). Suốt cuộn dây không có mối hàn nào để nối giữa các bánh nên được gọi là dây quấn liên tục. Có thể dùng một sợi hay nhiều sợi chập lại để quấn nhưng không nên quá 4.

Dây quấn liên tục có ưu điểm là chịu được lực cơ học tốt, làm nguội tốt và không có mối hàn. Nhưng nhược điểm là quá trình quấn phức tạp, vì khi một bánh quấn từ trong ra ngoài như thường lệ, thì bánh tiếp theo phải quấn từ ngoài vào trong. Muốn quấn được bánh này trước hết phải quấn tạm từ trong ra ngoài như bánh trước đó đã, sau đó khi đầy bánh phải giữ lấy đầu cuối và đầu đầu của nó rồi dùng tay nẹp lại để cho những vòng trong ra ngoài và vòng ngoài vào trong. Như vậy ta được một đôi bánh thứ nhất. Cứ thế tiếp tục sang những đôi bánh khác (xem giáo trình "Công nghệ chế tạo m.b.a" của bộ môn Thiết bị điện).

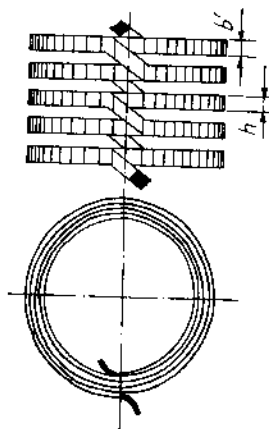
Yêu cầu đối với dây quấn này là:

- Các đầu ra của dây quấn phải ở phía ngoài cùng bánh dây, để cách điện đỡ phiền phức. Như vậy số bánh dây phải là số chẵn.

- Khi chập nhiều sợi phải hoán vị giữa các sợi dây. Nhưng việc hoán vị ở đây có thể tiến

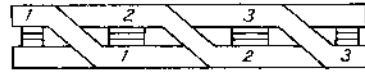


Hình 3-33. Bánh dây kép có cách điện lớp bằng cacton (a) và bánh dây đơn có cách điện bằng giấy cáp (b).



Hình 3-34. Dây quấn xoáy ốc liên tục.

hành giữa hai bánh cạnh nhau và không làm thay đổi chiều cao của dây quấn (hình 3-35).



Hình 3-35. Chuyển tiếp giữa các bánh dây có hoán vị của 3 sợi dây song song

Dây quấn xoáy ốc liên tục chủ yếu dùng làm cuộn *CA* và thường dùng trong một dải công suất rộng các m.b.a từ 160 đến 1000000 kVA, điện áp từ 2 đến 500 kV và hơn nữa. Nó cũng có thể dùng làm cuộn *HA* cho những m.b.a có dòng điện từ 10; 15 đến 300 A.

Ngoài những kiểu dây quấn chính thường dùng trên còn có một số kiểu dây quấn khác như dây quấn không cộng hưởng, dây quấn xen kẽ... dùng trong những m.b.a đặc biệt hay có những yêu cầu đặc biệt như trong các m.b.a chống sét, m.b.a hàn điện...

Như đã biết (chương 1) hiện nay ngoài dây quấn làm bằng dây đồng, một số nước công nghiệp phát triển trên thế giới còn dùng dây nhôm. Như vậy sẽ tiết kiệm được đồng - một kim loại chiến lược rất quan trọng, mặt khác nhôm nhẹ, rẻ hơn nên giảm được trọng lượng máy và một phần giá thành vật liệu dây quấn. Tuy vậy dùng nhôm vẫn còn có một số khó khăn về kỹ thuật làm giảm tính năng của máy cần phải tiếp tục khắc phục. Do đó nó chưa được dùng nhiều trong các m.b.a loại lớn.

§3.3 ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP DÂY QUẤN CAO ÁP

Như ta đã biết tải của m.b.a luôn luôn thay đổi. Khi tải thay đổi, điện áp ra của m.b.a thay đổi theo. Để duy trì điện áp ra ổn định, cần phải thiết kế các đầu dây điều chỉnh điện áp để thay đổi được số vòng dây cho thích hợp. Các đầu dây điều chỉnh (hay còn gọi là đầu phân áp) thường được bố trí trên cuộn *CA*, vì bản thân cuộn *CA* gồm nhiều vòng dây do đó dễ điều chỉnh chính xác; mặt khác đồng điện lại nhỏ nên có thể làm bộ đổi nối nhỏ, gọn.

Ở các m.b.a giảm áp muốn tăng hay giảm điện áp cuộn hạ áp *HA* thì phải giảm hay tăng số vòng dây cuộn cao áp *CA*; ở các m.b.a tăng áp muốn tăng hay giảm điện áp ở cuộn cao áp *CA* thì phải tăng hay giảm số vòng cũng ở trên bản thân cuộn *CA*. Việc điều chỉnh điện áp nói trên được tiến hành bằng tay khi m.b.a đã được cắt ra khỏi lưới điện - ta gọi là điều chỉnh điện áp không kích thích (*DKT*). Muốn điều chỉnh tự động và không phải cắt

b.a ra khỏi lưới thì phải có thiết bị điều chỉnh điện áp tự động dưới tải. Những m.b.a như vậy gọi là m.b.a điều chỉnh điện áp dưới tải (*DDT*).

Tiêu chuẩn quốc tế những năm gần đây người ta qui định như sau: Tất cả các m.b.a đầu công suất từ 25 đến 200000 kVA khi điều chỉnh không có kích thích thì ở cuộn *CA* (và *TA*) có 4 cấp điều chỉnh điện áp là +5; +2,5; -2,5 và -5% điện áp định mức. Việc chuyển đổi các đầu điều chỉnh điện áp được tiến hành nhờ bộ đổi nối riêng đặt trong m.b.a có tay quay điều khiển gắn trên thùng.

Đối với máy biến áp điều chỉnh dưới tải thì tiêu chuẩn qui định các cấp điều chỉnh như sau:

Máy biến áp hai dây quấn:

1000 ÷ 6300 kVA, 20 và 35 kV...	$\pm 6 \times 1,50 = \pm 9\%$
2500 kVA, 110 kV, <i>DDT</i> phía <i>HA</i>	$+ 10 \times 1,50 = +15\%$
	$- 8 \times 1,50 = -12\%$
6300 ÷ 125000 kVA, 110 kV...	$\pm 9 \times 1,67 = \pm 16\%$

Máy biến áp ba dây quấn:

6300 kVA, 35 kV...	$\pm 6 \times 1,50 = \pm 9\%$
10000 ÷ 160000 kVA, 35 kV...	$\pm 8 \times 1,50 = \pm 12\%$
6300 ÷ 80000 kVA, 110 kV...	$\pm 9 \times 1,67 = \pm 16\%$

Đối với các m.b.a công suất từ 400 ÷ 630 kVA, điện áp 10 ÷ 35 kV có thể chế tạo có bộ *DDT* theo thỏa thuận giữa khách hàng và nhà sản xuất.

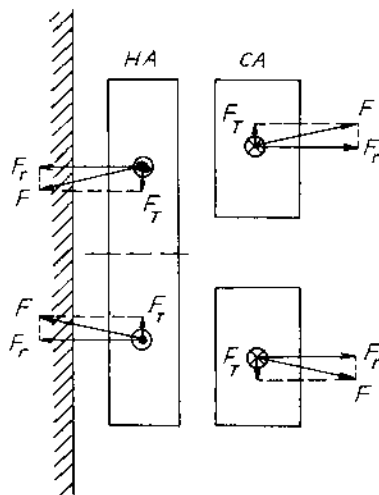
Khi điều chỉnh điện áp sẽ có một số vòng dây không có dòng điện do đó lực tác dụng đặt lên trọng tâm các dây quấn lệch đi (hình 3-36) làm cho m.b.a phải chịu những lực chiều trục đáng kể. Cách bố trí và chọn các đoạn điều chỉnh điện áp phải làm sao cho lực đó nhỏ nhất (đặc biệt là khi có ngắn mạch) và từ trường tản được đều đặn hơn.

Có các kiểu bố trí đoạn dây điều chỉnh điện áp như sau:

1. Đoạn dây điều chỉnh ở cuối dây quấn (hình 3-37a). Kiểu này hay dùng trong các m.b.a công suất tới 160 kVA với dây quấn hình ống nhiều lớp và lúc đó các đầu phân áp nằm ở lớp ngoài. Đối với các m.b.a có công suất từ 250 kVA trở lên, để tránh lực cơ học tác dụng lên các vòng dây khi ngắn mạch, thường đoạn dây điều chỉnh nằm ở lớp ngoài cùng, mỗi nấc điều chỉnh được bố trí thành hai nhóm trên dưới dây quấn nối tiếp với nhau (hình 3-37b) và phân bố đều trên toàn chiều cao dây quấn nên không xuất hiện

lực chiều trục. Chú ý rằng, hai nhóm của đoạn dây điều chỉnh phải quấn cùng chiều với dây quấn chính.

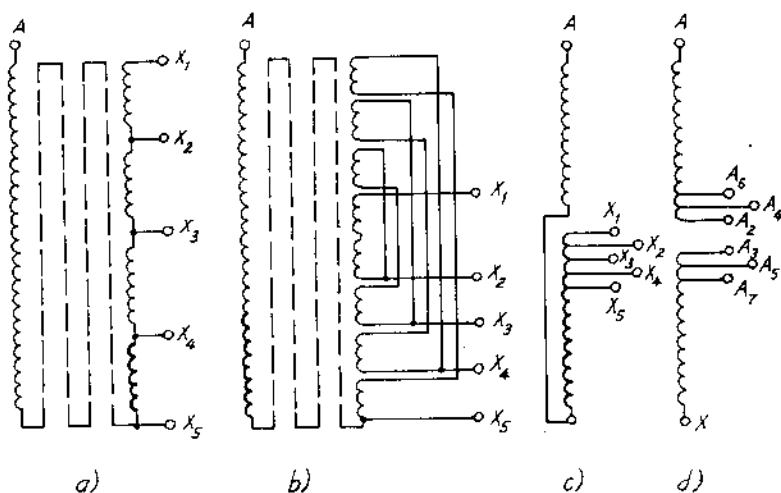
2. Đoạn dây điều chỉnh ở giữa dây quấn với đầu dây nối "ngược" (hình 3-37c): Kiểu này thường dùng cho các m.b.a công suất không quá 1000 kVA và điện áp đến 38,5 kV với dây quấn hình ống nhiều lớp phân đoạn hay dây quấn xoáy ốc liên tục. Để bảo đảm từ thông cùng chiều trong lõi sắt, hai nửa cuộn dây phải quấn ngược chiều nhau. Kiểu này lực chiều trục nhỏ, nhưng điện áp giữa hai đầu A_1 và X rất lớn nên phải tăng cường cách điện ở đó, chiều cao dây quấn sẽ tăng lên. Vì vậy không dùng với điện áp quá cao.



Hình 3-36. Sự xuất hiện lực chiều trục trong cuộn dây khi có điều chỉnh điện áp

Cả hai kiểu trên dùng trong các m.b.a nối Y rất thuận tiện vì có thể dùng một cầu dao biến đổi điện áp chung.

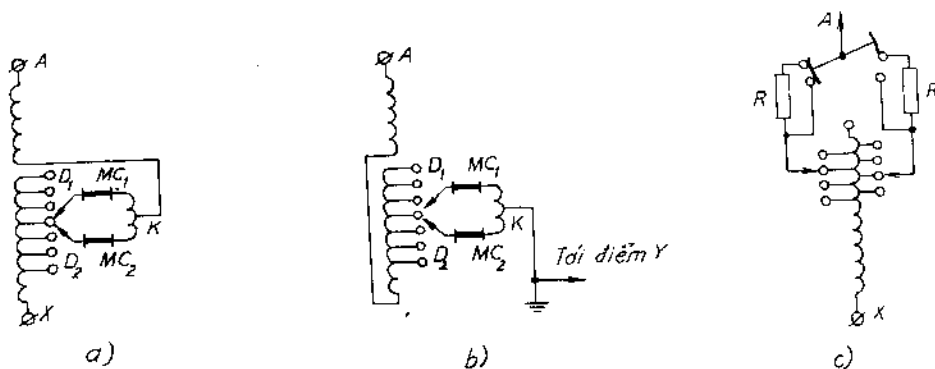
3. Đoạn dây điều chỉnh ở giữa dây quấn với đầu nối "thuận" (hình



3-37d): Kiểu này cũng dùng cho các loại dây quấn như kiểu thứ hai đã trình bày trong hình 3-37c, nhưng với điện áp cao hơn từ 3 + 220 kV và khắc phục được những nhược điểm của kiểu trên, có thể dùng cho dây quấn nối D nhưng có khuyết điểm là nhiều đầu phân áp nên tổn hao phụ tăng lên. Cũng cần nhớ rằng kiểu này thường phải dùng ba cầu dao riêng biệt để điều chỉnh điện áp vì nếu dùng cầu dao ba pha thì điện áp trên các pha cầu dao lớn quá, có thể đến 50% U_{dm} .

Sơ đồ dây quấn có điều chỉnh dưới tải DDT vẽ ở hình 3-38. Các m.b.a có công suất đến 6300 kVA, điện áp CA đến 10 kV hay các m.b.a có công suất đến 16000 kVA, điện áp đến 35 kV có thể dùng sơ đồ điều chỉnh dưới tải DDT như ở hình 3-38a. Với dây quấn 110 kV, 220 kV trung tính nối đất có thể dùng sơ đồ hình 3-38b. Ở sơ đồ này, thiết bị của bộ DDT có thể dùng với điện áp 35 kV. Còn khi thiết bị của điều chỉnh điện áp dưới tải mắc ở cuối đường dây vào m.b.a thì dùng sơ đồ ở hình 3-8c. Để hạn chế dòng điện ngắn mạch khi chuyển đầu điều chỉnh có thể dùng cuộn kháng điện (hình 3-38a, b) hay điện trở (hình 3-38c). Sơ đồ hình 3-38c thường dùng cho thiết bị cắt nhanh.

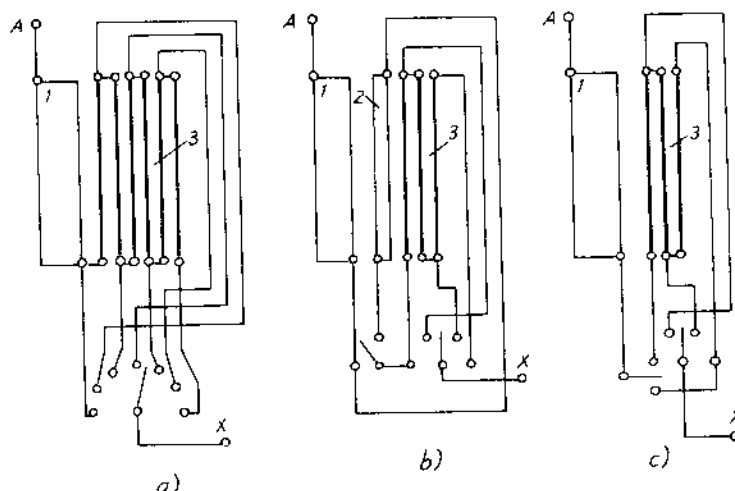
Trong các m.b.a có DDT, đoạn dây điều chỉnh nên tổ chức kiểu hình ống nhiều lớp có chiều cao bằng dây quấn chính, đồng tâm và bố trí mặt ngoài dây quấn chính ứng với các nấc 1,5 đến 1,67% điện áp định mức rải đều trên toàn chiều cao dây quấn. Hình 3-39a là sơ đồ dây quấn điều chỉnh đơn với 6 cấp điều chỉnh điện áp của đoạn dây điều chỉnh 3 nối tiếp với dây quấn chính. Ở hình 3-39b thì đoạn dây điều chỉnh được phân ra hai nhóm: nhóm



Hình 3.38. Sơ đồ điều chỉnh điện áp dưới tải với các cấp điện áp khác nhau của dây quấn.

a) đến 35 kV; b), 110 kV; c) 110 kV và lớn hơn.

điều chỉnh lớn (thô) 2 (*DL*) và nhóm điều chỉnh tinh 3 (*DT*) được bố trí mặt ngoài phần dây quấn chính 1.



Hình 3-39. Sơ đồ bố trí dây quấn chính và dây quấn điều chỉnh của cuộn dây *CA* trong các máy biến áp có *DDT*.

1. Dây quấn chính (cơ bản); 2. Dây điều chỉnh thô *DL*; 3. dây điều chỉnh tinh *DT*.

§3.4. LỰA CHỌN KẾT CẤU DÂY QUẤN

Việc lựa chọn kết cấu dây quấn kiểu này hay kiểu khác phải căn cứ vào yêu cầu vận hành và chế tạo để ra trong nhiệm vụ thiết kế. Những yêu cầu chính là: bảo đảm được độ bền về các mặt điện, cơ và nhiệt, đồng thời chế tạo phải đơn giản và rẻ tiền.

Sau đây ta sẽ giới thiệu cách chọn kết cấu của dây quấn căn cứ vào những đại lượng điện của chúng: dòng điện tải trên một trụ I_t , công suất trên trụ S' , điện áp định mức U_{dm} và tiết diện ngang một vòng dây T . Đó là những số liệu giới hạn cơ bản dùng để chọn dây quấn.

Trước hết ta phải sơ bộ xác định tiết diện của mỗi vòng dây của dây quấn theo công thức sau:

$$T = \frac{I_t}{\Delta_{tb}}, \text{ (m}^2\text{)} \quad (3-1)$$

trong đó I_t là dòng điện trong cuộn dây trên một trụ sắt (A);

Δ_{tb} là mật độ dòng điện trung bình trong các dây quấn *CA* và *HA*. Sơ bộ có thể tính theo công thức:

- Đối với dây đồng:

$$\Delta_{tb} = 0,746k_f \frac{P_n u_v}{S d_{12}} 10^4 (\text{A/m}^2); \quad (3-2)$$

- Đối với dây nhôm:

$$\Delta_{tb} = 0,463k_f \frac{P_n u_v}{S d_{12}} 10^4, (\text{A/m}^2), \quad (3-2')$$

trong đó S là công suất toàn phần của m.b.a (kVA);

P_n là tổn hao ngắn mạch (W). Nếu là biến áp ba dây quấn thì lấy P_n đối với hai cuộn trong cùng khi công suất của chúng đều là 100%; với dây quấn công suất 67% thì phải nhân Δ_{tb} ở (3-2) với 0,67. Đối với m.b.a tự ngẫu thì S là công suất tính toán.

u_v là điện áp mỗi dòng dây (V);

d_{12} là đường kính trung bình của rãnh đầu giữa các dây quấn (m);

k_f là hệ số kể đến tổn hao phụ trong dây quấn, trong dây dẫn ra, trong vách thùng dầu... tra ở bảng 15.

Trị số Δ_{tb} sau khi tính xong có thể nghiệm lại theo bảng 37. Bảng này có thể cho Δ_{tb} trong trường hợp chưa biết tổn hao ngắn mạch. Đối với m.b.a khô vì điều kiện làm nguội kém hơn nên Δ_{tb} tính ở trên phải nhân với hệ số 0,93 ÷ 0,97.

Cần nhớ rằng Δ_{tb} tính được ở trên chỉ là trị số gần đúng cho các dây quấn CA và HA. Trị số trung bình thực tế Δ_{tb} trong các dây quấn phải làm sao gần sát với trị số này, sai số cho phép không được quá $0,1\Delta_{tb}$.

Sau khi đã xác định được Δ_{tb} và tiết diện T của vòng dây của mỗi dây quấn ta có thể chọn kiểu kết cấu dây quấn dựa theo chỉ dẫn ở bảng 38. Chú ý khi chọn kiểu dây quấn của cuộn CA thì chọn luôn cả sơ đồ điều chỉnh điện áp của nó. Bảng này cũng có thể dùng cho m.b.a khô nhưng cần lưu ý là trị số dòng điện phải giảm đi khoảng 30 ÷ 35%, còn điện áp định mức không được quá 15 kV.

Nếu có hai kiểu dây quấn cùng đạt một yêu cầu thì nên chọn kiểu nào chế tạo đơn giản và rẻ tiền hơn. Nếu có thêm những yêu cầu đặc biệt như tăng cường độ bền cơ, hay điện... thì cũng cần phải chú ý để cân nhắc, phối hợp lựa chọn một phương án thích hợp.

Một điều cần lưu ý là khi tính toán dây quấn, việc lựa chọn kích thước sợi dây dẫn có ý nghĩa quan trọng. Đối với kiểu dây quấn dùng dây dẫn tròn, thường chọn một sợi dây có tiết diện gần với tiết diện xác định theo mật độ

dòng điện Δ_{10} đã chọn, ít khi chọn hai sợi chập. Đối với dây quấn kiểu bánh dồng dùng dây chữ nhật như dây hình xoắn, dây quấn xoáy ốc liên tục hay dây quấn hình ống một hay nhiều lớp dâyбет, chọn dây dẫn có tiết diện lớn sẽ đỡ phức tạp về công nghệ quấn dây, kết cấu gọn, nhưng sẽ bị hạn chế về điều kiện tản nhiệt của dây quấn và tổn hao phụ cho phép do dòng xoáy gây nên bởi từ trường tản.

Việc chọn kích thước tiết diện sợi dây dẫn liên quan bởi mật độ dòng nhiệt tỏa ra từ bề mặt dây quấn q . Trị số q phải thỏa mãn điều kiện $q \leq 1200 \div 1400 \text{ W/m}^2$, và bất cứ trường hợp nào cũng không được vượt quá 1500 W/m^2 . Trường hợp m.b.a dùng phương pháp tuần hoàn dầu cưỡng bức thì cho phép $q \leq 2000 \div 2200 \text{ W/m}^2$. Mật độ dòng nhiệt lớn sẽ tổn dầu hoặc sẽ làm dầu chóng bị già hóa, ngược lại giảm được q sẽ kéo dài tuổi thọ của dầu, chậm phải thay dầu. Đối với dây nhôm, trị số q ở trên phải giảm đi $20 \div 25\%$.

Với m.b.a khô, mật độ dòng nhiệt cho phép thấp hơn và phụ thuộc vào kích thước rãnh làm mát giữa các dây quấn và vào cấp chịu nhiệt của cách điện. Có thể xem trị số q cho phép đối với loại m.b.a khô ở bảng 54b, c. Thông thường với cách điện cấp A dây quấn trong có rãnh cách điện dọc rộng 1 cm, rãnh ngang 0,8 cm có thể cho phép $q \leq 280 \text{ W/m}^2$; Đối với dây quấn ngoài chỉ có một mặt làm lạnh ngoài (do dây quấn quấn trực tiếp lên ống cách điện không có rãnh dọc) có thể cho phép $q \leq 600 \text{ W/m}^2$.

Trong dây quấn kiểu bánh dây (như dây quấn hình xoắn, dây quấn xoáy ốc liên tục), cạnh lớn của sợi dây b (xem hình 6-2c) có thể được chọn theo điều kiện tỏa nhiệt (§6.2) theo công thức:

$$\text{- Đối với dây đồng} \quad b \leq q.k/(1,07.\Delta^2.10^6); \quad (3-3)$$

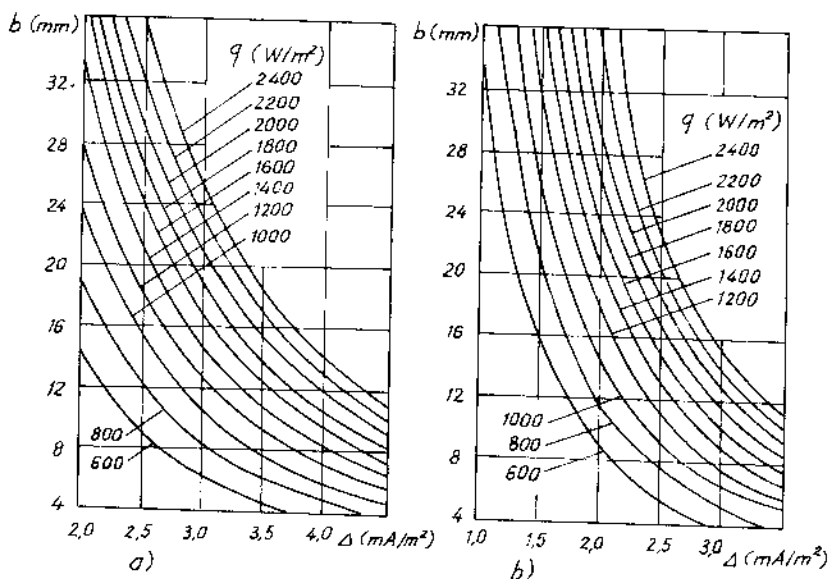
$$\text{- Đối với dây nhôm} \quad b \leq q.k/(1,72.\Delta^2.10^6); \quad (3-4)$$

Trong đó lấy hệ số che khuất bởi các chi tiết cách điện $k = 1,0$.

Hoặc b có thể chọn theo đường cong ở hình 3-40.

Nếu b thu được theo công thức hay đường cong trên gần hay vượt quá kích thước lớn nhất trong bảng 21 thì tách bánh dây làm hai và làm bánh kép, hai bánh có một rãnh dầu ngang (hình 6-2d).

Trong các dây quấn hình ống dây chữ nhật, một lớp hoặc hai lớp (hình 6-2a), việc giới hạn cạnh lớn b chỉ cần thiết khi sử dụng kiểu quấn gần đúng. Trường hợp này, phải thay $k = 0,75$ nếu sử dụng các công thức (3-3), (3-4), hay nhân với hệ số 0,75 nếu sử dụng đồ thị hình 3-40. Nếu là dây quấn hình ống nhiều lớp dây chữ nhật thì $k = 0,8$.



Hình 3-40. Đồ thị để xác định sơ bộ kích thước dây dẫn b theo trị số q và Δ trong dây quấn kiểu bánh dây, hình xoắn, liên tục hay hình ống dùng dây chữ nhật.
a) Dây đồng; b) Dây nhôm; Đối với dây quấn hình ống, kích thước b từ đồ thị phải nhân 0,8.

§3.5. TÍNH TOÁN DÂY QUẤN M.B.A

3.5.1. Tính dây quấn hạ áp HA

Ở các m.b.a hai dây quấn, dây quấn HA quấn trong, dây quấn CA quấn ngoài. Tính toán dây quấn HA trước rồi sau đó đến dây quấn CA. Ở các m.b.a ba dây quấn thì bắt đầu tính dây quấn ở trong cùng là HA (hoặc TA) sau đó đến dây quấn giữa TA (hoặc HA) rồi tiếp đến dây quấn CA ngoài cùng.

1. Số vòng dây một pha của dây quấn HA:

$$w_1 = \frac{U_{11}}{u_v}, \quad (3-5)$$

trong đó U_{11} là điện áp trên một trụ của dây quấn HA (V).

Đối với m.b.a ba pha $U_{11} = U_{11}$;

Đối với m.b.a một pha $U_{11} = \frac{1}{2}U_{11}$ nếu hai nửa dây quấn trên hai trụ nối nối tiếp; $U_{11} = U_{11}$ nếu hai nửa dây quấn trên hai trụ nối song song.

Trị số w_1 nên lấy tròn thành một số nguyên (có thể chẵn hoặc lẻ).

2. Điện áp thực của mỗi vòng dây là:

$$u_v = \frac{U_{\Omega}}{w_1} \quad (\text{V}) \quad (3-6)$$

3. Cường độ từ cảm thực trong trụ sắt là:

$$B_1 = \frac{u_v}{4,44f.T_1} \quad (\text{T}) \quad (3-7)$$

Theo bảng 38 ta thấy, dây quấn *HA* chủ yếu dùng hai kiểu: hình ống một hay hai lớp dây dẫn chữ nhật và dây quấn hình xoắn mạch đơn hay mạch kép (còn một loại khác nữa là *dây quấn hình ống nhiều lớp bằng nhôm tấm* đã bắt đầu được sử dụng nhưng chưa rộng rãi nên không giới thiệu cách tính toán (xem 3.2.3 và hình 3-23). Các kiểu dây quấn khác chủ yếu dùng làm dây quấn *CA*. Do đó ở đây ta sẽ trình bày phương pháp tính toán dây quấn *HA* đối với hai kiểu dây quấn đó⁽¹⁾. Các kiểu dây quấn khác sẽ trình bày cách tính trong phần tính dây quấn *CA*.

3.5.1.1. Dây quấn hình ống, dây dẫn chữ nhật

Thông thường là dùng dây quấn hai lớp (hình 3-41). Trình tự tính toán như sau:

1. Số vòng dây trong một lớp:

$$\text{Dây quấn một lớp: } w_{11} = w_1 \quad ; \quad (3-8a)$$

$$\text{Dây quấn hai lớp: } w_{11} = \frac{w_1}{n} \quad , \quad (3-8b)$$

trong đó n là số lớp.

2. Chiều cao hướng trục của mỗi vòng dây (kể cả cách điện) sơ bộ có thể tính:

$$h_{vt} = \frac{l_1}{w_1 + 1} \quad (\text{m}) \quad (3-9)$$

Số vòng dây được tăng thêm 1 là vì muốn quấn thành ống dây phải chuyển sang vòng sau do đó tuy mới được 1 vòng nhưng chiều cao phải được tăng thêm 1 vòng ở chỗ chuyển vòng (hình 3-42).

(1) Trường hợp nếu những dây quấn này có thể dùng làm dây quấn *CA* thì cách tính này cũng dùng được nhưng thay các ký hiệu 1 của cuộn *HA* bằng ký hiệu 2 cho cuộn *CA* và lúc tính toán coi như đã có dây quấn *HA* ở phía trong và bắt đầu tính từ đó trở đi.

3. Tiết diện sơ bộ của một vòng dây của dây quấn HA:

$$T'_1 = \frac{I_1}{\Delta_{tb} \cdot 10^{-6}} \cdot (\text{mm}^2) \quad (3-10)$$

4. Căn cứ vào chiều cao h_{v1} và tiết diện T'_1 của vòng dây, chọn dây dẫn theo bảng 21 hoặc bảng 22. Lúc chọn dây cần lưu ý những điểm sau đây:

- Số sợi chập không nên quá 4 đến 6 sợi.

- Không nên dùng nhiều (quá 2) sợi có tiết diện khác nhau vì rất bất tiện cho việc đặt hàng.

- Kích thước hướng kính của các sợi phải bằng nhau.

- Nên quấn nẹp sợi dây dẫn, nếu quấn dụng thì chỉ nên dùng trong

trường hợp tỷ lệ kích thước sợi dây ở trong phạm vi $1,3 < b/a < 3$.

Kích thước dây dẫn chọn được viết như sau:

$$\text{số sợi chập} \times \frac{\text{Kích thước dây trần}}{\text{Kích thước dây có cách điện}}; \text{tiết diện mỗi sợi dây}$$

tức là:

$$n_{v1} \times \frac{a \times b}{a' \times b'}; T_{d1};$$

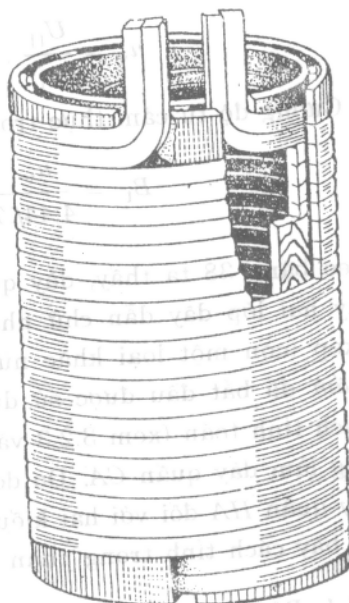
Kích thước chiều trục của vòng dây xem hình 3-43.

5. Tiết diện của mỗi vòng dây gồm n_{v1} sợi dây chập đã chọn sẽ là:

$$T_1 = \sum_1^{n_{v1}} T_{d1} \cdot 10^{-6} \cdot (\text{m}^2)$$

6. Mật độ dòng điện thực trong dây quấn:

$$\Delta_1 = \frac{I_1}{T_1} \cdot (\text{A/m}^2)$$



Hình 3-41. Dây quấn hình ống hai lớp dây dẫn chữ nhật.



Hình 3-42. Đo chuyển vòng dây làm chiều cao dây quấn tăng thêm 1 vòng

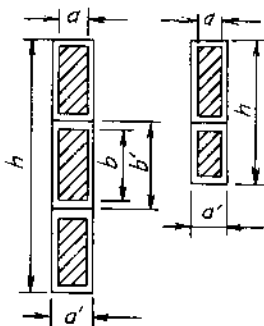
(3-11)

(3-12)

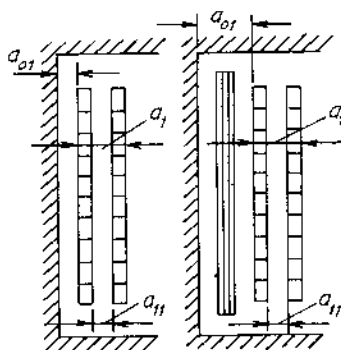
7. Chiều cao tính toán của dây quấn HA:

$$l_1 = h_{v1}(w_{11} + 1) + (0,005 + 0,015) \cdot (m) \quad (3-13)$$

Trị số $0,005 + 0,015$ m là để kể đến việc quấn dây không chặt.



Hình 3-43. Xác định chiều cao của vòng dây



Hình 3-44. Dùng cho việc xác định kích thước hướng kính của dây quấn.

8. Bề dày của dây quấn HA (xem hình 3-44):

Đối với dây quấn ống đơn (tức một lớp):

$$a_1 = a' \cdot 10^{-3} \cdot (m) \quad (3-14a)$$

Đối với dây quấn ống kép (tức hai lớp):

$$a_1 = (2a' + a_{11}) \cdot 10^{-3} \cdot (m) \quad (3-14b)$$

trong đó $a_{11} = 5$ mm là khoảng cách giữa hai lớp của dây quấn ống kép.

9. Đường kính trong của dây quấn HA:

$$D_1' = d + 2a_{o1} \cdot 10^{-3} \cdot (m) \quad (3-15)$$

Trị số a_{o1} tra ở bảng 18.

10. Đường kính ngoài của dây quấn HA:

$$D_1'' = D_1' + 2a_1 \cdot (m) \quad (3-16)$$

12. Bề mặt làm lạnh của dây quấn HA:

$$M_1 = (n + 1)tk\pi (D_1' + D_1'')l_1 \cdot (m^2) \quad (3-17)$$

trong đó n là số rãnh dầu dọc trục của dây quấn HA;

t là số trụ tác dụng;

$k = 0,75$ là hệ số kể đến sự che khuất bề mặt dây quấn do que nêm và các chi tiết cách điện khác.

3.5.1.2. Dây quấn hình xoắn (xem hình 3-24)

Trình tự tính toán như sau:

1. Chiều cao sơ bộ mỗi vòng dây: chọn dây xoắn mạch đơn hay kép phụ thuộc vào chiều cao của một vòng dây.

Đối với dây hình xoắn mạch đơn:

$$h_{v1} = \frac{l_1}{w_1 + 4} - h_{r1} \quad (\text{m}) \quad (3-18)$$

Đối với dây hình xoắn mạch kép:

$$h_{v1} = \frac{l_1}{w_1 + 1} - h_{r1} \quad (\text{m}) \quad (3-19)$$

trong đó h_{r1} là kích thước hướng trục của rãnh đầu giữa các bánh dây (xem bảng 54a), thường lấy không bé hơn 0,004 m (4 mm)

Con số 4 trong công thức (3-18) đối với dây quấn hình xoắn mạch đơn là kể đến chiều cao dây quấn được tăng lên ngoài 1 vòng như ở dây quấn hình ống còn thêm 3 vòng do 3 chỗ hoán vị nửa. Đối với dây quấn hình xoắn mạch kép vì hoán vị phân bố đều nên chiều cao dây quấn chỉ tăng thêm 1 vòng như dây quấn hình ống.

Vì h_{v1} bằng chiều lớn nhất b của dây dẫn, nhưng b tối đa chỉ đến 16,50 mm đối với dây đồng và 18,50 mm đối với dây nhôm (bảng 21), do đó dùng dây quấn hình xoắn mạch đơn khi $h_{v1} \leq 0,0165$ m (16,5 mm) đối với dây đồng và $h_{v1} \leq 0,0185$ m (18,5 mm) đối với dây nhôm; trường hợp $0,035 + 0,045 \geq h_{v1} \geq 0,0155 + 0,0185$ m, nghĩa là $(35 \div 45) \geq h_{v1} \geq 15,5 + 18,5$ mm) thì có thể dùng dây quấn hình xoắn mạch kép.

2. Tiết diện sơ bộ của mỗi vòng dây:

$$T_1 = \frac{I_1}{\Delta_{1b} 10^{-6}} \quad (\text{mm}^2) \quad (3-20)$$

3. Căn cứ vào h_{v1} và T_1 chọn dây dẫn theo bảng 21 và 22.

Cần phải chú ý đến các yêu cầu sau đây:

- Số sợi ghép chập tối thiểu là 4 nếu là dây quấn mạch đơn, là 8 nếu là dây quấn mạch kép.

- Tất cả các sợi chập phải có kích thước và tiết diện ngang bằng nhau.

Kích thước dây dẫn chọn ghi như sau:

số sợi chập $\times \frac{\text{kích thước dây trần}}{\text{kích thước dây có cách điện}}$; tiết diện sợi dây

hay là

$$n_{vl} \frac{a \times b}{a' \times b'} ; T_{dl} .$$

4. Tiết diện mỗi vòng dây:

$$T_l = n_{vl} \cdot T_{dl} \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)} \quad (3-21)$$

5. Mật độ dòng điện thực:

$$\Delta_l = \frac{I_l}{T_l} \text{ (A/m}^2\text{)} \quad (3-22)$$

6. Chiều cao của dây quấn có thể có những trường hợp sau:

a) Đối với dây quấn hình xoắn mạch đơn, hoán vị 3 chỗ, giữa các bánh dây đều có rãnh dầu (hình 3-45a):

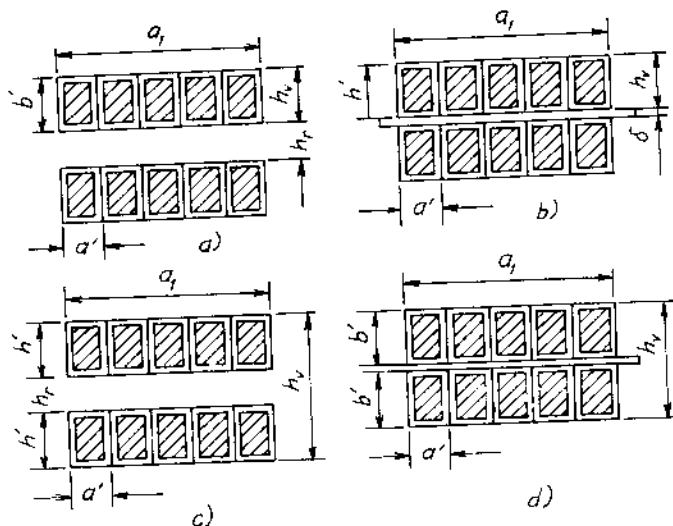
$$l_l = b' \cdot 10^{-3} (w_l + 4) + k \cdot h_r (w_l + 3) \cdot 10^{-3} \text{ (m)} \quad (3-23a)$$

Cộng thêm 4 và 3 trong biểu thức (3-23a) vì có 3 chỗ hoán vị nên chiều cao tất cả các bánh dây tăng thêm 4 bánh và rãnh dầu tăng thêm 1 rãnh.

b) Đối với dây quấn hình xoắn mạch đơn hoán vị 3 chỗ, nhưng 2 bánh dây mới có một rãnh dầu (hình 3-4b):

$$l_l = b' \cdot 10^{-3} (w_l + 1) + k \cdot [h_l (w_l / 2 + 2) + \delta \cdot \frac{w_l}{2} \cdot 10^{-3}] \text{ (m)} \quad (3-23b)$$

trong đó δ là chiều dày tấm đệm cách điện giữa từng đôi bánh dây một, thường $\delta = 1,0 \div 1,5 \text{ mm}$.



Hình 3-45. Dùng cho việc xác định các kích thước hướng trục và hướng kính của dây quấn hình xoắn.

c) Đối với dây quấn hình xoắn mạch kép hoán vị phân bố đều, có rãnh dầu giữa tất cả các bánh dây (hình 3-45c):

$$l_1 = 2b' \cdot 10^{-3}(w_1 + 1) + k \cdot h_r(2w_1 + 1) \cdot 10^{-3} \quad (\text{m}) \quad (3-23c)$$

d) Đối với dây quấn hình xoắn mạch kép nhưng không làm rãnh dầu giữa các bánh dây:

$$l_1 = 2b' \cdot 10^{-3}(w_1 + 1) + k[h_r w_1 + \delta(w_1 + 1)10^{-3}] \quad (\text{m}) \quad (3-23d)$$

Hệ số k trong các biểu thức tính toán l_1 ở trên là kể đến sự co ngót của tấm đệm sau khi ép chặt cuộn dây, có thể lấy $k = 0,94 + 0,96$ (có khi lấy đến 0,9).

7. Bề dày của dây quấn (xem hình 3-45):

$$a_1 = \frac{n_{v1}}{n} a' \cdot 10^{-3} \quad (\text{m}) \quad (3-24)$$

trong đó $n = 1$ đối với dây quấn hình xoắn mạch đơn;

$n = 2$ đối với dây quấn hình xoắn mạch kép.

8. Đường kính trong của dây quấn

$$D'_1 = d + 2a_{o1} \cdot 10^{-3} \quad (\text{m}) \quad (3-25)$$

9. Đường kính ngoài của dây quấn:

$$D''_1 = D'_1 + 2a_1 \quad (\text{m}) \quad (3-26)$$

10. Bề mặt làm lạnh của dây quấn:

a) Với dây quấn hình xoắn mạch đơn có rãnh dầu giữa tất cả các bánh dây:

$$M_1 = 2t \cdot k \cdot \pi(D'_1 + a_1)(a_1 + b' \cdot 10^{-3})w_1 \quad (\text{m}^2) \quad (3-27a)$$

b) Với dây quấn hình xoắn mạch đơn có rãnh dầu giữa từng đôi bánh dây một:

$$M_1 = t \cdot k \cdot \pi(D'_1 + a_1)(a_1 + 2b' \cdot 10^{-3})w_1 \quad (\text{m}^2) \quad (3-27b)$$

c) Với dây quấn hình xoắn mạch kép có rãnh dầu giữa tất cả các bánh dây:

$$M_1 = 4t \cdot k \cdot \pi(D'_1 + a_1)(a_1 + b' \cdot 10^{-3})w_1 \quad (\text{m}^2) \quad (3-27c)$$

d) Với dây quấn hình xoắn mạch kép không có rãnh dầu ngang

$$M_1 = t \cdot k \cdot \pi(D'_1 + a_1)(a_1 + 2b' \cdot 10^{-3})w_1 \quad (\text{m}^2) \quad (3-27d)$$

Trong tính toán sơ bộ hệ số k ở đây là kể đến bề mặt dây quấn bị tấm đệm che khuất, lấy $k = 0,75$.

3.5.2. Tính dây quấn cao áp CA

1. Trước hết phải xác định số vòng dây của dây quấn CA ứng với điện áp định mức:

$$w_{2dm} = w_1 \cdot \frac{U_{t2}}{U_{f1}}.$$

2. Số vòng dây của một cấp điều chỉnh điện áp thường lấy như sau:

- nếu 2 cấp điều chỉnh : $w_{dc} = 0,05w_{2dm}$; (3-29a)

- nếu 4 cấp điều chỉnh : $w_{dc} = 0,025w_{2dm}$. (3-29b)

3. Số vòng dây tương ứng ở các đầu phân áp là:

Đối với m.b.a có 2 cấp điều chỉnh điện áp $\pm 5\% U_{dm}$ thì có các đầu phân nhánh ứng với các số vòng dây sau đây:

$$w_2 = w_{2dm} + w_{dc}; w_2 = w_{2dm}; w_{2dm} - w_{dc}.$$

Đối với m.b.a có 4 cấp điều chỉnh điện áp:

$$w_2 = w_{2dm} + 2w_{dc}; w_2 = w_{2dm} + w_{dc}; w_2 = w_{2dm};$$

$$w_2 = w_{2dm} - w_{dc}; w_2 = w_{2dm} - 2w_{dc}.$$

4. Sơ bộ chọn mật độ dòng điện theo công thức:

$$\Delta_2 \approx 2 \Delta_{tb} - \Delta_1 \text{ (A/mm}^2\text{)} \quad (3-30)$$

5. Sơ bộ chọn tiết diện dây dẫn:

$$T'_2 = \frac{I_2}{\Delta_2 \cdot 10^{-6}} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3-31)$$

6. Theo bảng 38 chọn kiểu dây quấn: Dây quấn CA chủ yếu dùng 4 kiểu: hình ống nhiều lớp dây tròn; hình ống nhiều lớp phân đoạn; dây quấn xoáy ốc liên tục và hình ống nhiều lớp dây chữ nhật. Dưới đây ta sẽ giới thiệu trình tự tính toán 4 kiểu dây quấn đó⁽¹⁾.

3.5.2.1. Dây quấn hình ống nhiều lớp dây tròn (hình 3-46)

1. Căn cứ vào tiết diện dây dẫn T'_2 xác định sơ bộ ở trên (3-31) chọn dây dẫn theo bảng 20. Có thể dùng 1 hoặc 2, 3 sợi chập lại để quấn.

Kích thước dây được ghi như sau:

$$\text{Mã hiệu dây dẫn } n_{v2} \times \frac{d_2}{d'_2}; \text{ tiết diện mỗi sợi dây } T_{d2},$$

trong đó n_{v2} là số sợi dây ghép chập, d_2 là đường kính dây trần; d'_2 là đường kính dây có cách điện (mm); T_{d2} (mm²).

(1) Trường hợp nếu chọn dây quấn CA rơi vào kiểu dây quấn HA thì việc tính toán như đã giới thiệu ở mục 4, nhưng lưu ý rằng cách tính toán coi như đã có cuộn HA ở trong.

2. Tiết diện toàn phần của mỗi vòng dây:

$$T_2 = n_{v2} T_{d2} \cdot 10^{-6} \cdot (\text{m}^2) \quad (3-32)$$

3. Mật độ dòng điện thực:

$$\Delta_2 = \frac{I_2}{T_2} (\text{A/m}^2) \quad (3-33)$$

4. Số vòng dây trong một lớp:

$$w_{l2} = \frac{l_2 \cdot 10^3}{n_{v2} \cdot d'_2} - 1 \quad (3-34)$$

trong đó lấy $l_2 = l_1$ (l_1 đã tính trong dây quấn HA).

5. Số lớp của dây quấn:

$$n_{l2} = \frac{w_2}{w_{l2}} \quad (3-35)$$

Nên lấy tròn n_{l2} với số nguyên lớn hơn.

6. Điện áp làm việc giữa hai lớp kề nhau:

$$U_{l2} = 2w_{l2} u_v \cdot (\text{V}) \quad (3-36)$$

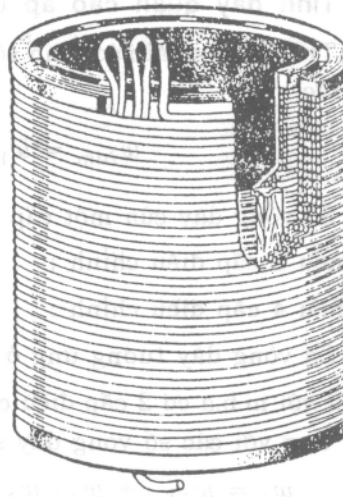
7. Căn cứ vào U_{l2} quyết định chiều dày cách điện giữa các lớp (xem bảng 26).

8. Tra bảng 18 và 19 tìm các kích thước sau: Chiều rộng rãnh dầu a_{12} giữa dây quấn HA và CA; chiều dày ống cách điện giữa hai dây quấn δ_{12} ; khoảng cách cách điện giữa hai dây quấn cao áp a_{22} ; chiều dày ống giấy cách điện giữa hai pha δ_{22} ; khoảng cách từ dây quấn đến gông l_{o2} .

9. Phân phối số vòng dây trong các lớp, chia tổ lớp:

Do số lớp của dây quấn được lấy tròn thành số nguyên nên số vòng dây trong mỗi lớp có thể không đúng bằng w_{l2} đã tính ở trên, do đó cần phải phân phối sao cho số vòng dây giữa các lớp gần xấp xỉ với số đó (nên phân phối hầu hết các lớp đều có số vòng là w_{l2} , còn bao nhiêu phân phối cho một hay vài lớp ngoài cùng).

Để tăng điều kiện làm nguội thường theo chiều dày của dây quấn phân thành hai tổ lớp. Giữa hai tổ có rãnh dầu dọc trục a'_{22} . Tổ lớp trong làm nguội khó khăn hơn nên bố trí ít lớp hơn tổ lớp ngoài. Thường tổ lớp trong không quá 1/3 đến 2/5 tổng số lớp của dây quấn. Nếu kiểu dây quấn này dùng làm cuộn HA hay TA thì hai tổ lớp nên bố trí có số lớp bằng nhau. Kích thước rãnh dầu dọc trục xem ở bảng 55.



Hình 3-46. Dây quấn hình ống nhiều lớp, dây dẫn tròn.

10. Chiều dày dây quấn CA:

$$a_2 = [a'_2(n + m) + \delta_{12}[(n - 1) + (m - 1) + a'_{22}].10^{-3} \cdot (m) \quad (3-37a)$$

trong đó n, m là số lớp của mỗi tổ lớp, $n + m = n_{12}$.

Trong các dây quấn điện áp 35 kV, thường ở đầu dây quấn - tức ở lớp trong cùng của cuộn CA người ta có bố trí màn chắn tĩnh điện bằng kim loại dày 0,5 mm nối điện với dây quấn CA. Màn chắn có cách điện hai phía bằng cách điện lớp nên lúc đó chiều dày dây quấn CA sẽ là:

$$a_2 = [a'_2 + (\delta_c + 2\delta_1)].10^{-3}, (m) \quad (3-37b)$$

trong đó a'_2 theo (3-35); $\delta_c = 0,5$ mm; δ_1 tra ở bảng 26, thường $\delta_c + 2\delta_1 \approx 2,5$ mm.

Chú ý rằng (3-37b) chỉ dùng để tính kích thước hình học cuộn dây, còn lúc tính s.d.d cần căn tính a_2 thì vẫn dùng (3-37a) và lúc đó coi rằng rãnh dầu được tăng lên thành:

$$a'_{12} = (a_{12} + \delta_c + 2\delta_1).10^{-3}, \quad (3-38)$$

trong đó a_{12} tra ở bảng 19.

11. Đường kính trong của dây quấn:

$$D'_2 = D'_1 + 2a_{12}.10^{-3} \cdot (m) \quad (3-39)$$

12. Đường kính ngoài của dây quấn:

$$D''_2 = D'_2 + 2a_2 \cdot (m) \quad (3-40)$$

13. Khoảng cách giữa hai trụ cạnh nhau:

$$C = D'_2 + a_{22}.10^{-3}, (m) \quad (3-41)$$

trong đó khoảng cách a_{22} giữa hai cuộn CA của hai trụ cạnh nhau xác định theo bảng 19.

Trị số C thường lấy tròn đến 0,01 hay 0,05 m.

14. Bề mặt làm lạnh của dây quấn:

a) Đối với dây quấn quấn trực tiếp lên ống cách điện và không có rãnh dầu thì chỉ có một mặt làm lạnh:

$$M_2 = t.k.\pi D''_2.l_2, (m^2) \quad (3-42a)$$

trong đó lấy $k = 1$.

b) Đối với dây quấn không phân tổ lớp và quấn lên que nêm thì có 2 mặt làm lạnh:

$$M_2 = t.k.\pi(D'_2 + D''_2)l_2, (m^2) \quad (3-42b)$$

trong đó lấy $k = 0,88$.

c) Đối với dây quấn có hai tổ lớp, giữa chúng có rãnh dầu làm lạnh và tổ lớp trong quấn trực tiếp lên ống cách điện thì có ba mặt làm lạnh:

$$M_2 = 1,5tk\pi(D_2' + D_2'')l_2, \text{ (m}^2\text{)} \quad (3-42c)$$

trong đó $k = 0,88$.

d) Cũng tương tự trường hợp c) nhưng tổ lớp trong quấn lên hình trụ cách điện có que nôm thì có bốn mặt làm lạnh:

$$M_2 = 2tk\pi(D_2' + D_2'')l_2, \text{ (m}^2\text{)} \quad (3-42d)$$

trong đó lấy $k = 0,8$.

Hệ số k trong các công thức trên là tính đến bề mặt làm lạnh bị các chi tiết cách điện che khuất.

3.5.2.2. Dây quấn hình ống nhiều lớp phân đoạn:

1. Số bánh dây tối thiểu trên một trụ:

$$n_{b2} = \frac{U_{l2}}{800 + 1000} \quad (3-43)$$

Nên lấy tròn thành số chẵn lớn hơn. Để tiện lợi cho việc cách điện giữa các bánh dây, nên điện áp giữa các bánh dây cạnh nhau người ta thường thiết kế trong phạm vi $800 + 1000$ V đối với cấp điện áp đến 35 kV, cũng có thể dùng điện áp giữa các bánh dây $1500 + 1600$ V với cấp điện áp 110 kV, hay $2500 + 3000$ V với cấp điện áp 220 kV.

2. Tiết diện sơ bộ tính cho mỗi vòng dây:

$$T_2' = \frac{I_2}{\Delta_2 \cdot 10^{-6}} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3-44)$$

3. Chọn dây dẫn theo bảng 20 (thường chỉ dùng 1 sợi) và ghi như sau:

Mã hiệu dây dẫn. $\frac{d_2 \text{ (đường kính dây trần)}}{d_2' \text{ (đường kính có cách điện)}}$; Tiết diện sợi dây T_{d2}

4. Tiết diện toàn phần mỗi vòng dây T_2 (mm²).

5. Mật độ dòng điện thực:

$$\Delta_2 = \frac{I_2}{T_2 \cdot 10^{-6}} \text{ (A/m}^2\text{)} \quad (3-45)$$

6. Số vòng dây trong mỗi bánh dây

$$w_{b2} = \frac{w_2}{n_{b2}} \quad (3-46)$$

7. Chiều dày cách điện giữa các bánh dây theo chiều trục của toàn dây

quấn được tính như sau:

$$h_{cd} = (\sum h_r + \sum \delta_d) 10^{-3} \text{ (m)} \quad (3-47)$$

Lý do là vì trong những m.b.a có $S' \leq 35$ kVA thì giữa các bánh dây có vòng đệm cách điện bằng bìa cách điện dày δ_d ; trong những m.b.a, $35 < S' < 110$ kVA thì cách điện giữa các bánh dây, ngoài vòng đệm cách điện còn có rãnh dầu ngang cao là h_r . Thường các vòng đệm dày:

$\delta_d = 1 \div 2$ mm ở bánh dây đôi; $\delta_d = 0,5 \div 1$ mm đối với vòng đệm gậy góc.

và chiều cao rãnh dầu ngang:

$$h_r = 4 \div 8. \text{ (mm)}$$

8. Chiều cao tổng của các bánh dây:

$$\sum h_b = l_2 - h_{cd} \text{ (m)} \quad (3-48)$$

9. Chiều cao của một bánh dây:

$$h_{b2} = \frac{\sum h_b}{n_{b2}} \text{ (m)} \quad (3-49)$$

10. Số vòng dây trong mỗi lớp của một bánh dây:

$$w_{l2} = \frac{h_{b2} \cdot 10^3}{d'_2} - 1 \text{ .} \quad (3-50)$$

11. Số lớp trong mỗi bánh dây:

$$n_{l2} = \frac{w_{b2}}{w_{l2}} \quad (3-51)$$

12. Điện áp làm việc giữa hai lớp:

$$U_l = 2w_{l2}u_v \text{ (V)} \quad (3-52)$$

13. Xác định chiều dày cách điện giữa các lớp δ_{l2} theo bảng 27.

14. Chiều dày của dây quấn:

$$a_2 = [n_{l2}d'_2 + (n_{l2} - 1)\delta_{l2}] \cdot 10^{-3} \text{ (m)} \quad (3-53)$$

Cách điện tăng cường của các bánh dây đầu chỉ áp dụng trong các dây quấn có điện áp thử 55 kV trở lên. Mức độ tăng cường cách điện đã trình bày ở mục 3.2.

Những vòng dây có đầu phân áp của dây quấn với điện áp làm việc từ 35 kV trở lên cần phải bố trí trong 2 hay 4 bánh dây riêng đặt ở giữa chiều cao dây quấn. Mỗi hàn các đầu phân áp đặt ở chỗ nối giữa các bánh dây. Nếu điện áp làm việc dưới 35 kV thì mỗi hàn đầu phân áp có thể ở giữa

bánh dây.

15. Chiều cao hướng trục của mỗi bánh dây:

$$h_{b2} = (w_{12} + 1)d'_2 10^{-3} \text{ . (m)} \quad (3-54)$$

Khi phân bố các vòng dây trong các bánh dây nên làm sao các bánh dây có kích thước hướng kính bằng nhau và không quá 4.

16. Chiều cao của dây quấn l_2 cuối cùng phải bằng l_1 theo công thức

$$l_2 = l_1 = \sum h_{b2} + k(\sum h_r + \sum \delta_d) 10^{-3}, \text{ (m)} \quad (3-55)$$

trong đó $k = 0,94 - 0,96$.

17. Đường kính trong của dây quấn:

$$D'_2 = D'_1 + 2a_{12} \cdot 10^{-3} \text{ . (m)} \quad (3-56)$$

18. Đường kính ngoài của dây quấn:

$$D'_2 = D'_2 + 2a_2 \text{ (m)} \quad (3-57)$$

19. Khoảng cách giữa hai trụ cạnh nhau:

$$C = D'_2 + a_{22} \cdot 10^{-3} \text{ . (m)} \quad (3-58)$$

thường lấy tròn đến 0,01 hay 0,005 m.

20. Bề mặt làm lạnh của dây quấn.

a) Trường hợp dây quấn không có rãnh dầu dọc giữa cuộn dây và ống cách điện và cũng không có rãnh dầu ngang:

$$M_2 = tk\pi D'_2 n_{b2} h_{b2} \text{ . (m}^2\text{)} \quad (3-59a)$$

lấy $k = 1$.

b) Trường hợp dây quấn có rãnh dầu dọc giữa dây quấn và ống cách điện, nhưng không có rãnh dầu ngang:

$$M_2 = tk\pi (D'_2 + D'_2) n_{b2} h_{b2} \text{ . (m}^2\text{)} \quad (3-59b)$$

lấy $k = 0,87$.

c) Trường hợp có rãnh dầu ngang giữa từng đôi bánh dây

$$M_2 = tk\pi (D'_2 + a_2) n_{b2} (a_2 + 2h_{b2}) \text{ , (m}^2\text{)} \quad (3-59c)$$

lấy $k = 0,75$.

d) Trường hợp dây quấn có rãnh dầu giữa tất cả các bánh dây:

$$M_2 = 2tk\pi (D'_2 + a_2) n_{b2} (a_2 + h_{b2}) \text{ . (m}^2\text{)} \quad (3-59d)$$

lấy $k = 0,75$.

3.5.2.3. Dây quấn xoay ốc liên tục (xem hình 3-34)

1. Tiết diện sơ bộ mỗi vòng dây

$$T'_2 = \frac{I_2}{\Delta_2 10^{-6}} \cdot (\text{mm}^2) \quad (3-60)$$

2. Chọn dây dẫn chữ nhật theo bảng 21. Có thể dùng 1, 2 hay 4 sợi dây tiết diện như nhau chập lại để quấn. Dây chọn ghi như sau:

$$\text{Mã hiệu dây} - \text{số sợi chập} \times \frac{\text{Kích thước dây trần}}{\text{Kích thước dây có cách điện}} ; \quad \begin{matrix} \text{Tiết diện} \\ \text{sợi.} \end{matrix}$$

hay:

$$\text{Mã hiệu dây} - n_{v2} \frac{a.b}{a'.b'} ; T'_{d2}$$

3. Tiết diện toàn phần của một vòng dây:

$$T_2 = n_{v2} \cdot T_{d2} \cdot 10^{-6} \cdot (\text{m}^2) \quad (3-61)$$

4. Mật độ dòng điện thực:

$$\Delta_2 = \frac{I_2}{T_2} \cdot (\text{A/m}^2) \quad (3-62)$$

5. Chiều cao của mỗi bánh dây bằng chiều cao của sợi dây

$$h_{b2} = b' \cdot 10^{-3} \cdot (\text{m}) \quad (3-63)$$

6. Số bánh dây trên mỗi trụ sắt, sơ bộ tính:

- Nếu giữa các bánh dây đều có rãnh đầu ngang:

$$n_{b2} \approx \frac{l_2 \cdot 10^3}{b' + h_r} \quad , \quad (3-64a)$$

trong đó: b' và h_r tính bằng mm.

- Nếu giữa hai bánh dây có vòng đệm và giữa các đôi bánh có rãnh đầu ngang:

$$n_{b2} = \frac{2l_2 \cdot 10^3}{2b' + h_r + \delta_d} \quad (3-64b)$$

Chiều cao rãnh h_r trong các m.b.a từ 160 ÷ 6300 kVA với điện áp không quá 35 kV lấy 4 ÷ 6 mm; trong m.b.a khô từ 10 ÷ 20 mm. Nếu làm bánh đôi thì ở giữa có lót hai đệm cách điện mỗi đệm dày $\delta_d = 0,5$ mm. Ở các m.b.a công suất lớn hơn, điện áp 110 ÷ 220 kV, chiều cao rãnh có thể tới 10 ÷ 15 mm.

7. Số vòng trong mỗi bánh dây:

$$w_{b2} = \frac{w_2}{n_{b2}} \quad (3-65)$$

Lấy tròn thành số nguyên lớn hơn.

Chú ý rằng với một tiết diện vòng dây T_2 ở trên có thể chọn được nhiều dây dẫn có kích thước $a \times b$ khác nhau (xem bảng 21) do đó cần phải lưu ý đến các yêu cầu sau đây:

- Chiều cao của cả dây quấn sau khi sấy khô và ép chặt phải bằng chiều cao l_1 của cuộn hạ áp HA.

- Những vòng dây điều chỉnh điện áp và những vòng tăng cường cách điện phải bố trí ở những bánh dây riêng biệt.

- Số bánh dây phải là số chẵn và không nên bố trí quá 4 loại bánh có số vòng khác nhau.

- Kích thước hướng kính tất cả các bánh dây nên làm sao gần bằng nhau, sai khác nhau không quá 2 lần chiều dày sợi dây. Nếu khác nhau nhiều cần phải đệm thêm cách điện.

- Số vòng dây trong các bánh có thể nguyên hay dư với phân số. Nếu có dư phân số thì mẫu số của số dư phải bằng với số căn ngang.

8. Chiều cao thực của dây quấn:

a) Đối với dây quấn có tất cả các rãnh đầu giữa tất cả các bánh dây:

$$l_2 = \{b \cdot n_{b2} + k [h_r(n_{b2} - 2) + h_{dc}]\} 10^{-3}; \text{ (m)} \quad (3-66a)$$

b) Đối với dây quấn có rãnh đầu giữa từng đôi bánh dây một:

$$l_2 = \{b \cdot n_{b2} + k [h_r(\frac{n_{b2}}{2} - 2) + h_{dc} + \frac{n_{b2}}{2} \delta_d]\} 10^{-3}, \text{ (m)} \quad (3-66b)$$

trong đó $k = 0,94 \div 0,96$ là hệ số kể đến sự co ngót của dây quấn sau khi sấy khô và ép dây quấn.

h_{dc} là chiều cao rãnh đầu chỗ điều chỉnh điện áp, tra ở bảng 28.

9. Chiều dày của dây quấn:

$$a_2 = a_2 w_{b2} 10^{-3} . \text{ (m)} \quad (3-67)$$

10. Đường kính trong của dây quấn:

$$D_2' = D_1' + 2a_{12} . \text{ (m)} \quad (3-68)$$

11. Đường kính ngoài của dây quấn:

$$D_2'' = D_2' + 2a_2 . \text{ (m)} \quad (3-69)$$

12. Khoảng cách giữa hai trụ cạnh nhau:

$$C = D_2'' + a_{22} \cdot 10^{-3} . \text{ (m)} \quad (3-70)$$

C tính tròn đến 0,01 hay 0,005 m.

13. Bề mặt làm lạnh của dây quấn:

- Nếu giữa các bánh dây đều có rãnh dầu:

$$M_2 = 2tk\pi(D_2' + a_2)n_{b2}(a_2 + b'.10^{-3}), \text{ (m}^2\text{)} \quad (3-71a)$$

trong đó $k = 0,75$.

- Nếu hai bánh mới có một rãnh dầu:

$$M_2 = tk\pi(D_2' + a_2)n_{b2}(a_2 + 2b'.10^{-3}), \text{ (m}^2\text{)} \quad (3-71b)$$

trong đó $k = 0,75$.

3.5.2.4. Dây quấn hình ống, nhiều lớp dây dẫn chữ nhật

Như đã biết, kiểu dây quấn này (hình 3-47) thường dùng cho phía CA (trong một số trường hợp có thể dùng làm cuộn HA) trong các m.b.a dầu điện áp 10 đến 35 kV, với công suất từ 1000 kVA trở lên.

Sau khi xác định được I_2 , I_2 , Δ_2 phải chọn từ 1 hay 2, 3 sợi dây ghép song song có tiết diện tổng là T_2 nhưng phải bảo đảm mật độ dòng điện trên bề mặt dây quấn không vượt quá mức cho phép là:

$$q = 1400 \div 1500 \text{ W/m}^2$$

và tổn hao phụ không vượt quá mức qui định (5 đến 20%). Sau đó tiến hành tính các bước sau:

1. Chiều rộng hướng kính toàn bộ dây quấn:

$$b = \frac{w_2 T_2 \cdot 10^{-6}}{l_2 k_{cd}}, \text{ (m)} \quad (3-72)$$

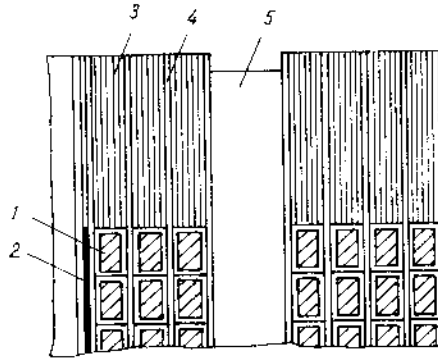
trong đó k_{cd} là hệ số kể đến cách điện của dây dẫn theo chiều trục. Có thể lấy $k_{cd} = 0,92$ đối với dây đồng; $k_{cd} = 0,93$ đối với dây nhôm:

Trị số b phải bảo đảm điều kiện tỏa nhiệt cho phép (xem §6.2) theo biểu thức:

$$\text{- Đối với dây đồng } b \leq \frac{qk}{107\Delta_2^2} 10^{10};$$

$$\text{- Đối với dây nhôm } b \leq \frac{qk}{172\Delta_2^2} 10^{10},$$

trong đó $k = 0,75$ đối với dây quấn CA;



Hình 3-47. Đầu trên của dây quấn hình ống dây dẫn chữ nhật. 1- Dây dẫn; 2- Màn tĩnh điện; 3- Vành đệm phụ bằng cacton cách điện; 4- Cách điện lớp bằng giấy cạp; 5- Cản dọc bằng cacton cách điện.

$k = 0,80$ đối với dây quấn HA.

Nếu m.b.a lớn hơn phạm vi trên, phải phân ống dây thành 2 hay 3 tổ lớp mà mỗi tổ lớp có chiều dày tổng không quá trị số tính trên. Giữa các tổ lớp, bố trí rãnh dầu dọc có bề rộng rãnh dầu bằng $0,01l_2$, nhưng không nhỏ hơn 5 mm.

2. Chọn kích thước dây dẫn:

Trước hết chọn kích thước hướng kính a của sợi dây và số lớp dây quấn theo bảng 39 với điều kiện tổn hao phụ trong dây quấn không vượt quá mức qui định. Ví dụ với dây nhôm mà tổn hao phụ tới 5% và bề rộng hướng kính của toàn bộ dây quấn là $b = 0,03$ m thì khi số lớp từ 1 đến 6, kích thước hướng kính của sợi dây dẫn $a = b/n_{12}$ là $30/1 = 30$ đến $30/6 = 5$ mm đều lớn hơn các kích thước qui định của tổn hao phụ cho phép trên. Vậy có thể chọn số lớp từ 7 đến 10 thì có kích thước dây dẫn sẽ từ $30/7 = 4,3$ đến $30/10 = 3$ mm.

Vậy căn cứ vào a và T_2 chọn được loại dây dẫn có kích thước lớn b tương ứng ở bảng 21 và ghi như sau:

Mã hiệu dây - số sợi chập $\times \frac{\text{kích thước dây trần}}{\text{kích thước dây có cách điện}}$; Tiết diện sợi.

hay

$$\text{Mã hiệu dây} = n_{v2} \times \frac{a \times b}{a' \times b'} ; T_{d2}$$

3. Tiết diện toàn phần của một vòng dây:

$$T_2 = n_{v2} \cdot T_{d2} \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)} \quad (3-73)$$

4. Mật độ dòng điện thực:

$$\Delta_2 = \frac{I_2}{T_2} \text{ (A/m}^2\text{)} \quad (3-74)$$

5. Số vòng dây trong một lớp:

$$w_{12} = \frac{l_2}{n_{v2} b'} \cdot 10^3 - 1 \quad (3-75)$$

6. Số lớp của dây quấn:

$$n_{12} = \frac{w_2}{w_{12}} \quad (3-76)$$

và n_{12} được lấy tròn với số lớn hơn.

7. Điện áp làm việc giữa hai lớp kề nhau:

$$U_{12} = 2w_{12}.u_v \cdot (V) \quad (3-77)$$

Từ đó chọn được số lớp và chiều dày cách điện lớp δ_{12} theo bảng 26.

Ở dây quấn điện áp 35 kV phía trong lớp trong cùng của dây quấn còn bố trí màn tĩnh điện bằng kim loại không dẫn từ. Nó thường là một vòng đồng hồ dày 0,5 mm nối điện với đầu trên của lớp trong cùng và cũng có cách điện lớp thông thường.

8. Chiều rộng hướng kính của dây quấn không kể màn chắn tĩnh điện:

$$a_2 = \left[a' n_{12} + \delta_{12}(n_{12} - 1) + a_{22} n_r \cdot 10^{-3} \right] \cdot (m) \quad (3-78)$$

trong đó a_{22} là bề rộng rãnh làm lạnh dọc trục;

n_r là số rãnh làm lạnh dọc trục.

9. Chiều rộng hướng kính của dây quấn có màn chắn tĩnh điện:

$$a_2 = a_2 + 0,003, \quad (m) \quad (3-79)$$

trong đó 0,003 m là kích thước hướng kính của màn chắn có kể cách điện hai phía khi điện áp là 35 kV.

10. Chọn kích thước rãnh giữa dây quấn HA và CA là a_{12} theo hướng dẫn ở bảng 19 (chương 3).

11. Đường kính trong của dây quấn:

$$D_2 = D_1 + 2a_{12}10^{-3}. \quad (m) \quad (3-80)$$

12. Đường kính ngoài của dây quấn:

$$\text{- khi không màn chắn: } D_2' = D_2 + 2a_2 \quad (m) \quad (3-81a)$$

$$\text{- khi có màn chắn: } D_2'' = D_2 + 2a_2 \quad (m) \quad (3-81b)$$

13. Khoảng cách giữa hai trụ cạnh nhau vẫn được tính như các dây quấn CA trên.

14. Bề mặt làm lạnh của dây quấn:

$$M_2 = t.n.k.\pi (D_2' + D_2'')l_2, \quad (m^2) \quad (3-82)$$

trong đó với dây quấn CA gồm hai ống dây thì $n = 2$ và $k = 0,8$; còn nếu là dây quấn HA cũng như trên thì $n = 2$ và $k = 0,75$.

TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH

Tính toán ngắn mạch trong m.b.a liên quan đến việc tính toán tổn hao ngắn mạch P_n , điện áp ngắn mạch u_n , các lực cơ học trong dây quấn và sự phát nóng của dây quấn khi ngắn mạch.

§4.1. XÁC ĐỊNH TỔN HAO NGẮN MẠCH

Tổn hao ngắn mạch của m.b.a hai dây quấn là tổn hao trong m.b.a khi ngắn mạch một dây quấn còn dây quấn kia đặt vào điện áp ngắn mạch U_n để cho dòng điện trong cả hai dây quấn đều bằng định mức.

Tổn hao ngắn mạch có thể chia ra các thành phần như sau:

1. Tổn hao chính, tức tổn hao đồng trong dây quấn HA và CA do dòng điện gây ra P_{Cu1} và P_{Cu2} .
2. Tổn hao phụ trong hai dây quấn do từ thông tán xuyên qua dây quấn làm cho dòng điện phân bố không đều trong tiết diện dây gây ra P_{f1} và P_{f2} .
3. Tổn hao chính trong dây dẫn ra P_{r1} và P_{r2} .
4. Tổn hao phụ trong dây dẫn ra P_{rf1} và P_{rf2} , thường tổn hao này rất nhỏ, có thể bỏ qua.
5. Tổn hao trong vách thùng dầu và các kết cấu kim loại khác P_l do từ thông tán gây nên.

Thường thì tổn hao phụ được tính gộp vào trong tổn hao chính bằng cách thêm vào hệ số tổn hao phụ k_f . Vậy tổn hao ngắn mạch sẽ được tính theo biểu thức:

$$P_n = P_{Cu1}k_{f1} + P_{Cu2}k_{f2} + P_{r1} + P_{r2} + P_l \quad (W) \quad (4-1)$$

Trường hợp m.b.a ba dây quấn thì có 3 trị số tổn hao ngắn mạch đối với 3 đôi dây quấn phối hợp (I và II; I và III; II và III) khi tải mỗi đôi dây quấn tương ứng với 100% công suất của m.b.a.

Theo tiêu chuẩn qui định, tổn hao ngắn mạch và điện áp ngắn mạch được qui về nhiệt độ tính toán (qui ước) như sau: Đối với tất cả các m.b.a dầu và khô cách điện cấp A, E, B là $+ 75^\circ C$, cách điện cấp F, H, C là $\pm 115^\circ C$.

Dưới đây sẽ trình bày cách tính toán các loại tổn hao trên.

4.1.1. Tổn hao chính

Tổn hao chính tức là tổn hao đồng (hoặc nhôm) trong dây quấn

$$P_{Cu} = I^2 R. \text{ (W)}$$

Ta biết:

$$I = \Delta T \text{ và } R = \rho l / T$$

do đó:

$$P_{Cu} = \Delta^2 T^2 \rho l \cdot 10^{-6} / T = \Delta^2 (Tl) \rho \cdot 10^{-6}$$

Nếu nhân và chia biểu thức trong ngoặc Tl với tỷ trọng của dây dẫn γ_d ta có:

$$P_{Cu} = \Delta^2 (Tl \gamma_d) \frac{\rho}{\gamma_d} 10^{-6}, \quad (4-2)$$

trong đó Δ là mật độ dòng điện (A/m²).

T là tiết diện dây đồng (m²),

l là chiều dài dây dẫn (m),

γ_d là tỷ trọng của dây dẫn, với đồng $\gamma_{Cu} = 8900 \text{ kg/m}^3$; với nhôm $\gamma_{Al} = 2700 \text{ kg/m}^3$,

ρ là điện trở suất của dây dẫn ở 75°C, bằng $0,02135 \mu\Omega \cdot m$, đối với đồng và bằng $0,0344 \mu\Omega \cdot m$ đối với nhôm.

Rút gọn biểu thức (4-2) ta có:

$$P_{Cu} = 2,4 \cdot 10^{-12} \Delta^2 G_{Cu} \text{ (W)} \quad (4-3)$$

trong đó G_{Cu} là trọng lượng đồng của dây quấn.

Trường hợp dùng dây nhôm ta có:

$$P_{Al} = 12,75 \cdot 10^{-12} \Delta^2 G_{Al} \text{ (W)} \quad (4-3')$$

Như vậy P_{Cu} tỷ lệ với bình phương của mật độ dòng điện vì vậy khi bảo đảm cho P_{Cu} không đổi, nếu Δ tăng thì G_{Cu} phải giảm. Nhưng không nên đặt vấn đề tăng nhiều Δ để giảm trọng lượng đồng G_{Cu} , vì như vậy trọng lượng đồng không giảm được bao nhiêu mà tổn hao đồng sẽ tăng nhiều (có thể quá mức qui định), đồng thời dây quấn sẽ phát nóng nhiều và phải dùng nhiều dầu để làm nguội dây quấn.

Từ biểu thức (4-3), cần phải tính trọng lượng đồng của dây quấn.

1. Trọng lượng đồng dây quấn HA tính theo biểu thức sau:

$$G_{Cu1} = t\pi \frac{\frac{D_1' + D_1''}{2}}{D_{(b)}} w_1 T_1 \gamma_{Cu}, \text{ (kg)} \quad (4-4a)$$

trong đó t là số trụ có dây quấn;

D_{tb1} là đường kính trung bình của dây quấn HA (m);

T_1 là tiết diện của một vòng dây HA (m²).

Rút gọn lại ta được:

$$G_{Cu1} = 28t \frac{D_1' + D_1''}{2} w_1 T_1 10^3 \text{ (kg)} \quad (4-4b)$$

Nếu dùng nhôm làm dây quấn thì ta có:

$$G'_{Al} = 8,47t \frac{D_1' + D_1''}{2} w_1 T_1 10^3 \text{ (kg)} \quad (4-4c)$$

2. Trọng lượng đồng dây quấn CA: tương tự dây quấn HA ta có

$$G_{Cu2} = 28t \underbrace{\frac{D_2' + D_2''}{2}}_{D_{tb2}} w_{2dm} T_2 10^3 \text{ (kg)} \quad (4-5)$$

trong đó T_2 là tiết diện của một vòng dây CA (m²);

D_{tb2} là đường kính trung bình của dây quấn CA (m).

Hình 4-1 dùng để xác định trọng lượng đồng của dây quấn HA và CA.

Chú ý:

G_{Cu2} ở đây dùng để tính toán tổn hao đồng, còn nếu dùng để tính trọng lượng máy hay tính giá thành thì phải kể cả trọng lượng phần dây quấn để điều chỉnh điện áp, nghĩa là trong công thức tính G_{Cu2} thay w_{2dm} bằng w_2 .

3. Trọng lượng đồng của hai dây quấn:

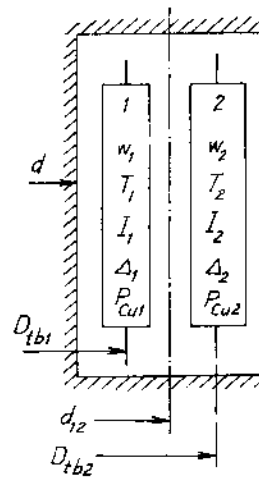
$$G_{Cu} = G_{Cu1} + G_{Cu2} \text{ (kg)} \quad (4-6)$$

4. Tổn hao đồng:

$$\text{- ở dây quấn HA} \quad P_{Cu1} = 2,4 \cdot 10^{-12} \Delta^2 G_{Cu1} \text{ (W)} \quad (4-7a)$$

$$\text{- ở dây quấn CA} \quad P_{Cu2} = 2,4 \cdot 10^{-12} \Delta^2 G_{Cu2} \text{ (W)} \quad (4-7b)$$

$$\text{Tổng} \quad P_{Cu} = P_{Cu1} + P_{Cu2} \text{ (W)} \quad (4-8)$$



Hình 4-1. Dùng để xác định trọng lượng đồng và tổn hao trong dây quấn.

4.1.2. Tổn hao phụ trong dây quấn

Như trên đã nói, tổn hao phụ thường được ghép vào tổn hao chính bằng cách thêm một hệ số k_f vào tổn hao chính:

$$P_{Cu} + P_f = P_{Cu} k_f. \quad (4-9)$$

Do đó việc xác định tổn hao phụ là xác định trị số k_f . Trị số này đối với mỗi loại dây quấn sẽ khác nhau. Nó phụ thuộc vào kích thước hình học của dây dẫn, vào sự sắp xếp của dây dẫn trong từ trường tản... Người ta đã tìm ra biểu thức tính toán của k_f như sau:

Đối với dây đồng tiết diện chữ nhật (hình 4-2a):

$$\text{- với } n \leq 2: \quad k_f = 1 + 0,095 \cdot 10^8 \beta^2 a^4 (n^2 - 0,2) \quad (4-10a)$$

$$\text{- với } n > 2: \quad k_f = 1 + 0,095 \cdot 10^8 \beta^2 a^4 n^2. \quad (4-10b)$$

Đối với dây đồng tròn (hình 4-2b) lúc $n > 2$

$$k_f = 1 + 0,044 \cdot 10^8 \beta^2 d^4 n^2. \quad (4-10c)$$

Trong các công thức trên thì:

$$\beta = \frac{b \cdot m}{l} k_r; \quad \beta' = \frac{d \cdot m}{l} k_r \quad (4-11a,b)$$

và các trị số β và β' luôn luôn nhỏ hơn 1;

n là số thanh dẫn của dây quấn thẳng góc với từ thông tản;

m là số thanh dẫn của dây quấn song song với từ thông tản;

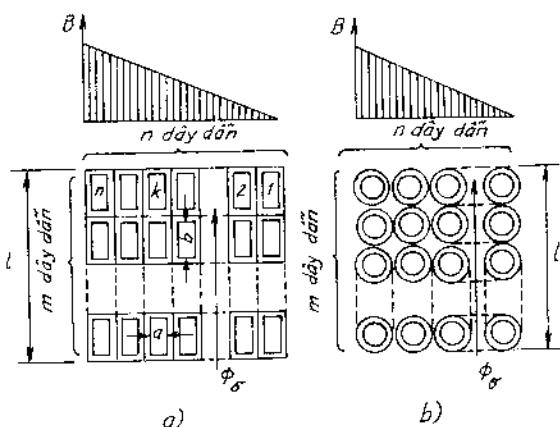
a (b) là kích thước của dây dẫn theo hướng thẳng góc (song song) với từ thông tản (m);

d là đường kính của dây dẫn tròn (m);

l là chiều cao toàn bộ dây quấn (m);

k_r là hệ số Ragovski (xem §2.2), tạm thời lấy $k_r = 0,95$.

Nếu dây quấn bằng nhôm thì ở các công thức (4-10) thay các hệ số 0,095 và 0,044 lần lượt bằng 0,037 và 0,017.



Hình 4-2. Dùng để xác định tổn hao trong các dây quấn.

a) Nếu là dây chữ nhật; b) Nếu là dây tròn;
 ϕ_σ là từ thông tản

Ta thấy k_f tỷ lệ với lũy thừa bậc 4 kích thước dây dẫn (α hay d), nghĩa là với dây dẫn chữ nhật kích thước hướng kính càng nhỏ và với dây tròn đường kính càng bé thì tổn hao phụ càng giảm. Thường $k_f = 1,01 \div 1,05$.

Như vậy lần lượt ta sẽ xác định được hệ số k_f đối với từng dây quấn HA là k_{f1} và CA là k_{f2} .

Trong các dây quấn hình xoắn, ngoài tổn hao phụ do từ trường tản còn có tổn hao phụ gây nên bởi dòng điện phân bố không đều giữa các dây dẫn ghép song song vì hoán vị không hoàn toàn. Khi số sợi ghép song song là 4 thì có thể xem là không có loại tổn hao phụ này; nhưng nếu số sợi ghép song song $n \geq 5$ thì tổn hao phụ này phải được kể thêm vào với công thức gần đúng sau:

$$k_{thv} = 1 + 0,53 \cdot 10^{-2} \beta^2 \left(\frac{f}{\rho} \right)^2 \alpha^4 (n^4 - 20n^2 + 64), \quad (4-12)$$

trong đó $\rho_{Cu} = 0,02135 \mu\Omega \cdot m$; $\rho_{Al} = 0,0344 \mu\Omega \cdot m$.

4.1.3. Tổn hao chính trong dây dẫn ra

Biểu thức tính toán cũng tương tự như đối với tổn hao chính trong dây quấn:

$$P_r = 2,4 \Delta^2 G_r; (W) \quad (4-13)$$

trong đó Δ là mật độ dòng điện trong dây dẫn ra, chính là mật độ dòng điện của dây quấn có dây dẫn ra (A/m^2);

G_r là trọng lượng của dây dẫn ra (kg).

Như vậy việc xác định P_r đưa đến việc xác định trọng lượng đồng của dây dẫn ra G_r của từng dây quấn. Muốn tính chính xác phải biết sự bố trí cụ thể của từng dây dẫn ra. Nhưng trong quá trình tính toán cần phải tính tổn hao ngắn mạch trước khi xác định cuối cùng về kết cấu và kích thước thùng dầu và dây dẫn ra, do đó ở đây ta phải tính sơ bộ gần đúng trọng lượng và tổn hao trong dây dẫn ra.

Trước hết có thể xác định chiều dài l_r của dây dẫn ra gần đúng như sau:

- Khi dây quấn nối hình sao:

$$l_r \approx 7,5l; (m) \quad (4-14)$$

- Khi dây quấn nối tam giác:

$$l_r \approx 14l; (m) \quad (4-15)$$

Do đó trọng lượng đồng của dây dẫn ra được tính theo công thức:

- Đối với dây quấn HA:

$$G_{r1} = l_{r1} T_{r1} \gamma \quad (\text{kg}) \quad (4-16)$$

- Đối với dây quấn CA:

$$G_{r2} = l_{r2} T_{r2} \gamma \quad (\text{kg}) \quad (4-17)$$

trong đó l_{r1} và l_{r2} là chiều dài dây dẫn ra của cuộn HA và CA (m);

T_{r1} và T_{r2} là tiết diện dây dẫn ra của cuộn HA và CA, có thể lấy bằng tiết diện vòng dây của các dây quấn tương ứng đã tính ở trên (m^2);

γ là điện trở suất, với đồng $\gamma_{\text{Cu}} = 8900 \text{ kg/m}^3$; với dây nhôm $\gamma_{\text{Al}} = 2700 \text{ kg/m}^3$.

Từ đó có thể tính được tổn hao đồng trong dây dẫn ra:

- Đối với dây quấn HA:

$$P_{r1} = 2,4 \cdot 10^{-12} \Delta_1^2 G_{r1} \quad (\text{W}) \quad (4-18)$$

- Đối với dây quấn CA:

$$P_{r2} = 2,4 \cdot 10^{-12} \Delta_2^2 G_{r2} \quad (\text{W}) \quad (4-19)$$

Trong các m.b.a điện lực thông thường, tổn hao trong dây dẫn ra thường không quá $5 \div 8\%$ P_n và tổn hao phụ trong dây dẫn ra không quá 5% tổn hao đồng vì thế tổn hao phụ trong dây dẫn ra có thể bỏ qua.

4.1.4. Tổn hao trong vách thùng và các chi tiết kim loại khác P_t

Như ta đã biết, một phần từ thông tản của m.b.a khép mạch qua vách thùng dầu, các xà ép gông, các bulông và các chi tiết bằng sắt khác. Tổn hao phát sinh trong các bộ phận này chủ yếu là trong vách thùng dầu và có liên quan đến tổn hao ngắn mạch.

Tổn hao này khó tính chính xác được và hiện nay cũng chưa có phương pháp nào có thể giải quyết vấn đề này một cách đầy đủ. Đối với m.b.a công suất từ 10000 ÷ 63000 kVA, tổn hao phụ ở vách thùng có thể tính gần đúng theo công thức sau:

$$P_t \approx \frac{k u_x^2 \phi^2 l^3 \left(\frac{f}{50} \right) 10^4}{p_1 [l + 2(R - r_{12})]^2} \quad (\text{W}) \quad (4-20)$$

trong đó $k = 2,2$ khi $u_n \leq 11,5\%$; $k = 1,5$ khi $u_n > 11,5\%$;

ϕ là từ thông trong một trụ dây quấn bằng $B_t T_t$ (Wb);

l là chiều cao dây quấn (m);

f là tần số (Hz);

p_t là chu vi thùng (m);

R là bán kính trung bình của thùng:

$$R = \frac{A + B - 2C}{4}, \quad (\text{m});$$

trong đó A là chiều dài thùng (m);

B là chiều rộng thùng (m);

C là khoảng cách giữa hai trụ (m);

r_{12} là bán kính trung bình rãnh từ tản (m).

Tính P_t theo (4-20) thường tiến hành sau khi đã sơ bộ xác định được kích thước thùng. Nếu kích thước thùng chưa biết thì đối với máy biến áp hai dây quấn có thể tính gần đúng theo công thức bán kính nghiệm như sau:

$$P_t \approx 10k.S, \quad (\text{W}) \quad (4-21)$$

trong đó k xác định theo bảng 40a.

Muốn giảm tổn hao P_t thì phải giảm từ thông rò ngang, nghĩa là dây quấn bố trí làm sao giảm được sự không đối xứng về vòng dây. Từ đó ta thấy loại dây quấn xen kẽ có tổn hao P_t lớn nhất.

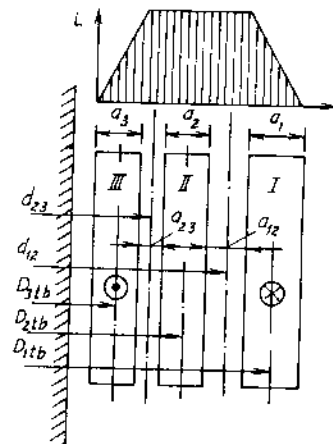
Tóm lại tổn hao ngắn mạch của m.b.a là:

$$P_n = P_{Cu1}k_{f1} + P_{Cu2}k_{f2} + P_{r1} + P_{r2} + P_t, \quad (\text{W})$$

Trong máy biến áp ba dây quấn người ta tính ba trị số P_n cho ba đôi dây quấn một, với tải 100% như biến áp hai dây quấn lần lượt giữa CA với HA; CA với TA và TA với HA. Trị số P_n sẽ lấy ứng với giá trị lớn nhất trong ba trị số đó.

Việc tính tổn hao đồng trong m.b.a ba dây quấn cũng như m.b.a hai dây quấn. Cũng tính với từng đôi dây quấn một với tải 100% (nếu dây quấn có 67% công suất định mức thì lúc đó dây quấn này sẽ phải chịu tới 1,5 lần trị số dòng định mức).

Tính tổn hao phụ đối với hai dây quấn ở mép ngoài (tức cuộn CA) và mép trong (tức cuộn HA hay TA) vẫn dùng công thức (4-10) ở trên; còn dây quấn giữa (có thể là cuộn TA hay HA) phải tính với hai trường hợp: trường hợp thứ nhất là tính với tải



Hình 4-3. Dùng để tính toán các tổn hao phụ và điện áp ngắn mạch trong m.b.a ba dây quấn.

100% của dây quấn đó với bất kỳ một dây quấn nào bên cạnh theo công thức (4-10); trường hợp thứ hai là tính tổn hao ở trong dây quấn đó do hai dây quấn hai bên với tải 100% gây nên mà bản thân dây quấn giữa thì không có dòng điện. Trong trường hợp này từ trường tản do hai dây quấn hai bên gây nên (hình 4-3) một lượng tổn hao do dòng điện xoáy trong dây quấn giữa là:

$$P_{xII} = (k_{tK} - 1)P_{CuII}, \quad (4-22)$$

trong đó k_{tK} tính theo (4-10) và P_{CuII} là tổn hao đồng của dây quấn giữa với tải 100%.

Tổn hao ở dây dẫn ra trong m.b.a ba dây quấn cũng tính như m.b.a hai dây quấn. Coi tổn hao trong vách thùng và các chi tiết kim loại khác P_l được xác định với ba trường hợp tải của m.b.a cho từng đôi dây quấn một CA - TA, CA - HA và TA - HA theo công thức (4-22) với trị số u_x tương ứng.

§4.2. XÁC ĐỊNH ĐIỆN ÁP NGẮN MẠCH

Điện áp ngắn mạch của m.b.a hai dây quấn u_n là điện áp đặt vào một dây quấn với tần số định mức, còn dây quấn kia nối ngắn mạch sao cho dòng điện cả hai phía đều bằng các dòng điện định mức tương ứng. Đối với m.b.a ba dây quấn thì có ba trị số điện áp ngắn mạch, thường khác nhau. Điện áp ngắn mạch của tất cả các m.b.a đều được qui về nhiệt độ tính toán $+75^{\circ}\text{C}$ hay $+115^{\circ}\text{C}$ (xem §4.1).

Trị số u_n là một tham số rất quan trọng ảnh hưởng tới những đặc tính vận hành cũng như kết cấu của m.b.a. Thật vậy:

1. Khi u_n bé thì dòng điện ngắn mạch I_n lớn gây nên lực cơ học trong m.b.a lớn.

2. Khi u_n lớn thì điện áp giáng ΔU ở trong m.b.a tăng lên ảnh hưởng đến các hộ dùng điện (dèn tối, mở máy các động cơ không đồng bộ khó khăn,...).

3. Sự phân phối tải giữa các m.b.a làm việc song song có u_n khác nhau sẽ không hợp lý: không tỷ lệ với dung lượng của máy mà tỷ lệ ngược với trị số u_n .

Do đó để dung hòa hai ảnh hưởng đầu, thông thường người ta tiêu chuẩn hóa các điện áp ngắn mạch với các trị số sau:

$u_n = 5,5; 6,5; 7; 8; 10,5$ và 11% . Đối với m.b.a ba dây quấn có thể có những trị số $16 \div 18\%$.

Đồng thời qui định hai m.b.a làm việc song song phải có u_n chênh nhau không quá $\pm 10\%$. Vì vậy khi tính toán chỉ cho phép sai lệch với u_n tiêu chuẩn là $\pm 5\%$ để đề phòng sau khi chế tạo sai lệch $\pm 5\%$ nữa là vừa.

Ta biết $u_n = \sqrt{u_{nr}^2 + u_{nx}^2} (\%)$,
trong đó các trị số u_{nr} và u_{nx} là các thành phần tác dụng và phản kháng của điện áp ngắn mạch. Ta sẽ lần lượt tính các trị số đó.

4.2.1. Tính thành phần điện áp ngắn mạch tác dụng

Ta đã biết:

$$U_{nr} = r_n I_{dm} \text{ (V)}$$

trong đó r_n là điện trở ngắn mạch của m.b.a đã qui đổi về nhiệt độ qui ước, do đó:

$$\begin{aligned} u_{nr} &= \frac{U_{nr}}{U_{dm}} 100 = \frac{r_n I_{dm}}{U_{dm}} 100 = \frac{r_n I_{dm}^2 m}{U_{dm} I_{dm} m} 100 = \\ &= \frac{P_n}{S \cdot 1000} 100 = \frac{P_n}{10S}, (\%) \end{aligned} \quad (4-22)$$

trong đó:

P_n là tổn hao ngắn mạch của m.b.a (W);

S là dung lượng định mức của m.b.a (kVA).

Đối với máy biến áp ba dây quấn S là công suất lớn nhất trong ba cuộn (tức cuộn 100%); đối với máy biến áp tự ngẫu thì lấy công suất tính toán hay thiết kế S_{tk} nếu cần tính điện áp ngắn mạch tác dụng tính toán u_{nr} , hoặc lấy công suất truyền tải S_{tt} nếu cần tính điện áp ngắn mạch tác dụng đối với lưới u_{nr} .

4.2.2. Tính thành phần điện áp ngắn mạch phản kháng u_{nx}

Ta biết
$$u_{nx} = \frac{x_n I_{dm}}{U_{dm}} 100 (\%)$$

Theo lý thuyết về m.b.a ở giáo trình lý thuyết máy điện ta có:

Đối với dây quấn đồng tâm và hai dây quấn có chiều cao bằng nhau (hình 4-4):

$$u_{nx} = \frac{7,9f \cdot S' \cdot \beta \cdot a_r k_r}{u_v^2} 10^{-1} (\%) \quad (4-23)$$

trong đó:

$$\beta = \pi \frac{d_{12}}{l},$$

a_r là chiều rộng qui đổi của rãnh dầu:

Đối với m.b.a $S < 10000$ kVA thì coi:

$$a_r \approx a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3};$$

Đối với m.b.a từ 10000 kVA trở lên, thì:

$$a_r = \frac{d_{12}a_{12} + D_{tb1} \frac{a_1}{3} + D_{tb2} \frac{a_2}{3}}{d_{12}},$$

trong đó d_{12} là đường kính trung bình của rãnh dầu giữa hai dây quấn;

D_{tb} là đường kính trung bình của từng dây quấn. Các kích thước trên tính bằng m.

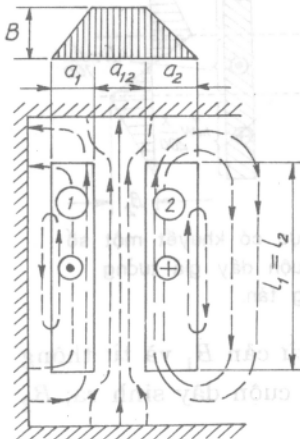
$$k_r \approx 1 - \sigma(1 - e^{-1/\sigma}), \quad (4-24)$$

hay đơn giản hơn: $k_r \approx 1 - \sigma$

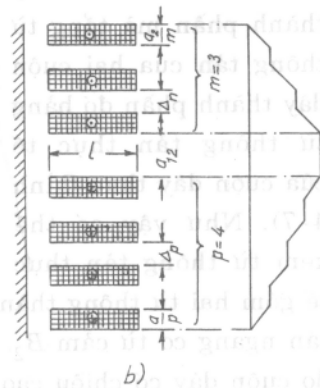
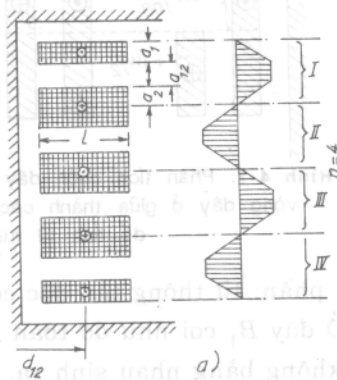
là hệ số kể đến từ thông tản thực tế không hoàn toàn đi dọc trục, với:

$$\sigma = \frac{a_{12} + a_1 + a_2}{\pi l} \quad (4-25)$$

Thường lấy lấy số $k_r = 0,93 \div 0,98$.



Hình 4-4. Từ trường tản của hai dây quấn đồng tâm.



Hình 4-5. Từ trường tản trong dây quấn xen kẽ.

Trường hợp dây quấn HA và CA quấn xen kẽ (hình 4-5), ta xem như gồm nhiều nhóm dây hợp thành, mỗi nhóm theo chiều ngang mà xét cũng giống như kiểu dây quấn đồng tâm và u_{rx} cũng được tính như trên nhưng

chú ý là thay w bằng w/n (với n là số nhóm), nghĩa là:

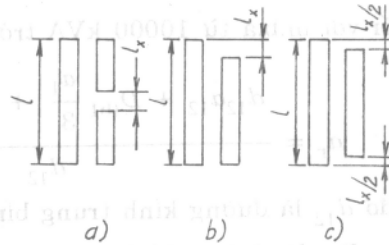
$$u_{nx} = \frac{7,9fwI_{dm}\pi d_{12}a_r}{nu_v.l} k_r \cdot 10^{-4} (\%), \quad (4-26)$$

trong đó $w = U_{dm}/u_v$.

- Đối với dây quấn có chiều cao không bằng nhau:

Vì lúc điều chỉnh điện áp ở cuộn CA như ta đã thấy ở trên, có một số vòng dây không có dòng điện. Thường người ta bố trí những đầu dây điều chỉnh điện áp ở giữa chiều cao dây quấn (hình

4-6a) ít khi bố trí ở một đầu dây quấn (hình 4-6b) và trong những trường hợp đặc biệt - như với các m.b.a công suất từ 100 ÷ 160 kVA mới dùng các dây quấn có chiều cao khác nhau cả hai đầu (hình 4-6c).



Hình 4-6. Những phương pháp bố trí khác nhau của cuộn dây điều chỉnh điện áp tạo nên những khoảng lệch giữa hai dây quấn.

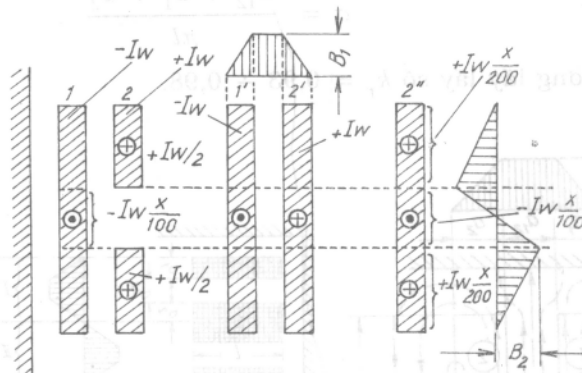
Trường hợp dây quấn có chiều cao không bằng nhau như hình 4-6a ta có thể xem như có hai cuộn dây thành phần mà tổng từ thông tản của hai cuộn dây thành phần đó bằng từ thông tản thực tế của cuộn dây thực (hình 4-7). Như vậy có thể xem từ thông tản thực

tế gồm hai từ thông thành phần: từ thông tản dọc có từ cảm B_1 và từ thông tản ngang có từ cảm B_2 . Ở đây B_1 coi như do toàn bộ cuộn dây sinh ra; B_2 do cuộn dây có chiều cao không bằng nhau sinh ra.

Trong trường hợp đó u_{nx} được đưa vào một hệ số k_q như sau:

$$k_q \approx 1 + \frac{l.x^2}{m.a_r k_r} \quad (4-27)$$

trong đó $x = \frac{l_x}{l} 100$



Hình 4-7. Phân tích cuộn dây thực có khuyết một số vòng dây ở giữa thành các cuộn dây giả tưởng để tính từ trường tản.

với l và l_x xem ở hình 4-6 nhưng chú ý rằng l_x xác định với điều kiện m.b.a làm việc ở điện áp định mức, ứng với số vòng dây là w_{2dm} .

Trị số $m = 3$ đối với trường hợp hình 4-6a, c.

Trị số $m = 0,75$ đối với trường hợp hình 4-6b.

Thường $k_q = 1,01 + 1,06$.

Như vậy:

$$u_{rx} = \frac{7,9f.S'\beta.a_r}{u_v} k_r k_q \cdot 10^{-1} \quad (\%) \quad (4-28)$$

4.2.3. Điện áp ngắn mạch toàn phần

Sau khi đã xác định được u_{nr} , u_{rx} ta có thể tính được u_n :

$$u_n = \sqrt{u_{nr}^2 + u_{rx}^2} \quad (\%) \quad (4-29)$$

Việc tính điện áp ngắn mạch của m.b.a ba dây quấn cũng tương tự như biến áp hai dây quấn. Khi đó cũng xác định lần lượt u_{nr} , u_{rx} cho từng đôi dây quấn một: CA - TA, CA - HA và TA - HA. Chú ý khi xác định u_{rx} đối với cuộn dây trong cùng (III) hay ngoài cùng (I) (xem hình 4-3), chiều rộng rãnh qui đổi của từ trường tản a_r được tính như sau:

$$a_r = a_{12} + a_2 + a_{23} + \frac{a_1 + a_2}{3} ;$$

Đối với m.b.a công suất ≥ 10000 kVA thì:

$$a_r = \frac{d_{13}(a_{12} + a_2 + a_{23}) + D_{tb1} \frac{a_1}{3} + D_{tb3} \frac{a_3}{3}}{d_{13}} ,$$

trong đó $d_{13} = D_{tb3} + a_3 + a_{23} + a_2 + a_{12}$ (hình 4-3).

Còn việc tính a_r của đôi dây quấn I-II hay II-III cũng như biến áp hai dây quấn. Trong tất cả các trường hợp S' vẫn lấy là công suất trên một trụ ứng với cuộn có công suất lớn nhất (dù tính cho dây quấn 67%).

Khi tính toán m.b.a tự ngẫu hai dây quấn các trị số u_n cũng được xác định như m.b.a hai dây quấn theo các kích thước thực của dây quấn và công suất tính toán của tự ngẫu và được qui về điện áp lưới với hệ số có lợi k_l : $u_{nl} = u_{nt} \cdot k_l$ (xem §2.6).

Nếu u_n tính ra nằm trong phạm vi sai số $\pm 5\%$ thì đạt yêu cầu, ngoài phạm vi đó thì phải tính toán lại. Có thể tiến hành tính toán lại u_n theo các hướng sau đây:

1. Sắp xếp lại cuộn dây bằng cách thay đổi kích thước a_{12} vì ta biết:

$$a_r = a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3}$$

vì a_1 và a_2 thì khó thay đổi.

Nếu u_n tính ra sai ít thì sửa lại a_{12} một chút là được. Nhưng cũng cần lưu ý là a_{12} còn do hiệu điện áp giữa hai dây quấn CA và HA quyết định, nên nếu dùng a_{12} bé quá thì lại không bảo đảm cách điện, lớn quá thì cuộn CA sẽ to ra gây lãng phí kim loại dây quấn và làm cho m.b.a cũng to ra, vì vậy phải chọn a_{12} sao cho vừa phải.

2. Chọn lại β , xếp lại dây quấn để thay đổi kích thước a_1 , a_2 , d_{12} và l . Nếu vẫn không đạt tiêu chuẩn thì phải tính lại từ đầu.

3. Chọn lại từ u_v , w .

Nên chú ý rằng để đạt tiêu chuẩn u_n thì thay đổi chủ yếu là u_{nx} , còn thay đổi u_{nr} sẽ ảnh hưởng rất ít.

§4.3. TÍNH LỰC CƠ HỌC CỦA DÂY QUẤN M.B.A

Khi m.b.a bị sự cố ngắn mạch thì dòng điện ngắn mạch sẽ rất lớn. Nhưng vấn đề nhiệt đối với m.b.a không quan trọng lắm vì nếu bố trí thiết bị bảo vệ tốt, máy ngắt tự động sẽ cắt phần sự cố ra khỏi lưới điện, do đó vấn đề còn lại chủ yếu là lực cơ học gây nên tác dụng nguy hiểm đối với dây quấn m.b.a. Bởi vậy để bảo đảm cho m.b.a làm việc an toàn, khi thiết kế phải xét đến những lực cơ học tác dụng lên dây quấn khi ngắn mạch xem độ bền của dây quấn m.b.a có đủ hay không. Do vậy:

- Phải xác định trị số cực đại của dòng điện ngắn mạch.
- Xác định lực cơ học giữa các dây quấn.
- Tính ứng suất cơ của các đệm cách điện giữa các dây quấn và bản thân dây quấn.

4.3.1. Tính dòng điện ngắn mạch cực đại

1. Trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch xác lập

Tiêu chuẩn mới nhất của quốc tế qui định, tính toán trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch xác lập phải kể đến tổng trở của mạng cung cấp cho đầu phân áp chính của dây quấn:

$$I_n = \frac{100I_{dm}}{u_n [1 + 100 S_{dm}/(u_n S_n)]} \quad , \quad (4-30a)$$

trong đó I_{dm} là dòng điện định mức của đầu phân áp (đầu điều chỉnh điện áp) của dây quấn, (A);

S_{dm} là dung lượng định mức của m.b.a (MVA);

S_n là công suất ngắn mạch của mạng điện cung cấp (MVA) (xem bảng 40b);

u_n là điện áp ngắn mạch của m.b.a (%).

Đối với các m.b.a có công suất nhỏ hơn 1000 kVA, thường tính dòng điện ngắn mạch xác lập theo biểu thức sau:

$$I_n = \frac{I_{dm}}{u_n} \cdot 100, \quad (4.30b)$$

nghĩa là lúc này coi nguồn cung cấp có công suất vô cùng lớn ($S_n = \infty$).

Trong m.b.a ba dây quấn, mỗi dây quấn liên quan với hai dây quấn khác bằng hai trị số điện áp ngắn mạch. Do đó tính I_n theo (4-30) là với trị số u_n nhỏ nhất. Đối với m.b.a tự ngẫu dung trị số u_{nl} (%).

2. Trị số cực đại (hay xung kích) của dòng điện ngắn mạch

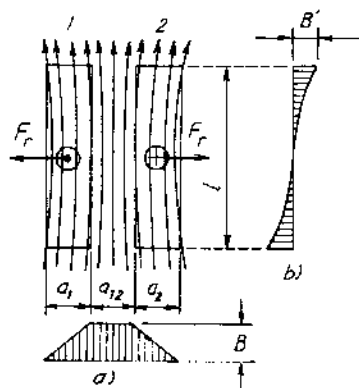
Như đã biết, khi ngắn mạch đột nhiên dòng điện ngắn mạch gồm hai thành phần: một thành phần chu kỳ và một thành phần tự do không chu kỳ. Chính thành phần tự do không chu kỳ làm trị số dòng điện ngắn mạch tức thời tăng lên rất lớn. Từ lý thuyết về "quá trình quá độ của m.b.a lúc ngắn mạch đột nhiên" ta đã biết được trị số dòng điện ngắn mạch cực đại lúc đó là:

$$i_{max} = \sqrt{2} (I_n + I_n e^{-\pi u_{nr}/u_{nx}}) = \sqrt{2} I_n (1 + e^{-\pi u_{nr}/u_{nx}}). \quad (4-31)$$

Theo (4-31) lần lượt sẽ xác định được trị số i_{max1} và i_{max2} của dây quấn HA và CA.

4.3.2. Tính lực cơ học khi ngắn mạch

Khi ngắn mạch dây quấn chịu lực cơ học rất lớn. Nếu không xét kỹ có thể lực cơ học làm hư hỏng dây quấn. Lực cơ học sinh ra do tác dụng của dòng điện trong dây quấn với từ trường tần. Tính toán lực cơ học với từ trường tần là một vấn đề rất phức tạp, đồng thời khi ngắn mạch lực cơ học tác dụng lên dây quấn cũng không đều nhau... Mặt khác giữa các vòng dây



Hình 4-8. Từ trường tần dọc và ngang trong dây quấn đồng tâm.

còn có cách điện, có các đệm lót... và do tính đàn hồi của các chi tiết đó cũng có ảnh hưởng đến lực tác dụng lên các dây quấn nên thực tế lực tác dụng đó lại nhỏ hơn lực cơ học tính toán.

1. Trường hợp hai dây quấn cùng chiều cao và các vòng dây phân bố đều trên toàn chiều cao (hình 4-8): từ trường tản gồm có thành phần dọc trục với từ cảm B (hình 4-8a) và thành phần ngang trục với từ cảm B' (hình 4-8b), ứng với mỗi từ trường tản sẽ có lực tác dụng tương ứng.

- Từ trường tản dọc B tác dụng với dòng điện gây nên lực hướng kính F_r (có chiều xác định theo qui tắc bàn tay trái), có thể tính như sau:

$$F_r = B_{tb} i_{\max} w l_v \quad , \quad (N) \quad (4-32)$$

trong đó B_{tb} là cường độ từ cảm trung bình của từ trường dọc:

$$B_{tb} = \frac{0,4\pi i_{\max} w k_r}{2l} \cdot 10^{-6} \quad , \quad (T) \quad (4-33)$$

với w là số vòng của một dây quấn (nếu dây quấn CA thì tính với lúc w_{2dm});

$i_{\max}$ là dòng điện ngắn mạch cực đại của dây quấn tương ứng (A).

$l_v \approx \beta l$ là chiều dài trung bình của một vòng dây.

Do đó:

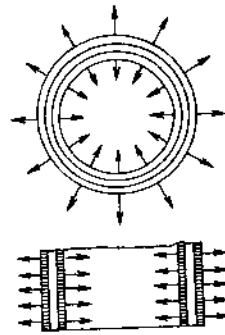
$$F_r = 0,628(i_{\max} w)^2 \beta k_r \cdot 10^{-6} \quad (N) \quad (4-34)$$

Lực F_r đối với hai dây quấn là trực đối với nhau, có tác dụng ép (hay nén) đối với dây quấn trong và có tác dụng trương (hay bung) đối với dây quấn ngoài. Lực này phân bố đều dọc chu vi của hai dây quấn (hình 4-9).

- Từ trường tản ngang B' tác dụng với dòng điện sinh ra lực chiều trục F'_l . Trị số từ cảm B' phụ thuộc vào chiều cao l và chiều rộng của dây quấn. Nếu dây quấn càng cao và hẹp thì từ cảm B' càng nhỏ, do đó F'_l càng bé.

Trị số F'_l cũng được tính như F_r nhưng trị số trung bình của từ cảm của từ trường tản ngang B'_{tb} thì thay bằng:

$$B'_{tb} = B_{tb} \frac{a_r}{l} \quad (4-35)$$



Hình 4-9. Tác dụng của lực hướng kính lên dây quấn đồng tâm

và w thì thay bằng $w/2$.

Cuối cùng ta được:

$$F'_l = F_r \frac{a_r}{2l} \quad (\text{N}) \quad (4-36)$$

Lực F'_l có tác dụng nén cả hai dây quấn theo chiều trục (hình 4-8) và như vậy F'_l sẽ lớn nhất là ở giữa dây quấn vì hai đầu ép lại và có khuynh hướng làm sập những vòng dây ngoài cùng nếu quấn không chặt.

2. Trường hợp dây quấn phân bố không đều theo chiều cao dây quấn (hình 4-10). Do

có bố trí đầu dây phân áp ở giữa dây quấn nên có một số vòng dây không có dòng điện và ở đó có một khoảng trống dây quấn l_x . Như vậy từ trường tản ngoài B và B' còn có từ trường tản ngang thứ hai B'' (hình 4-10c), tương ứng sẽ có lực dọc trục thứ hai F''_l , tương tự trên ta tính được:

$$F''_l = F_r \frac{l_x}{l'' k_r m}, \quad (\text{N}) \quad (4-37)$$

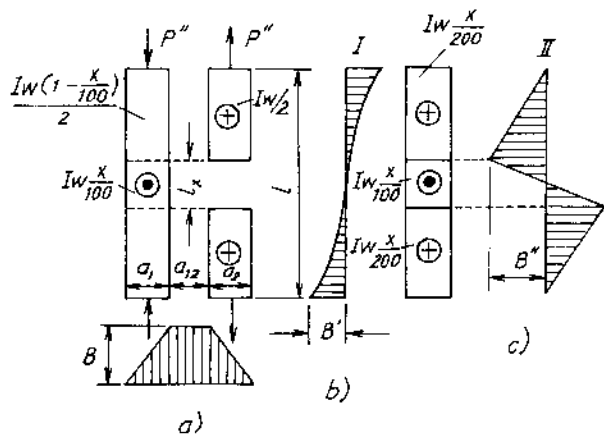
trong đó m biểu thị các hình thức bố trí khác nhau của dây quấn (hình 4-11). Trong hình 4-11 còn chỉ rõ sự phân bố các điểm tập trung lực ép chiều trục lớn nhất theo chiều cao dây quấn.

l'' là chiều dài qui đổi bình quân của đường sức từ trường ngang xác định gần đúng theo hình 4-12.

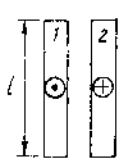
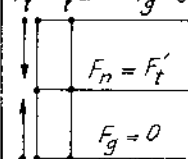
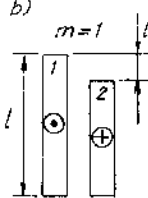
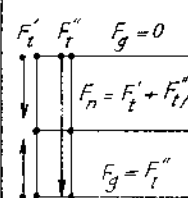
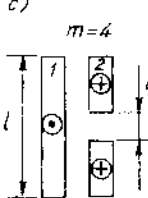
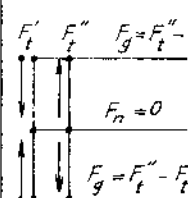
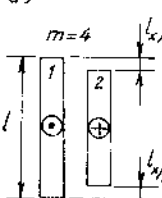
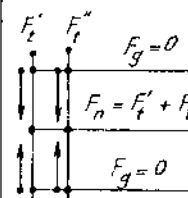
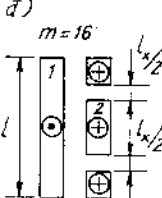
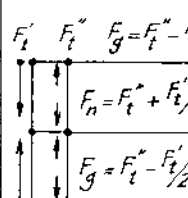
$$l'' = \frac{B - d}{2}$$

trong đó B là chiều ngang của thùng dầu.

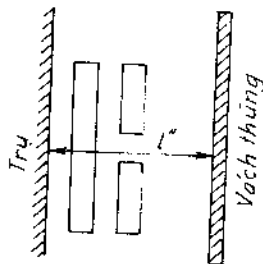
Lực chiều trục thứ hai F''_l phụ thuộc vào khoảng trống l_x , do đó phải tính F''_l ở trường hợp bất lợi nhất tức là lúc đầu phân áp ở vị trí sao cho l_x lớn nhất, chính là khoảng cách (tính bằng m) giữa các vòng dây cuối cùng mang



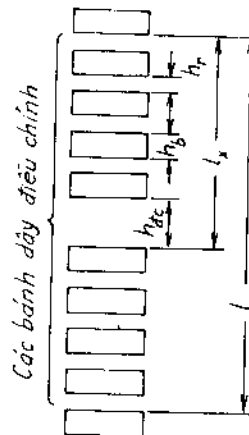
Hình 4-10. Phân tích từ trường tản thành ba thành phần

	Trường hợp $F_t'' > F_t'$		Trường hợp khác
	Dây quấn 1	Dây quấn 2	
a)	 $F_t' \quad F_t'' = 0 \quad F_g = 0$ $F_n = F_t'$ $F_g = 0$	 $F_t' \quad F_t'' = 0 \quad F_g = 0$ $F_n = F_t'$ $F_g = 0$	
b)	 $F_t' \quad F_t'' \quad F_g = F_t''$ $F_n = F_t' + F_t''/2$ $F_g = 0$	 $F_t' \quad F_t'' \quad F_g = 0$ $F_n = F_t' + F_t''/2$ $F_g = F_t''$	
c)	 $F_t' \quad F_t'' \quad F_g = 0$ $F_n = F_t' + F_t''$ $F_g = 0$	 $F_t' \quad F_t'' \quad F_g = F_t'' - F_t'$ $F_n = 0$ $F_g = F_t'' - F_t'$	Dây quấn 2 $F_t' > F_t''$ $F_g = 0$ $F_n = F_t' - F_t''$ $F_g = 0$
d)	 $F_t' \quad F_t'' \quad F_g = F_t'' - F_t'$ $F_n = 0$ $F_g = F_t'' - F_t'$	 $F_t' \quad F_t'' \quad F_g = 0$ $F_n = F_t' + F_t''$ $F_g = 0$	Dây quấn 1 $F_t' > F_t''$ $F_g = 0$ $F_n = F_t' - F_t''$ $F_g = 0$
đ)	 $F_t' \quad F_t'' \quad F_g = 0$ $F_n = F_t'' + F_t'/2$ $F_g = 0$	 $F_t' \quad F_t'' \quad F_g = F_t'' - F_t'/2$ $F_n = F_t'' + F_t'/2$ $F_g = F_t'' - F_t'/2$	Dây quấn 2 $F_t'/2 > F_t''$ $F_g = 0$ $F_n = F_t'$ $F_g = 0$

Hình 4-11. Phân tích các lực ép chiều trục đối với những trường hợp vị trí tương hỗ giữa hai dây quấn khác nhau.



Hình 4-12. Chiều dài l' dùng để tính toán lực chiều trục.



Hình 4-13. Khoảng cách l_x dùng để tính toán lực chiều trục (trị số l_x lớn).

dòng điện tương ứng với lúc cuộn CA có điện áp nhỏ nhất (hình 4-13). Rõ ràng là F_l' sẽ không có lúc $l_x = 0$, nghĩa là dây quấn phân bố đều.

Để có thể giảm F_l' bằng cách giảm sự chênh lệch về khoảng trống ở dây quấn CA đối với dây quấn HA do đầu phân áp gây nên người ta có thể bố trí các vòng dây điều chỉnh của cuộn CA phân bố đều trên toàn chiều cao dây quấn hoặc tạo một rãnh dầu ở giữa dây quấn HA tương ứng với các vòng dây điều chỉnh của cuộn CA.

4.3.3. Tính toán ứng suất của dây quấn

Sau khi xác định được cường độ lực cơ học tác dụng lên dây quấn ta tiếp tục tính ứng suất chỉ sự chịu đựng của dây quấn đối với lực cơ giới.

1. Ứng suất do lực hướng kính gây nên:

Lực F_{nr} có tác dụng nén lên cuộn dây trong HA và dưới tác dụng của lực nén này xuất hiện ứng suất nén lên cuộn dây trong và các tấm đệm giữa các vòng dây và bánh dây. Để tính toán lực này ta coi dây quấn như một ống có thành rất mỏng và giả sử rằng khi cắt đôi dây quấn thì phải thế vào hai chỗ cắt hai lực nén F_{nr} (hình 4-14a) sao cho vẫn giữ nguyên được tình trạng cũ, nghĩa là:

$$F_{nr} = \frac{F_r}{2\pi} \text{ (N)} \quad (4-38)$$

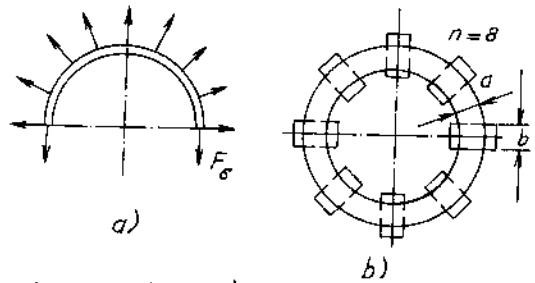
Do đó ứng suất nén:

$$\sigma_{nr} = \frac{F_{nr} \cdot 10^{-6}}{T \cdot w}, \text{ (MN/m}^2 \text{ hay MPa)} \quad (4-39)$$

trong đó w là số vòng dây của dây quấn;

T là tiết diện của một vòng dây (m^2).

Trị số σ_{nr} tính ra phải đạt tiêu chuẩn: Đối với dây đồng $\sigma_{nr} \leq 30 \text{ MPa}$; đối với dây nhôm $\sigma_n \leq 15 \text{ MPa}$.



Hình 4-14. Dùng để xác định các lực cơ học trong các dây quấn.

Ứng suất kéo ở dây quấn CA phía ngoài có thể tính theo các biểu thức (4-38) và (4-39). Tuy nhiên trên thực tế kinh nghiệm cho thấy lực hướng kính thường không làm hư hỏng dây quấn mà có thể làm biến dạng cuộn dây.

2. Ứng suất do lực chiều trục gây nên:

Lực chiều trục chủ yếu là lực nén F_n . Lực này chủ yếu làm hỏng những miếng đệm cách điện ở giữa các vòng dây (hình 4-14b). Do đó ứng suất do lực nén gây ra:

- Đối với dây quấn không có nêm chèn giữa các vòng dây:

$$\sigma_n = \frac{F_n \cdot 10^{-6}}{\pi \frac{D' + D''}{2} (a_1 - a_{11})}, \text{ (MPa)} \quad (4-40)$$

trong đó D' và D'' là đường kính trong và ngoài của dây quấn chịu lực ép lớn nhất.

- Đối với dây quấn có nêm chèn:

$$\sigma_n = \frac{F_n \cdot 10^{-6}}{nab}, \text{ (MPa)} \quad (4-41)$$

trong đó n là số miếng đệm theo chu vi vòng tròn dây quấn;

a, b là kích thước miếng đệm (m). Xem hình 4-14;

F_n là tổng hợp lực lớn nhất.

F'_1 và F''_1 căn cứ vào tình hình cụ thể của từng loại dây quấn như vẽ ở hình 4-11 mà xác định. Trường hợp lực tác dụng lên gông $F_g > F_n$ thì phải thay F_n bằng F_g .

Trị số σ_n tính ra phải đạt tiêu chuẩn:

$$\sigma_n \leq 18 + 20 \text{ MPa với } S \leq 6300 \text{ kVA};$$

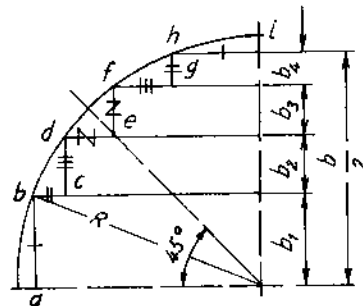
$$\sigma_n \leq 35 + 40 \text{ MPa với } S > 6300 \text{ kVA}.$$

TÍNH TOÁN CUỐI CÙNG HỆ THỐNG MẠCH TỪ VÀ TÍNH TOÁN THAM SỐ KHÔNG TẢI CỦA M.B.A

Sau khi đã xác định kích thước và trọng lượng của dây quấn sao cho về tính năng u_n và P_n đạt yêu cầu, ta tiến hành tính toán cuối cùng về mạch từ để xác định các kích thước cụ thể của các bậc thang của trụ sắt, gông từ, chiều cao của trụ, trọng lượng của lõi sắt... sau đó tính toán dòng điện không tải, tổn hao không tải và hiệu suất của m.b.a. Tài liệu này chỉ giới thiệu phương pháp tính toán cho loại mạch từ phẳng là loại mạch từ thông dụng đối với các m.b.a điện lực hiện nay.

§5.1. XÁC ĐỊNH KÍCH THƯỚC CỤ THỂ CỦA LỖI SẮT

Các lá thép trong trụ thường được xếp đối xứng đối với đường phân giác trong góc một phần tư của trụ (hình 5-1). Như trên hình 5-1 có $ab = ih$, $bc = hg$, ... Kích thước của các tập lá thép trong trụ được bố trí sao cho tiết diện ngang của trụ là lớn nhất có thể. Những kích thước tối ưu của các tập lá thép đó biểu diễn bằng tỷ số giữa bề rộng a của lá thép với đường kính d của trụ đối với những trụ có từ 1

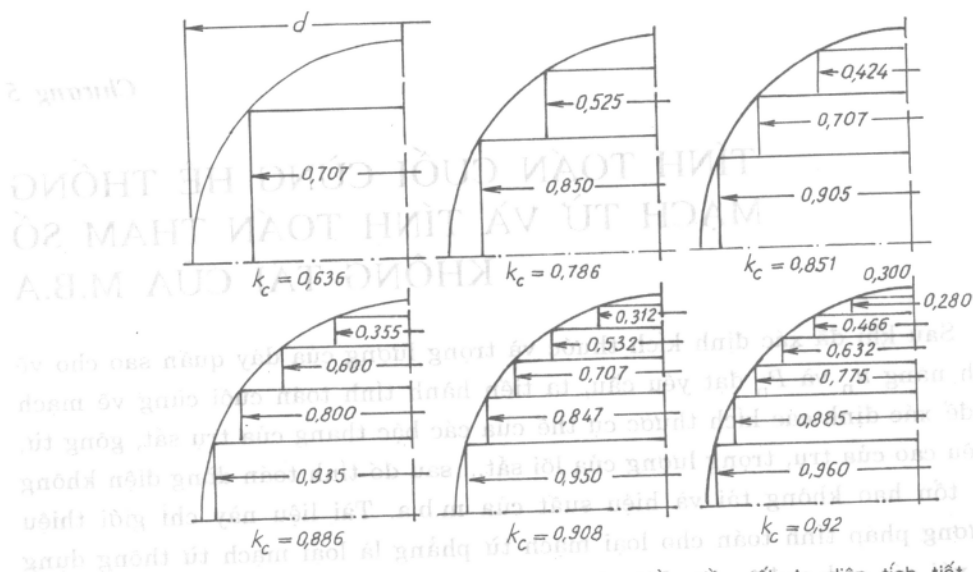


Hình 5-1. Dùng để xác định kích thước các tập lá thép trong trụ.

đến 6 bậc được ghi trong hình 5-2. Trong hình vẽ đó có ghi cả hệ số chênh lệch tiết diện tròn k_c của từng loại tiết diện trụ tương ứng.

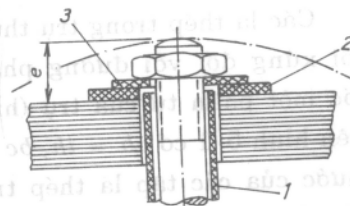
Trước đây do dùng tôn cán nóng làm lõi và thường trụ được ép bằng bulông xuyên lõi (hình 5-3) nên bậc thang ngoài cùng phải chứa chỗ để lót miếng đệm và đầu bulông, do đó phải thay đổi kích thước của bậc thang trên cùng hay tất cả các bậc thang, vì vậy hệ số k_c sẽ giảm xuống ít nhiều.

Hiện nay lõi sắt chủ yếu dùng tôn cán lạnh và như đã giới thiệu ở chương 1, ép trụ có thể dùng băng vải thủy tinh không có hoặc có tấm sắt ép. Tôn cán lạnh thường sản xuất tiêu chuẩn theo hai loại: tôn tấm có kích



Hình 5-2. Kích thước các bậc trong trụ bảo đảm diện dày tối đa diện tích tiết diện tròn của trụ (nếu xem $d = 1,000$)

thước ngang 750 hay 1000 mm và tôn cuộn kích thước ngang 750 hay 1000 mm. Tôn tấm ít được dùng vì chiều dài tấm có hạn nên pha cát sẽ tăng phế liệu, tốn kém. Vì vậy tôn cuộn rất được ưa dùng. Để tiêu chuẩn hóa trong việc lắp ghép lõi sắt biến áp, hiện nay người ta qui định cắt dập các tôn lá làm lõi phải đi dọc theo chiều dài lá tôn (tôn tấm cũng như tôn cuộn) để đảm bảo đúng chiều cán và các tấm có kích thước ngang từ 40 đến 985 mm, các cỡ cách nhau 5 mm.

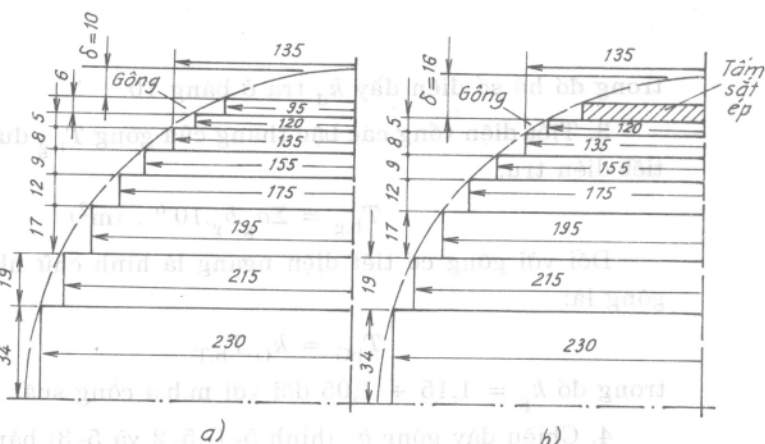


Hình 5-3. Ép trụ bằng bulông phải có khoảng cách e để bố trí vòng đệm và đầu bulông

Với việc tiêu chuẩn hóa đó, trụ sắt sẽ được qui định số bậc, chiều dày các tập lá thép từng bậc, kích thước và sự bố trí các rãnh làm lạnh trong trụ tùy theo đường kính của trụ. Bảng 41a, b, c, d ghi những số liệu đó cho m.b.a dầu có đường kính trụ từ 0,080 đến 0,750 m. Trong bảng này ghi các số liệu với hai cách ép trụ khác nhau khi không dùng và khi có dùng tấm sắt ép trụ dọc trục.

Hình 5-4 vẽ một ví dụ về tiết diện ngang của trụ và gông với hai cách ép trụ khác nhau vừa nói ở trên với đường kính trụ 0,240 m. Trong đó hình 5-4a với tập lá thép gông ngoài biên ứng với ba tập lá thép của trụ với kích

thước là $(6 + 5 + 8) \times 135$ mm; còn hình 5-4b thì tập lá thép gông này lại ứng với 2 tập lá thép trụ là $(5 + 8) \times 135$ mm. Như vậy là hầu hết các tập lá thép tương ứng của tiết diện trụ và gông đều có kích thước như nhau, chỉ trừ hai ba tập ngoài cùng của trụ là ứng với một tập lá thép gông, mục đích để tăng bề mặt ép gông lên bảo đảm hơn.



Hình 5-4. Tiết diện trụ và gông theo bảng 41, b đối với trụ có đường kính $d = 0,24$ mm
a) Trụ không có tấm sắt ép; b) Trụ có tấm sắt ép.

Diện tích tiết diện ngang các bậc thang của trụ $T_{b,t}$ và gông $T_{b,g}$ ứng với kích thước các tập lá thép của các bảng 41 được cho ở bảng 42a, b. Trong các bảng này còn cho biết cả thể tích của góc mạch từ V_0 tương ứng.

Đối với các m.b.a khô, kích thước các tập lá thép cũng có thể dùng được bảng 41, nhưng khi đường kính trụ từ 0,2 m trở lên nên dùng phương án có tấm sắt ép trụ; còn khi đường kính trụ từ 0,240 ÷ 0,360 m thì nhớ bố trí rãnh làm lạnh dọc trong trụ và gông với số lượng và kích thước rãnh theo hướng dẫn của bảng 7. Tất nhiên lúc đó tiết diện trụ, gông và thể tích góc mạch từ tương ứng sẽ giảm đi.

Vậy các bước tiến hành tính toán kích thước cụ thể của lõi sắt như sau:

1. Xác định kích thước các tấm lá thép, chiều dày các tập lá thép, tiết diện tương ứng của từng bậc thang và tiết diện tổng của các bậc trong trụ sắt dựa theo đường kính d và các số liệu qui định ở bảng 41 (a, b, c, d) và 42 (a, b).

Tiết diện tổng các bậc thang trong trụ:

$$T_{b,t} = \sum a_i b_i \cdot 10^{-6}, \text{ (m}^2\text{)} \quad (5-1)$$

trong đó a_i, b_i là kích thước của các bậc thang trong trụ (m); nếu có rãnh làm lạnh dọc, ngang thì phải trừ tiết diện của chúng ra.

2. Tiết diện tác dụng của trụ sắt:

$$T_t = k_d \cdot T_{b,t}, \text{ (m}^2\text{)} \quad (5-2)$$

trong đó hệ số điền đầy k_d tra ở bảng 10.

3. Tiết diện tổng các bậc thang của gông T_{bg} được xác định tương tự như tiết diện trụ:

$$T_{bg} = \Sigma a_g \cdot b_g \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)} \quad (5-3)$$

Đối với gông có tiết diện ngang là hình chữ nhật thì tiết diện tổng của gông là:

$$T_{bg} = k_g \cdot T_{bT}$$

trong đó $k_g = 1,15 \div 1,05$ đối với m.b.a công suất 25 đến 6300 kVA.

4. Chiều dày gông b_g (hình 5-1, 5-2 và 5-3) bằng tổng chiều dày các tập lá thép của trụ.

- Đối với lõi không có rãnh làm lạnh:

$$b_g = \Sigma b_l \cdot 10^{-3}; \text{ (m)} \quad (5-4a)$$

- Đối với lõi có n_r rãnh làm lạnh, mỗi rãnh rộng b_r (mm) thì:

$$b_g = (\Sigma b_l + n_r b_r) \cdot 10^{-3} \text{ (m)} \quad (5-4b)$$

Đối với m.b.a có tiết diện trụ chữ nhật có thể tính được chiều cao gông: $h_G = T_{bg}/b_g$ khi không có rãnh làm lạnh hay $h_G = T_{bg}/(b_G - n_r b_r \cdot 10^{-3})$ khi có rãnh làm lạnh.

5. Tiết diện tác dụng của gông:

$$T_g = k_d \cdot T_{bg} \text{ (m}^2\text{)} \quad (5-5)$$

6. Số lá thép trong từng bậc của trụ và gông:

$$n_\delta = \frac{b_l k_d}{\delta_l \cdot 10^{-3}} \quad (5-6)$$

trong đó δ_l là chiều dày của mỗi lá tôn silic (mm);

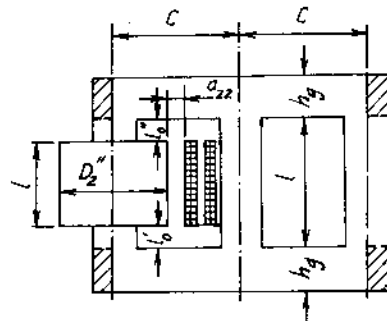
k_d là hệ số điền đầy của tập lá thép (theo bảng 10).

7. Chiều cao của trụ sắt

$$l_l = l + (l_o + l_o') \cdot 10^{-3} \text{ (m)} \quad (5-7)$$

trong đó l_o và l_o' là khoảng cách từ dây quấn đến gông trên và gông dưới, xác định theo bảng 19 hay 35 và các hình 3-5, 3-6 và 3-7.

Khi không có vành sắt ép dây quấn (hình 5-5) thì lấy $l_o = l_o'$. Trường hợp có vành sắt ép dây quấn



Hình 5-5. Dùng để xác định các kích thước của mạch từ phẳng.

thì khoảng cách l''_0 phải tăng lên 45 mm với m.b.a. công suất 1000 ÷ 6300 kVA; 60 mm với m.b.a. công suất 10000 ÷ 63000 kVA; còn đối với m.b.a ba dây quấn cùng công suất đó phải tăng tới 100 mm.

8. Khoảng cách hai trụ sắt cạnh nhau:

$$C = D''_2 + a_{22} \cdot 10^{-3}, \text{ (m)} \quad (5-8)$$

trong đó D''_2 là đường kính ngoài của dây quấn CA; (m)

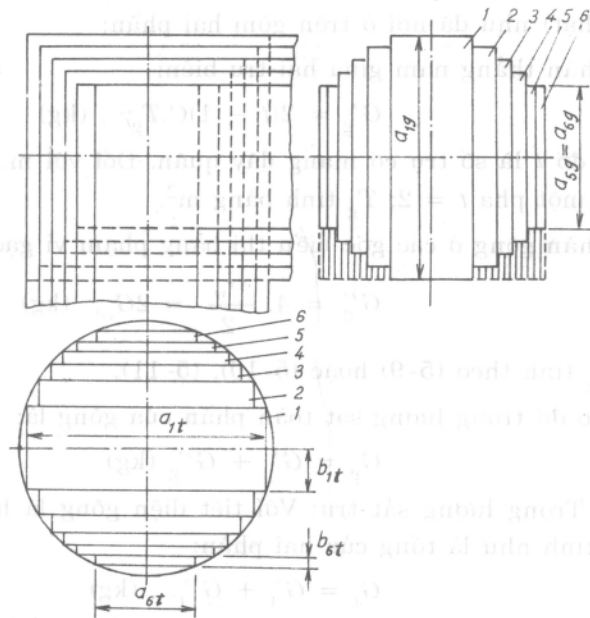
a_{22} là khoảng cách các dây quấn CA cạnh nhau, xác định theo bảng 19 hay hình 3-5, 3-6, 3-7.

Trị số C được lấy tròn đến 0,005 m.

9. Trọng lượng sắt của trụ và gông:

Trọng lượng sắt trụ và gông của mạch từ phẳng gồm hai bộ phận: một bộ phận mạch từ thẳng và một bộ phận ở góc mạch từ. Trước hết hãy xác định trọng lượng sắt của góc mạch từ.

Tùy theo hình dạng tiết diện ngang của gông mà có những phương pháp xác định khác nhau. Một góc mạch từ được xem là phần chung nhau của trụ và gông giới hạn bởi hai mặt trụ vuông góc nhau. Trọng lượng sắt một góc mạch từ khi tiết diện trụ có n bậc (hình 5-5).



Hình 5-6. Dùng để xác định thể tích và trọng lượng một góc mạch từ theo công thức (5-9). Phần kẻ dọc của trụ dùng tính trọng lượng theo công thức (5-16b).

$$G_o = 2k_d \gamma \cdot 10^{-4} (a_{1t} a_{1g} b_{1t} + a_{2t} a_{2g} b_{2t} + \dots + a_{nt} a_{ng} b_{nt}), \text{ (kg)} \quad (5-9)$$

trong đó a_{1t} , a_{1g} , ... là chiều rộng của từng tập lá thép trụ hoặc gông ở mỗi nối (mm).

b_{1t} , b_{2t} , ... là chiều dày các tập lá thép trụ (mm) trong một nửa tiết diện trụ (xem hình 5-6)

γ là tỷ trọng thép m.b.a (kg/m^3). Có thể lấy $\gamma = 7550 \text{ kg/m}^3$ đối với thép cán nóng và 7650 kg/m^3 đối với thép cán lạnh.

Trường hợp mạch từ có kích thước các tập lá thép trụ và gông tra ở bảng 41a, b, c, d và thể tích góc mạch từ tra ở bảng 42a, b thì trọng lượng sắt một góc của mạch từ có thể tính như sau:

$$G_0 = k_d V_0 \gamma \cdot 10^{-6} \text{ (kg)} \quad (5-10)$$

Trường hợp nếu gông có tiết diện hình chữ nhật thì trọng lượng sắt một góc mạch từ tính theo biểu thức sau:

$$G_0 = T_1 h_g \gamma \cdot 10^{-6} \text{ (kg)} \quad (5-11)$$

trong đó T_1 tính bằng m^2 ; h_g tính bằng m.

- Trọng lượng sắt gông (cả loại tiết diện bậc thang và cả loại tiết diện chữ nhật) như đã nói ở trên gồm hai phần:

Phần thẳng nằm giữa hai trụ biên:

$$G'_g = 2(t - 1)C.T_g \gamma \text{ (kg)} \quad (5-12)$$

trong đó t là số trụ có mang dây quấn. Đối với m.b.a ba pha $t = 3$; đối với m.b.a một pha $t = 2$; T_g tính bằng m^2 .

Phần gông ở các góc biểu thị bằng phạm vi gạch chéo ở trong h.5-5:

$$G''_g = 4 \cdot \frac{G_0}{2} = 2G_0 \text{ (kg)} \quad (5-13)$$

với G_0 tính theo (5-9) hoặc (5-10), (5-11).

Do đó trọng lượng sắt toàn phần của gông là:

$$G_g = G'_g + G''_g \text{ (kg)} \quad (5-14)$$

- Trọng lượng sắt trụ: Với tiết diện gông là hình bậc thang nhiều bậc được tính như là tổng của hai phần:

$$G'_l = G'_l + G''_l \text{ (kg)} \quad (5-15)$$

trong đó G'_l là trọng lượng sắt của phần trụ ứng với chiều cao của sổ mạch từ:

$$G'_l = t.T_1 l_1 \gamma \text{ (kg)} \quad (5-16a)$$

với T_1 tính bằng m^2 và l_1 tính bằng m.

G''_l là trọng lượng sắt của phần trụ nối với gông (phạm vi kẻ dọc ở trong hình 5-6):

$$G''_l = t(T_1 a_{lg} \gamma \cdot 10^{-3} - G_0) \text{ (kg)} \quad (5-16b)$$

Với tiết diện gông hình chữ nhật $G''_l = 0$.

Cuối cùng trọng lượng sắt toàn bộ của trụ và gông là:

$$G_{lc} = G'_l + G_g \text{ (kg)} \quad (5-17)$$

§5.2. TÍNH TỔN HAO KHÔNG TẢI, DÒNG ĐIỆN KHÔNG TẢI VÀ HIỆU SUẤT CỦA M.B.A

Khi cấp điện áp xoay chiều có tần số định mức vào cuộn dây sơ cấp và các cuộn dây khác hồ mạch gọi là chế độ không tải. Tổn hao ứng với chế độ đó gọi là tổn hao không tải.

Tổn hao không tải của m.b.a gồm có: tổn hao trong lá thép silic, tổn hao trong vỏ máy và các chi tiết bằng sắt khác, tổn hao đồng trong dây quấn do dòng điện không tải I_0 gây ra, tổn hao do dòng điện rò trong các chất cách điện.

Thực ra tổn hao trong chất cách điện chỉ đáng kể trong các m.b.a làm việc với tần số tăng cao, còn trong các m.b.a điện lực với tần số công nghiệp thì ngay ở những cấp điện áp 500 đến 750 kV cũng rất nhỏ không đáng kể. Tổn hao đồng lúc không tải ở dây quấn sơ cấp rất nhỏ có thể bỏ qua; tổn hao trong vỏ máy đã tính gộp vào trong tổn hao phụ nên không cần xét đến. Do đó chỉ còn lại tính tổn hao trong lá thép silic.

5.2.1. Tổn hao không tải

Ta có thể xem tổn hao không tải gồm hai phần: tổn hao trong trụ sắt và tổn hao trong gông từ, có thể viết như sau:

$$P_0 = k_t(p_t G_t + p_g G_g), \text{ (W)} \quad (5-18)$$

trong đó k_t là hệ số tổn hao phụ (tra bảng 43) xét đến các yếu tố như B_t và B_g phân bố không đều hoặc do công nghệ chế tạo lá thép bị havia, hay xếp không cùng chiều... làm P_0 tăng lên;

p_t, p_g là suất tổn hao của trụ và gông, tức là tổn hao của 1 kg thép silic trong trụ và gông (W/kg), nó phụ thuộc vào từ cảm B_t và B_g , vào mã hiệu và chiều dày lá thép... do đó muốn biết p_t và p_g phải biết mã hiệu thép, chiều dày lá thép. Từ cảm tương ứng tính từ các công thức sau:

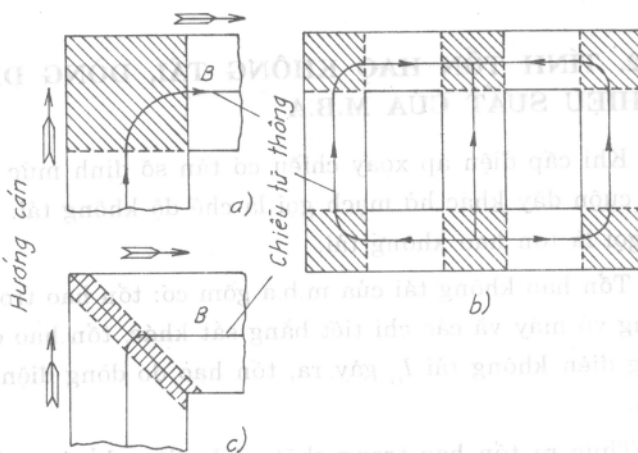
$$B_t = \frac{u_v \cdot 10^4}{4,44 T_t}, \text{ (T)} \quad (5-19)$$

$$B_g = B_t \frac{T_t}{T_g}, \text{ (T)} \quad (5-20)$$

sau đó tra ở bảng 44, 45 ⁽¹⁾.

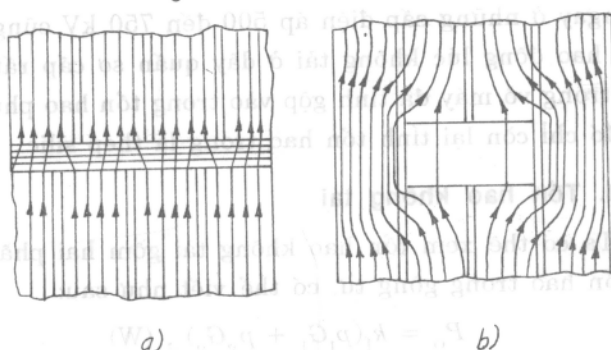
(1) Khi sử dụng từ cân lạnh mã hiệu 3406 dày 0,27 mm có thể lấy số liệu đối với từ cân mã hiệu M4X dày 0,28 mm trong bảng này cũng như các bảng 46, 47.

Cần biết rằng tổn hao sắt ở thép cán lạnh, trong bảng 42 chỉ đúng trong trường hợp chiều của từ thông và chiều cán lá thép trùng nhau. Nếu lệch khỏi hướng đó thì suất tổn hao sẽ tăng lên. Điều này cần chú ý khi tính toán tổn hao ở các góc nối giữa trụ và gông của lõi thép. Vì vậy:



Hình 5-7. Tổn hao trong lõi sắt có thể tăng lên ở các góc nối đối với tôn cán lạnh.

- Phải nhân thêm hệ số gia tăng tổn hao góc nối k_{po} (xem bảng 46) ở các góc (phần gạch chéo trên hình 5-7a, c). Nếu mối nối ghép thẳng (hình 5-7a, b) thì hệ số đó lớn, nếu mối nối ghép nghiêng (hình 5-6c) thì hệ số đó giảm đi nhiều.



Hình 5-8. Khe hở không từ tính.

a) Ở trong lõi ghép nối; b) Ở trong lõi ghép xen kẽ.

- Ngay ở chỗ nối của các lá thép hay chỗ mối ghép xen kẽ vì có khe hở nên đường sức từ phải đổi hướng (hình 5-8), do đó làm tổn hao cũng tăng lên. Tổn hao này phụ thuộc vào bề mặt khe hở và được đặc trưng bằng suất tổn hao bề mặt khe hở p_k (W/cm^2) cho ở bảng 44 và 45. Ở mối nối thẳng, từ cảm để xác định p_k bằng trị số từ cảm trong trụ khi khe hở vuông góc với trục của trụ và bằng trị số từ cảm trong gông khi khe hở vuông góc với trục của gông. Ở mối nối nghiêng thì lấy $B_k = B_l/\sqrt{2}$. Còn tiết diện một bề mặt của khe hở T_k lấy bằng tiết diện trụ T_l hay gông T_g ở mối nối thẳng và $T_k = T_l/\sqrt{2}$ ở mối nối nghiêng.

- Hình dáng tiết diện gông ảnh hưởng nhiều tới sự phân bố từ cảm trong trụ và gông cho nên phải đưa thêm vào hệ số gia tăng tổn hao ở gông k_{pg} . Đối với gông có số bậc bằng hay ít hơn vài bậc so với trụ thì có thể coi

$k_{pg} = 1,0$, đối với gông tiết diện có vài bậc hay hình chữ nhật thì hệ số đó khoảng $k_{pg} = 1,04 - 1,07$.

Mặt khác cũng cần lưu ý rằng những yếu tố công nghệ ảnh hưởng rất nhiều tới tổn hao không tải, bởi thế phải kể đến những hệ số sau:

- Hệ số tổn hao do tháo lắp gông trên k_{pt} để lồng dây quấn vào trụ làm chất lượng lá thép giảm, tổn hao tăng lên; thường $k_{pt} = 1,01$ khi $S \leq 250$ kVA; $1,02$ khi $S = 400 \div 630$ kVA; $1,04 \div 1,08$ khi $S = 1000 \div 6300$ kVA; $1,09$ khi $S \geq 10000$ kVA.

- Hệ số tổn hao do ép trụ để dài k_{pc} thường vào khoảng $1,02$ đối với m.b.a công suất đến 630 kVA và $1,03 \div 1,05$ đối với m.b.a công suất $1000 \div 63000$ kVA (có thể tra ở bảng 46b).

- Hệ số kể đến tổn hao do cắt dập lá tôn thành tấm k_{pc} . Nếu sau khi cắt dập tấm lá tôn có ù thì tổn hao này không đáng kể, nếu không ù thì trong phạm vi từ cảm $1,1 \div 1,7$ T, hệ số k_{pc} tùy thuộc vào chiều rộng cắt dập các tấm tôn như sau:

- Tấm rộng $0,05$ m... $1,20$; tấm rộng $0,30$ m ... $1,033$.

- Tấm rộng $0,10$ m ... $1,10$; tấm rộng $0,40$ m ... $1,025$.

- Tấm rộng $0,20$ m ... $1,05$; tấm rộng $0,50$ m ... $1,020$.

- Hệ số kể đến tổn hao do gấp mép hoặc khử bavaria k_{pb} sau khi dập tấm, nếu không ù thì $k_{pb} = 1,07$.

Trong trường hợp sau khi cắt dập tấm và khử bavaria nếu có ù lại lá thép thì có thể coi $k_{pc}.k_{pb} = 1,00$.

Do kể đến những ảnh hưởng trên làm tăng tổn hao sắt ở các góc mạch từ (phần gạch chéo trong hình 5-7b) nên lúc đó các tính toán về trọng lượng sắt và tổn hao không tải phải tiến hành như sau:

Trọng lượng trụ xác định theo (5-15) (đối với gông tiết diện chữ nhật thì $G_l = 0$) và tổn hao trong chúng vẫn tính theo phương pháp thông thường dựa vào từ cảm trong trụ và suất tổn hao trong trụ p_1 .

Trọng lượng gông chia làm hai phần: phần gạch chéo trong hình 5-7, đối với m.b.a ba pha thì bằng 6 lần G_0 và đối với m.b.a một pha thì bằng 4 lần G_0 (trong đó G_0 tính theo (5-9), (5-10) hay (5-11)); phần không gạch chéo được xác định bằng hiệu số $G_g - 4G_0$ đối với m.b.a ba pha và $G_g - 2G_0$ đối với m.b.a một pha. Như vậy trọng lượng sắt của hai phần gông đó được tính như sau:

- Đối với m.b.a ba pha:

$$G_g = (G_g - 4G_o) + 6G_o; \text{ (kg)} \quad (5-21a)$$

- Đối với m.b.a một pha:

$$G_g = (G_g - 2G_o) + 4G_o; \text{ (kg)} \quad (5-21b)$$

Hai phần trọng lượng sắt gông ở vế phải (5-21) ứng với cách tính tổn hao có khác nhau. Phần trọng lượng ngoặc đơn xác định theo phương pháp thông thường dựa vào từ cảm trong gông và suất tổn hao gông p_g ; phần trọng lượng sắt ở góc, ngoài tổn hao thông thường còn có những tổn hao phụ phụ thuộc vào dạng mỗi nối của các lá tôn là thẳng hay nghiêng.

Đối với các m.b.a có mạch từ phẳng như hiện nay (hình 1-1) làm bằng thép cán lạnh, ép trụ và gông bằng đai có xà ép gông, có nêm dây quấn ép trụ, không làm bulông xuyên lỗ, nếu kể đến tất cả những ảnh hưởng trên thì tổn hao không tải được xác định theo biểu thức như sau:

$$P_o = k_{pc} k_{pt} \left[p_l G_l + p_g (G_g - N G_o) + \frac{p_l + p_g}{2} G_o k_{po} + \Sigma p_k n_k T_k \right] k_{pg} k_{pc} k_{pt} \quad (5-22)$$

trong đó N là số lượng góc nối của mạch từ cần phải tính đến ảnh hưởng của tổn hao sắt. Đối với m.b.a ba pha $N = 4$; với m.b.a một pha $N = 2$;

$k_{po} = k_n k'_{po} + k_l k''_{po}$ là hệ số kể đến tổn hao phụ ở các góc nối của mạch từ tùy theo sự phối hợp số lượng mỗi nối thẳng và nghiêng khác nhau (trong đó k'_{po} và k''_{po} xem ở bảng 46a). Đối với các phối hợp mỗi nối dạng khác, trị số k_{po} cho ở bảng 47;

k_n là hệ số biểu thị số lượng góc có dạng mỗi nối nghiêng ($k_n = 4$);

k_l là hệ số biểu thị số lượng góc có dạng mỗi nối thẳng ($k_l = 2,1,25 = 2,5$);

n_K là số khe nối giữa các lá thép trong mạch từ với những dạng mỗi nối đã cho.

Trong tính toán sơ bộ, tổn hao không tải đối với lõi thép có kết cấu mạch từ phẳng, có thể dùng công thức sau đây, nhưng để đơn giản trong đó các ảnh hưởng của các tổn hao phụ đã nói trên được biểu thị bằng một hệ số chung k_{pf} :

$$P_o = k_{pf} p_l \left(G_l + G_o \frac{k_{po}}{2} \right) + k_{pt} p_g \left[G_g - (N + 2)G_o + \frac{k_{po} G_o}{2} \right], \text{ (W)} \quad (5-23)$$

trong đó k_{pi} có thể tra ở bảng 48.

Cần chú ý rằng đối với những m.b.a mà hệ thống mạch từ làm bằng những lá thép có dập lỗ để xuyên bulông thì tổn hao không tải tăng lên và lúc đó tính tổn hao không tải phải đưa thêm vào một *hệ số kể đến tổn hao phụ do dập lỗ* k_{pi} vào trước ngoặc vuông của biểu thức (5-22). Hệ số này phụ thuộc vào chiều dày lá thép, từ cảm trong lõi, đường kính lỗ, chiều rộng lá thép và khoảng cách lỗ theo chiều trụ sắt. Đối với thép cán lạnh có chiều dày 0,5 mm, khoảng cách lỗ là 12, 24, và 0,48 m thì hệ số lỗ từ 1,01 ÷ 1,05 đến 1,14 ÷ 1,35; đối với lá thép dày 0,35 mm thì tương ứng là 1,01 ÷ 1,04 đến 1,08 ÷ 1,25. Nhưng nói chung hiện nay hầu hết các lõi m.b.a không dùng kiểu dập lỗ này nữa.

Tổn hao không tải thực tế sau khi m.b.a đã chế tạo so với tính toán có thể sai lệch $\pm (6,5 + 8,5)\%$. Theo tiêu chuẩn người ta qui định tổn hao không tải tính toán không được vượt quá $+7,5\%$ trị số tổn hao tiêu chuẩn.

5.2.2. Dòng điện không tải

Dòng điện không tải có thể chia làm hai thành phần: thành phần tác dụng và thành phần phản kháng.

Thành phần tác dụng của dòng không tải là:

$$I_{or} = \frac{P_o}{m \cdot U_f}, \quad (A) \quad (5-24)$$

trong đó P_o tính bằng W;

U_f là điện áp pha của dây quấn sơ cấp (V)

Thường người ta không tính trị số có tên mà tính theo phần trăm so với dòng điện định mức:

$$i_{or}\% = \frac{I_{or}}{I_f} 100 = \left(\frac{P_o}{mU_f} : \frac{S}{mU_f} \right) 100 = \frac{P_o}{S} 100, \quad (W) \quad (5-25)$$

trong đó P_o tính bằng W;

S tính bằng kVA.

Thành phần phản kháng của dòng điện không tải là I_{ox} , việc tính toán nó có phần phức tạp hơn. Để tìm được I_{ox} ta hãy tìm công suất phản kháng Q_o (hay còn gọi là công suất từ hóa) tương ứng sinh ra nó. Ta có thể xem công suất từ hóa gồm ba phần:

Phần trong trụ sắt:

$$Q_{oi} = q_i G_i \quad (VA) \quad (5-26)$$

trong đó q_t là suất từ hóa của trụ sắt tương ứng với từ cảm B_t (xem bảng 49; 50 và 51); (VA/kg)

G_t là trọng lượng trụ sắt, (kg).

Phần trong gông từ:

$$Q_{og} = q_g G_g \text{ (VA)}, \quad (5-27)$$

trong đó q_g là suất từ hóa của gông từ ứng với B_g (xem bảng 49,50 và 51) (VA/kg).

G_g là trọng lượng gông từ, (kg).

Phần trong khe hở không khí:

$$Q_{ok} = \Sigma n_k q_k T_t \text{ (VA)}, \quad (5-28)$$

trong đó n_k là số khe hở không khí trong lõi thép;

q_k là suất từ hóa trong khe hở không khí (VA/m²) - tra bảng 49, 50 và 51 xác định theo từ cảm và tiết diện khe hở như lúc tính tổn hao không tải ứng với suất tổn hao khe hở p_k (xem mục 5.2.1).

Vậy công suất từ hóa toàn phần:

$$\begin{aligned} Q_{\Sigma} &= Q_{ot} + Q_{og} + Q_{ok} \\ &= q_t G_t + q_g G_g + \Sigma n_k q_k T_t \text{ (VA)} \end{aligned} \quad (5-29)$$

Cần chú ý rằng khi tính toán dòng điện không tải của máy biến áp làm bằng thép cán lạnh thông qua công suất từ hóa cũng giống như tính tổn hao không tải cần phải để ý đến các hệ số sau:

- Hệ số làm tăng công suất từ hóa ở gông k_{ig} . Khi số bậc thang trong gông n_g bằng hay gần bằng số bậc trong trụ n_t thì $k_{ig} = 1,00$; khi $n_g = 1 \div 3$ thì $k_{ig} = 1,08$.

- Hệ số kể đến sự tăng công suất từ hóa do tháo lắp gông trên để cho dây quấn vào trụ k_{it} . Đối với m.b.a công suất đến 250 kVA thì $k_{it} = 1,01$, đối với m.b.a công suất 400 ÷ 630 kVA, là 1,02; 1000 ÷ 6300 kVA thì $k_{it} = 1,04 \div 1,08$, từ 10000 kVA trở lên, thì $k_{it} = 1,09$.

- Hệ số kể đến ảnh hưởng của việc ép mạch từ để dai k_{ic} = 1,04 đối với m.b.a đến 630 kVA; $k_{ic} = 1,06 \div 1,1$ đối với biến áp từ 1000 ÷ 63000 kVA.

- Hệ số kể đến ảnh hưởng của việc cắt gọt bavaria k_{ib} . Nếu sau khi cắt gọt bavaria lá thép không ủ thì $k_{ib} = 1,01$ nếu có ủ thì $k_{ib} = 1,00$; Nếu không khử bavaria thì tương ứng là 1,02 và 1,05

- Hệ số kể đến ảnh hưởng của việc cắt dập lá thép k_{lc} . Nếu cắt dập xong có ủ, với tôn mã hiệu 3404 và 3405, $k_{lc} = 1,18$; không ủ là 1,49; với tôn mã

hiệu M4X và M6X tương ứng là 1,0 và không ù là 1,05.

- Hệ số kể đến việc tăng suất công suất từ hóa ở các góc nối trụ và gông của lõi thép, với mỗi nối nghiêng là k'_{io} ; với mỗi nối thẳng là k''_{io} (xem bảng 52).

Như vậy đối với m.b.a ba pha hiện thời với lõi sắt kiểu trụ phẳng làm bằng thép cán lạnh ép trụ và gông bằng đai không có bulông xuyên lõi, công suất từ hóa không tải sẽ là:

$$Q_o = [k_{io}k_{ic} [q_t G_t + q_g (G'_g - N G_o) + \frac{q_t + q_g}{2} k_{it} k_{ig} G_o] + \Sigma q_k n_k T_k] k_{ig} k_{ic} k_{it}, \text{ (VA)} \quad (5-30)$$

trong đó N tính như đối với tổn hao không tải;

G_t, G'_g, G_o xác định như đối với tổn hao không tải (kg);

q_t, q_g là suất công suất từ hóa đối với trụ và gông, tra theo bảng 49, 50, 51 (VA/kg);

q_k là suất công suất từ hóa trong khe hở không khí tra bảng 49, 50, 51 (VA.m²);

T_k là diện tích bề mặt khe hở (m²) xác định như lúc tính tổn hao không tải

k_{it} là hệ số kể đến ảnh hưởng do chiều rộng lá tôn ở các góc mạch từ (xem bảng 52b)

$k_{ig} = k_{io}k'_{io} + k_{io}k''_{io}$ là hệ số chung, cũng như đã trình bày ở trên, xem (5-22), là kể đến ảnh hưởng của góc nối do sự phối hợp khác nhau về số lượng mỗi nối nghiêng và thẳng (trong đó k'_{io} và k''_{io} , xem ở bảng 52a). Bảng 53 cho hệ số k_{io} đối tôn mã hiệu 3404 và 3405 khi từ cảm ở phạm vi 1,4 ÷ 1,9 T.

Trong tính toán sơ bộ, có thể dùng biểu thức tính công suất từ hóa không tải đơn giản bớt các hệ số trên như sau:

$$Q_o = k'_{it} k''_{it} q_t (G_t + \frac{k_{io}}{2} G_o) + k'_{it} k''_{it} q_g [G_g + \frac{k_{ig} k_{it}}{2} G_o - (N + 2) G_o] + k''_{it} \Sigma q_k n_k T_k, \text{ (VA)} \quad (5-31)$$

trong đó $k'_{it} = k_{io}k_{ic}$; $k''_{it} = k_{ig}k_{ic}k_{it}$

Đối với mạch từ phẳng của m.b.a ba pha hiện thời tiết diện gông hình nhiều bậc với tôn cán lạnh 3404, 3405 có ù sau khi cắt dập $k'_{it} = 1,20$, không ù là 1,55; với tôn M4X và M6X, tương ứng là 1,13 và 1,36.

Hệ số k''_{it} đối với gông có tiết diện nhiều bậc lá thép có ủ và không ủ là 1,04 với những m.b.a công suất đến 250 kVA; 1,06 với m.b.a có công suất 400 đến 630 kVA; 1,07 với những m.b.a công suất 1000 + 6300 kVA và 1,15 cho những biến áp công suất từ 10000 kVA trở lên.

Trường hợp gông có tiết diện chữ nhật thì các trị số trên được nhân thêm với 1,07. Đối với các công suất trên thì hệ số k_{it} tra ở bảng 52b.

Suất tổn hao từ hóa khe hở q_k được xác định theo từ cảm trụ B_t với mỗi nối thẳng, theo $B_t/\sqrt{2}$ với mỗi nối nghiêng. Do đó tiết diện từ thông đi qua khe sẽ là $T_k = T_t$ nếu mỗi nối thẳng và $T_k = T_t \sqrt{2}$ nếu mỗi nối nghiêng.

Như vậy thành phần phản kháng của dòng điện không tải là:

$$I_{ox} = \frac{Q_o}{m \cdot U_t}, \quad (A) \quad (5-32)$$

hay tính theo phần trăm:

$$i_{ox} = \frac{Q_o}{10S}, \quad (\%) \quad (5-33)$$

Do đó cuối cùng dòng điện không tải tổng là:

$$I_o = \sqrt{I_{or}^2 + I_{ox}^2}, \quad (A) \quad (5-34)$$

$$\text{hay} \quad i_o = \sqrt{i_{or}^2 + i_{ox}^2}, \quad (\%) \quad (5-35)$$

Kiểm tra lại $i_o\%$ tính ra phải không được vượt quá một nửa sai lệch cho phép là +30%, nghĩa là không được vượt quá +15%.

5.2.3. Hiệu suất của máy biến áp

Hiệu suất của m.b.a lúc tải định mức sẽ là:

$$\eta\% = \left(1 - \frac{P_o + P_n}{P_{dm} + P_o + P_n}\right) \cdot 100 \quad (5-36)$$

trong đó P_{dm} là công suất tác dụng của m.b.a lúc tải định mức (VA) với $\cos\varphi = 1$.

TÍNH TOÁN NHIỆT CỦA MÁY BIẾN ÁP

§6.1. ĐẠI CƯƠNG

Tính toán nhiệt là tính toán về nhiệt ở trạng thái xác lập, nghĩa là khi m.b.a làm việc liên tục với tải định mức. Ở trạng thái xác lập này toàn bộ nhiệt lượng do dây quấn và lõi sắt phát ra đều khuếch tán ra xung quanh. Đường khuếch tán của dòng nhiệt có thể phân ra làm các đoạn sau:

1. Từ trong lòng dây quấn hay lõi sắt ra mặt ngoài tiếp xúc với dầu bằng truyền dẫn.
2. Quá độ từ mặt ngoài dây quấn hay lõi sắt vào dầu.
3. Từ dầu ở mặt ngoài dây quấn hay lõi sắt truyền tới mặt trong thùng dầu bằng đối lưu.
4. Quá độ truyền từ dầu vào vách thùng dầu.
5. Cuối cùng là nhiệt từ vách thùng truyền ra không khí xung quanh bằng bức xạ và đối lưu.

- Qua mỗi lần truyền đó nhiệt độ giảm dần, nghĩa là nó gây nên một lượng giảm nhiệt độ, kết quả là so với môi trường không khí xung quanh thì các bộ phận trong m.b.a có một "nhiệt độ chênh" nào đó. Trị số dòng nhiệt càng lớn thì nhiệt độ chênh càng lớn.

Nói chung tính toán nhiệt m.b.a gồm các phần sau đây:

- Tính nhiệt độ chênh qua từng phần.
- Chọn kích thước thùng dầu bảo đảm tỏa nhiệt tốt, nghĩa là làm sao cho nhiệt độ dây quấn, lõi sắt và dầu không quá mức qui định.
- Kiểm tra nhiệt độ chênh của dây quấn, lõi sắt và dầu đối với không khí.

§6.2. TÍNH NHIỆT ĐỘ CHÈNH QUA TỪNG PHẦN

6.2.1. Nhiệt độ chênh trong lòng dây quấn hay lõi sắt với mặt ngoài của nó

1. Dây quấn làm bằng dây dẫn chữ nhật

Nhiệt độ chênh này chủ yếu là hiệu số nhiệt độ của các lớp cách điện

(hình 6-1). Gọi nhiệt độ chênh này là θ_o ta có:

$$\theta_o = \frac{q \cdot \delta}{\lambda_{cd}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6-1)$$

trong đó δ là chiều dày cách điện ở một phía (m);

λ_{cd} là suất dẫn nhiệt của lớp cách điện của dây dẫn, tra theo bảng 54 (W/(m $^\circ$ C));

q là mật độ dòng nhiệt trên bề mặt dây quấn tính theo công thức:

$$q = \frac{P_{cu} k_f}{M}, \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (6-2)$$

trong đó M là bề mặt làm lạnh tương ứng của từng dây quấn (m 2);

k_f là hệ số tổn hao phụ tương ứng (xem §4.1).

Chú ý rằng mật độ dòng nhiệt q tính theo (6-2) đòi hỏi phải tính diện tích bề mặt tản nhiệt của dây quấn. Cũng có thể dùng công thức sau đây tính q mà không phải tính M . Công thức này cũng xuất phát từ công thức (6-2) nhưng đã sau một vài biến đổi đơn giản.

- Trường hợp dây quấn hình ống, dây dẫn chữ nhật có dầu làm lạnh tiếp xúc cả hai mặt (hình 6-2a)

• Đối với dây đồng:

$$q_{cu} = \frac{107}{k} 10^{-10} \cdot b \cdot \frac{a}{a'} \Delta^2 k_f; \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (6-2'a)$$

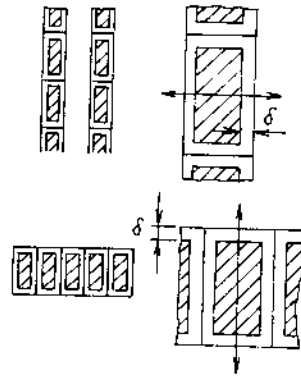
• Đối với dây nhôm:

$$q_{Al} = \frac{172}{k} 10^{-10} \cdot b \cdot \frac{a}{a'} \Delta^2 k_f. \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (6-2'b)$$

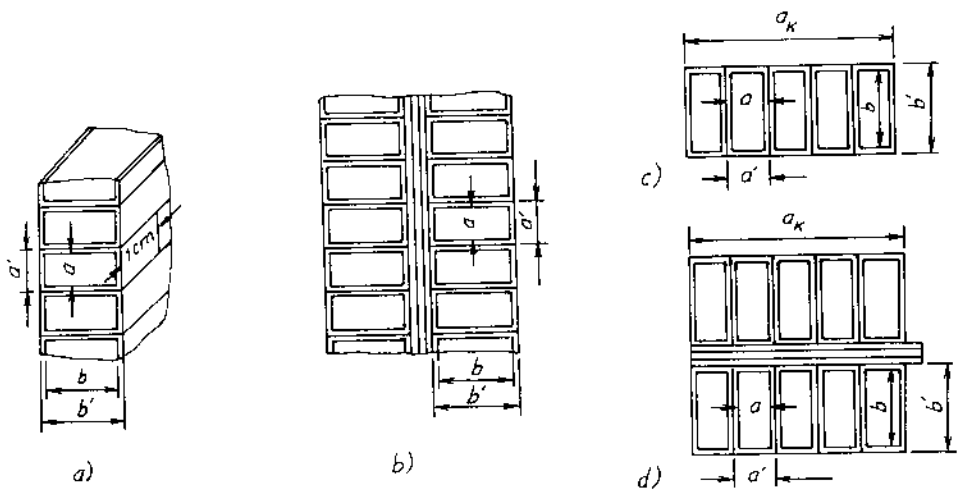
trong đó k là hệ số kể đến sự che khuất của các chi tiết cách điện đối với bề mặt làm lạnh của dây quấn. Thường $k = 0,75$.

- Trường hợp dây quấn hai lớp nhưng không có rãnh dầu giữa hai lớp (hình 6-2b) thì nhân 2 vào các công thức (6-2').

- Trường hợp dây quấn hình xoắn hay xoắn ốc liên tục có rãnh dầu giữa



Hình 6-1. Dùng để tính nhiệt độ chênh trong dây quấn làm bằng dây chữ nhật.



Hình 6-2. Dùng để tính q trong các loại dây quấn khác nhau.

tất cả các bánh (hình 6-2c).

- Đối với dây đồng:

$$q_{Cu} = \frac{107 \Delta I w_b k_l}{k(b' + a_k)} 10^{-10}; \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (6-2''a)$$

- Đối với dây nhôm:

$$q_{Al} = \frac{172 \Delta I w_b k_l}{k(b' + a_k)} 10^{-10} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (6-2''b)$$

trong đó I là dòng điện pha của dây quấn;

w_b là số vòng dây trong một bánh: đối với dây quấn hình xoắn mạch đơn lấy bằng 1, đối với mạch kép lấy bằng 0,5;

k là hệ số che khuất bề mặt làm lạnh do các chi tiết cách điện, $k = 0,75$;

a_k là kích thước hướng kính của dây quấn (m) - xem hình 6-2c.

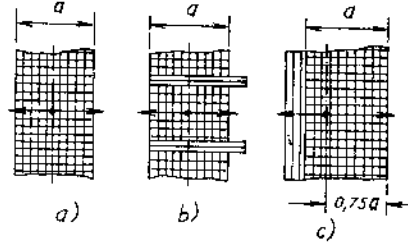
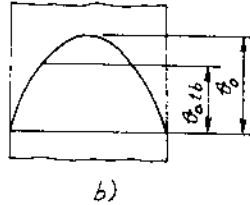
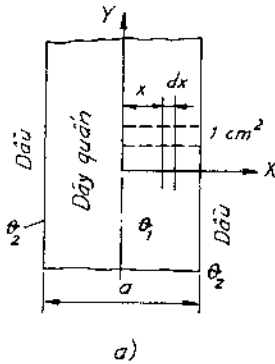
- Trường hợp dây quấn có bánh dây đôi hay vòng dây đôi (hoặc hai bánh mới có một rãnh cách điện) (hình 6-2d):

- Đối với dây đồng:

$$q_{Cu} = \frac{214 \Delta I w_b k_l}{k(2b' + a_k)} 10^{-10} \text{ (W/m}^2\text{)}; \quad (6-2'''a)$$

- Đối với dây nhôm:

$$q_{AI} = \frac{344\Delta \cdot I \cdot w_b \cdot k_l}{k(2b' + a_k)} \cdot 10^{-10} \quad (\text{W/m}^2) \quad (6-2'''b)$$



Hình 6-3. Dùng để xác định nhiệt độ chênh trong dây quấn.

Hình 6-4. Dùng để tính nhiệt độ chênh trong dây quấn làm bằng dây dẫn tròn.

2. Dây quấn làm bằng dây tròn

Ta coi dây quấn như một khối có hai mặt tiếp xúc với dầu và qua tính toán cho thấy nhiệt độ phân bố trong cuộn dây có dạng một parabol mà với chỗ nóng nhất là ở giữa dây quấn có nhiệt độ θ_1 , mặt ngoài dây quấn có nhiệt độ θ_2 (hình 6-3). Do đó nhiệt độ giáng trong lòng so với mặt ngoài dây quấn được tính theo công thức sau:

- Trường hợp dây quấn làm bằng dây dẫn tròn không có rãnh dầu ngang (hình 6-4a, b) thì:

$$\theta_0 = \theta_1 - \theta_2 = \frac{p \cdot a^2}{8\lambda_{tb}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (6-3a)$$

Khi dây quấn quấn trực tiếp lên ống cách điện (hình 6-4c) thì chỉ có một bề mặt làm lạnh và vùng nóng nhất của cuộn dây dịch vào khoảng $0,75a$ so với mặt ngoài, do đó:

$$\theta_0 = \theta_1 - \theta_2 = \frac{p(0,75a)^2}{2\lambda_{tb}} = 0,28 \frac{pa^2}{\lambda_{tb}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (6-3b)$$

trong đó a là chiều dày của dây quấn (m);

p là tổn hao trong 1 đơn vị thể tích dây quấn được tính theo công thức:

- Đối với dây đồng:

$$p_{Cu} = 1,68 \frac{\Delta^2 d^2}{(d' + \delta_1)d'} \cdot 10^{-8} \quad (\text{W/m}^3) \quad (6-4a)$$

- Đối với dây nhôm:

$$p_{Al} = 2,71 \frac{\Delta^2 d^2}{(d' + \delta_1)d'} \cdot 10^{-8} ; (W/m^3) \quad (6-4b)$$

với d, d', δ_1 tính bằng m (xem hình 6-5);

Δ tính bằng A/m²;

λ_{tb} là suất dẫn nhiệt trung bình tính theo công thức:

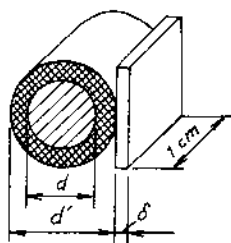
$$\lambda_{tb} = \frac{\lambda \lambda_1 (d' + \delta_1)}{\lambda \delta_1 + \lambda_1 d'} \quad (W/m.^{\circ}C) \quad (6-5)$$

trong đó λ_1 là suất dẫn nhiệt của cách điện giữa các lớp được tra theo suất dẫn nhiệt cách điện (bảng 54);

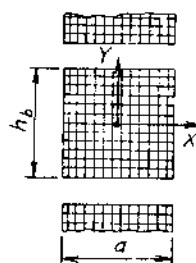
λ là suất dẫn nhiệt bình quân qui ước của dây quấn, tính theo công thức:

$$\lambda = \frac{\lambda_{cd}}{0,7\sqrt{\alpha}} , (W/m.^{\circ}C) \quad (6-6)$$

với:
$$\alpha = \frac{d' - d}{d} \quad (6-7)$$



Hình 6-5. Một yếu tố thể tích dây quấn: sợi dây và cách điện lớp.



Hình 6-6. Dây quấn kiểu bánh dây bằng dây dẫn tròn có rãnh dầu.

- Trường hợp dây quấn làm bằng dây dẫn tròn có rãnh dầu ngang giữa các bánh dây (hình 6-6), lúc này nhiệt lượng được tính theo cả hai chiều X và Y do đó θ_{01} được tính theo công

$$\theta_{01} = \frac{pa^2}{8(\lambda_x + \lambda_y \frac{a^2}{h_b^2})} , (^{\circ}C) \quad (6-8)$$

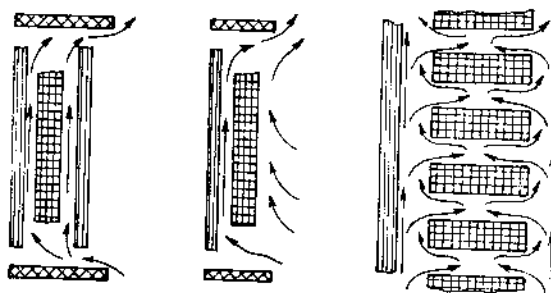
trong đó λ_x tính theo λ_{tb} ở (6-5);

λ_y tính theo λ ở (6-6).

Cần chú ý rằng các công thức trong mục 1.2 đều tính với θ_n là nhiệt độ chênh giữa điểm nóng nhất của dây quấn đối với mặt ngoài của nó. Trên thực tế đối với dây dẫn tròn người ta thường không quan tâm tới điểm có nhiệt độ nóng nhất mà quan tâm chủ yếu tới nhiệt độ chênh trung bình, thường bằng khoảng 2/3 nhiệt độ chênh toàn phần:

$$\theta_{tb} = \frac{2}{3} \theta_n \quad (^\circ\text{C}) \quad (6-9)$$

Hình 6-7 chỉ đường đi của dầu trong m.b.a khi có rãnh dầu dọc và ngang.



Hình 6-7. Sự vận chuyển của dầu trong rãnh

6.2.2. Nhiệt độ chênh giữa mặt ngoài dây quấn đối với dầu θ_{od}

Hiệu số nhiệt độ này phụ thuộc vào năng lượng tổn hao của dây quấn và thường được xác định theo công thức kinh nghiệm gần đúng.

1. Đối với dây quấn hình ống, dây dẫn chữ nhật hay tròn nhưng không có rãnh dầu ngang (hình 6-8):

$$\theta_{o,d} = k \cdot q^{0,6} \quad (6-10a)$$

trong đó $k = 0,285$.

q là mật độ dòng nhiệt của dây quấn (W/m^2);

0,6 là chỉ số lũy thừa kinh nghiệm.

Công thức này có thể dùng cho cả trường hợp dây quấn hình ống có rãnh dầu dọc mà chiều rộng rãnh dầu không nhỏ hơn trị số ghi trong bảng 54a, b, c.

2. Đối với dây quấn dùng dây chữ nhật hay dây tròn có rãnh dầu ngang (hình 6-9):

$$\theta_{o,d} = k_1 k_2 k_3 0,35 q^{0,6} \quad (^\circ\text{C}) \quad (6-10b)$$

trong đó k_1 là hệ số kể đến tốc độ chuyển động của dầu trong dây quấn, phụ thuộc vào hệ thống làm lạnh:

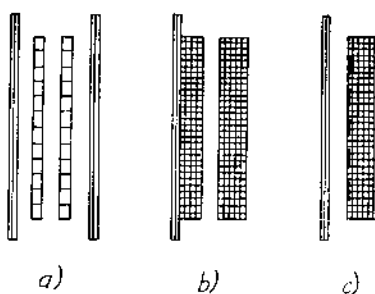
- Trường hợp làm lạnh bằng dầu tự nhiên $k_1 = 1,0$;
- Trường hợp có quạt gió $k_1 = 0,9$;
- Trường hợp tuần hoàn cưỡng bức $k_1 = 0,7$;

k_2 là hệ số có tính đến trường hợp do dây quấn HA ở trong nên dầu đối lưu khó khăn làm dây quấn HA nóng lên, do đó:

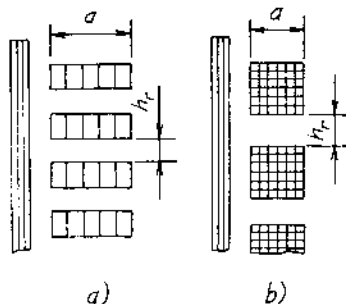
$k_2 = 1,0$ đối với dây quấn CA quấn ngoài;

$k_2 = 1,1$ đối với dây quấn HA và TA quấn trong;

k_3 là hệ số có tính đến sự đối lưu khó khăn của dầu do bề rộng (hay cao) tương đối của rãnh dầu ngang gây nên. Nó phụ thuộc vào tỷ lệ h_r/a (trong đó h_r là chiều cao rãnh dầu ngang; a là chiều dày dây quấn - tức chiều sâu của rãnh), tra ở bảng 55.



Hình 6-8. Về việc xác định nhiệt độ chênh của công thức (6-10a).



Hình 6-9. Về việc xác định nhiệt độ chênh của công thức (6-11).

Sau cùng ta tính nhiệt độ chênh trung bình của dây quấn đối với dầu:

$$\theta_{\text{odtb}} = \theta_{\text{oth}} + \theta_{\text{odr}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (6-11)$$

6.2.3. Nhiệt độ chênh giữa dầu và vách thùng θ_{dt}

Cách tính nhiệt độ chênh này cũng tương tự như tính θ_{od} , nghĩa là cũng phụ thuộc vào mật độ dòng nhiệt đi qua mặt vách thùng như công thức ở mục 6.2.2. Nhưng thường nhiệt độ chênh này không quá 3 đến 6°C do đó sơ bộ có thể lấy θ_{dt} trong khoảng đó mà không cần phải tính.

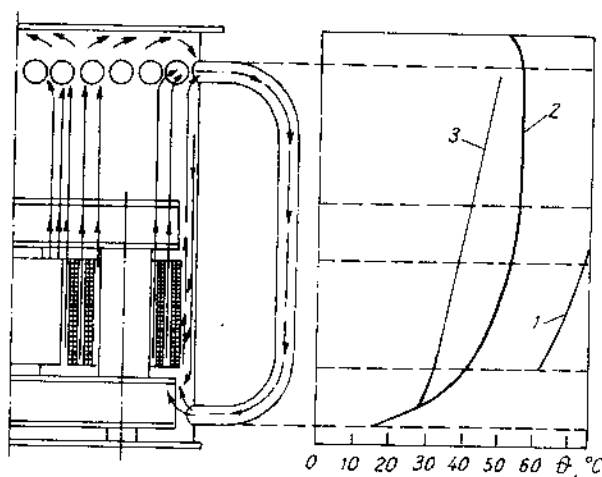
Còn hiệu số nhiệt độ trong chiều dày của vách thùng hay ống khoảng chừng 1°C do đó trong tính toán thường bỏ qua.

6.2.4. Nhiệt độ chênh giữa vách thùng và không khí θ_{tk}

Nhiệt lượng từ mặt vách thùng truyền ra không khí xung quanh theo hai đường: một bộ phận truyền ra theo đối lưu; một bộ phận truyền ra theo bức xạ. Hình 6-10 thể hiện đường đối lưu của dầu trong m.b.a và đường

biểu diễn nhiệt độ chênh của các bộ phận khác so với không khí. Đường 1 là của dây quấn; đường 2 là của đầu; đường 3 là của vách thùng

Theo định lý Stefan-Boltzmann, khi hiệu số nhiệt độ là 1°C thì trên một đơn vị diện tích của vật thể, nhiệt lượng bức xạ ra ngoài không khí là:



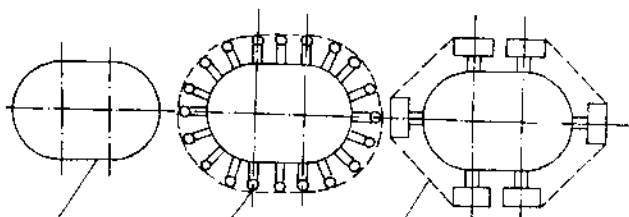
Hình 6-10. Chiều vận chuyển đối lưu của dầu trong thùng có ống và đồ thị phân bố nhiệt độ chênh đối với không khí của dây quấn (1), của dầu trong thùng (2) và của vách ống (3).

$$q_{\text{bx}} = 2,8 \sqrt[4]{\theta_{\text{t.k}}}, \quad (\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) \quad (6-12)$$

trong đó $\theta_{\text{t.k}} = T_1 - T_2$ là nhiệt độ chênh giữa mặt vách thùng

T_1 và nhiệt độ không khí chung quanh T_2 .

Chú ý rằng nếu vách thùng có ống hay gợn sóng thì bề mặt bức xạ xác định theo chu vi ngoài cùng (hình 6-11).



Chu vi lượng đương của bề mặt bức xạ tự do

Hình 6-11. Cách xác định bề mặt bức xạ tương đương đối với thùng phẳng, thùng có ống và thùng có bộ tản nhiệt

Trên thực tế nhiệt lượng từ vách thùng tỏa ra ngoài không khí chủ yếu là bằng đối lưu, song đối lưu ở đây không phải tuần hoàn như đối lưu của dầu trong thùng. Nhiệt lượng tỏa ra bằng đối lưu này phụ thuộc vào nhiệt độ chênh giữa thùng và không khí, vào chiều cao của thùng, áp lực của khí quyển và có thể biểu diễn bằng biểu thức:

$$q_{\text{dl}} = k \cdot k_{\text{h}} \sqrt[4]{\theta_{\text{t.k}}}, \quad (\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) \quad (6-13)$$

trong đó q_{dl} là nhiệt lượng truyền bằng đối lưu vào không khí từ một đơn vị diện tích thùng khi nhiệt độ chênh của chúng là $\theta_{\text{t.k}}$:

$\theta_{\text{t.k}}$ là nhiệt độ chênh giữa vách thùng và không khí;

k là hệ số kể đến ảnh hưởng của chiều cao thùng và áp suất khí quyển. Khi biến áp cao 1 đến 5m, áp suất khí quyển 760 mmHg (hay 0,1 MPa) thì $k = 2,5$;

k_h là hệ số kể đến ảnh hưởng của hình dáng của thùng (xem bảng 56).

Như vậy việc tính toán nhiệt độ chênh giữa vách thùng và không khí $\theta_{t,k}$ liên quan đến việc tính toán bề mặt bức xạ và đối lưu của thùng. Tới đây ta chưa tính toán thùng, vì thế thường phải căn cứ vào nhiệt độ chênh của dây quấn và dầu $\theta_{o,d}$ đã tính ở trên, rồi căn cứ vào nhiệt độ chênh cho phép giữa dây quấn và không khí mà suy ra nhiệt độ chênh giữa dầu và không khí $\theta_{d,k}$. Cuối cùng sẽ tìm được nhiệt độ chênh giữa thùng và không khí $\theta_{t,k}$. Trị số $\theta_{t,k}$ phải được kiểm tra lại xem có đạt nhiệt độ chênh cho phép không, nếu đạt sẽ dùng để tính toán thùng dầu.

§6.3. TIÊU CHUẨN VỀ NHIỆT ĐỘ CHÊNH VÀ YÊU CẦU NHIỆT ĐỐI HÓA ĐỐI VỚI M.B.A

Khi tiến hành tính toán nhiệt đối với m.b.a chúng ta phải thiết kế sao cho nhiệt độ chênh của dây quấn, lõi sắt, dầu đối với không khí xung quanh khi máy làm việc ở tải định mức không được quá tiêu chuẩn quốc gia qui định. Tiêu chuẩn của các nước vùng ôn đới qui định: lúc nóng nhất trong năm, nhiệt độ bình quân cho phép của dây quấn không được vượt quá $105 \pm 110^\circ\text{C}$ và như vậy nhiệt độ chênh bình quân hàng năm của dây quấn không được vượt quá 75°C (nếu coi nhiệt độ cực đại trung bình hàng năm của môi trường xung quanh là $+35^\circ\text{C}$). Nếu bảo đảm được tiêu chuẩn đó thì cách điện của m.b.a sẽ không bị già hóa và như vậy thì cách điện của m.b.a có thể đạt được tuổi thọ từ 15 đến 20 năm.

Chúng ta cũng có thể dùng tiêu chuẩn của các nước ôn đới cho các m.b.a sử dụng ở những vùng khí hậu nhiệt đới ẩm, nghĩa là lấy nhiệt độ trung bình cực đại hàng năm của môi trường xung quanh là $+40^\circ\text{C}$ với độ ẩm tương đối là $90 \pm 5\%$ (khi nhiệt độ xung quanh là $+35^\circ\text{C}$), khi đó thì nhiệt độ chênh của các bộ phận của m.b.a so với nhiệt độ của môi trường xung quanh không được vượt quá các trị số ghi dưới đây:

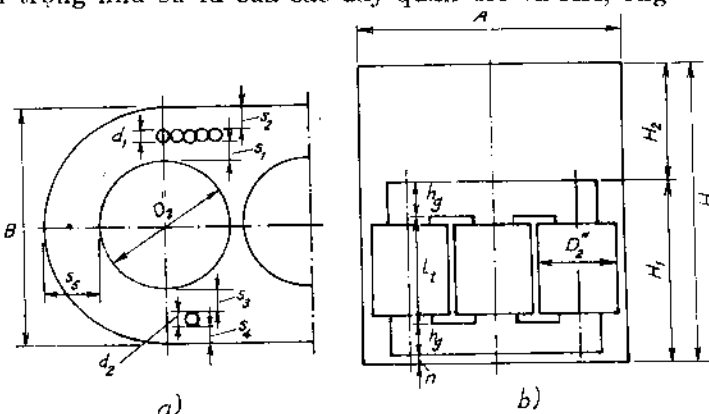
Các bộ phận trong m.b.a	Nhiệt độ chênh cao nhất ($^\circ\text{C}$)	Phương pháp đo
Dây quấn	65	điện trở
Bề mặt lõi sắt và các chi tiết kết cấu	70	nhiệt kế
Lớp dầu mặt trên cùng	60	nhiệt kế

Ở vùng nhiệt đới, độ ẩm của không khí lớn, do đó khi m.b.a làm việc rồi nghỉ, nhiệt độ của dầu thay đổi, dầu sẽ hút khí ẩm vào nên dễ bị hỏng, tính năng cách điện sẽ kém đi nên trên bình giãn dầu thường thêm một bộ phận hút khí ẩm trong đó thường để chất hút ẩm silicagen.

Ngoài ra sấm sét nhiều nên đối với các sứ ra tốt nhất là để hệ số an toàn lớn hơn hoặc thiết kế một loại ống sứ đặc biệt riêng cho vùng nhiệt đới và bộ phận chống sét cần phải được tăng cường.

§6.4. TÍNH TOÁN NHIỆT CỦA THÙNG DẦU

Như đã biết, thùng dầu đồng thời là vỏ máy của m.b.a trên đó có đặt các chi tiết máy rất quan trọng như sứ ra của các dây quấn CA và HA, ống phòng nổ, bình giãn dầu... vì vậy thùng dầu ngoài yêu cầu phải bảo đảm tản nhiệt tốt còn phải bảo đảm các tính năng về điện (như bảo đảm khoảng cách cho phép giữa dây quấn với vách thùng), cơ độ bền cơ học bảo đảm, chế tạo lại đơn giản và có khả năng rút gọn được kích thước bên ngoài.



Hình 6-12. Dùng để xác định các kích thước của thùng

Việc tính toán ở đây chủ yếu là căn cứ vào yêu cầu tản nhiệt để thiết kế được một loại thùng thích hợp, sau đó kiểm tra lại xem yêu cầu về tản nhiệt có đạt hay không, nghĩa là xét xem với kết cấu thùng như vậy nhiệt độ chênh của các bộ phận của m.b.a có đạt tiêu chuẩn nhà nước qui định hay không. Vì vậy trình tự tính toán thùng dầu có thể tiến hành theo các bước sau:

1) Chọn loại thùng:

Tùy theo dung lượng m.b.a mà thùng dầu có nhiều loại khác nhau: thùng vách phẳng, thùng có ống dầu hay thùng có bộ tản nhiệt kiểu ống hay kiểu cánh sóng, ... Căn cứ theo bảng 57 chọn loại thùng thích hợp.

2) Chọn các kích thước tối thiểu bên trong của thùng:

Căn cứ vào kích thước đã biết của lõi sắt, dây quấn, để chọn các khoảng

cách cách điện tối thiểu từ dây dẫn ra đến các bề mặt của dây quấn, đến vách thùng và bộ phận nối đất khác của m.b.a (hình 6-12). Từ đó sẽ quyết định được kích thước tối thiểu bên trong của thùng (hình 6-12).

- Đối với các m.b.a ba pha, cấp điện áp là 6, 10 và 35 kV thì:

a) Chiều rộng tối thiểu của thùng:

$$B = B_2'' + (s_1 + s_2 + d_1 + s_3 + s_4 + d_2) \cdot 10^{-3} \text{ , (m)} \quad (6-14)$$

b) Chiều dài tối thiểu của thùng:

$$A = 2C + D_2'' + 2s_5 \cdot 10^{-3} \text{ , (m)} \quad (6-15)$$

trong đó:

s_1 là khoảng cách từ dây dẫn ra của dây quấn CA đến chính dây quấn đó và bằng s_2 từ dây dẫn ra đến vách thùng dầu (xem bảng 31);

d_1 là đường kính dây dẫn ra có bọc cách điện của dây quấn CA, với cấp điện áp là 10 và 35 kV thì $d_1 = 25$ mm khi công suất đến 10 000 kVA; $d_1 = 25$ mm khi công suất lớn hơn;

s_3 là khoảng cách từ dây dẫn ra có bọc cách điện hay không bọc cách điện của dây quấn HA hoặc TA đến dây quấn CA (xem bảng 32);

s_4 là khoảng cách từ dây dẫn ra của dây quấn HA hoặc TA đến vách thùng (xem bảng 31);

d_2 là đường kính dây dẫn ra có bọc cách điện của dây quấn HA hoặc TA bằng d_1 , hoặc là kích thước dây dẫn ra không bọc cách điện (thanh dẫn trần) của dây quấn HA lấy bằng $10 \div 15$ mm;

s_5 là khoảng cách giữa dây quấn CA và vách thùng. Nếu điện áp thử dưới 85 kV có thể coi như khoảng cách từ dây dẫn ra không bọc cách điện tới dây quấn (tra bảng 32); trong một số trường hợp có thể coi:

$$s_5 = s_3 + d_2 + s_4 \text{ .}$$

- Đối với m.b.a có điện áp của dây quấn CA đến 110 kV, dây dẫn ra cuộn CA đặt giữa gông và vách thùng thì kích thước A và B có thể lấy gần đúng như sau:

$$\text{- M.b.a ba pha} \quad A \approx 2C + D_2'' + 0,8; \text{ (m)} \quad (6-16a)$$

$$\text{- M.b.a một pha} \quad A \approx C + D_2'' + 0,8; \text{ (m)} \quad (6-16b)$$

$$\text{và cả hai trường hợp:} \quad B = D_2'' + 0,8; \text{ (m)} \quad (6-17)$$

Các kích thước của thùng tính theo các công thức trên thường là đủ bảo đảm tản nhiệt.

c) Chiều cao của thùng gồm hai phần:

$$H = H_1 + H_2, \text{ (m)} \quad (6-18)$$

- Chiều cao H_1 là khoảng cách từ đáy thùng đến hết chiều cao lõi sắt, xác định như sau:

$$H_1 = l_1 + 2h_g + n \cdot 10^{-3}, \text{ (m)} \quad (6-19)$$

trong đó n là chiều dày tấm lót dưới gông dưới, có thể lấy:

$$n = 30 \div 50 \text{ mm}$$

- Chiều cao H_2 là khoảng cách tối thiểu từ gông trên đến nắp thùng, thiết kế sao cho bảo đảm đặt được các sứ xuyên, dây dẫn ra, bộ điều chỉnh điện áp (nếu bộ điều chỉnh bất-nào nắp m.b.a) và theo cấp cách điện của dây quấn CA. Chọn chiều cao H_2 có thể tra bảng 58 theo cấp cách điện của dây quấn CA. Cần lưu ý rằng ở đây là khoảng cách tối thiểu có thể tăng được khi cần thiết để bảo đảm đủ bề mặt tản nhiệt của thùng. Trên thực tế thường lấy H_2 gấp $1,5 \div 2$ lần trị số tìm được trong bảng.

3) Sơ bộ tính diện tích bề mặt bức xạ và đối lưu của thùng dầu:

- Đối với thùng có đáy chữ nhật:

$$M_{\text{bx}} = M_{\text{cn}} k. = 2(A + B)H.k, \text{ (m}^2\text{)} \quad (6-20)$$

trong đó $M_{\text{cn}} = 2(A + B)H$ tính bằng m^2 là diện tích mặt thùng phẳng đáy chữ nhật.

- Đối với thùng đáy ôvan:

$$M_{\text{bx}} = M_{\text{ôv}} k. = [2(A - B) + \pi B]H.k, \text{ (m}^2\text{)} \quad (6-21)$$

trong đó $M_{\text{ôv}} = [2(A - B) + \pi B]H$ (m^2) là diện tích mặt thùng phẳng đáy ôvan.

k là hệ số kể đến ảnh hưởng của hình dáng mặt thùng là nhẵn, cánh sóng hay có ống, sơ bộ có thể dùng bảng 59.

Bề mặt đối lưu của thùng (tính sơ bộ):

Căn cứ vào tổng tổn hao, vào nhiệt độ chênh giữa vách thùng và môi trường xung quanh ta xác định bề mặt đối lưu của thùng theo công thức sau:

$$M'_{\text{dl}} = \frac{1,05 \Sigma P}{2,5 \theta_{\text{t.k}}^{1,25}} - 1,12 M_{\text{bx}}, \text{ (m}^2\text{)} \quad (6-22)$$

trong đó M_{bx} đã tính ở trên;

$\Sigma P = P_o + P_n$ là tổng tổn hao không tải và ngắn mạch của m.b.a đã tính ở các phần trên.

$\theta_{t,k}$ là nhiệt độ chênh của thùng so với không khí xung quanh.

Trị số θ cần phải lấy như thế nào để cho nhiệt độ chênh của dầu và dây quấn so với môi trường xung quanh không vượt quá trị số tiêu chuẩn. Có thể phân tích như sau để chọn được $\theta_{t,k}$ thích đáng.

Như đã biết nhiệt độ chênh lâu dài cho phép của dây quấn so với môi trường xung quanh khi tải định mức là 60°C , do đó nhiệt độ chênh trung bình của dầu đối với không khí không được quá:

$$\theta_{d,k} = 60^\circ - \theta_{o,dtb}, (^\circ\text{C}) \quad (6-23)$$

với $\theta_{o,dtb}$ là nhiệt độ chênh trung bình của dây quấn đối với dầu (lấy giá trị lớn nhất trong hai giá trị của cuộn CA và HA).

Do đó nhiệt độ chênh của thùng đối với không khí được tính như sau:

$$\theta_{t,k} = \theta_{d,k} - \theta_{d,o} (^\circ\text{C}) \quad (6-24)$$

với $\theta_{d,o}$ là nhiệt độ chênh của dầu đối với thùng, có thể lấy từ $5 + 6^\circ\text{C}$.

Trị số $\theta_{d,k}$ tính ra phải thỏa mãn điều kiện:

$$\underbrace{\sigma(\theta_{d,o} + \theta_{t,k})}_{\theta_{d,k}} \leq 50^\circ\text{C}, \quad (6-25)$$

nghĩa là nhiệt độ chênh của mặt lớp dầu trên so với không khí không được vượt quá trị số tiêu chuẩn đã qui định là 50°C .

Ở đây hệ số σ được xác định bởi tỷ số giữa nhiệt độ chênh của dầu đối với không khí lúc lớn nhất với trị số trung bình. Trong tính toán sơ bộ có thể lấy $\sigma = 1,2$.

Nếu $\theta_{d,k}$ tính ra theo điều kiện (6-23) và (6-24) không thỏa mãn bất đẳng thức (6-25) thì phải tính với trường hợp giới hạn, nghĩa là coi:

$$1,2(\theta_{d,o} + \theta_{t,k}) = 50^\circ\text{C} \quad (6-26)$$

rồi từ đó suy ra trị số $\theta_{d,k}$ dùng để tính toán.

4) Thiết kế thùng dầu:

Căn cứ vào bề mặt bức xạ và đối lưu của thùng vừa tính sơ bộ ở trên để thiết kế cụ thể thùng dầu: kích thước thùng, hình dáng mặt thùng (phẳng, hay có ống hay có bộ tản nhiệt, kích thước ống, số dây...). Sau đó với thùng dầu đã thiết kế cụ thể, tính toán lại bề mặt bức xạ, đối lưu của nó từ đó kiểm tra lại xem m.b.a có đạt tiêu chuẩn nhiệt độ chênh cho phép

hay không. Nếu không đạt phải tăng bề mặt tản nhiệt của thùng cho thích hợp.

Ở bước thiết kế thùng dầu có thể tiến hành như sau:

a) Trường hợp thùng dầu phẳng:

Dùng luôn các kích thước A, B, H đã chọn ở trên, tính lại bề mặt bức xạ và đối lưu của thùng. Chú ý rằng thùng phẳng thì bề mặt bức xạ và đối lưu bằng nhau.

- Trường hợp đáy chữ nhật:

$$M_{\text{bx}} = M_{\text{dl}} = 2(A + B)H + 0,5M_n \text{ (m}^2\text{)} \quad (6-27a)$$

- Trường hợp đáy ôvan:

$$M_{\text{bx}} = M_{\text{dl}} = [2(A - B) + \pi B]H + 0,5M_n \text{ (m}^2\text{)} \quad (6-27b)$$

trong đó M_n là bề mặt hình học của nắp thùng dầu:

$$M_n = \left[\frac{\pi b_n^2}{4} + b_n(l_n - b_n) \right] \text{ (m}^2\text{)} \quad (6-28)$$

với $b_n = B + 2b_v$ là chiều rộng nắp thùng; (m) (6-29)

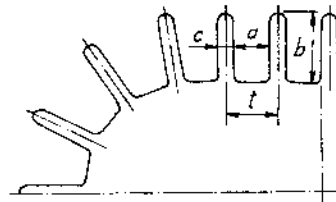
$l_n = A + 2b_v$ là chiều dài nắp thùng; (m) (6-30)

b_v là chiều rộng vành nắp thùng, thường là $0,04 \div 0,10$ m;

Hệ số 0,5 kể đến sự che khuất bề mặt nắp thùng do các chi tiết máy đặt trên nắp.

b) Trường hợp thùng có vách dạng cánh sóng:

Cánh sóng được chế tạo từ tôn tấm dày $\delta = 0,8 \div 1,0$ mm hàn vào thành thùng. Loại thùng này đã được dùng cách đây hơn 50 năm, nhưng do nhược điểm là quá nhiều mối hàn so với ống nên sau đó đã bị loại bỏ. Tuy nhiên, hiện nay công nghệ hàn nhất là hàn tự động phát triển, nên nhược điểm trên đã được khắc phục, do đó gần đây nhiều nước phát triển sử dụng phổ biến loại thùng này chủ yếu cho các m.b.a công suất từ $100 \div 630$ kVA. Ở nước ta, nhà máy chế tạo biến thế liên doanh với hãng ABB dùng thùng có vách cánh sóng này cho hầu hết các m.b.a phân phối. Một số ưu điểm của loại thùng này là chế tạo đơn giản, cánh sóng có thể uốn tròn đầu hay ghép hai mép bằng kỹ thuật hàn tiếp xúc lăn. Có thể dùng bình giãn dầu hoặc không. Khi không có bình giãn dầu thì dầu có thể giãn nở tự



Hình 6-13. Hình dáng và các kích thước chính của vách thùng cánh sóng đầu tròn.

đo trong cánh sóng nhờ độ đàn hồi của cánh, thùng hoàn toàn kín. Hình 6-13 là một thí dụ về thùng có vách dạng cánh sóng đầu tròn. Khi sử dụng loại thùng này cần chú ý đến các quan hệ kích thước sau đây của cánh sóng: Tỷ lệ giữa chiều rộng khe không khí a và khe dầu c , thường $a/c = 2,5$, trong đó chiều rộng tối thiểu của khe dầu $c = 10$ mm, chiều sâu lớn nhất của cánh sóng $b = 300$ mm; chiều cao của cánh sóng H_s thấp hơn chiều cao vách thùng H cỡ 0,1 m. Do đó:

Bề mặt bức xạ của vách thùng cánh sóng:

$$M_{\text{bx},s} = [2(A - B) + \pi(B + 2b \cdot 10^{-3})]H_s, \quad (6-31)$$

Để tính bề mặt đối lưu của thùng cánh sóng, ta tính:

Chiều dài khai triển một bước cánh sóng:

$$\begin{aligned} l_s &= [2(b - \frac{c}{2}) + (t - c) + \pi \frac{c}{2}] \cdot 10^{-3} \\ &= (2b + t - 0,43c) \cdot 10^{-3} \end{aligned} \quad (6-32)$$

Chiều dài một bước sóng:

$$t = (a + c + 2\delta)10^{-3} \text{ (m)} \quad (6-33)$$

Số lượng cánh sóng:

$$m = [2(A - B) + \pi B]/t \quad (6-34)$$

Do đó, bề mặt đối lưu của vách thùng cánh sóng:

$$M_{\text{dl},s} = m l_s k_s H_s, \quad (6-35)$$

trong đó k_s là hệ số tính đến mức độ đối lưu khô khan của không khí giữa các cánh sóng theo công thức kinh nghiệm sau:

$$k_s = 1 - \alpha^2/190, \quad (6-36)$$

trong đó $\alpha = b/a$. Vậy:

- Bề mặt bức xạ toàn phần của thùng cánh sóng bằng:

$$M_{\text{bx}} = M_{\text{bx},s} + M_t + 0,5 M_n. \quad (6-37)$$

- Bề mặt đối lưu toàn phần của thùng cánh sóng:

$$M_{\text{dl}} = M_{\text{dl},s} + M_t + 0,5 M_n. \quad (6-38)$$

trong đó: M_t là bề mặt phân vách trên của thùng không có cánh sóng, lấy $M_t \approx 0,1 \text{ tm (m}^2\text{)}$

M_n bề mặt nắp thùng theo (6-28).

c) Trường hợp thùng có ống.

Các ống tròn hoặc ô van được hàn trực tiếp vào vách thùng (hình 6-14).

Loại thùng này trong suốt hàng chục năm được dùng rất phổ biến đối với các m.b.a có công suất đến 1600 kVA. Nhưng sau này dần dần đã được thay thế bằng loại thùng gắn bộ tản nhiệt kiểu ống thẳng (xem hình 6-16). Tuy nhiên loại thùng có ống vẫn có một số ưu điểm nổi trội sau: hệ số tản nhiệt cao hơn, ít tổn nguyên liệu hơn so với thùng gắn bộ tản nhiệt kiểu ống thẳng. Vì thế về nguyên tắc khi công nghệ hoàn thiện hơn, không loại trừ khả năng phát triển loại thùng có ống.

Khi thiết kế loại thùng này cần lưu ý:

- Số dây ống nên chọn trong khoảng từ 1 đến 4, không nên quá 4 vì như vậy sẽ khó khăn cho việc tản nhiệt.

- Các ống cạnh nhau của hai dây cạnh nhau nên bố trí "xếp chồng" lên nhau, không nên bố trí xen kẽ vì sẽ gây khó khăn cho đối lưu của không khí do đó tỏa nhiệt sẽ kém đi.

- Bán kính cong R của các ống nên lấy bằng nhau để đơn giản cho việc chế tạo, thường $R = 0,15$ m.

Trình tự tính toán thùng có ống như sau:

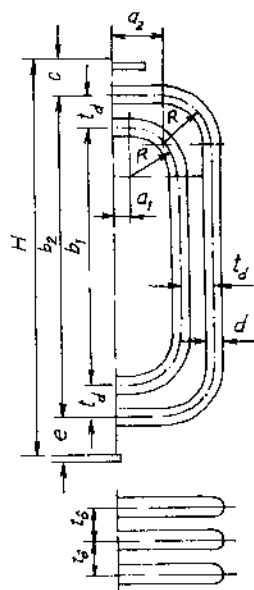
1. Chọn loại ống: Có thể dùng ống tròn hoặc ống ôvan. Việc dùng ống ôvan thường có thể tăng được số ống trong một dây lên và rút bớt được số dây. Thường hay dùng ống tròn đường kính 51/48 mm, dày 1,5 mm hay ống ôvan 72 x 20 mm, dày 1,5 mm. Gần đây người ta hay dùng ống tròn có kích thước nhỏ hơn, đường kính 30 mm, dày 1,5 mm nên giảm được trọng lượng ống và dầu khoảng 15%. Do đó làm tăng hiệu quả tản nhiệt trên một đơn vị diện tích bề mặt ống. Số liệu ống có thể tra ở bảng 60.

2. Khoảng cách giữa hai ống cạnh nhau trong một dây - gọi là bước ống t_0 tra ở bảng 60.

3. Khoảng cách giữa hai dây ống cạnh nhau - gọi là bước dây t_d tra ở bảng 60.

4. Đoạn ống thẳng từ vách thùng đến chỗ bắt đầu uốn cong a , xác định như sau:

- Đối với ống thuộc dây trong cùng a_1 lấy bằng 50 mm



Hình 6-14. Dùng để tính toán các kích thước ống đối với loại thùng có ống.

- Đối với ống thuộc các dãy tiếp theo:

$$a_2 = a_1 + t_d; a_3 = a_2 + t_d; \dots \quad (6-39)$$

5. Khoảng cách giữa hai tâm ống trên và ống dưới của cùng một dãy:

$$\text{Dãy ngoài cùng} \quad b_n = H - (c + e).10^{-3}(\text{m}), \quad (6-40a)$$

$$\text{Dãy trong tiếp theo} \quad b_{n-1} = b_n - 2t_d.10^{-3} (\text{m}) \quad (6-40b)$$

$$\text{Dãy thứ 3 tiếp đó} \quad b_{n-2} = b_{n-1} - 2t_d.10^{-3} (\text{m}) \quad (6-40c)$$

.....

trong đó n là số dãy ống (tra bảng 60);

c, e là khoảng cách từ dãy ống ngoài cùng tới nắp và đáy thùng (xem hình 6-14) phụ thuộc vào đoạn ống thẳng ngoài cùng gắn vào vách thùng a_n (tra bảng 61).

6. Chiều dài khai triển của mỗi ống ở từng dãy:

Dãy thứ nhất (trong cùng):

$$\begin{aligned} l_1 &= b_1 + (\pi R - 2R + 2a_1).10^{-3} \\ &= b_1 + (1,14R + 2a_1).10^{-3}; (\text{m}) \end{aligned} \quad (6-41a)$$

$$\text{Dãy thứ hai:} \quad l_2 = l_1 + 4t_d.10^{-3}; (\text{m}) \quad (6-41b)$$

$$\text{Dãy thứ ba:} \quad l_3 = l_2 + 4t_d.10^{-3}, \dots (\text{m}) \quad (6-41c)$$

7. Số ống trong một dãy:

$$m_{\delta} = \frac{2(A - B) + \pi B}{t_{\delta}} \quad (6-42)$$

8. Tính bề mặt bức xạ của thùng:

$$\begin{aligned} M_{\text{bx}} &= \{2(A - B) + \pi B + \pi [2a_1 + 2R + 2t_d(n - 1) \\ &\quad + d].10^{-3}\}H + 0,5M_n, (\text{m}^2) \end{aligned} \quad (6-43)$$

trong đó d là đường kính ống nếu là ống tròn, hay chiều lớn của tiết diện ngang của ống nếu là ống ôvan (mm).

9. Bề mặt đối lưu của thùng:

$$M_{\text{dl}} = M_{\text{t,dl}}k_{\text{h,t}} + M_{\delta,\text{dl}}k_{\text{h,\delta}}, (\text{m}^2) \quad (6-44)$$

trong đó $k_{\text{h,t}}$ và $k_{\text{h,\delta}}$ là hệ số hình dáng của thùng và ống tra ở bảng 56;

$M_{\text{t,dl}}$ là bề mặt đối lưu của thùng phẳng và nắp (theo 6-27b) (m^2);

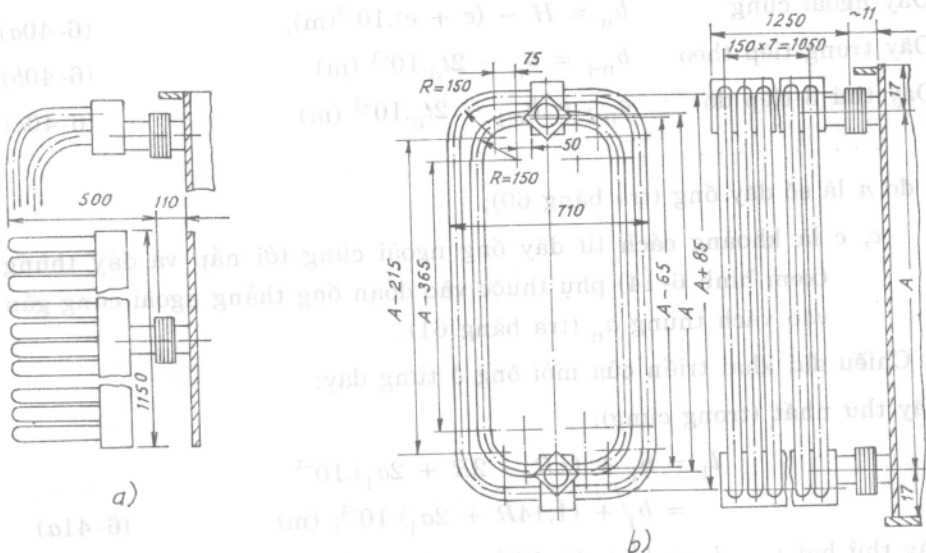
$M_{\delta,\text{dl}}$ là bề mặt đối lưu của ống (m^2) tính như sau:

$$M_{\delta,\text{dl}} = M_m(m_1l_1 + m_2l_2 + \dots + m_nl_n), (\text{m}^2) \quad (6-45)$$

trong đó M_m là diện tích bề mặt của một mét ống (xem bảng 60).

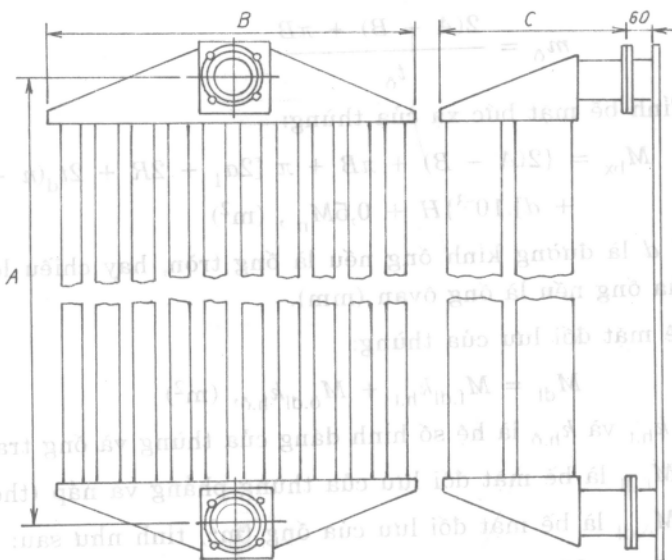
Chú ý:

Nếu M_{dl} tìm được bằng hay lớn hơn M'_{dl} trong tính toán sơ bộ ở trên thì có thể chuyển sang kiểm tra lại nhiệt độ chênh của dây quấn và dầu của m.b.a đối với không khí. Nếu $M_{dl} < M'_{dl}$ thì phải hiệu chỉnh lại ít nhiều bề



Hình 6-15. Bộ tản nhiệt kiểu ống đơn (a) có số ống $2 \times 16 = 32$ và bộ tản nhiệt kiểu ống kép (b) có số ống $2 \times 2 \times 16 = 34$.

mặt thùng dầu bằng các biện pháp sau: tăng phần đoạn thẳng của các ống lên khoảng $50 \div 70$ mm, hay tăng chiều cao thùng lên, hoặc tăng số dây ống (nếu chưa quá 4 dây). Ngược lại, có thể giảm chiều cao thùng, bớt số



Hình 6-16. Bộ tản nhiệt kiểu ống thẳng.

dây ống hay bớt ống trong một dãy. Trường hợp M_{dl} sau khi đã hiệu chỉnh mà vẫn quá nhỏ thì phải xem lại cách chọn kiểu thùng đã phù hợp chưa, nếu không phải dùng kiểu thùng gần bộ tản nhiệt.

d) Trường hợp thùng có bộ tản nhiệt kiểu ống cong:

Kiểu thùng này được dùng đối với những m.b.a lớn, từ 2500 đến 6300 kVA. Nó thường có bề mặt tản nhiệt lớn hơn nhiều so với hai loại thùng đã nói trên nếu chúng cùng có kích thước bên trong. Số lượng bộ tản nhiệt nhiều ít tùy theo bề mặt tản nhiệt cần thiết quyết định, đồng thời làm sao thùng có được kích thước chung là nhỏ nhất.

Kết cấu của bộ tản nhiệt thường gồm hai ống góp lớn dạng hộp chữ nhật có ống nối vào phía trên và phía dưới thùng, các ống đầu sẽ được hàn nối vào hai ống góp chung đó. Có hai kiểu bộ tản nhiệt: bộ tản nhiệt đơn và bộ tản nhiệt kép. Bộ tản nhiệt đơn có ống góp đặt tiếp tuyến với thùng dầu (hình 6-17b) và các ống đầu chỉ được bố trí về một phía của ống góp (hình 6-15a); bộ tản nhiệt kép có ống góp đặt vuông góc với vách thùng dầu (hình 6-17a) và ống đầu được bố trí cả hai phía ống góp (hình 6-15b). Các số liệu chính của hai kiểu bộ tản nhiệt đó cho ở bảng 62.

Ngoài ra còn có bộ tản nhiệt kiểu ống thẳng (hình 6-16) chế tạo đơn giản hơn và bố trí trên chu vi thùng dầu cũng thuận tiện hơn. Kiểu bộ tản nhiệt này thường dùng cho các m.b.a công suất từ 100 đến 6300 kVA. Số liệu chính của bộ tản nhiệt này ghi ở bảng 63. Loại này ống góp thường đặt vuông góc với vách thùng. Ống thẳng có tiết diện tròn hoặc ô van được hàn vào ống góp. Bộ tản nhiệt kiểu ống thẳng có thể 1 dãy (7 ống trong một dãy) hoặc 2 dãy. (2×10 ống trong một dãy kép).

Loại một dãy ống có kích thước $B = 354$ mm và $C = 158$ mm; loại hai dãy tương ứng là 505 và 253 mm (hình 6-16). Bộ tản nhiệt kiểu ống thẳng có ưu điểm là không phải tốn công uốn ống, khoan lỗ ở vách thùng, nên có thể chế tạo ở địa điểm độc lập với chế tạo vỏ thùng phẳng. Bộ tản nhiệt có thể hàn trực tiếp vào vách thùng (với m.b.a công suất $100 \div 250$ kVA), hay bắt vào thùng bằng mặt bích (với m.b.a $100 \div 6300$ kVA).

Tóm lại tính toán thùng có bộ tản nhiệt tiến hành như sau:

- Tính bề mặt bức xạ M_{bx} của thùng theo công thức tính toán đã trình bày trên (6-20 hay 6-21).

- Tính sơ bộ bề mặt đối lưu của thùng M_{dl} theo tổng tổn hao và $\theta_{t,k}$ (6-22).

- Theo bảng 62 chọn số lượng và kích thước hoặc là bộ tản nhiệt đơn

hoặc là bộ tản nhiệt kép. Hoặc theo bảng 63 chọn bộ tản nhiệt ống thẳng. Việc lựa chọn này dựa vào khoảng cách giữa hai ống góp trên và dưới A. Kích thước A được tính xuất phát từ điều kiện: bảo đảm cho khoảng cách từ đáy hay từ nắp thùng tới tâm trục ống góp gần nhất không được nhỏ hơn 0,170 m nghĩa là:

$$A \leq H - 0,34, \text{ (m)}$$

- Tính lại bề mặt đối lưu thực tế của thùng:

$$M_{dl} = M_{t,dl} k_{h,t} + M_n k_{h,n} + M_{ô,dl} k_{h,ô} + M_{g,dl} k_{h,g}, \text{ (m}^2\text{)} \quad (6-46)$$

trong đó $M_{t,dl}$ là diện tích bề mặt đối lưu của thùng phẳng;

M_n là diện tích bề mặt của nắp thùng;

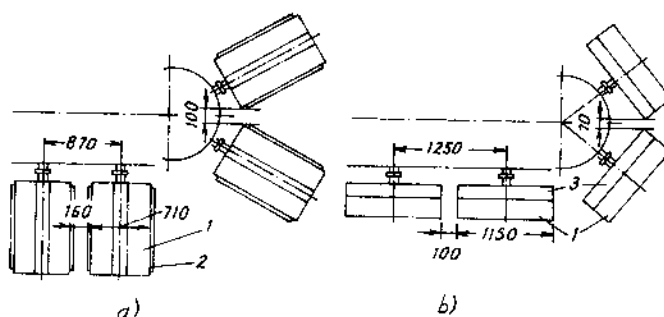
$M_{ô,dl}$ là diện tích bề mặt của ống;

$M_{g,dl}$ là diện tích bề mặt của ống góp;

k_h là hệ số hình dáng của các bộ phận đó, tra ở bảng 56.

Chú ý:

Khi bố trí các bộ tản nhiệt cạnh nhau cần phải bảo đảm một khoảng cách tối thiểu. Khoảng cách này cần cứ vào khoảng giữa hai ống dầu kề nhau giữa hai bộ tản nhiệt đó (hình 6-17). Qui định khoảng cách đó như sau:



Hình 6-17. Khoảng cách tối thiểu giữa các bộ tản nhiệt kiểu ống. a) Đối với bộ tản nhiệt kép; b) Đối với bộ tản nhiệt đơn.

- Không được nhỏ hơn 0,16 m đối với các ống song song của bộ tản nhiệt kép;
- Không được nhỏ hơn, 0,10 m đối với các ống song song của bộ tản nhiệt đơn;
- Không được nhỏ hơn 0,10 m đối với các ống xiên của bộ tản nhiệt kép;
- Không được nhỏ hơn 0,07 m đối với các ống xiên của bộ tản nhiệt đơn.

Nếu M_{dl} tính ra không thỏa mãn bề mặt tản nhiệt thì ngoài việc tăng số bộ tản nhiệt (nhưng không vi phạm qui định về khoảng cách vừa nêu

trên) có thể bố trí thêm quạt gió, lúc đó cần phải tính với hệ số hình dáng k_h khác đi (xem bảng 56).

§6.5. TÍNH TOÁN CUỐI CÙNG NHIỆT ĐỘ CHÊNH CỦA DÂY QUẤN VÀ DẦU CỦA M.B.A

Sau khi đã thiết kế được những kích thước cơ bản của thùng dầu, tính toán bề mặt bức xạ M_{bx} , bề mặt đối lưu M_{dl} của thùng cần phải kiểm tra lại nhiệt độ chênh thực tế của dây quấn và dầu đối với không khí.

1. Từ (6-22) ta có nhiệt độ chênh của thùng đối với không khí:

$$\theta_{t,k} = \left[\frac{k(P_o + P_n)}{2,8M_{bx} + 2,5M_{dl}} \right]^{0,8}, (^\circ\text{C}) \quad (6-47)$$

trong đó $k = 1,05 \div 1,1$. Trị số nhỏ ứng với tính toán m.b.a đơn chiếc; trị số lớn ứng với tính toán dây m.b.a.

2. Nhiệt độ chênh của dầu sát vách thùng so với thùng:

$$\theta_{d,t} = k_1 \cdot 0,165 \left[\frac{k(P_o + P_n)}{\Sigma M_{dl}} \right]^{0,6}, (^\circ\text{C}) \quad (6-48)$$

trong đó k_1 là hệ số, bằng 1 khi làm lạnh bằng dầu tự nhiên; bằng 0,9 khi dầu làm lạnh có quạt gió.

ΣM_{dl} là tổng bề mặt đối lưu của vách thùng phẳng, ống, nắp không kể đến điều kiện đối lưu xấu hay tốt.

3. Nhiệt độ chênh của dầu so với không khí:

$$\theta'_{d,k} = \theta_{d,t} + \theta_{t,k}, (^\circ\text{C}) \quad (6-49)$$

4. Nhiệt độ chênh của lớp dầu trên so với không khí phải đạt tiêu chuẩn:

$$\theta_{d,k} = \sigma(\theta_{d,t} + \theta_{t,k}) \leq 50^\circ\text{C}, \quad (6-50)$$

trong đó $\sigma = 1,2$.

5. Nhiệt độ chênh của dây quấn đối với không khí phải đạt tiêu chuẩn:

$$\theta_{o,k} = \theta_{o,dth} + \theta'_{d,k} \leq 60^\circ\text{C} \quad (6-51)$$

Có thể chỉ cần tính với dây quấn có nhiệt độ lớn nhất cũng đủ.

Nếu bất đẳng thức (6-43) và (6-44) tính ra không được thỏa mãn phải tìm cách tăng bề mặt làm lạnh của thùng lên. Ngược lại nếu thỏa mãn, nhưng chênh lệch quá 5°C nhiều khi để bảo đảm tiết kiệm và kích thước máy gọn cũng nên giảm kích thước thùng một cách thích hợp.

§6.6. XÁC ĐỊNH SƠ BỘ TRỌNG LƯỢNG RUỘT MÁY, VỎ MÁY, DẦU VÀ BÌNH GIẤN DẦU

Việc tính toán chính xác trọng lượng ruột máy, vỏ máy, dầu và bình giãn dầu của m.b.a chỉ có thể tiến hành được sau khi đã hoàn thiện thiết kế đầy đủ các chi tiết của m.b.a. Nhưng với những tính toán ở trên cũng có thể xác định sơ bộ được trọng lượng của máy rất cần cho việc tính toán kinh tế khi cần phải đánh giá các phương án thiết kế.

- Trọng lượng ruột máy (phần tác dụng): tức là toàn bộ lõi sắt có các dây quấn và dây dẫn ra (trừ nắp máy), có thể xác định gần đúng như sau:

$$G_r \approx 1,2 (G_{dq} + G_l), \text{ (kg)} \quad (6-52)$$

trong đó G_{dq} là trọng lượng toàn bộ dây quấn và dây dẫn ra;

G_l là trọng lượng của lõi sắt;

1,2 là hệ số kể đến trọng lượng ruột máy được tăng thêm do cách điện và các kết cấu khác.

- Trọng lượng thùng dễ dàng xác định được khi đã biết bề mặt tản nhiệt của thùng đã tính ở trên, bề mặt của nắp, đáy và chiều dày vách thùng, nắp, đáy, đồng thời xem $\gamma_{Fe} = 7850 \text{ kg/m}^3$. Còn trọng lượng của hệ thống ống thì căn cứ vào chiều dài toàn bộ của ống và trọng lượng một mét ống cho ở bảng 60, hay của bộ tản nhiệt cho trong bảng 62 và 63.

- Trọng lượng dầu: Trước hết tính thể tích dầu trong thùng theo biểu thức:

$$V_d = V_t - V_r, \text{ (m}^3\text{)} \quad (6-53)$$

trong đó V_t là thể tích bên trong của thùng dầu phẳng;

V_r là thể tích ruột máy, có thể tính:

$$V_r = \frac{G_r}{\gamma_r}, \text{ (m}^3\text{)} \quad (6-54)$$

với γ_r là tỷ trọng trung bình của ruột máy:

- đối với m.b.a dây quấn đồng $\gamma_{FeCu} = 5500 \div 6000 \text{ kg/m}^3$;

- đối với m.b.a dây quấn nhôm $\gamma_{FeAl} = 5000 \div 5500 \text{ kg/m}^3$.

Do đó trọng lượng dầu của toàn bộ m.b.a:

$$G_{d,o} = 1,05 [0,9(V_t - V_r) + G_{d,o}], \text{ (kg)} \quad (6-48)$$

trong đó 1,05 là hệ số kể tới trọng lượng dầu tăng thêm ở bình giãn dầu.

$G_{d,o}$ là trọng lượng dầu trong hệ thống ống làm lạnh hay bộ tản

nhiệt. Trọng lượng dầu trong ống tính theo chiều dài toàn bộ ống và trọng lượng dầu trong 1 mét ống (bảng 60). Trọng lượng dầu trong bộ tản nhiệt xem bảng 62, 63.

- Bình giãn dầu: Người ta qui định tất cả các m.b.a dung lượng trên 100 kVA điện áp trên 6 kV đều phải có bình giãn dầu. Thể tích bình giãn dầu phải bảo đảm sao cho khi nhiệt độ của không khí xung quanh dao động trong phạm vi -10 đến $+40^{\circ}\text{C}$ và nhiệt độ chênh của lớp dầu trên từ 0 ÷ 60°C thì dầu chỉ được giãn nở trong phạm vi bình giãn dầu. Thường thể tích bình giãn dầu bằng $7 \div 10\%$ thể tích dầu trong thùng, do đó:

$$V_{gd} = (0,07 \div 0,1)V_d \cdot (\text{m}^3) \quad (6-56)$$

Bình giãn dầu thường làm bằng thép hàn nối, chiều dày $1 \div 3$ mm và được đặt nằm ngang trên nắp thùng. Chiều dài bình giãn dầu sao cho không vượt quá cỡ m.b.a nghĩa là:

- Đối với thùng phẳng: $l_{gd} \leq B$;
- Đối với thùng có ống : $l_{gd} \leq B + 2a_n \cdot 10^{-3}$.

Đường kính bình giãn dầu có thể xác định theo biểu thức:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot B_{gd}}{\pi l_{gd}}} \text{ , (m)} \quad (6-57)$$

trong đó V_{gd} tính bằng m^3 , l_{gd} tính bằng m.

VÍ DỤ TÍNH TOÁN 1

§1. NHIỆM VỤ THIẾT KẾ

Tính toán m.b.a đầu ba pha hai dây quấn BAD 1600/35 có số liệu sau:

Tổng dung lượng m.b.a $S = 1600$ kVA;

Số pha $m = 3$; Tần số $f = 50$ Hz;

Điện áp HA: $U_1 = 690$ V; Điện áp CA: $U_2 = 35000 \pm (2 \times 2,5\%)$ V;

Sơ đồ và tổ nối dây quấn Y/Y_n – 0.

Máy biến áp chế tạo theo tiêu chuẩn gam mới, có các đặc tính: điện áp ngắn mạch $u_n = 6,5\%$; tổn hao ngắn mạch $P_n = 18000$ W; tổn hao không tải $P_o = 3100$ W, dòng điện không tải $i_o = 1,3\%$. Làm lạnh bằng dầu biến áp. Thiết bị đặt ngoài trời. Thiết kế với dây dẫn bằng đồng, loại m.b.a ba pha ba trụ cấu trúc phẳng.

§2. TÍNH TOÁN CÁC KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU

I- Xác định các đại lượng điện cơ bản:

1. Dung lượng một pha $S_1 = \frac{1600}{3} = 533,3$ kVA.

Dung lượng trên mỗi trụ $S' = \frac{1600}{3} = 533,3$ kVA;

2. Dòng điện dây định mức:

- Phía CA: $I_2 = \frac{1600 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35000} = 26,4$ A;

- Phía HA: $I_1 = \frac{1600 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 690} = 1339$ A.

3. Dòng điện pha định mức: vì dây quấn nối Y/Y nên:

$$I_{12} = I_2 = 26,4 \text{ A}; I_{11} = I_1 = 1339 \text{ A}.$$

4. Điện áp pha định mức:

- Phía CA: $U_{12} = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = \frac{35000}{\sqrt{3}} = 20207$ V;

- Phía HA: $U_{11} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = \frac{690}{\sqrt{3}} = 399$ V.

5. Điện áp thử của các dây quấn (bảng 2):

Với dây quấn CA: $U_{th2} = 85 \text{ kV}$; với dây quấn HA: $U_{th1} = 5 \text{ kV}$

II- Chọn các số liệu xuất phát và tính các kích thước chủ yếu

1. Chiều rộng qui đổi của rãnh từ tần giữa dây quấn CA và HA: với $U_{th2} = 85 \text{ kV}$, theo bảng 19 ta có $a_{12} = 27 \text{ mm}$; $\delta_{12} = 5 \text{ mm}$. Trong rãnh a_{12} đặt ống cách điện dây $\delta_{12} = 5 \text{ mm}$. Theo (2-36) và bảng 12:

$$\frac{a_1 + a_2}{3} = k^4 \sqrt{S'} \cdot 10^{-2} = 0,51 \sqrt{533,3} \cdot 10^{-2} = 0,0254 \text{ m};$$

$$a_r = a_{12} + (a_1 + a_2)/3 = 0,027 + 0,0254 = 0,0515 \text{ m}.$$

2. Hệ số qui đổi từ trường tần lấy $k_r = 0,95$.

3. Các thành phần điện áp ngắn mạch:

$$u_{nr} = \frac{18000}{10.1600} = 1,125\%; u_{rk} = \sqrt{6,5^2 - 1,125^2} = 6,4\%$$

4. Ta chọn tôn cán lạnh mã hiệu 3404 có chiều dày 0,35 mm. Theo bảng 11 ta chọn từ cảm trong trụ $B_l = 1,62 \text{ T}$; hệ số $k_g = 1,03$. Ép trụ bằng nêm với dây quấn, ép gông bằng xà ép (bảng 6), không dùng bulông xuyên qua trụ và gông. Sử dụng lõi thép có 4 mối ghép xiên ở 4 góc của lõi, còn 3 mối nối giữa dùng mối ghép thẳng lá tôn.

Theo bảng 5 chọn số bậc thang trong trụ là 8; số bậc thang của gông lấy nhỏ hơn trụ 1 bậc, tức gông có 7 bậc; hệ số chêm kín $k_c = 0,928$, hệ số điền đầy rãnh $k_d = 0,97$ (bảng 4 và 10). Hệ số lợi dụng lõi sắt $k_{ld} = k_c \cdot k_d = 0,928 \cdot 0,97 = 0,900$.

Từ cảm trong gông $B_g = 1,62/1,03 = 1,573 \text{ T}$. Từ cảm ở khe không khí mối nối thẳng $B''_k = B_l = 1,62 \text{ T}$, có mối nối xiên $B'_k = B_l/\sqrt{2} = 1,62/\sqrt{2} = 1,146 \text{ T}$; suất tổn hao sắt ở trụ và gông $p_l = 1,353 \text{ W/kg}$; $p_g = 1,242 \text{ W/kg}$; suất từ hóa $q_l = 1,956 \text{ VA/kg}$; $q_g = 1,66 \text{ VA/kg}$; suất từ hóa ở khe không khí: mối thẳng $p_k = 25100 \text{ VA/m}^2$, mối xiên $p'_k = 3200 \text{ VA/m}^2$ (bảng 45, 50).

5. Các khoảng cách cách điện chính, chọn theo $U_{12} = 85 \text{ kV}$ của cuộn CA:

- trụ và dây quấn HA $a_{01} = 15 \text{ mm}$ (bảng 19 và 35);
- dây quấn HA và CA $a_{12} = 27 \text{ mm}$;
- ống cách điện giữa CA và HA $\delta_{12} = 5 \text{ mm}$;
- giữa các dây quấn CA $a_{22} = 30 \text{ mm}$;
- tấm chắn giữa các pha $\delta_{22} = 3 \text{ mm}$;

- giữa dây quần CA đến gông $l'_{\text{g}} = 75 \text{ mm}$
- phần đầu thừa của ống cách điện $l_{\text{d2}} = 50 \text{ mm}$

5. Các hằng số tính toán a , b gần đúng có thể lấy:

$$a = 1,40; b = 0,31 \text{ (xem §2.2 - bảng 13, 14).}$$

6. Hệ số $k_f = 0,91$ (bảng 15).

7. Chọn hệ số β có thể theo hướng dẫn ở §2.2 với bảng 17, dải biến thiên của β từ 1,2 đến 3,6. Nhưng để xác định β chính xác hơn ta phải tính các số liệu và các đặc tính cơ bản của m.b.a như đã trình bày ở §2.2.

Ta tính các hệ số:

$$A = 0,507 \sqrt{\frac{S_a k_r}{f u_{\text{nx}} B_1^2 k_1^2}} = 0,507 \sqrt{\frac{533,3 \cdot 0,0515 \cdot 0,95}{50,6 \cdot 4,1 \cdot 62^2 \cdot 0,9^2}} = 0,2243;$$

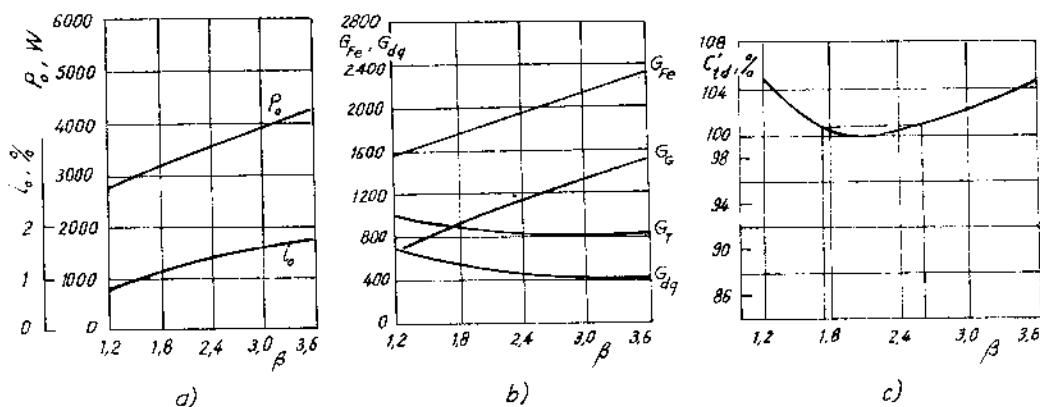
$$A_1 = 5,633 \cdot 10^4 k_r A^3 a = 5,633 \cdot 10^4 \cdot 0,9 \cdot 0,2243^3 \cdot 1,4 = 800,9 \text{ kg};$$

$$A_2 = 3,605 \cdot 10^4 k_1 A^2 l_{\text{g}} = 3,605 \cdot 10^4 \cdot 0,9 \cdot 0,2243^2 \cdot 0,075 = 122,4 \text{ kg};$$

$$\begin{aligned} B_1 &= 2,4 \cdot 10^4 k_1 k_g A^2 (a + b + e) = \\ &= 2,4 \cdot 10^4 \cdot 0,9 \cdot 1,03 \cdot 0,2243^2 (1,4 + 0,31 + 0,41) = 529,7 \text{ kg}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_2 &= 2,4 \cdot 10^4 k_1 k_g A^2 (a_{12} + a_{22}) = \\ &= 2,4 \cdot 10^4 \cdot 0,9 \cdot 1,03 \cdot 0,2243^2 (0,0027 + 0,03) = 61,1 \text{ kg}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= K_{\text{dq}} \frac{S a^2}{k_1 k_1^2 B_1^2 u_{\text{nr}} A^2} = \\ &= 2,46 \cdot 10^{-2} \frac{1600 \cdot 1,4^2}{0,91 \cdot 0,9^2 \cdot 1,62^2 \cdot 1,125 \cdot 0,2243^2} = 722,4 \text{ kg}. \end{aligned}$$



Hình 1. Các quan hệ tổn hao không tải P_0 , dòng không tải i_0 (a) trong lõi sắt G_{Fe} dây quần G_{dq} (b) và giá thành vật liệu tác dụng C_{td} (c) theo β

Trọng lượng một "góc" của lõi theo (2-66c):

$$G_o = 0,492 \cdot 10^4 k_g k_{ld} A^3 x^3 = 0,492 \cdot 10^4 \cdot 0,9 \cdot 1,03 \cdot 0,2243^3 x^3 = 51,47x^3$$

Tiết diện trụ tính sơ bộ theo (2-68):

$$T_1 = 0,785 k_{ld} A^2 x^2 = 0,785 \cdot 0,9 \cdot 0,2243^2 x^2 = 0,0355x^2.$$

Diện tích khe hở ở mỗi nối thẳng $T_k = T_1 = 0,0355x^2$; ở mỗi nối nghiêng $T_k = \sqrt{2} T_1 = 0,05026x^2$. Với kết cấu mạch từ như ở hình 1-5c, có thể tính sơ bộ tổn hao không tải theo biểu thức (5-23) với các hệ số tra ở bảng 45, 47, 48:

$$P_o = k_{pt}(G_t + G_o \frac{k_{po}}{2}) + k_{pg}(G_g - 6G_o + k_{po} \frac{G_o}{2})$$

$$= 1,15 \cdot 1,353 (G_t + 0,5 \cdot 10,18G_o) + 1,15 \cdot 1,242 (G_g - 6G_o + 0,5 \cdot 10,18G_o) = 1,556G_t + 1,428G_g + 6,621G_o$$

Công suất từ hóa có thể tính sơ bộ theo (5-31) với các hệ số tra ở bảng 50, 53:

$$\begin{aligned} Q_o &= k_{if}'' k_{if}'' q_t (G_t + 0,5k_{io}G_o) + k_{ig}'' k_{ig}'' q_g (G_g + 0,5k_{ig}k_{io}G_o - 6G_o) \\ &+ k_{it}'' \sum q_k n_k T_k = 1,2 \cdot 1,956 (G_t + 0,5 \cdot 42,45 \cdot 1,25G_o) \\ &+ 1,2 \cdot 1,07 \cdot 1,66(G_g - 6G_o + 0,5 \cdot 42,45 \cdot 1,25G_o) \\ &+ 1,07 \cdot 3200 \cdot 4 \cdot 0,05026x^2 + 1,07 \cdot 25000 \cdot 3 \cdot 0,0355x^2 \\ &= 2,512G_t + 2,131G_g + 116,42G_o + 3537x^2 \end{aligned}$$

Tiếp tục tính toán được các số liệu ghi trong bảng ở trang sau với 5 trị số β trong phạm vi 1,2 đến 3,6 (theo hướng dẫn bảng 17).

Theo bảng đã tính ta vẽ đồ thị các đại lượng được quan tâm theo β : G_{ld} ; G_{dqp} ; P_o ; i_o ; $C'_{ld} = f(\beta)$.

Với giới hạn $P_o = 3100$ W đã cho ta tìm được trên đồ thị $P_o = f(\beta)$ trị số $\beta \leq 1,71$, với $i_o = 1,3\%$ ta tìm được trên đồ thị $i_o = f(\beta)$ trị số $\beta \leq 2,25$. Trên đồ thị $C'_{ld} = f(\beta)$ cho trị số $\beta = 2,14$ ứng với C'_{ldmin} . Nếu C'_{ld} không vượt quá 1% so với C'_{ldmin} thì β biến thiên trong một dải khá rộng β từ 1,74 đến 2,6. Có thể vẽ một giản đồ tổng quát để tìm trị số β tối ưu thỏa mãn các điều kiện trên như ở hình 2.19 (chương 2).

8. Đường kính trụ sắt:

$$d = A^4 \sqrt{\beta} = 0,2243^4 \sqrt{1,71} = 0,2565 \text{ m.}$$

Chọn đường kính tiêu chuẩn gần nhất $d_{dm} = 0,26$ m.

$$\text{Tính lại trị số } \beta = \left(\frac{d_{dm}}{A} \right)^4 = \left(\frac{0,26}{0,2243} \right)^4 = 1,805$$

Rõ ràng với giá trị β này thì P_o lớn hơn một ít và i_o nhỏ hơn số liệu đã cho. Đối với trị số β này, theo đồ thị trên hình 1 ta tìm được mật độ dòng điện

Tính toán sơ bộ m.b.a BAD 1600/35

β	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6
$x = \sqrt[4]{\beta}$	1,048	1,16	1,245	1,32	1,38
$x^2 = \sqrt{\beta^2}$	1,096	1,344	1,55	1,734	1,90
$x^3 = \sqrt[4]{\beta^3}$	1,148	1,56	1,93	2,29	2,62
$A_1/x = 800,9/x$	764,2	690,4	643,3	606,7	580,4
$A_2x^2 = 122,4 x^2$	134,2	164,5	189,7	212,2	232,6
$G_t = A_1/x + A_2x^2$	898,4	854,9	833,0	818,9	813,0
$B_1x^3 = 529,7 x^3$	608,1	826,3	1022,3	1213,0	1387,6
$B_2x^2 = 61,1x^2$	67,0	82,1	94,7	105,9	116,1
$G_g = B_1x^3 + B_2x^2$	675,1	908,4	1117,0	1318,9	1503,9
$G_{Fe} = G_r + G_g$	1573,5	1763,3	1950,0	2137,8	2316,9
$G_g = 5147x^3$	59,1	80,3	99,3	117,9	134,9
$1,556 G_r$	1397,9	1330,2	1296,1	1274,2	1265,0
$1,428 G_g$	964,0	1297,2	1595,1	1883,4	2147,6
$6,621 G_o$	391,3	531,7	657,5	780,6	893,2
$P_o = 1,556 G_1 + 1,428 G_g + 6,621 G_o$	2753,2	3159,1	3548,7	3938,2	4350,8
$T_r = 0,0355x^2$	0,03891	0,04771	0,05503	0,06156	0,06746
$2,512 G_t$	2256,8	2147,5	2092,5	2057,1	2085,0
$2,121 G_g$	1438,6	1935,8	2380,3	2810,6	3204,8
$116,42 G_o$	6880,4	9348,5	1156,0	1372,6	15705
$3537x^2$	3876,5	4753,7	5482,4	6133,2	6720,3
G_o	14452,3	18185,5	21515,2	24726,9	27715,1
$i_o = Q_o/10S (\%)$	0,903	1,137	1,345	1,545	1,732
$G_{dq} = C_1/x^2 = 722,4/x^2$	659,1	537,5	466,1	416,6	380,2
$1,03 G_{dq}$	678,9	553,6	480,1	429,1	391,6
$G_{dd} = 1,03.1,03 G_{dq}$	699,3	570,2	494,5	442,0	403,3
$k_{dq,Fe} \cdot G_{dd} = 2,36 G_{dd}$	1650,0	1345,6	1167,0	1043,0	951,8
$C_{td} = G_{Fe} + k_{dq,Fe} G_{dd}$	3223,5	3108,9	3117,0	3187,8	3268,7
$\Lambda = \sqrt{0,9118000/(2,4 G_{dq})} \cdot 10^6$	$3,218 \cdot 10^6$	$3,56 \cdot 10^6$	$3,826 \cdot 10^6$	$4,048 \cdot 10^6$	$4,326 \cdot 10^6$
$d = Ax = 0,2243x$	0,2351	0,2620	0,2793	0,2961	0,3095
$d_{12} = ad = 140d$	0,3291	0,3668	0,3910	0,4145	0,4333
$l = \pi d_{12}/\beta$	0,8616	0,6402	0,5118	0,4341	0,3781
$c = d_{12} + a_{12} + 2a_2 + a_{22}$	0,4590	0,5050	0,5346	0,5633	0,5862

$\Delta = 3,58 \cdot 10^6$ A/m², trọng lượng dây quấn $G_{dq} = 537$ kg, trọng lượng dây dẫn $1,03G_{dd} = 1,03.537 = 553,1$ kg, trọng lượng lõi sắt $G_{Fe} = 1765$ kg; tổn hao và dòng điện không tải $P_o = 3162$ W, $i_o = 1,145$ %; giá thành vật liệu tác dụng $C'_{td} = 3224$ đơn vị qui ước, nghĩa là lớn hơn giá thành cực tiểu lúc β_{min}

= 2,14 không đến 1%.

9. Đường kính trung bình của rãnh đầu sơ bộ theo (2-41):

$$d_{12} = a.d = 1,4.0,26 = 0,3645 \text{ m}.$$

10. Chiều cao dây quấn sơ bộ:

$$l = \frac{\pi d_{12}}{\beta} = \frac{\pi.0,3645}{1,805} = 0,6348 \text{ m}.$$

11. Tiết diện hữu hiệu của trụ sắt (thuần sắt):

$$T_1 = k_d.T_n = 0,97 \times 0,04906 = 0,04759;$$

trong đó $T_n = 0,04906 \text{ m}^2$ (theo bảng 42b).

§3- TÍNH TOÁN DÂY QUẤN

I- Dây quấn HA:

1. Sức điện động của một vòng dây:

$$u_v = 4,44.50.0,04759.1,62 = 17,115 \text{ V}$$

2. Số vòng dây một pha của dây quấn HA:

$$w_1 = \frac{399}{17,115} = 23,31 \approx 24;$$

Ta tính lại $u_v = \frac{399}{24} = 16,63 \text{ V}.$

3. Mật độ dòng điện trung bình:

$$\Lambda = 0,746.0,91 \frac{18000.16,63}{1600.0,3645} . 10^4 = 3,48.10^6 \text{ A/m}^2 = 3,48 \text{ MA/m}^2$$

4. Tiết diện vòng dây sơ bộ:

$$T'_1 = \frac{1339}{3,48.10^6} = 384,8.10^{-6} \text{ m}^2 = 384,8 \text{ mm}^2.$$

Theo bảng 38 (xem giải thích thêm ở §3.5), với $S = 1600 \text{ kVA}$, $I_1 = 1339 \text{ A}$; $U_1 = 690 \text{ V}$, $T'_1 = 384,8 \text{ mm}^2$, ta chọn kết cấu dây quấn hình xoắn đơn dây dẫn bọc, chiều cao rãnh đầu ngang sơ bộ lấy $h_r = 5 \text{ mm}$. Số đệm cách điện một vành bánh dây là 12 (bảng 30), bề rộng tấm đệm $b_n = 40 \text{ mm}$.

5. Chiều cao hướng trục của mỗi vòng dây:

$$h_{v1} = \frac{0,635}{27 + 4} + 0,005 = 0,0177 \text{ m} = 17,7 \text{ mm}.$$

Vì $h_{v1} > 15 \text{ mm}$, theo hình 3-40a với $\Lambda \approx 3,5 \text{ MA/m}^2$, $q = 2000 \text{ W/m}^2$ thì b không cho phép vượt qua 15 mm, do đó ta chọn kiểu dây quấn hình xoắn kép có rãnh đầu ngang giữa các bánh dây, hoàn vị phân bố đều.

6. Theo bảng 21, với T'_1 và h_{v1} như đã lưu ý ở trên ta chọn tiết diện mỗi vòng dây gồm 12 sợi song song, chia thành hai nhóm (dây quấn hình xoắn kép) mỗi nhóm 6 sợi có rãnh đầu ngang ở giữa hai nhóm là 5 mm (hình II).

$$\text{Qui cách dây dẫn IIA như sau: ПБ.12} \times \frac{4,50 \times 7,60}{5,00 \times 8,00} \cdot 32,9$$

7. Do đó tiết diện mỗi vòng dây $T_1 = 12.32,9 = 394,7 \text{ mm}^2 = 394,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

8. Chiều cao thực của mỗi vòng dây $h_{v1} = 2.8 + 5 = 21 \text{ mm}$.

9. Mật độ dòng điện thực của dây quấn HA:

$$\Delta_1 = 1339 \cdot 10^6 / 394,7 = 3,39 \text{ MA/m}^2.$$

10. Chiều cao thực của dây quấn HA: Để bù cho dây quấn CA do phải cắt giữa dây quấn khi điều chỉnh điện áp, ta bố trí thêm 6 rãnh đầu ngang mỗi rãnh 10 mm ở giữa chiều cao dây quấn HA, do đó chiều cao thực của dây quấn HA là:

$$l_1 = (24 + 1) \cdot 2.8 \cdot 10^{-3} + [(24 \cdot 2 + 1 - 6) \cdot 5 + 6 \cdot 10] \cdot 0,95 \cdot 10^{-3} = 0,661 \text{ m} \approx 0,660 \text{ m}.$$

11. Chiều dày dây quấn HA:

$$a_1 = 6 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,03 \text{ m}.$$

Theo bảng 18, với $U_{11} = 5 \text{ kV}$, $S = 1600 \text{ kVA}$, dây quấn hình xoắn, ta tìm được $a_{o1} = 15 \text{ mm}$, dây quấn được quấn trên ống bìa bakelit có 12 cần dọc, ống có kích thước $\phi \frac{0,270}{0,278} \cdot 0,77 \text{ m}$.

12. Đường kính trong của dây quấn HA:

$$D'_1 = 0,260 + 2 \cdot 0,015 = 0,290 \text{ m}.$$

13. Đường kính ngoài của dây quấn HA:

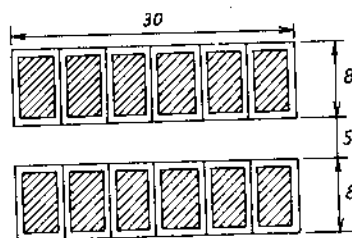
$$D''_1 = 0,290 + 2 \cdot 0,03 = 0,35 \text{ m}.$$

Dây quấn hoán vị phân bố đều tại 12 chỗ theo chiều cao dây quấn. Hoán vị đầu tiên sau vòng thứ nhất, hoán vị thứ hai cách 2 vòng tức ở vòng thứ ba, v.v...

14. Trọng lượng đồng dây quấn HA:

$$G_{\text{Cu.1}} = 28 \cdot 10^3 \cdot 3,0 \cdot 32 \cdot 24 \cdot 394,7 \cdot 10^{-6} = 254,6 \text{ kg}.$$

Theo bảng 24, cần phải tăng trọng lượng dây dẫn (do cách điện) lên 2% nên trọng lượng của dây dẫn là:



Hình II. Tiết diện một vòng dây của dây quấn HA.

$$G_{\text{ddl}} = 1,02.254,6 = 259,7 \text{ kg.}$$

II. Dây quấn CA:

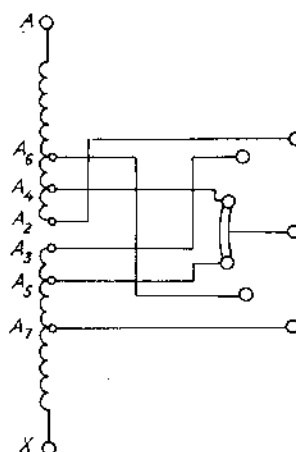
1. Chọn sơ đồ điều chỉnh điện áp theo hình 3-37d. Các đầu phân áp được nối vào các cực của bộ đổi nối ba pha (hình III). Dòng điện làm việc qua các tiếp điểm là 26,4 A. Điện áp lớn nhất giữa các tiếp điểm của hai pha của bộ đổi nối là:

$$\text{Điện áp làm việc } U_{\text{lv}} : 10\% (U_2/\sqrt{3}) = 2020 \text{ V.}$$

$$\text{Điện áp thử } U_{\text{th}} : 2.10\% (U_2/\sqrt{3}) = 4040 \text{ V.}$$

Để có được những điện áp khác nhau bên CA cần phải nối như sau:

Điện áp	Các cực của dây quấn		
36750	A_2A_3	B_2B_3	C_2C_3
35875	A_3A_4	B_3B_4	C_3C_4
35000	A_4A_5	B_4B_5	C_4C_5
34425	A_5A_6	B_5B_6	C_5C_6
33250	A_6A_7	B_6B_7	C_6C_7



2. Số vòng dây của cuộn CA ứng với điện áp định mức:

$$w_{2\text{dm}} = 20207/16,63 = 1215.$$

3. Số vòng dây cuộn CA ở một cấp điều chỉnh:

$$w_{\text{dc}} = \frac{875}{\sqrt{3} \cdot 16,63} = 30,37 \approx 31.$$

Hình III. Sơ đồ điều chỉnh điện áp của dây quấn CA

4. Số vòng dây tương ứng trên các đầu phân nhánh:

$$\text{- cấp 36750 V} \quad w_2 = 1215 + 2.31 = 1377;$$

$$\text{- cấp 35875 V} \quad w_2 = 1215 + 31 = 1246;$$

$$\text{- cấp 35000 V} \quad w_{2\text{dm}} = 1215;$$

$$\text{- cấp 34125 V} \quad w_2 = 1215 - 31 = 1184;$$

$$\text{- cấp 33250 V} \quad w_2 = 1215 - 2.31 = 1153.$$

5. Mật độ dòng điện sơ bộ:

$$\Delta'_2 = 2.3,43.10^6 - 3,39.10^6 = 3,57 \text{ MA/m}^2$$

6. Sơ bộ tính tiết diện vòng dây:

$$T'_2 = 26,4/(3,57.10^6) = 7,39.10^{-6} \text{ m}^2 = 7,39 \text{ mm}^2$$

7. Theo bảng 38, với $S = 1600$ kVA: $I_{t2} = 26,4$ A: $U_2 = 35000$ V. $T'_2 = 7,39$ mm², ta chọn kết cấu dây quấn kiểu bánh dây xoắn ốc liên tục.

Theo bảng 21 chọn dây chữ nhật mã hiệu ПБ có qui cách như sau:

$$\text{ПБ} - 1 \times \frac{1,40 \times 5,60}{1,90 \times 6,10}. \text{ Tiết diện } T_{d2} = 7,625 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2.$$

Hai bánh dây trên và hai bánh dây dưới của mỗi pha tăng cường cách điện 1,35 (1,5) mm, do đó có kích thước kể cả cách điện là $2,90 \times 7,10$ mm (xem bảng 29).

8. Mật độ dòng điện thực:

$$\Delta_2 = 26,4 / (7,625 \cdot 10^{-6}) = 3,46 \text{ MA/m}^2.$$

Với $\Delta_2 = 3,46$ MA/m², $b = 5,6$ mm theo đồ thị ở hình 3.40 ta tìm được $q_2 \approx 800$ W/m².

9. Số bánh dây trên một trụ của dây quấn CA: Rãnh đầu ngang giữa các bánh 4,5 mm; hai bánh trên dưới có rãnh đầu 7,5 mm (xem bảng 29). Rãnh điều chỉnh giữa dây quấn $h_{dc} = 12$ mm (xem bảng 28), chiều cao bánh dây 6,1 mm. Do đó số bánh dây:

$$n_{b2} \approx 0,635 / (6,1 + 4) = 62,9 \approx 62 \text{ (lấy số bánh chẵn)}$$

10. Số vòng dây trong một bánh

$$w_{b2} = 1277 / 62 = 20,6 \approx 21 \text{ vòng.}$$

11. Chiều dày dây quấn:

$$a_2 = 1,9 \cdot 21 = 39,9 \approx 40 \text{ mm.}$$

Sắp xếp lại số vòng dây ở tất cả các bánh dây như sau:

43 bánh chính (ký hiệu B) mỗi bánh 22 vòng	946
7 bánh chính (ký hiệu C) mỗi bánh 21 vòng	147
8 bánh điều chỉnh (ký hiệu D) mỗi bánh 15,5 vòng	124
4 bánh cách điện tăng cường (ký hiệu E) mỗi bánh 15 vòng	60
Toàn bộ 62 bánh	1277 vòng

Bố trí cụ thể các bánh dây CA như trong bảng ở trang sau:

12. Chiều cao dây quấn:

$$l_2 = [6,1 \cdot 58 + 7,1 \cdot 4 + 0,95(12 \cdot 1 + 4 \cdot 5 \cdot 5,6 + 7,5 \cdot 4)] 10^{-3} =$$

$$= 0,6611 \approx 0,660 \text{ m.}$$

13- Đường kính trong của dây quấn CA (theo bảng ở trang sau):

$$D'_2 = 0,404 \text{ m.}$$

Các số liệu	Ký hiệu qui ước các bánh dây				Tổng hợp
	B	C	D	E	
Tên các bánh dây	chính	chính	điều chỉnh	cách điện tăng cường	-
Số bánh trên trụ	43	7	8	4	62
Số vòng một bánh	22	21	15,5	15	
Số vòng toàn bộ	946	147	124	60	1277
Kích thước dây dẫn - không cách điện (mm) - có cách điện (mm)	1,40 x 5,6 1,90 x 6,1			1,40 x 5,6 2,90 x 7,1	- -
Tiết diện vòng dây (mm ²)	7,625	7,625	7,625	7,625	7,625
Mật độ dòng điện (MA/m ²)	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46
Kích thước (mm) - hướng kính - hướng trục	42 6,1	42 6,1	40 (30,5)* 6,1	43,5 7,1	42 660
Trọng lượng dây dẫn (kg) - không cách điện - có cách điện	270,3 278,3	42,0 43,3	35,3 36,3	17,2 19,0	364,8 376,9
Hệ số tăng trọng lượng dây dẫn do cách điện (bảng 24)	1,03	1,03	1,03	1,105	-
Đường kính trong D''_2 (m)	0,404	0,404	0,404	0,404	0,404
Đường kính ngoài D''_2 (m)	0,488	0,488	0,484	0,491	0,488

* Quấn bìa cách điện cho bánh D đến kích thước 40 mm.

14. Đường kính ngoài của dây quấn CA (xem bảng trên):

$$D''_2 = 0,488 \text{ m.}$$

15. Trọng lượng đồng dây quấn CA (xem bảng trên)

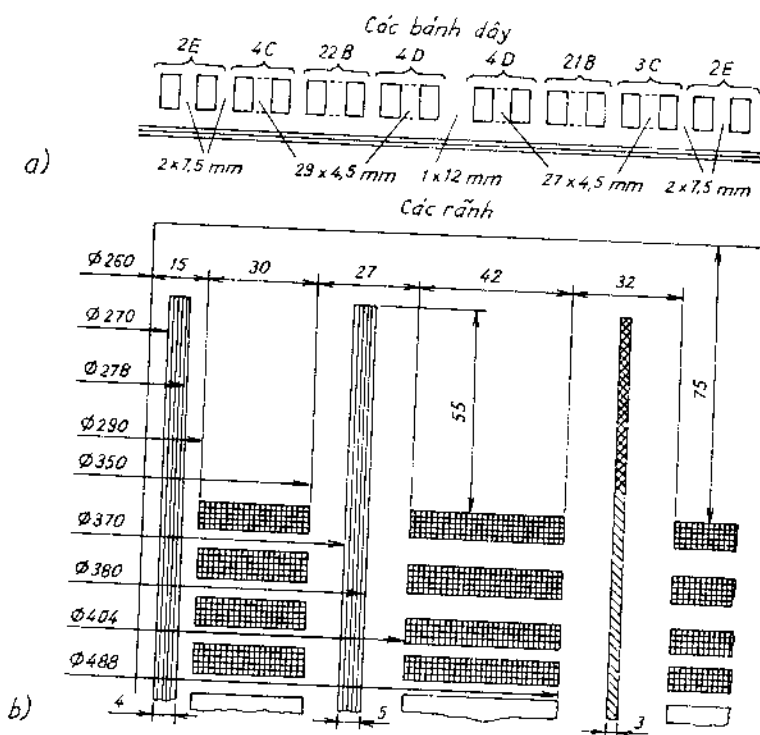
$$G_{Cu2} = 364,8 \text{ kg.}$$

16. Trọng lượng dây dẫn CA kể cả cách điện (xem bảng trên)

$$G_{d2} = 376,9 \text{ kg.}$$

Toàn bộ trọng lượng đồng của dây quấn HA và CA:

$$G_{Cu} = 254,6 + 364,8 = 619,4 \text{ kg.}$$



Hình IV. Dây quấn của mba HA1) 1600/35

a) Bố trí các bánh dây cuộn (A); b) các kích thước chính của dây quấn HA và CA

Toàn bộ trọng lượng dây dẫn (kể cả cách điện) của dây quấn HA và CA:

$$G_{\text{dd}} = 259,7 + 376,9 = 636,6 \text{ kg.}$$

Các kích thước chính của dây quấn HA và CA xem trên hình IV.

§4. TÍNH TOÁN CÁC THAM SỐ NGẮN MẠCH

A. Tổn hao

1. Tổn hao chính (đồng):

$$\begin{aligned} \text{- dây quấn HA : } P_{\text{Cu1}} &= 2,4 \cdot 10^{-12} \cdot 3,39^2 \cdot 254,4 = 7022,1 \text{ W.} \\ \text{- dây quấn CA: } P_{\text{Cu2}} &= 2,4 \cdot 10^{-12} \cdot 3,46^2 \cdot 364,8 = 1048 \text{ W.} \end{aligned}$$

2. Tổn hao phụ:

- trong dây quấn HA:

$$k_{f1} = 1 + 0,095 \cdot 10^8 \cdot 0,268 \cdot 4,5^4 \cdot 10^{-12} \cdot 6^2 = 1,038$$

$$\text{với } \beta_1^2 = (7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 48 \cdot 0,95 / 0,660)^2 = 0,518^2 = 0,268$$

- trong dây quấn CA:

$$k_{r2} = 1 + 0,095 \cdot 10^8 \cdot 0,246 \cdot 1,4^4 \cdot 10^{-12} \cdot 22^2 = 1,005$$

$$\text{với } \beta_2^2 = (5,6 \cdot 10^{-3} \cdot 62 \cdot 0,95 / 0,660)^2 = 0,493^2 = 0,246.$$

3. Tổn hao trong dây dẫn ra:

Đối với dây quấn HA: chiều dài dây dẫn ra:

$$l_{r1} = 7,5 \cdot 0,660 = 4,95 \text{ m.}$$

Trọng lượng đồng dây dẫn ra HA

$$G_{r1} = 4,95 \cdot 394,7 \cdot 10^{-6} \cdot 8900 = 17,39 \text{ kg.}$$

Tổn hao trong dây dẫn ra HA:

$$P_{r1} = 2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 3,39^2 \cdot 10^{12} \cdot 17,39 = 479,6 \text{ W.}$$

Trọng lượng dây dẫn ra CA:

$$G_{r2} = 4,95 \cdot 7,625 \cdot 10^{-6} \cdot 8900 = 0,336 \text{ kg.}$$

Tổn hao trong dây dẫn ra CA:

$$P_{r2} = 2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 3,46^2 \cdot 10^{12} \cdot 0,336 = 9,66 \approx 10 \text{ W.}$$

4. Tổn hao trong vách thùng dầu và các chi tiết kết cấu (4-21)

$$P \approx 10 \cdot 0,03 \cdot 1600 = 480 \text{ W.}$$

6. Tổn hao ngắn mạch toàn phần:

$$P_n = 7022,1 \cdot 1,038 + 10 \cdot 81,3 \cdot 1,005 + 479,6 + 10 + 480 = 18792 \text{ W.}$$

Khí điện áp dây quấn CA định mức:

$$P_n = 18792 - 0,05 \cdot 10533,7 = 18265 \text{ W.}$$

Vậy so sánh với số liệu cho là: $18265 \cdot 100 / 18000 = 101,5\%$

7. Mật độ dòng nhiệt trên bề mặt dây quấn (theo 6-2''a)

$$\text{Dây quấn HA: } q_1 = \frac{107 \cdot 3,39 \cdot 10^6 \cdot 1339 \cdot 0,5 \cdot 1,05}{0,8(0,008 + 0,030)} \cdot 10^{-10} = 839 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{Dây quấn CA: } q_2 = \frac{107 \cdot 3,46 \cdot 10^6 \cdot 26,4 \cdot 22 \cdot 1,05}{0,8(0,0061 + 0,0042)} \cdot 10^{-10} = 587 \text{ W/m}^2.$$

B. Điện áp ngắn mạch

1. Thành phần tác dụng:

$$u_{nr} = 18265 / 10 \cdot 1600 = 1,141\%$$

2. Thành phần phản kháng theo (4-26):

$$u_{nx} = \frac{7,92 \cdot 50 \cdot 533,3 \cdot 1,7945 \cdot 0,051 \cdot 0,95 \cdot 1,031}{16,63^2} \cdot 10^{-1} = 6,827\%$$

trong đó $\beta = \pi \cdot 0,377 / 0,66 = 1,7945$; $a_r = 0,27 + (0,03 + 0,042) / 3 = 0,051$ m.

$$k_r = 1 - 0,047(1 - e^{-1/0,047}) \approx 0,95.$$

$$\sigma = (0,027 + 0,030 + 0,042) / (\pi \cdot 0,660) = 0,0477$$

$$k_q = 1 + \frac{0,660 \times 0,083^2}{3 \times 0,051 \times 0,95} = 1,031 \text{ (theo (4-27) và hình Va).}$$

3. Điện áp ngắn mạch toàn phần:

$$u_n = \sqrt{6,828^2 + 1,141^2} = 6,92\%.$$

$$\text{Sai lệch lớn hơn so với tiêu chuẩn: } \frac{6,92 - 6,5}{6,5} \cdot 100 = 6,46\%$$

nghĩa là lớn hơn một ít so với phạm vi cho phép $\pm 5\%$, đúng ra cần phải hiệu chỉnh lại chút ít.

C. Tính toán lực cơ học khi ngắn mạch

1. Dòng điện ngắn mạch xác lập theo (4-30a) và bảng 40b:

$$I_n = \frac{100 \cdot 26,4}{6,92[1 + 100 \cdot 1600 / (6,92 \cdot 2500 \cdot 10^3)]} = 349,41 \text{ A.}$$

2. Dòng điện ngắn mạch cực đại tức thời:

$$i_{\max} = 1,41 k_m I_n = 1,41 \cdot 1,595 \cdot 349,4 = 786,15 \text{ A,}$$

trong đó $k_m = 1 + e^{-\pi \cdot 1,147 / 6,828} = 1,595.$

3. Lực hướng kính theo (4-34):

$$F_r = 0,828 (786,15 \cdot 1215)^2 \cdot 1,7945 \cdot 0,95 \cdot 10^{-6} = 977034 \text{ N.}$$

4. Ứng suất nén trong dây quấn HA theo (4-38) và (4-39):

$$\sigma_{nr} = \frac{977034}{2\pi \cdot 24 \cdot 394,7 \cdot 10^{-6}} = 16,42 \text{ MPa.}$$

Tương tự, ứng suất nén hoặc kéo trong dây quấn CA:

$$\sigma_{nr} = \frac{977034}{2\pi \cdot 1215 \cdot 7,625 \cdot 10^{-6}} = 16,78 \text{ MPa.}$$

nghĩa là chỉ bằng $16,78 \cdot 100 / 30 = 56\%$ ứng suất nén cho phép.

5. Lực chiều trục theo (4-36) và (4-37):

$$F'_t = 977034 \cdot \frac{0,051}{2 \cdot 0,660} = 37750 \text{ N;}$$

$$F''_t = 977034 \cdot \frac{0,099}{0,250 \cdot 0,95 \cdot 4} = 101817 \text{ N,}$$

trong đó $l_x = 99$ mm theo hình Va; sự sắp xếp các dây quấn HA và CA theo hình 4-11c; $m = 4$; sau khi đã xác định được kích thước thùng dầu $l'' = 0,25$ m. Lực chiều trục phân bố cụ thể theo hình Vb.

6. Lực nén chiều trục cực đại trong các dây quấn:

$$F_{n1} = F'_t + F''_t = 37750 + 101817 = 139567 \text{ N};$$

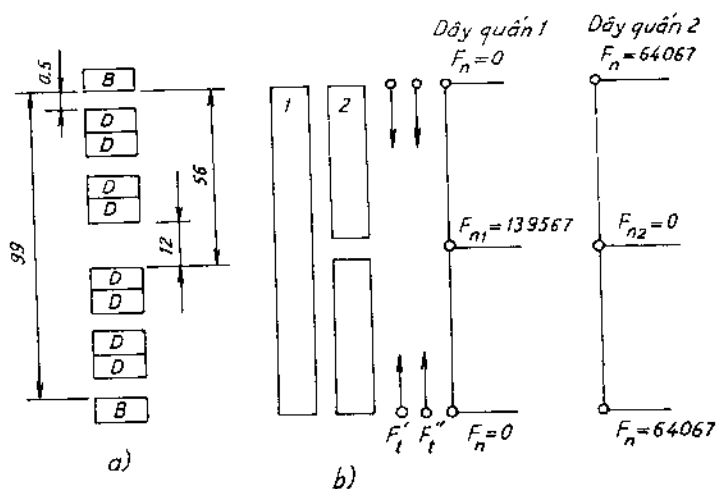
$$F_{n2} = F''_t - F'_t = 101817 - 37750 = 64067 \text{ N}.$$

Từ đó nhận thấy lực nén chiều trục lớn nhất tác dụng lên chính giữa dây quấn HA, tại đó $F_{n1} = 139567$ N.

7. Ứng suất nén lên các tấm đệm cách điện giữa các bánh dây:

$$\sigma_n = \frac{139567}{12.0.3.0.04} . 10^{-6} = 9,69 \text{ MPa}.$$

thấp hơn trị số ứng suất nén cho phép: $18 \div 40$ MPa.



Hình V. Các lực cơ khí tác dụng lên các dây quấn của máy biến áp BAIĐ 1600/35
a) Để xác định khoảng đứt trong dây quấn CA khi tính u_r (trị số nhỏ của l_x) và khi tính lực chiều trục (trị số lớn của l_x); b) Sự phân bố của các lực cơ khí.

§5- TÍNH TOÁN CUỐI CÙNG VỀ HỆ THỐNG MẠCH TỪ

1. Ta chọn kết cấu lõi thép kiểu 3 pha 3 trụ, lá thép ghép xen kẽ làm bằng tôn cán lạnh 3404 dày 0,35 mm có 4 mối nối nghiêng ở 4 góc (hình VIb). Trụ ép bằng đai vải thủy tinh, không có tấm sắt đệm. Gông ép bằng

xà ép gông. Kích thước các tập lá thép như hình VIa (theo bảng 38a). Tiết diện trụ có 8 bậc, gông có 6 bậc, cụ thể như sau:

Thứ tự tập	Trụ (mm)	Gông (trong nửa tiết diện trụ - mm)
1	250 x 35	250 x 35
2	230 x 25	230 x 25
3	215 x 13	215 x 13
4	195 x 13	195 x 13
5	175 x 10	175 x 10
6	155 x 8	155 x 23
7	120 x 9	-
8	105 x 6	-

2. Tổng chiều dày các lá thép của tiết diện trụ (hoặc gông):

$$(35 + 25 + 13 + 13 + 10 + 8 + 9 + 6) \cdot 2 = 238 \text{ mm} = 0,238 \text{ m}.$$

3. Toàn bộ tiết diện bậc thang của trụ (bảng 42b):

$$T_{bt} = 490,6 \text{ cm}^2 = 0,04906 \text{ m}^2.$$

4. Tiết diện bậc thang của gông:

$$T_{bg} = 507,1 \text{ cm}^2 = 0,05071 \text{ m}^2$$

5. Thể tích một góc của mạch từ:

$$V_o = 10.746 \text{ cm}^3 = 0,010746 \text{ m}^3$$

6. Tiết diện hữu hiệu (thuần sắt)

của trụ:

$$T_t = 0,97 \cdot 0,04906 = 0,04759 \text{ m}^2.$$

7. Thể tích thuần sắt một góc của mạch từ:

$$V_o = 0,97 \cdot 0,010746 \\ = 0,010424 \text{ m}^3.$$

8. Chiều cao trụ:

$$L_t = 0,660 + 2 \cdot 0,075 = 0,810 \text{ m}.$$

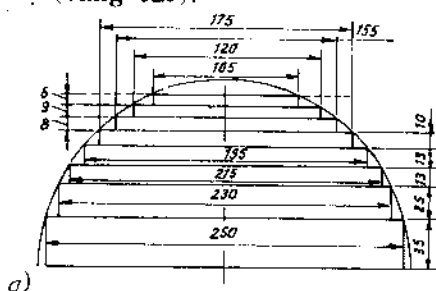
9. Khoảng cách giữa hai tâm trụ:

$$C = 0,488 + 0,032 = 0,520 \text{ m}.$$

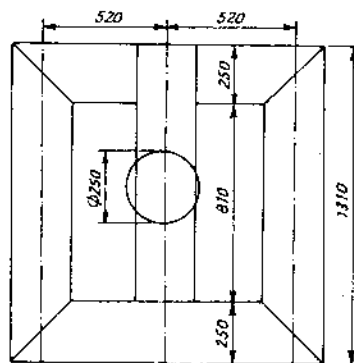
10. Trọng lượng sắt một góc theo

(5-10):

$$G_o = 0,010424 \cdot 7650 = 79,7 \text{ kg}.$$



a)



b)

Hình VI. Các kích thước mạch từ của m.b.a

a) Tiết diện trụ và gông;

b) Các kích thước chính của lõi

11. Trọng lượng sắt gông theo (5-14):

$$G_g = 2.0,4918.2.0,52.7650 + 2.79,7 = 784,09 + 159,4 = 943,5 \text{ kg.}$$

12. Trọng lượng sắt trụ theo (5-15):

$$G_t = 3.0,810.0,04759.7650 + 3(0,04759.0,25.7650 - 79,7) \\ = 884,7 + 34 = 918,7 \text{ kg.}$$

13. Trọng lượng sắt toàn bộ của trụ và gông:

$$G = 943,5 + 918,7 = 1862,2 \text{ kg.}$$

§6. TÍNH TỔN HAO VÀ DÒNG ĐIỆN KHÔNG TẢI

1. Lõi thép làm bằng tôn cán lạnh mã hiệu 3404, dày 0,35 mm do đó trị số tự cảm trong trụ sắt và trong gông là:

$$B_t = \frac{16,63}{4,4450.0,04759} = 1,588 \text{ T;}$$

$$B_g = \frac{16,63}{4,44.50.0,04918} = 1,537 \text{ T.}$$

Tiết diện khe không khí ở mỗi nối thẳng bằng tiết diện trụ hoặc gông.
Tiết diện khe không khí ở mỗi nối nghiêng bằng:

$$T_n = \sqrt{2.0,04759} = 0,0673 \text{ m}^2$$

2. Theo bảng 45 với tôn 3404, dày 0,35 mm, tra được các suất tổn hao sắt tương ứng:

$$\text{Với } B_t = 1,588 \text{ T; } p_t = 1,269 \text{ W/kg; } p_k = 974 \text{ W/m}^2;$$

$$\text{Với } B_g = 1,537 \text{ T; } p_g = 1,163 \text{ W/kg; } p_k = 900 \text{ W/m}^2;$$

$$\text{Với } B_{kn} = 1,123 \text{ T; } p_{kn} = 445 \text{ W/m}^2.$$

3. Theo (5-22) ở mục 5.2, đối với mạch từ phẳng, nối nghiêng ở 4 góc, trụ giữa nối thẳng, lõi sắt không đột lỗ, tôn có ủ sau khi cắt, có khử bavia, ta tìm được $k_{pc} = 1,05$; $k_{pb} = 1,00$; $k_{pg} = 1,00$; $k_{pe} = 1,03$; $k_{pt} = 1,05$; $k_{po} = 10,18$ (trong các bảng 46a, b; 47, 48). Do đó:

4. Tổn hao không tải:

$$P_o = 1,05.1,00(1,269.918,7 + 1,163.784,1 - 4.1,163.79,7 + \\ + \frac{1,269 + 1,163}{2} 10,18.79,7) + 4.0,0673.445 + 10,476.974 + \\ + 2.0,0492.900].1,00.1,03.1,05 = 3402 \text{ W.}$$

$$\text{Sai lệch so với tiêu chuẩn là } \frac{3402 - 3100}{3100} 100 = 9,7\%$$

4. Theo bảng 50 ta tìm được suất từ hóa:

- với $B_i = 1,588$ T thì $q_i = 1,715$ VA/kg; $q_{k,i} = 18480$ VA/m²;
- với $B_g = 1,537$ T thì $q_g = 1,474$ VA/kg; $q_{k,g} = 15580$ VA/m²;
- với $B_{kn} = 1,123$ T thì $q_{k,n} = 2620$ VA/m².

5. Đối với kết cấu lõi thép và công nghệ chế tạo mạch từ có ủ lá tôn sau khi cắt dập ta dùng công thức (5-30), trong đó các hệ số: $k_{ig} = 1,0$; $k_{il} = 1,05$; $k_{ic} = 1,05$; $k_{ih} = 1,00$; $k_{ir} = 1,32$; $k_{in} = 42,4$ (bảng 53) do đó:

Công suất từ hóa không tải:

$$Q_{\text{ct}} = [1,18.1,00 (1,75.918,7.1,474.784,1 - 4.1,474.79,7 + \\ + \frac{1,715 + 1,474}{2} 42,40.1,32.79,7) + 4.2620.0,0673 + 1,0.18480.0,0476 \\ + 2,0,0492.15580].1,00.1,05.1,05 = 15541 \text{ VA.}$$

6. Thành phần phản kháng của dòng điện không tải:

$$i_{\text{ox}} = \frac{15541}{10.1600} = 0,971\%.$$

7. Thành phần tác dụng của dòng điện không tải:

$$i_{\text{or}} = \frac{3402}{10 \times 1600} = 0,212\%.$$

8. Dòng điện không tải toàn phần:

$$i_{\text{ct}} = \sqrt{0,212^2 + 0,971^2} = 0,974\%$$

Trị số dòng điện không tải của dây quấn HA tương ứng là:

$$I_{\text{ox}} = 1339 \frac{0,971}{100} = 13 \text{ A}; I_{\text{or}} = 1339 \frac{0,212}{100} = 2,84 \text{ A}$$

$$\text{và} \quad I_{\text{ct}} = 1339 \frac{0,994}{100} = 13,3 \text{ A}.$$

9. Hiệu suất của m.b.a khi tải định mức:

$$\eta = (1 - \frac{3402 + 18792}{1600000 + 3402 + 18792}) 100 = 98,63\%.$$

§7. TÍNH TOÁN NHIỆT

A- Tính toán nhiệt của dây quấn

1. Nhiệt độ chênh trong lòng dây quấn với mặt ngoài của nó:

Dây quấn HA theo (6-1):

$$\theta_{o1} = 839.0,25.10^{-3}/0,17 = 1,23^{\circ}\text{C},$$

trong đó δ là chiều dày cách điện một phía của dây dẫn, $\delta = 0,25.10^{-3} \text{ m}$;

q_1 là mật độ dòng nhiệt trên bề mặt dây quấn HA theo (6-2''a):

$$q_1 = \frac{107,3,39.10^6.1339,0,5.1,05}{0,8(0,008 + 0,030)} 10^{-10} = 839 \text{ W/m}^2;$$

$$\lambda_{cd} = 0,17 \text{ W/(m.}^{\circ}\text{C)} \text{ tra ở bảng 54.}$$

Dây quấn CA:

$$\theta_{o2} = 587.0,25.10^{-3}/0,17 = 0,86^{\circ}\text{C}.$$

$$\text{trong đó: } q_2 = \frac{107,3,46.10^6.26,4.22.1,05}{0,8(0,0061 + 0,0042)} 10^{-10} = 587 \text{ W/m}^2.$$

2. Nhiệt độ chênh giữa mặt ngoài dây quấn đối với dầu:

Dây quấn HA:

$$\theta_{o,d1} = 1,0.1,1.0,35.0,85.839^{0,6} = 18,59^{\circ}\text{C},$$

trong đó $k_1 = 1,0$ khi làm lạnh tự nhiên bằng dầu;

$$k_2 = 1,1 \text{ đối với dây quấn trong (HA);}$$

$$k_3 = 0,85 \text{ theo bảng 55, khi } h_r/a = 5/30.$$

Dây quấn CA:

$$\theta_{o,d2} = 1,0.1,0.0,95.0,35.587^{0,6} = 15,24^{\circ}\text{C},$$

trong đó: $k_1 = 1,0$; $k_2 = 1,0$; $k_3 = 0,95$ khi $h_r/a = 4,5/42$.

3. Nhiệt độ chênh trung bình của dây quấn đối với dầu:

$$\text{Dây quấn HA: } \theta_{o,dth} = 1,23 + 18,59 = 19,82^{\circ}\text{C};$$

$$\text{Dây quấn CA: } \theta_{o,dth} = 0,86 + 15,24 = 16,10^{\circ}\text{C}.$$

B. Tính toán nhiệt của thùng

1. Theo bảng 57, với công suất của m.b.a, ta chọn kết cấu thùng vách phẳng có bộ tản nhiệt kiểu ống thẳng. Các kích thước tối thiểu bên trong thùng như ở hình VIIa, b.

2. Các khoảng cách cách điện từ dây dẫn ra đến vách thùng, đến xà ép gông trên được xác định như sau:

$$s_1 = 40 \text{ mm là khoảng cách đến vách thùng cho dây dẫn ra CA có}$$

$$U_{th2} = 85 \text{ kV, bọc cách điện 4 mm (theo bảng 31);}$$

$$s_2 = 42 \text{ mm (là khoảng cách đến xà ép gông cho dây dẫn ra CA có)}$$

$U_{th2} = 85 \text{ kV}$, bọc cách điện 4 mm (theo bảng 31);

$s_3 = 25 \text{ mm}$ là khoảng cách đến vách thùng cho dây dẫn ra HA không bọc cách điện (theo bảng 31);

$s_4 = 90 \text{ mm}$ là khoảng cách đến dây quấn CA có $U_{th2} = 85 \text{ kV}$ cho dây dẫn ra HA có $U_{th1} = 5 \text{ kV}$, không bọc cách điện (theo bảng 32).

3. Chiều rộng tối thiểu của thùng theo hình VIIa, b:

$$B = D''_2 + (s_1 + s_2 + d_2 + s_3 + s_4 + d_1) \cdot 10^{-3} \\ = 0,49 + (40 + 42 + 10 + 25 + 90 + 20) \cdot 10^{-3} = 0,717 \text{ m.}$$

Để tâm trụ m.b.a ở giữa ta lấy $B = 0,760 \text{ m}$.

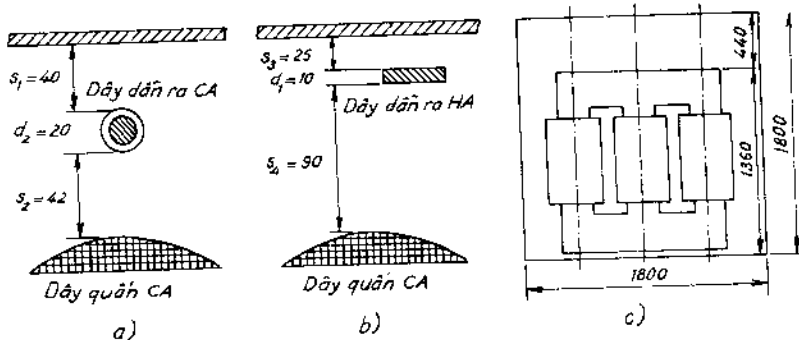
4. Chiều dài thùng dầu:

$$A = 2C + B = 2,052 + 0,76 = 1,800 \text{ m.}$$

5. Chiều cao ruột máy:

$$H_1 = 0,81 + 2,025 + 0,05 = 1,36 \text{ m}$$

trong đó chiều cao trụ 0,81 m, chiều cao gông 0,25 m; chiều dày tấm đệm gông dưới 0,05 m.



Hình VII. Các khoảng cách tối thiểu bên trong (a) và kích thước thùng (b) của m.b.a BAF 1600/35.

6. Khoảng cách từ gông trên đến nắp thùng theo bảng 58 khi bộ điều chỉnh điện áp đặt nằm ngang giữa gông trên và nắp thùng ta lấy:

$$H_2 = 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m.}$$

7. Chiều cao thùng:

$$H = 1,36 + 0,4 = 1,76 \text{ m}$$

8. Để mở rộng được bề mặt làm lạnh cần thiết hợp lý nhất là chọn bộ

tản nhiệt kiểu ống thẳng có khoảng cách hai ống góp $A = 1615 \text{ m}$ (bảng 63) có bề mặt đối lưu của ống $M_{\text{đl}} = 4,96 \text{ m}^2$ và hai ống góp có bề mặt đối lưu $M_{\text{gđl}} = 0,34 \text{ m}^2$

Để bố trí được bộ tản nhiệt đã chọn, ta tính lại chiều cao thùng như sau:

$$H = A + c_1 + c_2 = 1,615 + 0,085 + 0,100 = 1,800 \text{ m},$$

trong đó $c_1 = 0,085 \text{ m}$; $c_2 = 0,100 \text{ m}$ là khoảng cách tâm trục mặt bích ống góp đến mặt dưới và mặt trên thùng (xem chú thích (bảng 63).

9. Nhiệt độ chênh trung bình cho phép của dầu đối với không khí cho dây quấn nóng nhất HA:

$$\theta_{\text{đ,k}} = 65 - 19,82 \approx 45^\circ\text{C}.$$

10. Nhiệt độ chênh của lớp dầu trên so với không khí:

$$1,2 \theta_{\text{đ,k}} = 1,2.45 = 54 < 60^\circ\text{C}$$

11. Nhiệt độ chênh trung bình của vách thùng đối với không khí θ_{tk} :

Sơ bộ lấy nhiệt độ chênh của dầu đối với vách thùng trong $\theta_{\text{đ,t}} = 5^\circ\text{C}$, dự phòng 2°C thì:

$$\theta_{\text{t,k}} = \theta_{\text{đ,k}} - \theta_{\text{đ,t}} = 45 - 5 - 2 = 38^\circ\text{C}.$$

12. Bề mặt đối lưu của thùng phẳng:

$$M_{\text{t,đl}} = H[2(A - B) + \pi B] = 1,80 [2(1,80 - 0,76) + \pi.0,76] = 8,045 \text{ m}^2$$

13. Bề mặt bức xạ của thùng có bộ tản nhiệt theo (6-21):

$$M_{\text{b,x}} = 8,045 \times 1,5 = 12,06 \text{ m}^2$$

trong đó $k = 1,5$ tra ở bảng 59.

14. Bề mặt đối lưu cần thiết đối với trị số $\theta_{\text{t,k}} = 38^\circ\text{C}$ theo (6-22):

$$M'_{\text{đl}} = \frac{1,05(18000 + 3400)}{2,5.38^{1,25}} - 1,12 \times 12,06 = 81,76 \text{ m}^2$$

- Bề mặt đối lưu của nắp thùng:

$$\begin{aligned} M_{\text{n,đl}} &= 0,5 \left[(A - B)(B + 0,16) + \pi \frac{(B + 0,16)^2}{4} \right] = \\ &= 0,5 \left[(1,80 - 0,76)(0,76 + 0,16) + \pi \frac{(0,76 + 0,16)^2}{4} \right] \approx 0,809 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

trong đó 0,16 là bề rộng cả hai bên của vành nắp:

0,5 là hệ số kể đến sự che khuất bề mặt thùng.

- Bề mặt đối lưu của các bộ tản nhiệt

$$\Sigma M_{\text{b,đl}} = 81,76 - 8,045 - 0,809 = 72,91 \text{ m}^2.$$

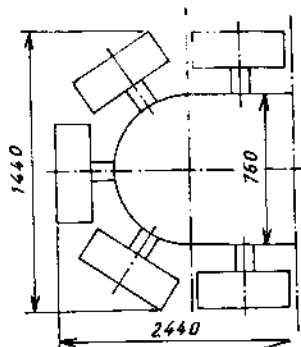
- Bề mặt đối lưu của một bộ tản nhiệt qui về bề mặt thùng phẳng (xem bảng 56):

$$M_{b,dl} = M_{o,dl}k_{hd} + M_{g,dl} = 4,961.1,26 + 0,34 = 6,59 \text{ m}^2$$

- Số bộ tản nhiệt cần thiết:

$$n_b = \Sigma M_{b,dl} / M_{b,dl} = 79,1 / 6,59 \approx 12$$

Ta lấy 10 bộ tản nhiệt, bố trí như hình VIII



Hình VIII. Bố trí các bộ làm lạnh trên vách thùng cho m.b.a BAD 1600/35

Vậy bề mặt đối lưu thực của thùng là:

$$M_{dl} = \Sigma M_{b,dl} + M_{f,dl} + M_{n,dl} = 10.6,59 + 8,045 + 0,81 \approx 74,8 \text{ m}^2$$

Bề mặt bức xạ (theo hình VIII): $M_{bx} = 12,2 \text{ m}^2$

15. Nhiệt độ chênh trung bình của mặt ngoài của ống đối với không khí theo (6-47):

$$\theta_{t,k} = \left[\frac{1,05(P_n + P_o)}{2,8M_{bx} + 2,5M_{dl}} \right]^{0,8} = \left[\frac{1,05(18000 + 3400)}{2,8.12,2 + 2,5.74,8} \right]^{0,8} \approx 35,4^\circ\text{C}.$$

16. Nhiệt độ chênh trung bình của dầu sát vách thùng đối với vách thùng theo (6-48) với 10 bộ tản nhiệt mỗi bộ có $M_b = M_{o,dl} = 4,961 \text{ m}^2$:

$$\begin{aligned} \theta_{d,t} &= 0,165 \left[\frac{1,05(P_n + P_o)}{\Sigma M_b + M_{f,dl} + 0,5M_n} \right]^{0,6} \\ &= 0,165 \left[\frac{1,05(18000 + 3400)}{10.4,961 + 8,045 + 0,81} \right]^{0,6} = 5,3^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

17. Nhiệt độ chênh trung bình của dầu đối với môi trường xung quanh:

$$\theta'_{d,k} = \theta_{d,t} + \theta_{t,k} = 5,7 + 38,8 = 44,5^\circ\text{C}.$$

18. Nhiệt độ chênh của lớp dầu trên đối với môi trường xung quanh

$$\theta_{d,k} = 1,2.\theta'_{d,k} = 1,2.44,5 = 53,4^\circ\text{C} < 60^\circ\text{C}.$$

19. Nhiệt độ chênh của dây quấn đối với môi trường:

$$\text{Dây quấn HA: } \theta_{o,k1} = 1,23 + 18,59 + 44,5 = 64,32^\circ\text{C} < 65^\circ\text{C}.$$

$$\text{Dây quấn CA: } \theta_{o,k2} = 0,86 + 15,24 + 44,5 = 60,6^\circ\text{C} < 65^\circ\text{C}$$

Như vậy nhiệt độ chênh của lớp dầu trên $\theta_{d,k} < 60^\circ\text{C}$ và của dây quấn $\theta_{o,k} < 65^\circ\text{C}$ đều nằm trong phạm vi cho phép.

VÍ DỤ TÍNH TOÁN 2

TÍNH TOÁN DÂY QUẤN MÁY BIẾN ÁP DẦU BA PHA BAD 630/35. DÙNG DÂY NHÔM

§1. TÍNH DÂY QUẤN HA

Cho biết số liệu chính của dây quấn: Điện áp pha $U_{11} = 690$ V, dòng điện pha $I_{11} = 340$ A, điện áp vòng dây $u_v = 9,6$ V, số vòng $w_1 = 72$, mật độ dòng điện tính toán sơ bộ $\Delta_1 = 1,5 \div 1,7$ MA/m², đường kính trong dây quấn $D'_{11} = 0,226$ m, chiều cao dây quấn $l_1 = 0,790$ m.

1. Theo bảng 38, với công suất $S = 630$ kVA, $I = 304$ A, $U = 690$ V, ta chọn kiểu dây quấn hình ống hai lớp dây dẫn chữ nhật.

2. Tiết diện một vòng dây:

$$T_1 = 304(1,6 \cdot 10^{-3}) = 0,000190 \text{ m}^2 = 190 \text{ mm}^2.$$

3. Chiều cao một vòng dây:

$$h_{v1} = \frac{0,790}{0,5 \times 72 + 1} = 0,0214 \text{ m} = 21,4 \text{ mm}.$$

4. Chọn dây gồm 4 sợi chập quấn gần đúng sợi dây (hình IX), mã hiệu dây A115 theo bảng 21, có kích thước như sau:

$$\text{A115} \times 4, \frac{4,75 \times 10}{5,25 \times 10,5};$$

$$T_{d1} = 46,6 \text{ mm}^2$$

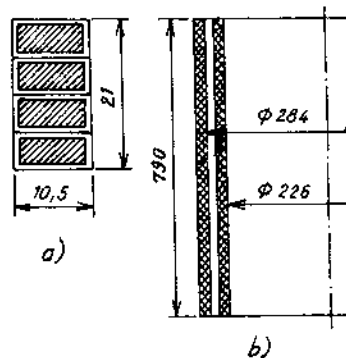
Tiết diện một vòng dây:

$$T_1 = 4 \times 46,6 = 186,4 \text{ mm}^2 \\ = 0,0001864 \text{ m}^2.$$

5. Mật độ dòng điện thực:

$$\Delta_1 = 304/0,0001864 \\ = 1,63 \text{ MA/m}^2.$$

6. Chiều cao thực mỗi vòng dây:



Hình IX. Các kích thước chính dây quấn HA của máy biến áp BAD630/35:
a- Tiết diện ngang của một vòng dây; b- Đường kính trong, ngoài và chiều cao dây quấn HA.

$$h_{vj} = 4 \times 5,25 \cdot 10^{-2} = 0,021 \text{ m.}$$

7. Bề dày của dây quấn HA:

$$a_{vj} = (10,5 \times 2 + 8) \cdot 10^{-3} = 0,029 \text{ m,}$$

trong đó bề rộng rãnh dầu giữa hai lớp $a_{vj} = 8 \text{ mm}$.

8. Chiều cao thực của dây quấn HA:

$$l_1 = h_{vj}(w_{12} + 1) + h_c = 0,021(36 + 1) + 0,013 = 0,790 \text{ m;}$$

trong đó được chèn thêm một lượt giấy cách điện giữa các vòng, có chiều dày tổng cộng là $h_c = 0,013 \text{ mm}$.

9. Đường kính trong của dây quấn HA:

$$D_j = 0,226 \text{ m.}$$

Đường kính ngoài của dây quấn HA:

$$D_1^* = 0,226 + 2 \times 0,029 = 0,284 \text{ m.}$$

Kích thước hướng kính của dây quấn xem ở hình IX.

10. Trọng lượng dây quấn, theo (4-4c):

$$G_{dq1} = 8,47 \cdot 10^3 \times 3 \times 0,255 \times 72 \times 0,0001864 = 86,95 \text{ kg.}$$

11. Tổn hao chính (nhôm) theo (4-3'):

$$P_{\Delta 11} = 12,75 \cdot 10^{-12} \times 1,63 \cdot 10^{12} \times 86,95 = 2946 \text{ W.}$$

12. Tổn hao phụ, ta tính hệ số tổn hao phụ theo (4-10b) và (4-11):

$$k_{11} = 1 + 0,037 \cdot 10^8 \times 0,676 \times 0,01^4 \times 2^2 = 1,10.$$

$$\text{trong đó } \beta = \left(\frac{4 \times 4,75 \cdot 10^{-3}}{0,790} \cdot 0,95 \right)^2 = 0,676.$$

13. Tổn hao ngắn mạch tổng của dây quấn HA:

$$P_{\Delta 11} = 1,10 \times 2946 = 3240,6 \text{ W.}$$

14. Bề mặt làm lạnh của dây quấn theo (3-17):

$$M_{11} = 2 \times 3 \times 0,75 \times \pi (0,226 + 0,284) \cdot 0,79 = 5,695 \text{ m}^2.$$

15. Mật độ dòng nhiệt trên bề mặt dây quấn:

$$q_1 = 3240,6 / 5,695 = 569,0 \text{ W/m}^2.$$

16. Nhiệt giáng trong dây quấn:

$$\theta_{vj} = 569 \times 0,25 \cdot 10^{-3} / 0,17 = 0,84^\circ\text{C.}$$

17. Nhiệt độ chênh giữa dây quấn với dầu theo (6-10a):

$$\theta_{vd} = 0,285 \times 569 \cdot 10^{0,6} = 12,82^\circ\text{C.}$$

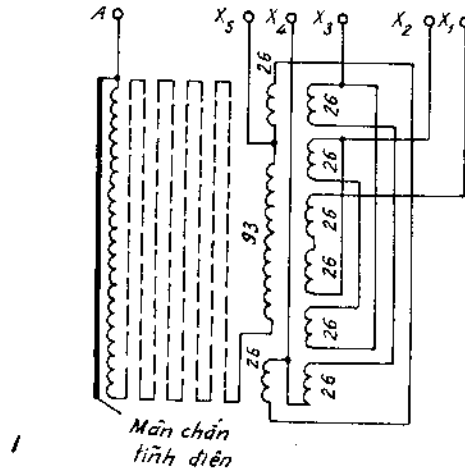
18. Nhiệt độ chênh bình quân giữa dây quấn với dầu:

$$\theta_{\text{quần}} = 0,84 + 12,82 = 13,66^{\circ}\text{C}.$$

§2. TÍNH DÂY QUẦN CA

Số liệu dây quần như sau: điện áp pha $U_{12} = \frac{35000}{\sqrt{3}} = 20204 \text{ V}$, dòng điện pha $I_{12} = 10,4 \text{ A}$, điện áp vòng dây $u_v = 9,6 \text{ V}$, số vòng dây ở các đầu phân áp $35000 \pm (2 \times 2,5\%) \text{ V}$ là 2209 - 2157 - 2105 - 2053 - 2001, tiết diện vòng dây $T_2 = 8,81 \text{ mm}^2$.

Dây quần hình ống nhiều lớp dây dẫn tròn, dây nhôm mã hiệu АПБ có kích thước $d_2/d_2' = 3,35/3,75 \text{ mm}$, chiều cao dây quần $l_2 = l_1 = 0,79 \text{ m}$. Dây quần được quấn trên ống cách điện có đường kính $(0,31/0,32) \times 0,89 \text{ m}$. Đường kính ngoài của dây quần HA đã biết $D_1' = 0,284 \text{ m}$. Rãnh đầu cách điện giữa dây quần CA và HA là $a_{12} = 27 \text{ mm}$.



Hình X. Sơ đồ dây quần (A) có các đầu điều chỉnh của máy biến áp BAD630/35 (có ghi rõ số vòng dây ở các cấp điều chỉnh)

1. Mật độ dòng điện.

$$\Delta_2 = 10,4 / (8,81 \cdot 10^{-4}) = 1,18 \text{ MA/m}^2.$$

2. Số vòng trong một lớp:

$$w_{12} = \frac{0,79}{3,75 \cdot 10^{-3}} - 1 = 209.$$

3. Số lớp dây:

$$n_{12} = 2210 / 209 = 10,5 \approx 11$$

Phân phối cụ thể như sau:

- Lớp thứ nhất đến lớp thứ 9: $212 \times 9 = 1908$

- Lớp thứ 10: $93 + 2 \times 26 = 145$

- Lớp thứ 11: $6 \times 26 = 156$

Tổng cộng: 2209

Để đảm bảo tính đối xứng của các vòng dây điều chỉnh theo chiều cao dây quần, ở hai lớp ngoài cùng (lớp 10 và lớp 11) ta bố trí chúng như trên

hình X.

Để đảm bảo tỏa nhiệt tốt, ta chia dây quấn CA thành 2 tổ lớp: tổ lớp trong gồm 4 lớp, tổ lớp ngoài gồm 7 lớp còn lại; giữa là một rãnh dầu $a'_{22} = 6$ mm. Để bảo vệ xung quá điện áp, ta bố trí màn chắn tĩnh điện hình trụ ở lớp trong cùng của dây quấn CA. Màn chắn làm bằng nhôm lá, dày 0,5mm, có bọc cách điện hai phía bằng giấy cáp. Chiều dày tổng của màn chắn tĩnh điện kể cả cách điện là 3 mm.

4. Điện áp làm việc giữa hai lớp:

$$U_1 = 9,6.2.214 = 4070 \text{ V.}$$

Theo bảng 26 ta chọn được cách điện lớp gồm 7 lớp giấy cáp $7 \times 0,12 = 0,84$ mm. Đầu thừa cách điện của dây quấn CA là $l_{d2} = 22$ mm.

5. Chiều dày dây quấn CA:

$$\begin{aligned} a_2 &= \text{màn chắn} + \text{tổ lớp trong} + \text{rãnh dầu} + \text{tổ lớp ngoài} \\ &= [3 + (4 \times 3,75 + 3 \times 0,84 + 6 + 7 \times 3,75 + 6 \times 0,84)] \cdot 10^{-3} = 57,88 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\ &\approx 0,058 \text{ m.} \end{aligned}$$

Chú ý: Khi tính toán điện áp ngắn mạch phải dùng biểu thức:

$$a_2 = 0,053 - 0,003 = 0,055 \text{ m.}$$

6. Đường kính trong dây quấn CA:

$$D_2 = 0,284 + 2 \times 0,027 = 0,338 \text{ m.}$$

7. Đường kính ngoài dây quấn CA:

$$D_2' = 0,338 + 2 \times 0,058 = 0,545 \text{ m.}$$

Để đảm bảo cách điện cho các đầu điều chỉnh điện áp, cứ 5 vòng cuối của từng cấp điều chỉnh ta bọc thêm một băng vải cách điện dày 0,20 mm, cụ thể là ở các vòng thứ 1997 - 2001; 2049 - 2053; 2101 - 2105; 2153 - 2157 và 2205 - 2209.

8. Trọng lượng dây quấn CA, theo (4-4c):

$$G_{dq2} = 8,47 \times 3 \times 0,396 \times 2209 \times 8,81 = 195,82 \text{ kg.}$$

9. Tổn hao chính trong dây quấn theo (4-3'):

$$P_{A12} = 12,75 \cdot 10^{-12} \cdot 1,18^{12} \cdot 10^{12} \cdot 195,82 = 3476,4 \text{ W.}$$

10. Tổn hao phụ, ta tính hệ số tổn hao phụ theo (4-10b) và (4-11):

$$k_{12} = 1 + 0,017 \cdot 10^8 \times 0,699 \times 0,00335^4 \cdot 11^2 = 1 + 0,0181 = 1,0181.$$

trong đó $\beta^2 = (312 \times 3,35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95 / 0,790)^2 = 0,699$.

11. Tổng tổn hao ngắn mạch của dây quấn CA:

$$P_{n2} = 1,0181 \times 3476,4 = 3539,3 \text{ W.}$$

12. Bề mặt làm lạnh của dây quấn theo (3-17):

$$M_{l2} = 3 \times 2 \times 0,8 \times (0,338 + 0,454) \times 0,79 = 9,435 \text{ m}^2.$$

13. Mật độ dòng nhiệt trên bề mặt dây quấn:

$$q_2 = 3539,3 / 9,435 \approx 375 \text{ W/m}^2.$$

14. Nhiệt giáng trong dây quấn:

Nhiệt giáng trong dây quấn được tính với tổ lớp dây quấn ngoài và có kích thước hướng kính lớn hơn:

Tổn hao trong 1 m³ thể tích dây quấn theo (6-4b):

$$p = 2,71 \frac{1,18^2 \cdot 10^{12} \cdot 3,25^2}{(3,75 + 0,84) \cdot 3,75} \cdot 10^{-8} = 23155 \text{ W/m}^3$$

Lần lượt theo (6-6), (6-5), (6-3a) và (6-9) ta tính:

- Suất dẫn nhiệt bình quân quý ước của dây quấn theo (6-6):

$$\lambda = 0,17 / \sqrt{0,119} = 0,7 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)},$$

trong đó $\alpha = (3,75 - 3,35) / 3,35 = 0,119$.

- Suất dẫn nhiệt trung bình theo (6-5):

$$\lambda_{tb} = \frac{0,7 \times 0,17(3,75 + 0,84)}{0,7 \times 0,84 + 0,17 \times 3,75} = 0,445 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}.$$

- Nhiệt giáng toàn phần của tổ hợp dây quấn ngoài cuộn CA theo (6-3a):

$$\theta_o = \frac{23155 \times 31,29^2 \cdot 10^{-6}}{8 \times 0,445} = 6,36^\circ\text{C.}$$

- Nhiệt giáng trung bình của dây quấn CA theo (6-9):

$$\theta_{o, tb} = \frac{2}{3} \times 6,36 = 4,24^\circ\text{C.}$$

15. Nhiệt giáng của mặt ngoài dây quấn CA đối với dầu theo (6-10a)

$$\theta_{o, d} = 0,285 \times 375^{0,6} = 9,98^\circ\text{C.}$$

16. Nhiệt độ chênh trung bình của dây quấn CA đối với dầu:

$$\theta_{o, tb} = 4,24 + 9,98 = 14,22^\circ\text{C.}$$

PHỤ LỤC CÁC BẢNG TRA CỨU

Bảng 1. Sơ đồ và tổ nối dây của m.b.a ba pha⁽¹⁾

Đồ thị véctơ s.d.đ		Ký hiệu qui ước	
CA	HA	trong bản vẽ	trong hành văn
		-0	Y Y _n - 0
		-11	Y D - 11
		-11	Y _n D - 11
		-11	Y Z _n - 11
		-11	D Y _n - 11

(1) Tiêu chuẩn có qui định tổ nối dây D/D-0

Bảng 2. Điện áp thử với tần số công nghiệp (50 Hz)
cho các m.b.a điện lực ngâm dầu

Cấp điện áp (kV)	3	6	10	15	20	35	110	150	220	330	500
Điện áp làm việc lớn nhất (kV)	3,6	7,2	12,0	17,5	24,0	40,5	126	172	252	363	525
Điện áp thử U_t (kV)	18	25	35	45	55	85	200	230	325	460	630

Chú thích: Dây quấn các m.b.a dầu và khô có điện áp làm việc đến 1 kV có $U_t = 5$ kV

Bảng 3. Điện áp thử với tần số công nghiệp (50Hz) đối với các m.b.a khô

Cấp điện áp (kV)	dưới 10	3	6	10	15
Điện áp thử U_t (kV)	3	10	16	24	37

Bảng 4. Số bậc thang trong trụ của các máy biến áp ba pha ngâm dầu

Các đại lượng		Lắp trụ bằng nêm với dây quấn, tiết diện trụ không có rãnh dầu								
S (kVA)		dưới 16			16	25	40- 100	160 - 630		
Đường kính trụ d (m)		dưới 0,08			0,08	0,09	0,10 - 0,14	0,16 - 0,18	0,20	0,22
Không có tấm sắt ép trụ	Số bậc	1	2	3	4	5	6	6	7	8
	k_c	0,636	0,786	0,851	0,861	0,890	0,91-0,92	0,913	0,918	0,928
Có tấm sắt ép trụ	Số bậc	-	-	-	-	-	-	-	6	7
	k_c	-	-	-	-	-	-	-	0,884	0,901

Bảng 4 (tiếp theo)

Các đại lượng		Lắp trụ bằng nêm với dây quấn, tiết diện trụ không có rãnh dầu								
S (kVA)		1000 - 1600		2500 - 6300		10000	16000	25000	32000	80000
Đường kính trụ d (m)		0,24 - 0,26	0,28 - 0,30	0,32 - 0,34	0,36 - 0,38	0,40 - 0,42	0,45 - 0,50	0,53 - 0,56	0,60 - 0,67	0,71 - 0,75
Không có tấm sắt ép trụ	Số bậc	8	8	9	9	11	14	15	16	16
	k_c	0,925	0,928	0,929	0,913	0,922	0,927	0,927	0,929	0,931
Có tấm sắt ép trụ	Số bậc	7	7	8	8	10	13	14	15	15
	k_c	0,900	0,9-0,91	0,912	0,89-0,9	0,907	0,912	0,914	0,918	0,920

Chú thích:

- 1) Trong hệ số k_c có tính đến sự có mặt của các rãnh làm lạnh ở trong tiết diện trụ.
- 2) Khi sử dụng bảng cho m.b.a một pha hay m.b.a ba dây quấn phải nhân công suất của nó với 1,5.
- 3) Đối với mạch từ không gian tôn lá thì trị số k_c trong bảng phải nhân với 0,02.
- 4) Đối với mạch từ không gian dùng tôn cuộn lại thì lấy $k_c = 0,905$.

Bảng 5. Số bậc thang trong trụ của máy biến áp khô

S (kVA)	Dưới 10	10	10 - 100		100 - 400		630 - 1000	1000
d (m)	dưới 0,08	0,08	0,09 - 0,14		0,16 - 0,22		0,24 - 0,26	0,28 - 0,32
Số bậc	3	4	5	6	7	8	7	8
k_c	0,851	0,877	0,915	0,920	0,930	0,935	0,800	0,820
Số rãnh dọc	Không có						1 rãnh	2 rãnh

Chú thích:

- 1) Trong hệ số k_c đã tính đến sự có mặt của các rãnh làm lạnh trong trụ
- 2) Khi đường kính d đến 0,22 m trụ được ép bằng nêm với cuộn dây; khi $d > 0,22$ m thì ép bằng đai
- 3) Khi sử dụng bằng đối với m.b.a một pha, công suất của nó phải nhân với 1,5

Bảng 6. Chọn cách ép trụ và gông, hình dáng tiết diện và hệ số tăng cường gông k_g của các máy biến áp dầu và khô

S (kVA)	Cách ép trụ	Cách ép gông	Hình dạng tiết diện gông	Hệ số k_g
25 - 100	Bằng nêm với cuộn dây (hình 2-4a)	Bằng xà, bằng bulông đặt phía ngoài gông (hình 2-6b)	3-5 bậc	1,025
100 - 630			số bậc ít hơn trụ 1	1,015 - 1,025
1000 - 6300	Bằng đai vải thủy tinh (hình 2-4b)	Bằng xà, đai ép bán nguyệt (hình 2-6c)	đến 2 bậc	

Bảng 7. Số lượng rãnh làm lạnh dọc và ngang lá thép của máy biến áp ba pha

a) Máy biến áp dầu

S (kVA)	đến 4000	6300 - 16000	25000 - 32000	40000 - 80000
d (m)	đến 0,34	0,36 - 0,48	0,50 - 0,60	0,63 - 0,75
Số rãnh dọc	-	1	2	3

Bảng 7 (tiếp theo)
b) Máy biến áp khô

S (kVA)	đến 400	630 - 1000	1600
d (m)	đến 0,22	0,24 - 0,25	0,28 - 0,32
Số rãnh dọc	-	1	2

Chú thích:

1) Trong các máy biến áp dầu, bề rộng rãnh dọc là 6 mm; rãnh ngang là 10 mm

2) Trong máy biến áp khô, bề rộng rãnh dọc là 20 mm.

3) Đường kính trụ của máy biến áp theo tiêu chuẩn quốc tế qui định như sau (m):

- đối với mạch từ không có rãnh ngang:

0,08; 0,085; 0,09; 0,092; 0,095; 0,10; 0,105; 0,11; 0,115; 0,12; 0,125; 0,13; 0,14; 0,15;
0,16; 0,17; 0,18; 0,19; 0,20; 0,21; 0,22; 0,225; 0,23; 0,24; 0,245; 0,25; 0,26; 0,27; 0,28;
0,29; 0,30; 0,31; 0,32; 0,33; 0,34; 0,35; 0,36; 0,37; 0,38; 0,39; 0,40; 0,42; 0,45; 0,48;
0,50; 0,52; 0,55; 0,60; 0,63; 0,67; 0,71; 0,75

- đối với mạch từ có rãnh làm lạnh ngang:

0,80; 0,85; 0,875; 0,90; 0,925; 0,95; 0,975; 1,00; 1,03; 1,06; 1,12; 1,15; 1,18; 1,22; 1,25;
1,28; 1,32; 1,36; 1,40; 1,45; 1,50

Bảng 8. Những đặc tính cơ bản của thép kỹ thuật điện cán lạnh
dùng trong máy biến áp điện lực

Chiều dày (mm)	Mã hiệu	Suất tổn hao p (W/kg) khi f = 50 Hz và B (T) không lớn hơn		Từ cảm B (T) khi cường độ từ trường (A/m) không nhỏ hơn	
		15/50	17/50	100	2500
0,35	3411	1,75	(2,50)	-	1,75
	3412	1,50	(2,20)	-	1,80
	3413	1,30	(1,90)	-	1,85
	3404	(1,10)	1,60	1,60	-
	3405	(1,03)	1,50	1,61	-
	3406	-	1,43	1,62	-
	3407	-	1,36	1,72	-
	3408	-	1,30	1,74	-
0,30	3404	(1,03)	1,50	1,60	
	3405	(0,97)	1,40	1,61	
	3406	-	1,33	1,62	
	3407	-	1,26	1,72	
	3408	-	1,20	1,74	

Bảng 8 (tiếp theo)

0,27	3405	(0,95)	1,38	1,61	
	3406	(0,89)	1,27	1,62	
	3407	-	1,20	1,72	
	3408	-	1,14	1,74	

Chú thích: 1) Đối với thép mã hiệu 3411, 3412 và 3413 (thuộc nhóm 1), các đặc tính từ cơ bản là suất tổn hao p ứng với $B = 1,5$ T khi $f = 50$ Hz và từ cảm B ứng với cường độ H là 2500 A/m; Đối với thép mã hiệu 3405, 3404, 3406, 3407, 3408 (thuộc nhóm 0), các đặc tính cơ bản là suất tổn hao p ứng với $B = 1,7$ T khi $f = 50$ Hz và từ cảm B ứng với cường độ H là 100 A/m. 2) Số liệu trong ngoặc đơn là không được tiêu chuẩn hóa qui định.

Bảng 9. Suất tổn hao p trong một số mã hiệu thép của một số hãng nước ngoài p (W/kg) khi $f = 50$ Hz, $B = 1,5$ T

Tên nước	Mã hiệu	δ (mm)	p (W/kg)	Tên nước	Mã hiệu	δ (mm)	p (W/kg)
Anh	51	0,35	1,12	Thụy Sĩ	M5	0,35	1,00
"	46	0,35	1,01	"	M5	0,30	0,97
Mỹ	M6X	0,35	1,11	"	M5	0,28	0,95
"	M6	0,30	1,07	"	M4	0,28	0,89
"	M5X	0,35	1,01	Nhật	Z11	0,35	1,13
Thụy Sĩ	M6	0,35	1,11	"	Z11	0,30	1,08
	M6	0,30	1,07	"	Z10	0,35	1,04

Bảng 10. Hệ số lấp đầy k_d đối với tôn cuộn cán lạnh

Mã hiệu	δ (mm)	Hình thức phủ cách điện	k_d
3404, 3405, 3406, 3407, 3408	0,35	Chịu nhiệt	0,97
	0,30		0,96
3405, 3406, 3407, 3408	0,27		0,95
3404, 3405, 3406, 3407, 3408	0,35	Chịu nhiệt và một lượt sơn cách điện	0,965
	0,30		0,955
3405, 3406, 3407, 3408	0,27		0,945

Chú thích: 1) Khi ép trụ bằng các thanh nhôm với cuộn dây (các m.b.a đến 630 (kVA) cũng như trong các mạch từ không gian làm kiểu tôn cuộn, hệ số k_d trong bảng phải giảm đi 0,01

2) Có thể sử dụng hệ số k_d trong bảng cho các loại tôn của các hãng nước ngoài có cùng chiều dày lá tôn.

3) Đối với tôn 0,35 mm, không phủ hai lượt sơn cách điện thì $k_d = 0,92 \div 0,93$.

**Bảng 11. Trị số (hướng dẫn) từ cảm trong trụ
của máy biến áp đối với các loại thép**

Mã hiệu	Công suất của máy biến áp S (kVA)		
	đến 16	25 - 100	từ 160 trở lên
3411, 3412, 3413	<i>a) Máy biến áp dầu</i>		
	1,45 - 1,50	1,50 - 1,55	1,55 - 1,60
3404, 3405, 3406, 3407, 3408	1,50 - 1,55	1,55 - 1,60	1,55 - 1,65
3411, 3412, 3413	<i>b) Máy biến áp khô</i>		
	1,35 - 1,40	1,40 - 1,45	1,45 - 1,55
3404, 3405, 3406, 3407, 3408	1,40 - 1,45	1,50 - 1,55	1,50 - 1,60

Chú thích:

- 1) Trong các m.b.a công suất từ 100000 kVA trở lên cho phép từ cảm đến 1,7 T.
- 2) Với tổn cân nóng B lấy đến 1,4 ÷ 1,45 T cho máy biến áp dầu, 1,2 - 1,3 T cho máy biến áp khô.

**Bảng 12. Trị số k trong công thức (2-36) đối với máy biến áp ba pha ngâm
dầu hai dây quấn bằng đồng**

S (kVA)	Cấp điện áp (kV)		
	10	35	110
Đến 250	0,63	0,65 - 0,58	-
400 - 630	0,53		
1000 - 6300	0,51 - 0,43	0,52 - 0,48	-
10000 - 80000	-	0,48 - 0,46	0,68 - 0,58

Chú thích:

- 1) Đối với dây quấn bằng nhôm, trị số k trong bảng hay theo chú thích 2, phải nhân với 1,25.
- 2) Đối với dây quấn làm bằng nhôm tấm của các m.b.a công suất từ 100 - 1000 kVA trị số k cũng như đối với dây dẫn bằng nhôm.
- 3) Đối với các m.b.a khô, dây quấn bằng đồng, công suất 10 - 160 kVA lấy $k = 0,8 \div 0,74$; công suất 160 ÷ 1600 kVA cấp điện áp 10 kV, $k = 0,58 \div 0,48$.
- 4) Đối với m.b.a ba dây quấn, điện áp 110 kV xem k như đối với điện áp dây quấn 35 kV (dây quấn $TA - HA$).
- 5) Đối với máy biến áp có bộ DDT, trị số k phải nhân 1,1.
- 6) Khi tổn hao ngắn mạch khác với tổn hao ngắn mạch tiêu chuẩn $\pm 10\%$, trị số k tương ứng phải nhân với 0,96 hay 1,04.

Bảng 13. Trị số hướng dẫn $a = d_{12}/d$ đối với dây quấn đồng

S (kVA)	Mức tổn hao ngắn mạch	Trị số a với cấp điện áp dây quấn CA (kV)		
		10	35	110
Đến 630	$12P_n$ theo tiêu chuẩn	1,33	1,37	-
	P_n theo tiêu chuẩn	1,36	1,40	-
	$0,8 P_n$ theo tiêu chuẩn	1,40	1,44	-
Từ 1000 đến 6300	$12 P_n$ theo tiêu chuẩn	1,35	1,37	-
	P_n theo tiêu chuẩn	1,38	1,40	-
	$0,8P_n$ theo tiêu chuẩn	1,42	1,44	-
Từ 10000 trở lên	$12P_n$ theo tiêu chuẩn	-	1,38	1,40
	P_n theo tiêu chuẩn	-	1,40	1,45
	$0,8P_n$ theo tiêu chuẩn	-	1,46	1,48

Chú thích: Với dây quấn bằng nhôm phải nhân trị số a trong bảng với 1,06

Bảng 14. Trị số hướng dẫn $b = 2a_2/d$ đối với máy biến áp dầu hai dây quấn ĐKT, dây quấn đồng và tổn hao ngắn mạch theo tiêu chuẩn

S (kVA)	Cấp điện áp (kV)		
	10	35	110
Đến 100	0,55	-	-
100 - 630	0,46 - 0,40	-	-
1000 - 6300	0,26 - 0,24	0,32 - 0,28	-
6300 - 63000	-	0,26	0,35

Chú thích:

- 1) Đối với dây quấn nhôm, phải nhân trị số trong bảng với 1,25
- 2) Với máy biến áp có ĐDT, trị số b trong bảng phải nhân với 1,2 khi điện áp 35 kV, với 1,75 khi điện áp 110 kV.

Bảng 15. Trị số k_f trong công thức (2-52) đối với máy biến áp ba pha

S (kVA)	Đến 100	160 - 630	1000 - 6300	10000 - 16000	25000 - 63000	80000 - 100000
	0,97	0,96-0,93	0,93-0,85	0,84-0,82	0,82-0,81	0,81-0,80

Chú thích: 1) Với máy biến áp khô, công suất 10 ÷ 160 kVA lấy $k_f = 0,99 ÷ 0,96$; công suất 250 ÷ 1600 kVA, $k_f = 0,92 ÷ 0,86$.

- 2) Đối với máy biến áp một pha, k_f được xác định theo 1,5 S

Bảng 16. Trị số hướng dẫn c_{dq} , c_{Fe} và $k_{dq,Fe}$ trong công thức (2-58) và (2-59)

S (kVA)	Cấp điện áp (kV)	Kim loại	Dạng điều	c_{dq} (Rup/kg)	c_{Fe} với mã hiệu tôn (Rup/kg)			$k_{dq,Fe}$ với mã hiệu tôn		
					3404	3405	3406	3404	3405	3406
25 - 630	10	nhôm	DKT	1,85	1,02	1,08	1,15	1,81	1,71	1,61
100 - 630	35	"	DKT	1,95	1,06	1,08	1,15	1,84	1,81	1,70
1000 - 16000	10 & 35	"	DKT	2,50	1,06	1,14	1,19	2,36	2,19	2,10
1000 - 6300	35	"	DDT	2,50	1,06	1,14	1,19	2,36	2,19	2,10
6300 - 16000	110	"	DDT	2,75	1,08	1,14	1,21	2,55	2,35	2,27
2500 - 63000	110	đồng	DDT	2,50	1,17	1,27	1,32	2,14	1,97	1,90

Chú thích: Các trị số c_{Fe} và $k_{dq,Fe}$ được tính cho tôn 3404 - 0,35 mm; 3405 - 0,30 mm và 3406 - 0,27 mm là kể đến giá tôn và số lượng tấm khác nhau trong mạch từ.

Bảng 17. Phạm vi trị số β hướng dẫn (có thể chọn)

a) Máy biến áp dầu

S (kVA)	Dây nhôm			Dây đồng		
	6 và 10 kV	35 kV	110 kV	6 và 10 kV	35 kV	110 kV
25 - 100	1,2 - 1,6	-	-	1,8 - 2,4	-	-
160 - 630	1,2 - 1,6	1,2 - 1,5	-	1,8 - 2,4	1,8 - 2,4	-
1000 - 6300	1,3 - 1,7	1,2 - 1,6	-	2,0 - 2,6	1,8 - 2,4	-
6300 - 16000	-	1,1 - 1,3	1,1 - 1,3	-	1,7 - 2,0	1,6 - 2,0
25000 - 80000	-	-	-	-	1,3 - 1,6	1,5 - 1,8

b) Máy biến áp khô

S (kVA)	Dây nhôm			Dây đồng		
	Đến 1 kV	6 và 10 kV	-	Đến 1 kV	6 và 10 kV	-
10 - 160	1,1 - 1,5	-	-	1,6 - 2,2	-	-
160 - 630	-	1,2 - 1,6	-	-	1,8 - 2,4	-
1000 - 1600	-	1,1 - 1,3	-	-	1,6 - 2,0	-

Chú thích:

1) Các trị số β ghi trong bảng mang tính tham khảo của các m.b.a dầu có điện áp 6, 10, 35 và 110 kV theo tiêu chuẩn qui định gần đây. Và các m.b.a khô ba pha theo tiêu chuẩn hiện thời.

2) Với tôn 3404, 3405 có độ dày 0,35 và 0,30 mm theo tiêu chuẩn qui định mới đây, nên dùng $B_T = 1,6 \div 1,65$ T cho các m.b.a dầu và $B_T = 1,4 \div 1,6$ T cho các m.b.a khô.

Bảng 18. Cách điện chính. Khoảng cách cách điện tối thiểu của dây quấn HA có tính đến các yêu cầu kết cấu

S (kVA)	U_{th} đối với HA (kV)	HA đến gông l_{01} (mm)	HA đến trụ (mm)			
			δ_{01}	a_{d1}	a_{o1}	l_{d1}
25 - 250	5	15	bìa 2 x 0,5	—	4	—
400 - 630	5*		"	—	5	—
1000 - 2500	5	lấy theo	4 x 0,5	6	15	18
630 - 1600	18; 25 và 35	điện áp	4 x 0,5	6	15	25
2500 - 6300	18; 25 và 35	thứ cuộn	4 x 0,5	8	17,5	25
≥ 630	45	dây CA	5 x 0,5	10	20	30
≥ 630	55		5 x 0,5	13	23	45
Mọi công suất	85		6 x 0,5	19	30	70

* Đối với dây quấn hình xoắn có điện áp thử $U_{th} = 5$ kV, các kích thước lấy theo hàng dưới với công suất 1000 ÷ 2500 kVA.

Bảng 19. Cách điện chính và khoảng cách cách điện tối thiểu của dây quấn CA (TA) có tính đến các yêu cầu kết cấu

S (kVA)	U_{tn} đối với CA(TA) (kV)	CA đến gông (mm)		Giữa CA (TA) và HA (mm)		Đầu thừa	Giữa CA và CA	
		l_{02}	δ_{01}	a_{12}	δ_{12}	l_{r12} (mm)	a_{22}	δ_{22}
25 - 100	18; 25 và 35	20	—	9	2,5	10	8	—
160 - 630	18; 25 và 35	30	—	9	3	15	10	—
1000 - 6300	18; 25 và 35	50	—	20	4	20	18	—
≥ 630	45	50	2	20	4	20	18	2
≥ 630	55	50	2	20	5	30	20	3
160 - 630	85 ⁽¹⁾	75	2	27	5	50	20	3
1000 - 6300	85 ⁽¹⁾	75	2	27	5	50	30	3
≥ 10000	85	80	3	30	6	50	30	3

(Chú thích: 1) với dây quấn hình ống, khoảng cách tối thiểu $a_{12} = 27$ mm. Mân tính điện bọc cách điện 3 mm, khi tính theo (2-35), (4-23) lấy $a_{12} = 30$ mm.

2) Khi có văng sắt ép dây quấn, l'_{02} lấy tăng lên 45 mm với m.b.a công suất 1000 - 6300 kVA; 60 mm với m.b.a hai dây quấn 10000 - 63000 kVA; 100 mm với m.b.a ba dây quấn cùng công suất đó. Khoảng cách đến gông dưới l'_{02} trong các trường hợp trên vẫn lấy theo bảng 19.

3) Trong các m.b.a ba dây quấn có $U_{th} = 85$ kV rãnh giữa dây quấn TA và HA được tăng từ 27 đến 36 - 40 mm cho các dây dẫn ra của các đầu phân áp rút từ giữa dây quấn TA.

Bảng 20. Kích thước tiết diện và cách điện tiêu chuẩn của dây đồng và nhôm tiết diện tròn mã hiệu ПБ và АПБ với cách điện hai phía $2\phi = 0,30 (0,40)(mm)$

Đường kính (mm)	Tiết diện (mm ²)	Tăng trọng lượng (%)
Dây đồng ПБ		
1,18	1,094	6,0
1,25	1,23	5,5
Dây đồng ПБ Dây nhôm АПБ		
1,32	1,37	5,0
1,40	1,51	5,0
1,50	1,77	4,5
1,60	2,015	4,0
1,70	2,27	4,0
1,80	2,545	3,5
1,90	2,805	3,5
2,00	3,14	3,0
2,12	3,53	3,0
2,24	3,94	3,0
2,36	4,375	2,5
2,50	4,91	2,5
2,65	5,515	2,5
2,80	6,16	2,5
3,00	7,07	2,5
3,15	7,795	2,0
3,35	8,81	2,0
3,55	9,895	2,0
3,75	11,05	1,5
4,00	12,55	1,5
4,10	13,20	1,5
4,25	14,20	1,5
4,50	15,90	1,5
4,75	17,70	1,5
5,00	19,63	1,5
5,20	21,22	1,5
Dây nhôm АПБ		
5,30	22,06	1,5
6,00	28,26	1,5
8,00	50,24	1,0

Chú thích:

1) Dây dẫn ПБ và АПБ của tất cả các đường kính có cách điện 2 phía dây $2\delta = 0,30$ (0,40); 0,72 (0,82); 0,96 (1,06) và 1,20 (1,35) mm. Dây dẫn đường kính từ 2,24 mm trở lên có cách điện 1,68 (1,83) và 1,92 (2,07). còn dây dẫn đường kính từ 3,75 mm trở lên có cách điện 2,88 (3,08); 4,08 (4,33) và 5,76 (6,11) mm.

2) Trị số cách điện ngoài đầu ngoặc là chiều dày cách điện tiêu chuẩn; khi tính toán dây quấn, dùng trị số trong ngoặc.

3) Trong bảng chỉ ghi tăng trọng lượng đối với dây đồng. Với dây nhôm thì nhân với 3,3.

4) Dây dẫn ПБ và АПБ có cách điện tăng cường lấy theo bảng 23, nhớ thêm chú thích 3 ở bảng 20.

5) Dây dẫn ПСД и ПСДК chỉ chế tạo với đường kính từ 1,18 đến 5,00 mm; còn dây dẫn АПСД и АПСДК có đường kính từ 1,32 đến 5,20 mm.

6) Chiều dày cách điện của các dây dẫn ПСД, ПСДК, АПСД và АПСДК với đường kính đến 2,12 mm là $2\delta = 0,29$ mm (trong tính toán lấy 0,30 mm); với đường kính từ 2,24 đến 5,0 mm, $2\delta = 0,35 - 0,38$ mm (tính toán lấy 0,4 mm)

7) Với dây dẫn ПСД, ПСДК, số liệu trong bảng về tăng trọng lượng thì nhân với 1,75 khi đường kính 1,18 đến 2,22 mm; nhân với 2,1 khi d từ 2,24 mm trở lên. Với dây nhôm АПСД, АПСДК xem chú thích 3 ở bảng này.

Bảng 21. Kích thước và tiết diện tiêu chuẩn dây đồng và dây nhôm chữ nhật ПБ và АПБ (a và b - mm, tiết diện - mm²). Dây đồng ПБ có tất cả các kích thước trong bảng trừ dây có b 17 và 18 mm. Dây nhôm АПБ chỉ có các kích thước ở bên phải phía trên khung đậm trong bảng

$\begin{matrix} a \\ b \end{matrix}$	140	150	160	170	180	190	200	212	224	236	250	265
3,75	5,04	-	5,79	-	6,39	-	7,14	-	8,04	-	8,83	-
4,00	5,39	5,79	6,19	6,44	6,84	7,24	7,64	8,12	8,60	8,89	9,45	10,1
4,25	5,74	-	6,59	-	7,29	-	8,14	-	9,16	-	10,1	-
4,50	6,09	6,54	6,99	7,29	7,74	8,19	8,64	9,18	9,72	10,1	10,7	11,4
4,75	6,44	-	7,39	-	8,19	-	9,14	-	10,3	-	11,3	-
5,00	6,79	7,29	7,79	8,14	8,64	9,14	9,64	10,2	10,8	11,3	12,0	12,7
5,30	7,21	-	8,27	-	9,18	-	10,2	-	11,5	-	12,7	-
5,60	7,63	8,19	8,75	9,16	9,72	10,3	10,8	11,5	12,2	12,7	13,5	14,3
6,00	8,19	-	9,39	-	10,4	-	11,6	-	13,1	-	14,5	-
6,30	8,61	9,24	9,87	10,4	11,0	11,6	12,2	13,0	13,8	14,3	15,2	16,2
6,70	9,17	-	10,5	-	11,7	-	13,0	-	14,7	-	16,2	-

7,10	9,73	10,4	11,2	11,7	12,4	13,1	13,8	14,7	15,5	16,2	17,2	18,3
7,50	10,3	-	11,8	-	13,1	-	14,6	-	16,4	-	18,2	-
8,00	11,0	11,8	12,6	13,2	14,0	14,8	15,6	16,6	17,6	18,3	19,5	20,7
8,50	11,7	-	13,4	-	14,9	-	16,6	-	18,7	-	20,7	-
9,00	12,4	13,3	14,2	14,9	15,8	16,7	17,6	18,7	19,8	20,7	22,0	23,3
9,50	13,1	-	15,0	-	16,7	-	18,6	-	20,9	-	23,2	-
10,00	13,8	14,8	15,8	16,6	17,6	18,6	19,6	20,8	22,0	23,1	24,5	26,0
10,60	14,6	-	16,8	-	18,7	-	20,8	-	23,4	-	26,0	-
11,20	15,5	16,6	17,7	18,7	19,8	20,9	22,0	23,4	24,7	25,9	27,5	29,1
11,80	-	-	18,7	-	20,9	-	23,2	-	26,1	-	29,0	-
12,50	-	18,5	19,8	20,9	22,1	23,4	24,6	26,1	27,6	29,0	30,7	32,6
13,20	-	-	-	-	23,4	-	26,0	-	29,2	-	32,5	-
14,00	-	-	-	-	24,8	26,2	27,6	29,3	31,0	32,5	34,5	36,6
15,00	-	-	-	-	-	-	29,6	-	33,2	-	37,0	-
16,00	-	-	-	-	-	-	31,6	33,6	35,5	-	39,5	41,9
17,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bảng 21 (tiếp theo)

2,80	3,00	3,15	3,35	3,55	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,30	5,60	a/b
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,75
10,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00
11,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,25
12,1	13,0	13,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,50
12,8	-	14,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,75
13,5	14,5	15,2	16,2	17,2	-	-	-	-	-	-	-	-	5,00
14,3	-	16,2	-	18,3	-	-	-	-	-	-	-	-	5,30
15,1	16,3	17,1	18,2	19,3	20,1	21,5	-	-	-	-	-	-	5,60
16,3	-	18,4	-	20,8	-	23,1	-	-	-	-	-	-	6,00
17,1	18,4	19,3	20,6	21,8	22,8	24,3	25,9	27,5	-	-	-	-	6,30

Bảng 21 (tiếp theo)

18,2	-	20,6	-	23,2	-	25,9	-	29,3	-	-	-	-	6,70
19,3	20,8	21,8	23,2	24,7	25,8	27,5	29,3	31,1	32,9	34,6	-	-	7,10
20,5	-	23,1	-	26,1	-	29,1	-	32,9	-	36,6	-	-	7,50
21,9	23,5	24,7	26,3	27,9	29,1	31,1	33,1	35,1	37,1	39,2	41,5	43,9	8,00
23,3	-	26,2	-	29,6	-	33,1	-	37,4	-	41,6	-	46,7	8,50
24,7	26,5	27,8	29,6	31,4	32,9	35,1	37,4	39,6	41,9	44,1	46,8	49,5	9,00
26,1	-	29,4	-	33,2	-	37,1	-	41,9	-	46,6	-	52,1	9,50
27,5	29,5	31,0	33,0	35,0	36,6	39,1	41,6	44,1	46,6	49,1	52,1	55,1	10,00
29,1	-	32,8	-	37,1	-	41,5	-	46,8	-	52,1	-	58,5	10,50
30,8	33,1	34,7	37,0	39,2	41,4	43,9	46,7	49,5	52,3	55,1	58,5	61,9	11,20
32,5	-	36,6	-	41,3	-	46,3	-	52,2	-	58,1	-	65,2	11,80
34,5	37,0	38,8	41,3	43,8	46,0	49,1	52,3	55,4	58,5	61,6	65,4	69,1	12,50
36,4	-	41,0	-	46,3	-	51,9	-	58,5	-	65,1	-	73,1	13,20
28,7	41,5	43,6	46,4	49,2	52,0	55,1	58,6	62,1	65,6	69,1	73,3	77,5	14,00
41,5	-	46,7	-	52,7	-	59,1	-	66,6	-	74,1	-	83,1	15,00
44,3	47,5	49,9	53,1	56,3	59,1	63,1	67,1	71,1	75,1	79,1	83,9	88,7	16,00
47,2	-	53,2	-	59,4	-	67,1	-	75,6	-	84,1	-	94,3	17,00
-	53,1	55,8	59,4	63,0	66,6	71,1	75,6	80,1	84,6	89,1	94,5	99,9	18,00

Chú thích:

1) Dây dẫn IIIB và AIIIb có chiều dày cách điện hai phía $2\delta = 0,45$ (0,50); 0,55 (0,62); 0,72 (0,82); 0,96 (1,06); 1,20 (1,35); 1,35 (1,50); 1,68 (1,83) và 1,92 (2,07) mm.

2) Ngoài đầu ngược là chiều dày cách điện tiêu chuẩn, khi tính toán dây quấn dùng trị số trong ngoặc.

3) Dây dẫn đồng ПБЭ chỉ chế tạo với a từ 1,8 đến 5,6 mm và b từ 6,7 đến 18 mm với chiều dày cách điện $2\delta = 1,35$ (1,45); 2,00 (2,20); 2,48 (2,63); 2,96 (3,16); 3,60 (3,80); 4,08 (4,28) và 4,40 (4,65) mm.

**Bảng 22 Kích thước và tiết diện tiêu chuẩn của dây đồng tiết diện chữ nhật
mã hiệu ПСД và ПСДК (a, b - mm; tiết diện - mm²)**

$\begin{matrix} a \\ b \end{matrix}$	1,40	1,60	1,80	2,00	2,24	2,50
4,00	5,39	6,19	6,84	7,64	8,60	9,45
4,50	6,09	6,99	7,74	8,64	9,72	10,7
5,00	6,79	7,79	8,64	9,64	10,80	12,0
5,60	7,63	8,75	9,72	10,80	12,20	13,5
6,30	8,61	9,87	10,40	12,20	13,80	15,2
7,10	9,73	11,20	12,40	13,80	15,50	17,2
8,00	11,00	12,60	14,00	15,60	17,60	19,5
9,00	12,40	14,20	15,80	17,00	19,80	22,0
10,00	13,80	15,80	16,60	19,60	22,00	24,5
11,20	-	-	-	-	24,70	27,5
12,50	-	-	-	-	27,60	-

Bảng 22 (Tiếp theo)

2,80	3,15	3,55	4,00	4,5	5,00	5,60	$\begin{matrix} a \\ b \end{matrix}$
10,7	-	-	-	-	-	-	4,00
12,1	13,6	-	-	-	-	-	4,50
13,5	15,2	17,2	-	-	-	-	5,00
15,1	17,1	19,3	21,5	-	-	-	5,60
17,1	19,3	21,8	24,3	27,5	-	-	6,30
19,3	21,8	24,7	27,5	31,1	34,6	-	7,10
21,9	24,7	27,9	31,1	35,1	39,2	43,9	8,00
24,7	27,8	31,4	35,1	39,6	44,1	-	9,00
27,5	31,0	35,0	39,1	44,1	49,1	-	10,00
30,8	34,7	39,2	43,9	49,5	55,1	-	11,20
-	-	-	-	-	-	-	12,50

Chú thích: Chiều dày cách điện cả hai phía $2\delta = 0,27 \div 0,48$ mm. Trong tính toán với dây dẫn có $b \leq 5,60$ mm lấy $2\delta = 0,45$ mm; với dây dẫn có $b \geq 6,3$ mm lấy $2\delta = 0,5$ mm.

**Bảng 23. Tăng trọng lượng do cách điện của dây đồng và dây nhôm tròn (%)
mã hiệu ПЕ và АПЕ (xem chú thích 1)**

Đường kính (mm)	Với chiều dày cách điện 2δ (mm)				
	0,72	1,20	1,92	4,08	5,76
1,18	18	35	-	-	-
1,40	14	27	-	-	-
1,60	12	23	-	-	-
1,80	10	19	-	-	-
2,00	9	17	-	-	-
2,12	8,5	16	-	-	-
2,50	7,5	12,5	22	-	-
3,00	6	10	18	-	-
3,55	5	9	14	-	-
4,00	4,5	8	12	34	54
4,50	4	7	11	28	46
5,20	4	6	10	24	38

Chú thích:

- 1) Đối với dây nhôm АПЕ các số liệu trong bảng phải nhân với 3,3.
- 2) Đối với trị số đường kính trung gian trong bảng, có thể dùng phép nội suy để xác định.

**Bảng 24. Tăng trọng lượng do cách điện của dây đồng và dây nhôm chữ nhật
(%) mã hiệu ПЕ và АПЕ (xem chú thích 3) với chiều dày cách điện hai phía
 $2\delta = 0,45$ mm**

b (mm) \ a (mm)	1,40 ÷ 1,80	1,90 ÷ 2,65	2,80 ÷ 3,75	4,00 ÷ 7,00
3,75 - 7,50	3,5	3	2,5	2,0
8,0 - 18,0	2,5	2	2,0	1,5

Chú thích:

- 1) Với chiều dày cách điện khác, số liệu trong bảng phải nhân với 2,5 khi $2\delta = 0,96$ mm; với 3,5 khi $2\delta = 1,35$ mm; với 5,0 khi $2\delta = 1,92$ mm
- 2) Đối với dây ПСД и ПСДК số liệu trong bảng phải nhân với 1,7 khi $2\delta = 0,45$ mm; với 2,0 khi $2\delta = 0,50$ mm.
- 3) Đối với dây nhôm tra trong bảng hay theo chú thích 1 và 2 phải nhân với 3,3.

Bảng 25. Chọn cách điện của vòng dây

Điện áp thử (kV)	Mã hiệu dây	Chiều dày cách điện 2 phía (mm)	Mục đích
5 ÷ 24	ПСЛ, АПСЛ, ПСЛК và АПСЛК	Dây tròn 0,29 - 0,38 (0,30 - và 0,40), dây chữ nhật 0,27 - 0,48 (0,30 và 0,50)	Dùng cho máy biến áp khô chống cháy
5 ÷ 85	ПЭБЭ, ПБ và АПБ	Dây tròn 0,17 - 0,21 (0,27 - 0,31); 0,30 (0,40)	Cho các máy biến áp dầu và khô
	ПБ và АПБ	Dây chữ nhật 0,45 (0,50)	
200	ПБ và АПУ	120 (1,35)	Cho máy biến áp dầu
325	ПБ	135 (1,50)	Cho dây quấn thường
325	ПБУ	200 (2,20)	Cho dây quấn hoán vị

Chú thích:

- 1) Trong ngoặc chỉ kích thước tính toán do dụng sai
- 2) Dây ПБ, АПБ, ПБУ có thể có cách điện dây hơn, xem ở các bảng 20, 21.

Bảng 26. Cách điện thường giữa các lớp của dây quấn hình ống nhiều lớp

Điện áp làm việc tổng giữa hai lớp trong dây quấn (V)	Số lớp giấy cáp X chiều dày của một lớp (mm)	Đầu thừa cách điện lớp ở một đầu dây quấn (mm)
Đến 1000	2 x 0,12	10
Từ 1001 đến 2000	3 x 0,12	16
Từ 2001 đến 3000	4 x 0,12	16
Từ 3001 đến 3500	5 x 0,12	16
Từ 3501 đến 4000	6 x 0,12	22
Từ 4001 đến 4500	7 x 0,12	22
Từ 4501 đến 5000	8 x 0,12	22
Từ 5001 đến 5500	9 x 0,12	22

Chú thích: Các số liệu trong bảng dùng cho máy biến áp có công suất đến 630 kVA. Khi công suất từ 1000 kVA trở lên, cách điện lớp lấy theo bảng, nhưng không nhỏ hơn 6 x 0,12 mm, còn đầu thừa cách điện không nhỏ hơn 20 mm.

Bảng 27. Cách điện thường giữa các lớp trong dây quấn hình ống nhiều lớp phân đoạn

Điện áp làm việc giữa hai lớp dây quấn (V)	Chiều dày cách điện (mm)	Vật liệu cách điện
Đến 150	2 x 0,05	Giấy điện thoại
Từ 151 đến 200	1 x 0,2	Giấy cáp hoặc
Từ 201 đến 300	2 x 0,2 hay 1 x 0,5	bìa cách điện

Bảng 28. Khoảng cách tối thiểu của rãnh điều chỉnh $h_{đc}$ ở chỗ đặt các vòng dây điều chỉnh điện áp của dây quấn CA

Cấp điện áp (kV)	Sơ đồ điều chỉnh điện áp theo hình 3-10	Cách điện ở chỗ dứt đoạn		Kích thước rãnh (mm)
		Phương pháp cách điện	Theo hình 3-11	
6	a	Rãnh dầu	a	8
	b	Rãnh dầu	a	12
10	a	Rãnh dầu	a	10
	b	Rãnh dầu	a	18
	a	Vành đệm đơn và vành gậy góc	b	6
	b	Vành đệm đơn và vành gậy góc	c	18
35	c và d	Rãnh dầu	a	12
	a	Rãnh dầu	a	25
	a	Vành đệm đơn và vành gậy góc	b	20
	a	Vành đệm đơn và vành gậy góc	c	25
110	d	Rãnh dầu có vành đệm chắn	d	30 (trong đó vành đệm 5 mm)

Chú thích:

1) Dây quấn hình ống nhiều lớp có điều chỉnh điện áp theo sơ đồ điều chỉnh ở hình 4.10d không phải bố trí chỗ dứt đoạn ở giữa.

2) Dầu thừa tối thiểu của vành đệm là $a = 6$ mm.

3) Bề rộng của phần gậy góc của vành đệm $b = 6 \div 8$ mm.

4) Chiều dày của vành đệm gậy góc là $0,5 \div 1,0$ mm.

**Bảng 29. Cách điện tăng cường của các vòng dây và bánh dây đầu (mm)
ở dây quấn xoay ốc liên tục**

Cấp điện áp (kV)	Điện áp thử U_{th} (kV)	Bánh dây thứ nhất		Bánh dây thứ hai		Bánh dây thứ ba & thứ tư	
		Vòng dây	Toàn bánh dây	Vòng dây	Toàn bánh dây	Vòng dây	Toàn bánh dây
20	55	0,96 (1,06)	-	-	-	-	-
35	85	1,35 (1,50)	-	1,35 (1,50)	-	-	-
Dây dẫn vào cuối đường dây nối vào đầu trên cùng của dây quấn							
110	200	1,20 (1,35)	4,0	1,20 (1,35)	3,5	1,20 (1,35)	2,0
Dây dẫn vào cuối đường dây nối vào chính giữa chiều cao dây quấn							
110	200	1,20 (1,35)	1,0	1,20 (1,35)	3,0	1,20 (1,35)	1,5

Chú thích:

- 1) Cách điện tăng cường khi $U_{th} = 55$ kV được thực hiện ở một bánh đầu và một bánh cuối cuộn dây mỗi pha; khi $U_{th} = 85$ kV, thực hiện ở hai bánh đầu và hai bánh cuối; khi $U_{th} = 200$ kV chỉ thực hiện ở hai bánh đầu.
- 2) Ở các dây quấn điện áp 20 và 35 kV, rãnh đầu của bánh dây trên cùng và dưới cùng mỗi rãnh không được nhỏ hơn 7 mm.
- 3) Ở dây quấn hình ống nhiều lớp cấp điện áp 35 kV có màn chắn, 5 vòng cuối ở đầu trung tính, mỗi vòng phải tăng cường cách điện bằng một lớp vải sơn JIXMM.
- 4) Trong bảng ghi cách điện của các vòng dây là cả hai phía, của bánh dây chỉ một phía.
- 5) Khi tính toán lấy kích thước cách điện ở trong dấu ().

Bảng 30. Số đệm cách điện (theo chu vi một bánh dây) giữa các bánh dây

S (kVA)	Số đệm	S' (kVA)	Số đệm
Đến 100	6	từ 2500 đến 10000	12 - 16
Từ 100 đến 630	8	từ 10000 đến 63000	16 - 24
Từ 1000 đến 1600	8 - 12		

Bảng 31. Khoảng cách cách điện tối thiểu cho phép từ dây dẫn ra đến các bộ phận nối đất

Điện áp thủ của dây dẫn ra (kV)	Chiều dây cách điện một phía (mm)	Đường kính thanh dẫn (mm)	Khoảng cách đến vách thùng phẳng hay đến bản thân dây quấn (s) - mm			Khoảng cách đến các bộ phần nối đất của xà ép (s) - mm		
			s	s''	s*	s'	s''	s*
Đến 25	0	< 6	15	10	25	15	5	20
	0	> 6	12	10	22	12	5	17
	2	-	10	10	20	10	5	15
35	0	< 6	23	10	33	20	5	25
	0	> 6	18	10	28	17	5	22
	2	-	10	10	20	12	5	17
45	0	< 6	32	10	42	28	5	33
	0	> 6	27	10	37	25	5	30
	2	-	15	10	25	18	5	23
55	0	< 6	40	10	50	33	5	38
	0	> 6	35	10	45	32	5	37
	2	-	22	10	32	25	5	30
85	2	-	40	10	50	45	5	50
	4	-	30	10	40	37	5	42
	6	-	25	10	35	35	5	40
100	5	-	40	10	50	45	10	55
200	20	12	75	20	95	160	10	170
	20	12	75	20	95	105	10	115

Chú thích:

- 1) Xà ép gồng không có cách điện
- 2) Xà ép gồng có cách điện bằng tấm bìa dày 3 mm.
- (*) Ở đây xem s là tổng của s' + s''.

Bảng 32. Khoảng cách cách điện tối thiểu cho phép từ dây dẫn ra đến dây quấn

Điện áp thử U_{th} (kV)		Chiều dày cách điện một phía (mm)	Khoảng cách cách điện của dây dẫn ra s' (mm)		Sai lệch tổng cho phép s'' (mm)	Khoảng cách tính toán tối thiểu s' (mm)	
Của dây quấn	của dây dẫn ra		Đến các bánh dây đầu	Đến các bánh dây chính		Đến các bánh dây đầu	Đến các bánh dây chính
đến 25	đến 25	không	-	15	10	-	25
		2	-	10	10	-	20
35	đến 35	không	-	23	10	-	33
		2	-	10	10	-	20
55	đến 35	không	-	40	10	-	50
		2	-	20	10	-	30
85	đến 35	không	-	80	10	-	90
		2	-	40	10	-	50
200	đến 100	3	205	230	20	225	250
		6	150	170	20	170	190
		8	125	140	20	145	160
200	200	20	80	90	15	95	105

Bảng 33. Khoảng cách cách điện tối thiểu của dây dẫn ra ở phía trong dây quấn đến các dây quấn khác và các chi tiết nối đất

Điện áp thử trên khoảng cách (kV)	đến 25	35	45	55	85	200	230
Khoảng cách a từ kim loại dây dẫn ra đến cuộn dây bên cạnh hay trụ (mm)	9	12	15	19	27	55	60

Bảng 34. Chiều dày cách điện của dây dẫn ra đặt ở phía trong dây quấn

Điện áp thử của dây quấn có dây dẫn ra (kV)	Chiều dày cách điện một phía ở d (mm)	Chiều dày ống cách điện bằng bìa ở d_0 (mm)
đến 25	15	2,5
25	3	2,5
45	4	2,5
85	8	2 x 2,5

Bảng 35. Cách điện của dây quấn CA trong máy biến áp khô (mm)

U_{th} của CA (kV)	Dây quấn CA đến gông l_{02}	Giữa dây quấn CA và HA			Giữa CA và CA	
		a_{12}	δ_{12}	l_{d2}	a_{22}	δ_{22}
3	15	10	Bìa 2 x 0,5 mm		10	-
10	20	15	2,5	10	10	2
16	45	22	4	25	25	3
24	80	40	5	40	45	3

Chú thích:

Các kích thước a_{12} và a_{22} ghi trong bảng là kích thước tối thiểu trên quan điểm cách điện của dây quấn. Các kích thước này đã được qui đổi theo điều kiện dẫn nhiệt ở bảng 54.

Bảng 36. Cách điện của dây quấn HA trong máy biến áp khô (mm)

U_{th} của HA (kV)	Dây quấn HA đến gông l_{01}	Dây quấn HA đến trụ		
		a_{01}	δ_{01}	l_{d1}
3	15	10	Bìa 2 x 0,5	
10	30	14	2,5	15
16	55	27	5	30
24	70	40	6	40

Chú thích:

- 1) Xem chú thích ở bảng 35
- 2) Với dây quấn hình xoắn khi U_{th} của HA là 3 kV phải đặt ống cách điện $\delta_{01} = 2,5 \pm 5$ mm và lấy a_{01} không nhỏ hơn 20 mm.

Bảng 37. Mật độ dòng điện trung bình trong dây quấn Δ_{tb} (MA/m²) đối với các máy biến áp có tổn hao ngắn mạch tiêu chuẩn
a) Máy biến áp dầu

Công suất máy biến áp S (kVA)	25 - 40	63 - 630	1000 - 6300	10000 - 16000	25000 - 80000
Đồng	1,8 - 2,2	2,2 - 3,5	2,2 - 3,5	2,0 - 3,5	2,0 - 3,5
Nhôm	1,1 - 1,8	1,2 - 2,5	1,5 - 2,6	1,5 - 2,7	-

Bảng 37 (tiếp theo)
b) Máy biến áp khô

Công suất máy biến áp S (kVA)	10 - 160; 0,5 kV		160 - 1600; 10 kV	
	Cuộn HA trong	Cuộn CA ngoài	Cuộn HA trong	Cuộn CA ngoài
Dây quấn				
Đồng	2,0 - 1,4	2,2 - 2,8	2,0 - 1,2	2,0 - 2,8
Nhôm	1,3 - 0,9	1,3 - 1,8	1,4 - 0,8	1,4 - 2,0

Chú thích:

1) Đối với các máy biến áp có tổn hao ngắn mạch lớn hơn tiêu chuẩn, có thể chọn mật độ dòng điện trong các máy biến áp dầu tới 4,5 MA/m² với dây đồng và đến 2,7 MA/m² với dây nhôm; trong các máy biến áp khô thì tương ứng là 3,0 và 2,0 MA/m².

2) Mật độ dòng điện trong các dây quấn có hoán vị dây dẫn được chọn như nhau đối với dây nhôm và dây đồng.

3) Mật độ dòng điện trong dây quấn làm bằng nhôm tấm được chọn như đối với dây nhôm.

Bảng 38. Những đặc điểm chính và phạm vi sử dụng thông thường của các kiểu dây quấn máy biến áp dầu.

Kiểu dây quấn	Dùng cho		Những ưu điểm chính	Những nhược điểm chính	Vật liệu của dây quấn	Phạm vi sử dụng			Số sợi dây chính diện áp CA
	chức năng	phần				Theo I_t (A)	Theo U (kV)	Theo T (mm ²)	
Hình ống một lớp và hai lớp dây dẫn chủ nhất	HA	CA	Công nghệ chế tạo đơn giản, rẻ, làm lạnh tốt	Độ bền cơ thấp	Đồng	từ 15 - 18 đến 800 từ 10 - 13 đến 600 - 650	đến 6	từ 5,04 đến 250	từ 1 đến 4-8
Hình ống nhiều lớp dây dẫn chủ nhất	CA	HA	Lắp dây của số mạch từ tốt, công nghệ chế tạo đơn giản	Giám bề mặt làm lạnh với dây quấn có rãnh ngang.	Nhôm	từ 15 - 18 đến 1000 - 2000 từ 10 - 13 đến 1000 - 2000	10 và 15 10 và 15	từ 5,04 đến 400 từ 6,39 đến 500	từ 1 đến 4 - 8
Hình ống nhiều lớp bằng nhôm tản	HA	-	Công nghệ chế tạo đơn giản, lạnh tốt, lắp dây của số mạch từ tốt	Độ bền cơ theo hướng kính thấp	Nhôm	từ 100 đến 1500	đến 10	từ 100 đến 1000	từ 1 đến 1
Hình ống nhiều lớp dây dẫn tròn	CA	HA	Công nghệ chế tạo đơn giản	Tản nhiệt kém và độ bền cơ giảm khi công suất tăng	Đồng Nhôm	từ 0,3-0,5 đến 80-100 từ 2-3 đến 125-135	đến 35 đến 35	từ 1094 đến 42,44 từ 137 đến 50,24	từ 1 đến 2 từ 1 đến 1
Hình ống nhiều lớp phân đoạn dây dẫn tròn	CA	-	Đơn giản trong cách điện lớp, cải thiện điều kiện làm lạnh hơn so với dây quấn hình ống nhiều lớp	Giá thành cao hơn so với dây quấn hình ống nhiều lớp và xoáy ốc liên tục	Đồng Nhôm	đến 40 - 50 đến 35 - 40	đến 35 đến 35	đến 2122 đến 2122	từ 1 đến 1
Hình xoắn mạch đơn, kép và nhiều mạch dây dẫn chủ nhất	HA	-	Độ bền cơ cao, cách điện bảo đảm, làm lạnh tốt	Giá thành cao hơn so với dây quấn hình ống	Đồng Nhôm	từ 300 trở lên	đến 35	từ 75-100 trở lên	từ 4 đến 12-16 và lớn hơn
Xoáy ốc liên tục dây dẫn chủ nhất	CA	HA	Độ bền điện, cơ cao, làm lạnh tốt	Cần phải nẹp lại các bánh dây chắn khi quấn dây.	Đồng Nhôm	từ 15 - 18 trở lên từ 10 - 13 trở lên	từ 3 đến 110-220 từ 3 đến 110 - 220	từ 5,04 trở lên từ 6,39 trở lên	từ 1 đến 3-5

Bảng 39. Kích thước hướng kính tối hạn của dây dẫn đối với dây quần hình, ống dây chữ nhật khi tổn hao phụ không quá 5, 10, 15 và 20% (mm)

Số lớp dây quần	Dây quần đồng				Dây quần nhôm			
	Tổn hao phụ đến				Tổn hao phụ đến			
	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
1	9,0	10,6	11,8	13,2	11,8	13,2	15,0	16,0
2	6,3	7,5	8,5	9,0	8,0	10,0	10,6	11,8
3	5,3	6,3	6,7	7,5	6,7	8,0	8,5	9,5
4	4,5	5,3	6,0	6,3	5,6	6,7	7,5	8,0
5	4,0	4,75	5,3	5,6	5,0	6,0	6,7	7,5
6	3,75	4,5	4,75	5,3	4,75	5,6	6,0	6,7
7	3,35	4,0	4,5	4,75	4,5	5,0	5,6	6,0
8	3,35	3,75	4,25	4,5	4,0	5,0	5,6	5,6
9	3,15	3,55	4,0	4,25	3,75	4,75	5,0	5,6
10	3,0	3,55	4,0	4,25	3,75	4,5	5,0	5,6
11	2,8	3,15	3,75	3,75	3,55	4,0	4,5	4,75
12	2,65	3,15	3,35	3,75	3,35	3,75	4,5	4,75
13	2,5	3,0	3,35	3,55	3,0	3,75	4,0	4,5
14	2,36	3,0	3,15	3,35	3,0	3,55	3,75	4,0
15	2,36	2,8	3,0	3,35	3,0	3,55	3,75	4,0
16	2,24	2,65	3,0	3,15	2,8	3,35	3,75	4,0

Bảng 40a. Hệ số k trong biểu thức (4-21)

Công suất S (kVA)	đến 1000	1000 - 4000	6300 - 10000	16000 - 25000	40000 - 63000
k	0,015 - 0,02	0,025 - 0,04	0,04 - 0,045	0,045 - 0,053	0,06 - 0,07

Bảng 40b. Xác định công suất ngắn mạch của lưới điện S_n trong công thức (4-30a)

Cấp điện áp (kV)	6 - 10	10 - 35	110	150	220	330	500
Công suất ngắn mạch của lưới điện (MVA)	500	2500	15000	20000	25000	35000	50000

Chú thích: Với máy biến áp một pha trị số S_n thu được từ bảng phải chia cho 3.

Bảng 41a. Chiều rộng a và chiều dày b của tập lá thép (mm) của mạch từ không có tấm sắt ép trụ, có thanh nôm của dây quấn, không có đai ép trụ (n_t và n_g là số bậc thang trong trụ và gông, a_g là chiều rộng tập lá thép gông ngoài cùng; k_c là hệ số chêm kín hình tròn của bậc thang trụ)

Đường kính trụ d (mm)	n_t	k_c	n_g	a_g (mm)	Kích thước tập lá thép $a \times b$ (mm) ở trong trụ					
0,080	4	0,863	3	55	75x14	65x9	55x6	40x5	-	-
0,085	5	0,895	4	50	80x14	70x10	60x6	50x4	40x4	-
0,090	5	0,891	4	55	85x15	75x10	65x6	55x4	40x5	-
0,095	5	0,887	4	50	90x15	80x10	65x9	50x5	40x4	-
0,100	6	0,917	5	55	95x16	85x10	70x7	65x5	55x4	40x4
0,105	6	0,912	5	50	100x16	90x11	80x7	65x7	50x4	40x4
0,110	6	0,905	5	65	105x16	95x11	85x7	75x6	65x4	40x7
0,115	5	0,903	4	65	105x25	95x9	85x6	65x9	40x3	-
0,120	6	0,928	5	60	115x18	105x11	90x10	75x8	60x6	40x4
0,125	6	0,915	5	65	120x18	105x16	95x6	85x6	65x7	40x6
0,130	6	0,918	5	65	125x18	110x16	100x8	80x9	65x5	40x6
0,140	6	0,919	5	65	135x19	120x17	105x10	85x9	65x7	40x5
0,150	6	0,915	5	85	145x19	135x13	120x13	105x9	85x8	55x7
0,160	6	0,913	5	85	155x20	135x23	120x10	105x7	85x7	55x7
0,170	6	0,927	5	85	160x28	145x17	130x10	110x10	85x8	50x8
0,180	6	0,915	5	95	175x21	155x25	135x13	120x8	95x9	65x8

Bảng 4/1b. Chiều rộng a và chiều dày b của tập lá thép (mm) của mạch từ không có tấm sắt ép trụ khi ép trụ bằng đai thủy tinh (n_1 và n_G là số bậc thang trong trụ và gông, a_G là chiều rộng của tập lá thép gông ngoài cùng, k_c là hệ số chêm kín hình tròn của bậc thang trụ)

Đường kính d (mm)	Trụ		Gông		Kích thước tập lá thép $a \times b$ (mm) ở trong trụ									
	Không có tấm sắt ép	Có tấm sắt ép	n_G	a_G (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8		
0.19	7	0.927	6	0.890	5	100	180 x 30	165 x 17	145 x 14	130 x 8	115 x 7	100 x 5	75 x 7	-
0.20	7	0.918	6	0.885	5	120	190 x 22	175 x 26	155 x 15	135 x 11	120 x 6	105 x 5	75 x 7	-
0.21	7	0.922	6	0.890	5	130	200 x 32	180 x 22	160 x 14	145 x 8	130 x 6	110 x 8	90 x 6	-
0.22	8	0.929	7	0.901	6	120	215 x 23	195 x 28	175 x 15	155 x 12	135 x 9	120 x 5	105 x 4	75x7
0.23	8	0.933	7	0.907	6	130	220 x 34	205 x 19	185 x 16	165 x 12	140 x 9	130 x 5	115 x 5	90x6
0.24	8	0.927	7	0.902	6	135	230 x 34	215 x 19	195 x 17	175 x 12	155 x 9	135 x 8	120 x 5	95x6
0.25	8	0.929	7	0.909	6	140	240 x 35	220 x 24	200 x 16	180 x 12	155 x 11	140 x 6	120 x 6	100x5
0.26	8	0.924	7	0.900	6	140	250 x 35	230 x 25	215 x 13	195 x 13	175 x 10	155 x 8	120 x 9	105x6
0.27	8	0.930	7	0.901	6	155	260 x 36	240 x 25	215 x 20	195 x 13	170 x 11	155 x 5	135 x 7	105x8
0.28	8	0.927	7	0.903	6	155	270 x 37	250 x 26	230 x 17	215 x 9	195 x 11	175 x 9	135 x 13	105x7
0.29	8	0.927	7	0.899	6	165	280 x 37	260 x 27	235 x 21	210 x 15	180 x 13	165 x 6	145 x 6	115x8
0.30	8	0.930	7	0.912	6	175	295 x 38	270 x 27	250 x 18	230 x 13	215 x 8	175 x 18	135 x 12	105x6

Chú thích: 1) Ổ mạch từ có tấm sắt ép trụ thì không tính tập lá thép trụ cuối cùng thứ bảy hoặc thứ tám.

2) Tập lá thép ngoài cùng của gông có chiều rộng a và chiều dày bằng tổng chiều dày ba tập lá thép cuối cùng (5-7 hay 6-8) khi không có tấm sắt ép trụ, hoặc hai tập cuối cùng (5-6 hay 6-7) khi có tấm sắt ép trụ.

Bảng 41 c. Chiều rộng a và chiều dày b của tập lá thép (mm) của mạch từ không có tấm sắt ép trụ và có tấm sắt ép trụ
Khí ép trụ hàng đai thủy tinh (n_t , n_G là số bậc thang trong trụ và góc, a_G là chiều rộng của tập lá thép gông ngoài cùng, k_c là hệ số chêm kín hình tròn của bậc thang trụ)

Đường kính trụ d (mm)	Trụ				Kích thước tập lá thép trụ b khi chiều rộng lá thép a (mm)															
	Không có tấm sắt ép trụ		Có tấm sắt ép trụ		n_G															
	n_t	k_c	n_t	k_c																
0.31	9	0.930	8	0.905	7	190	310	295	280	270	260	250	245	230	215	210	195	160	155	135
0.32	9	0.928	8	0.911	7	195	-	39	28	-	18	-	10	9	-	10	-	9	10	7
							40	22	-	24	-	14	-	11	7	-	8	-	12	5
Khi chiều rộng lá thép a (mm)																				
0.33	9	0.932	8	0.900	7	205	320	310	295	275	270	265	250	245	230	225	205	195	165	155
0.34	9	0.931	8	0.913	7	195	-	40	34	17	-	9	-	11	-	10	9	-	11	10
							50	19	15	-	19	-	12	-	10	-	-	14	-	6
Khi chiều rộng lá thép a (mm)																				
0.35	9	0.900	8	0.903	7	215	350	340	325	315	295	280	270	260	250	235	230	215	180	155
0.36	9	0.913	8	0.894	7	195	-	41	35	-	18	-	12	-	13	-	9	-	11	12
							42(3)	35	-	16	-	16	-	10	-	9	-	13	-	9
Khi chiều rộng lá thép a (mm)																				
0.37	10	0.920	9	0.902	8	200	368	360	350	335	325	310	295	275	250	230	215	200	170	135
0.38	10	0.913	9	0.899	8	215	-	37(3)	-	38	-	23	11	12	12	9	-	10	10	7
							47(3)	-	27	-	24	12	10	-	23	-	13	-	15	6
Khi chiều rộng lá thép a (mm)																				
0.39	10	0.925	9	0.904	8	210	380	355	325	310	290	265	240	210	180	140	-	-	-	-
							41(3)	37	27	10	12	13	11	10	9	9	-	-	-	-
Khi chiều rộng lá thép a (mm)																				
0.40	11	0.920	10	0.910	8	215	410	395	368	350	325	295	270	250	215	195	175	155	-	-
0.42	11	0.926	10	0.906	8	250	-	54(3)	29	18	20	19	12	9	12	6	6	4	-	-
							46(3)	38	17	15	17	16	12	7	12	6	-	9	-	-

Chú thích: 1) Ở mạch từ có tấm sắt ép trụ thì không có tập lá thép từ cuối cùng; 2) Tập lá thép gông ngoài cùng có chiều rộng a_G và chiều dày bằng tổng chiều dày của 3 tập ($d = 0.31 - 0.39\text{mm}$) hay 4 tập ($d = 0.40 - 0.42\text{mm}$) lá thép trụ ngoài cùng khi không có tấm sắt ép trụ; khi có thì số tập gông giảm đi một chiều rộng rãnh làm lạnh chỉ trong ngược, mm.

Bảng 41d Chiều rộng a và chiều dày b của tập lá thép (mm) của mạch từ không có tấm sắt ép trụ và có tấm sắt ép trụ khi ép trụ bằng đai thủy tinh (n_1, n_G là số bậc thang tròn trụ và gông; a_G là chiều rộng của tập lá thép gông ngoài cùng; k_c là hệ số chêm kín hình tròn của bậc thang trụ)

Đường kính trụ d (mm)	Trụ			Gông		Kích thước tập lá thép trụ b (mm) khi chiều rộng lá thép a (mm)															
	Không có tấm sắt ép trụ	Có tấm sắt ép trụ		n_G	a_G (mm)	n_1	k_c	n_2	k_c	n_3	k_c	n_4	k_c	n_5	k_c	n_6	k_c	n_7	k_c	n_8	k_c
		n_1	k_c																		
0.45	14	0.930	13	0.913		11	250														
0.48	14	0.933	13	0.916		11	270														
0.50	14	0.925	13	0.911		11	270														
0.53	15	0.927	14	0.913		12	295														
Khi chiều rộng lá thép a (mm)																					
0.56	15	0.928	14	0.917		12	295														
0.60	15	0.934	15	0.918		13	325														
Khi chiều rộng lá thép a (mm)																					
0.63	16	0.928	15	0.920		12	350														
0.67	16	0.929	15	0.915		12	385														
Khi chiều rộng lá thép a (mm)																					
0.71	16	0.932	15	0.922		11	425														
0.75	16	0.932	15	0.918		11	455														
Khi chiều rộng lá thép a (mm)																					
0.71	16	0.932	15	0.922		11	425														
0.75	16	0.932	15	0.918		11	455														

Chú thích: 1) Ở mạch từ có tấm sắt ép trụ, không có tập lá thép trụ cuối cùng.

2) Tập lá thép gông ngoài cùng có chiều rộng a_G và chiều dày bằng tổng chiều dày của bôn ($d = 0.45 - 0.60$ mm), nằm ($d = 0.63 - 0.7$ mm) và sáu ($d = 0.71 - 0.75$ m) tập lá thép trụ ngoài cùng khi không có tấm sắt ép trụ; khi có thì số tập lá thép gông giảm đi một.

Bảng 42a. Diện tích tiết diện trụ T_t và gông T_g và thể tích góc V_o của mạch từ phẳng ghép xen kẽ không có tấm sắt ép trụ với các kích thước tập lá thép theo bảng 41a

d (m)	T_t (cm ²)	T_g (cm ²)	V_o (cm ³)	d (m)	T_t (cm ²)	T_g (cm ²)	V_o (cm ³)
0,08	43,3	44,8	280,8	0,12	104,9	106,5	1050
0,085	50,8	51,6	356,4	0,125	112,3	115,3	1194
0,095	56,7	58,2	426,4	0,13	121,9	124,9	1299
0,09	62,9	63,7	488,0	0,14	141,5	144,0	1620
0,10	72,0	73,2	596,8	0,15	161,7	165,9	2040
0,105	79,3	80,1	683,0	0,16	183,5	188,3	2470
0,11	86,2	89,7	790,2	0,17	208,5	214,1	2908
0,115	93,9	95,4	812,8	0,18	232,8	237,6	3452

Bảng 42b. Diện tích tiết diện trụ T_t và gông T_g và thể tích góc V_o của mạch từ phẳng ghép xen kẽ không và có tấm sắt ép trụ với các kích thước tập lá thép theo bảng 41b

d (m)	Không có tấm sắt ép trụ			Có tấm sắt ép trụ		
	T_t (cm ²)	T_g (cm ²)	V_o (cm ³)	T_t (cm ²)	T_g (cm ²)	V_o (cm ³)
0,19	262,8	267,3	4118	252,3	253,3	4012
0,20	288,4	296,2	4811	277,9	278,4	4685
0,21	319,2	327,2	5680	308,4	311,6	5522
0,22	353,0	360,5	6460	342,5	343,7	6334
0,23	387,7	394,0	7482	376,9	378,4	7342
0,24	419,3	425,6	8428	407,9	409,4	8274
0,25	456,2	462,6	9532	446,2	448,6	9392
0,26	490,6	507,1	10746	478,0	488,5	10550
0,27	582,6	543,4	12018	515,8	518,6	11758
0,28	570,9	591,1	13738	556,2	566,6	13480
0,29	612,4	622,8	14858	594,0	596,4	14554
0,30	657,2	675,2	16556	644,6	654,2	16336
0,31	702,0	715,8	18672	683,0	689,4	18312
0,32	746,2	762,4	20144	732,7	743,9	19880

Bảng 42 (tiếp theo)

0,33	797,18	820,2	22382	770,1	779,2	21828
0,34	844,8	860,8	23732	828,6	837,4	23416
0,35	903,6	927,6	26814	868,6	876,0	26118
0,36	929,2	948,8	27944	910,3	917,5	27574
0,37	988,8	1003,8	30606	969,8	975,8	30228
0,38	1035,8	1063,4	33074	1019,6	1037,6	32716
0,39	1105,2	1123,6	35966	1080,0	1085,8	35438
0,40	1155,6	1167,6	39550	1143,2	1150,4	39248
0,42	1282,9	1315,0	46220	1255,0	1270,0	45528
0,45	1479,2	1500,2	56560	1451,2	1460,2	55860
0,48	1668,9	1718,7	68274	1657,4	1670,1	67424
0,50	1816,4	1843,9	76604	1788,4	1800,7	75846
0,53	2044,8	2077,8	92752	2013,6	2030,6	91832
0,56	2286,2	2316,7	107900	2258,9	2275,4	107120
0,60	2639,4	2690,9	133770	2596,5	2618,4	133370
0,63	2892,5	2958,3	154240	2869,1	2916,3	153340
0,67	3273,9	3397,7	186170	3226,6	3239,0	184350
0,71	3688,0	3797,8	222880	3651,2	3729,8	221310
0,75	4115,7	4251,8	262210	4055,7	4140,2	259430

Bảng 43. Hệ số k_f trong biểu thức (5-18) và (2-61)

Đường kính trụ d (m)	đến 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,5	lớn hơn 0,5
Gông tiết diện chữ nhật, k_f	1,0 - 1,01	1,02 - 1,05	1,05 - 1,10	1,10 - 1,15
Gông tiết diện bậc thang, k_f	1,0	1,0 - 1,02	1,03 - 1,05	1,05 - 1,07

Bảng 44. Suất tổn hao sắt p và suất tổn hao ở khe nối ghép xen kẽ p_k đối với tôn cán nóng mã hiệu 1512 và 1513 và tôn cán lạnh mã hiệu 3411, 3412 và 3413 dày 0,35 mm với từ cảm khác nhau và $f = 50$ Hz

B (T)	Tôn cán nóng		Tôn cán lạnh			
	p (W/kg)		p (W/kg)			p_k (W/m ²)
	1512	1513	3411	3412	3413	3411, 3412, 3413
0,60	0,515	0,450	-	-	-	-
0,70	0,605	0,524	-	-	-	-
0,80	0,760	0,656	-	-	-	-
0,90	0,962	0,836	0,662	0,582	0,503	-
1,00	1,20	1,05	0,80	0,70	0,60	90
1,10	1,46	1,29	0,95	0,825	0,71	120
1,20	1,76	1,56	1,12	0,97	0,83	175
1,30	2,09	1,85	1,31	1,13	0,97	250
1,40	2,45	2,17	1,52	1,29	1,13	350
1,45	2,63	2,34	1,64	1,40	1,22	425
1,50	2,80	2,50	1,75	1,50	1,30	500
1,60	-	-	2,07	1,79	1,55	650
1,65	-	-	2,29	2,00	1,73	725
1,70	-	-	2,50	2,20	1,90	800
1,80	-	-	3,00	2,72	2,00	850
1,90	-	-	3,95	3,58	3,15	860

Chú thích: Tổn hao phụ ở khe nối các lá thép ghép xen kẽ đối với tôn cán nóng không tính.

Bảng 45. Suất tổn hao sắt p và suất tổn hao ở khe nối ghép xen kẽ p_k đối với tôn cán lạnh mã hiệu 3404 và 3405 và đối với tôn của một số hãng nước ngoài mã hiệu M6X và M4X dày 0,35; 0,30 và 0,28 mm với từ cảm khác nhau và $f = 50$ Hz

B (T)	p (W/kg)				p_k (W/m ²)	
	3404 0,35 mm	3404 0,30 mm	3405 0,30 mm	M4X 0,28 mm	Một lá	Hai lá
0,20	0,028	0,025	0,023	0,018	25	30
0,40	0,093	0,090	0,085	0,069	50	70
0,60	0,190	0,185	0,130	0,145	100	125
0,80	0,320	0,300	0,280	0,245	170	215
1,00	0,475	0,450	0,425	0,370	265	345
1,20	0,675	0,635	0,610	0,535	375	515
1,22	0,697	0,659	0,631	0,555	387	536
1,24	0,719	0,683	0,652	0,575	399	557
1,26	0,741	0,707	0,673	0,595	411	578
1,28	0,763	0,731	0,694	0,615	423	589
1,30	0,785	0,755	0,715	0,635	0,435	620
1,32	0,814	0,779	0,739	0,658	448	642
1,34	0,843	0,803	0,763	0,681	461	664
1,36	0,872	0,827	0,787	0,724	474	686
1,38	0,901	0,851	0,811	0,727	497	708
1,40	0,930	0,875	0,835	0,750	500	730
1,42	0,964	0,906	0,860	0,778	514	754
1,44	0,998	0,937	0,869	0,806	526	778
1,46	1,032	0,968	0,916	0,834	542	802
1,48	1,066	0,999	0,943	0,862	556	826
1,50	1,100	1,030	0,970	0,890	570	850
1,52	1,134	1,070	1,004	0,926	585	878
1,54	1,168	1,110	1,038	0,962	600	906
1,56	1,207	1,150	1,074	1,000	615	934
1,58	1,251	1,190	1,112	1,040	630	962
1,60	1,295	1,230	1,150	1,080	645	990
1,62	1,353	1,278	1,194	1,132	661	1017
1,64	1,411	1,326	1,238	1,184	677	1044
1,66	1,472	1,380	1,288	1,244	695	1071
1,68	1,536	1,44	1,344	1,312	709	1098

Bảng 45 (Tiếp theo)

B (T)	p (W/kg)				p_k (W/m ²)	
	3404 (0,35 mm)	3404 (0,30 mm)	3405 (0,30 mm)	M4X (0,28 mm)	Một lá	Hai lá
1,70	1600	1500	1400	1380	725	1125
1,72	1672	1560	1460	1472	741	1155
1,74	1744	1620	1520	1564	757	1185
1,76	1824	1692	1588	1660	773	1215
1,78	1912	1776	1664	1760	789	1245
1,80	2000	1860	1740	1860	805	1275
1,82	2090	1950	1815	1950	822	1305
1,84	2180	2040	1890	2040	839	1335
1,86	2270	2130	1970	2130	856	1365
1,88	2360	2220	2060	2220	873	1395
1,90	2450	2300	2150	2400	890	1425
1,95	2700	2530	2390	2530	930	1500
2,00	3000	2820	2630	2820	970	1580

Chú thích:

- 1) Suất tổn hao đối với tôn 3405 dày 0,35 mm lấy theo cột đối với tôn 3404 dày 0,3 mm.
- 2) Suất tổn hao đối với tôn M6X dày 0,35 mm lấy theo cột đối với tôn 3404 có cùng chiều dày.
- 3) Ở hai cột cuối ghi suất tổn hao p_k (W/m²) ở khe nối ghép xen kẽ khi một lá và khi ghép hai lá một.

Bảng 46a. Hệ số gia tăng tổn hao góc nối k_{pg} ở các góc mạch từ đối với các mã hiệu tôn khác nhau khi mối nối nghiêng và thẳng với dải từ cảm $B = 0,9 + 1,7$ T và $f = 50$ Hz

Mối nối	k_{pg}	3412 0,35 mm	3413 0,35 mm	3404 0,35 mm	3404 0,30 mm 3405 0,35 mm	3405 0,30 mm	M6X 0,35 mm	M4X 0,28 mm
Nghiêng	k'_{pg}	1,15	1,22	1,32	1,35	1,36	1,29	1,40
Thẳng	k''_{pg}	1,60	1,78	1,96	2,02	2,08	1,87	2,20

Chú thích: 1) Khi từ cảm $B = 1,8$ T, hệ số nhận được trong bảng phải nhân với 0,96 với mối nối nghiêng; nhân với 0,93 với mối nối thẳng; khi $B = 1,9$ T - tương ứng là 0,85 và 0,67.

2) Với mối nối hỗn hợp ở trụ giữa theo hình 1-5d lấy hệ số $k_{pg} = (k'_{pg} + k''_{pg})/2$.

Bảng 46b. Phương pháp ép trụ, gông và các hệ số gia tăng tổn hao công suất và dòng điện không tải k_{pe} và k_{ie} do ảnh hưởng của việc ép lõi sắt

S (kVA)	Phương pháp ép		Tôn có ủ		Tôn không ủ	
	Trụ	Gông	k_{pe}	k_{ie}	k_{pe}	k_{ie}
Đến 630	Nêm với dây quấn	Xà gông không có đai	1,03	1,045	1,02	1,04
1000 - 6300	Đai thủy tinh	Xà gông không có đai	1,03	1,05	1,025	1,04
1000 và lớn hơn	Đai thủy tinh	Xà gông có đai	1,04	1,06	1,03	1,05

Bảng 47. Hệ số gia tăng tổn hao công suất ở góc nối k_{po} đối với số góc nối có mối nghiêng và thẳng khác nhau của mạch từ phẳng ghép xen kẽ với các mã hiệu tôn khác nhau khi $B = 0,9 \div 1,7$ T và $f = 50$ Hz.

Số lượng góc nối		Mã hiệu tôn và chiều dày						
Nghiêng	Thẳng	3412	3413	3404	3404 0,30 mm	3405	M6X	M4X
		0,35 mm	0,35 mm	0,35 mm	3405 0,35 mm	0,35 mm	0,35 mm	0,28 mm

Mạch từ ba pha (ba trụ)

6	-	7,48	7,94	8,58	8,75	8,85	8,38	9,10
5*	1*	8,04	8,63	9,38	9,60	9,74	9,16	10,10
4	2	8,60	9,33	10,18	10,45	10,64	9,83	11,10
-	6	10,40	11,57	13,74	13,13	13,52	12,15	14,30

Mạch từ một pha (hai trụ)

4	-	4,60	4,88	5,28	5,40	5,44	5,16	5,60
-	4	6,40	7,18	7,84	8,08	8,32	7,48	8,80

* Mối nối hỗn hợp theo hình 1-5d.

Bảng 48. Hệ số tổn hao phụ k_{pf} trong biểu thức (5-23) với các mã hiệu tôn 3404 và 3405

S (kVA)	Đến 250	400 - 630	1000 - 6300	10000 trở lên
Lá tôn có ủ	1,12	1,13	1,13	1,20
Lá tôn không ủ	1,22	1,23	1,26	1,31

Chú thích:

- 1) Với tôn mã hiệu M4X và M6X có thể lấy như các hệ số trong bảng.
- 2) Khi tiết diện gông hình chữ nhật, hệ số trong bảng phải nhân với 1,07.

Bảng 49. Suất từ hóa của tôn cán nóng 1512 và 1513 và của tôn cán lạnh 3411, 3412 và 3413 dày 0,35 mm với các từ cảm khác nhau và $f = 50$ Hz và suất từ hóa ở khe nối của các mã hiệu tôn đó

B (T)	Tôn cán nóng		Tôn cán lạnh			
	q (VA/kg)	q (VA/m ²)	q (VA/kg)			q_k (VA/m ²)
	1512 - 1513	1512 - 1513	3411	3412	3413	3411, 3412, 3413
0,70	2,25	1250	-	-	-	-
0,80	2,75	1880	-	-	-	-
0,90	3,50	3030	-	-	-	-
1,00	4,60	4910	1,45	1,22	1,00	1660
1,10	6,50	7760	1,91	1,53	1,25	2220
1,20	10,0	11760	2,44	2,02	1,57	2770
1,30	15,7	17220	3,17	2,51	2,00	5550
1,40	25,8	24570	4,47	3,55	2,70	11100
1,45	33,4	29650	5,43	4,30	3,22	13990
1,50	43,5	34200	6,75	5,30	3,85	16700
1,55	-	-	9,65	7,10	4,85	21700
1,60	-	-	14,25	10,00	6,20	26600
1,65	-	-	23,20	15,70	9,00	34600
1,70	-	-	38,30	27,00	14,00	44400
1,75	-	-	75,30	52,00	25,60	59400
1,80	-	-	15000	110,00	50,00	76 000
1,90	-	-	-	830,00	350,00	140000

Chú thích: Trị số q_k cho trong trường hợp ghép xen kẽ gồm hai tấm một lượt ghép.

Bảng 50. Suất từ hóa q của tôn cán lạnh 3404 và 3405 dày 0,35 và 0,30 mm với các từ cảm khác nhau, $f = 50$ Hz và suất từ hóa q_k ở khe nối của các mã hiệu tôn đó

B (T)	Mã hiệu tôn và chiều dày lá tôn q (VA/kg)				q_k (VA/m ²)	
	3404 0,35 mm	3404 0,30 mm	3405 0,35 mm	3405 0,30 mm	3404	3405
0,20	0,040	0,040	0,039	0,038	40	40
0,40	0,120	0,117	0,117	0,115	80	80
0,60	0,234	0,230	0,227	0,223	140	140
0,80	0,375	0,371	0,366	0,362	280	280
1,00	0,548	0,540	0,533	0,525	1000	900
1,20	0,752	0,742	0,732	0,722	4000	3700
1,22	0,782	0,768	0,758	0,748	4680	4160
1,24	0,811	0,793	0,783	0,773	5360	4620
1,26	0,841	0,819	0,809	0,799	6040	5080
1,28	0,870	0,844	0,834	0,824	6720	5540
1,30	0,900	0,870	0,860	0,850	7400	6000
1,32	0,932	0,904	0,892	0,880	8200	6640
1,34	0,964	0,938	0,924	0,910	9000	7280
1,36	0,996	0,972	0,956	0,940	9800	7920
1,38	1,028	1,006	0,988	0,970	10600	8560
1,40	1,060	1,040	1,020	1,000	11400	9200
1,42	1,110	1,089	1,065	1,041	12440	10120
1,44	1,168	1,139	1,110	1,082	13480	11040
1,46	1,222	1,188	1,156	1,123	14520	11960
1,48	1,276	1,238	1,210	1,161	15560	12880
1,50	1,330	1,289	1,246	1,205	16600	13800
1,52	1,480	1,360	1,311	1,263	17960	14760
1,54	1,486	1,431	1,376	1,321	19320	15720
1,56	1,575	1,511	1,447	1,383	20700	16800
1,58	1,675	1,600	1,526	1,449	22100	18000
1,60	1,775	1,688	1,602	1,526	23500	19200
1,62	1,958	1,850	1,748	1,645	25100	20480
1,64	2,131	2,012	1,894	1,775	26700	21760
1,66	2,556	2,289	2,123	1,956	28600	23160
1,68	3,028	2,681	2,435	2,188	30800	24680

1,70	3,400	3,073	2,747	2,420	33000	27000
1,72	3,480	4,013	3,547	3,080	35400	28520
1,74	5,560	4,953	4,347	3,740	37800	30840
1,76	7,180	6,364	5,551	4,736	40800	33000
1,78	9,340	8,247	7,161	6,068	44400	35000
1,80	11,500	10,130	8,770	7,400	48000	37000
1,82	20,240	17,670	15,110	12,540	52,000	39800
1,84	28,980	25,210	21,450	17,680	56000	43600
1,86	37,720	32,750	27,790	22,820	60000	47400
1,88	46,460	40,290	34,130	27,900	64000	51200
1,90	55,200	47,830	40,740	33,100	68000	55000
1,95	89,600	82,900	76,900	70,800	80000	65000
2,00	250,000	215,000	180,000	145000	110000	75000

Chú thích: Hai cột cuối ghi suất từ hóa ở khe nối q_k khi ghép xen kẽ mỗi lượt hai lá tôn. Trường hợp ghép từng lá một, trị số q_k trong bảng phải nhân với 0,82 nếu tôn 3404; với 0,78 nếu tôn 3405.

Bảng 51. Suất từ hóa tôn cán lạnh của một vài hãng nước ngoài có mã hiệu M6X và M4X dày 0,35 và 0,28 mm với các từ cảm khác nhau, $f = 50$ Hz và suất từ hóa ở khe nối của các mã hiệu tôn đó

B (T)	q (VA/kg)		q_k (VA/m ²)		
	M6X	M4X	Một lá	Hai lá	
	0,35 mm	0,28 mm	M6X, M4X	M6X	M4X
0,40	0,126	0,091	80	80	80
0,80	0,390	0,297	280	280	280
1,00	0,585	0,432	900	1000	1100
1,10	0,670	0,507	1900	2200	2500
1,20	0,790	0,597	3700	4000	4400
1,30	0,935	0,716	6000	7400	8400
1,40	1,120	0,872	9200	11400	13400
1,50	1,380	1,075	13800	16600	20000
1,55	1,575	1,250	16200	20000	24000
1,60	1,850	1,560	19200	23500	30000
1,65	2,340	2,080	22400	27500	36000
1,70	3,530	3,073	26200	33000	44000
1,75	6,350	5,423	32000	39000	54000
1,80	11,500	10,130	37000	48000	64000
1,90	55,200	47,850	55000	68000	86000
1,95	89,000	82,900	65000	80000	100000
2,00	250,000	215,000	75000	94000	115000

Bảng 52a. Hệ số gia tăng dòng điện không tải do công suất từ hóa tăng lên k_{i0} ở các góc nối mạch từ có mối nối nghiêng và thẳng với các mã hiệu tôn khác nhau, khi từ cảm $0,2 \div 1,9$ T và $f = 50$ Hz

B (T)	Mối nối nghiêng, k'_{i0}			Mối nối thẳng k''_{i0}		
	3404 và 3405 0,35 và 0,30 mm	M6X 0,35 mm	M4X 0,28 mm	3404 và 3405 0,35 và 0,30 mm	M6X 0,35mm	M4X 0,28mm
0,20	1,3	1,3	1,3	1,8	1,8	1,8
0,60	1,4	1,4	1,4	2,2	2,2	2,2
0,80	1,7	1,7	1,7	2,9	3,0	2,9
1,00	2,2	2,3	2,2	4,5	4,7	4,0
1,20	2,9	3,2	2,8	6,8	7,2	6,0
1,40	4,0	4,4	3,4	9,0	10,4	7,4
1,50	4,3	4,7	3,6	9,8	11,6	8,0
1,60	4,3	5,0	3,5	11,0	12,5	8,1
1,70	4,0	4,7	3,4	9,8	11,6	7,4
1,80	3,4	4,0	2,7	8,0	9,8	6,2
1,90	1,3	1,3	1,3	2,2	2,4	2,0

Chú thích: Với tôn mã hiệu 3412 hay 3413 dày 0,35 mm, trị số k'_{i0} tra trong bảng ứng với tôn 3404 và nhân với 0,65 và 0,8; còn trị số k''_{i0} thì nhân tương ứng với 0,56 và 0,78

Bảng 52b. Hệ số gia tăng dòng điện do công suất từ hóa tăng lên k_{i1} ở bề rộng các lá tôn của tập thứ hai a_2 khác nhau đối với tôn cán lạnh

B (T)	Bề rộng lá tôn tập thứ hai a_2 (m)							
	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
0,8 - 1,00	1,30	1,25	1,20	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12
1,10 và 1,90	1,40	1,27	1,21	1,18	1,16	1,15	1,14	1,13
1,20 và 1,80	1,50	1,30	1,22	1,19	1,17	1,16	1,15	1,14
1,30 và 1,70	1,70	1,38	1,25	1,21	1,18	1,17	1,16	1,15
1,40 và 1,60	2,00	1,50	1,35	1,25	1,20	1,19	1,18	1,16
1,50	3,00	2,00	1,50	1,35	1,30	1,25	1,20	1,18

Bảng 53. Hệ số gia tăng dòng điện không tải do công suất từ hóa tăng lên k_{j0} đối với số góc nối khác nhau ghép nghiêng hay thẳng của mạch từ phẳng ghép xen kẽ với các mã hiệu tôn 3404 và 3405 dày 0,35 và 0,3 mm khi $f = 50$ Hz

Số lượng góc nối		Từ cảm B (T)				
Nghiêng	Thẳng	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
<i>Mạch từ ba pha (ba trụ)</i>						
6	-	26,0	27,95	27,95	26,0	22,10
5*	1*	32,25	34,83	35,20	33,25	27,85
4	2	38,5	41,7	42,45	40,50	33,66
-	6	58,5	64,7	65,60	64,70	52,0
<i>Mạch từ một pha (hai trụ)</i>						
4	-	16,0	17,2	17,2	16,0	13,6
-	4	36,0	39,2	40,4	39,2	32,0

* Mỗi nối hỗn hợp xem hình 1-5d.

Bảng 54. Suất dẫn nhiệt của vật liệu cách điện và một số vật liệu khác

Vật liệu	λ (W/m.°C)
Giấy cáp khô	0,12
Giấy cáp dầu	0,17
Giấy cáp tẩm sơn	0,17
Bìa cách điện	0,17
Vải tẩm sơn cách điện	0,25
Hêtinắc (nhựa cách điện)	0,17 - 0,175
Textolit (nhựa)	0,146 - 0,162
Textolit thủy tinh	0,178 - 0,182
Sơn bakelit và các sơn khác	0,30
Dầu khí không có sự đối lưu	0,10
Thép lá kỹ thuật điện ở trạng thái:	
Dọc tấm	22,3
Ngang tấm	4,75 - 4,85
Thép có bọc chất chịu nhiệt	0,8
Đồng	390
Nhôm	226

Chú thích: Độ dẫn nhiệt của các vật liệu cách điện phụ thuộc vào công nghệ gia công chúng. Khi tẩm và thấm cũng như khi áp suất bên ngoài cao thì độ dẫn nhiệt tăng lên.

Bảng 54a. Chiều rộng tối thiểu của rãnh làm lạnh dây quấn của máy biến áp dầu

Chiều dài rãnh	Rãnh dọc (mm)			Rãnh ngang (mm)	
	Dây quấn - dây quấn	Dây quấn - ống cách điện	Dây quấn - trụ	chiều dài rãnh	Dây quấn - dây quấn
Đến 300	4 - 5	4	4 - 5	Đến 40	4
300 - 500	5 - 6	5	5 - 6	40 - 60	5
500 - 1000	6 - 8	5 - 6	6 - 8	60 - 70	6
1000 - 1500	8 - 10	6 - 8	8 - 10	70 - 80	7

Bảng 54b. Rãnh làm lạnh dọc trong máy biến áp khô. Cách chọn chiều rộng rãnh theo độ tăng nhiệt độ cho phép và mật độ dòng nhiệt trên bề mặt cuộn dây q

Cấp cách điện	Độ tăng nhiệt độ cho phép ($^{\circ}\text{C}$)	Mật độ dòng nhiệt (W/m^2) với chiều rộng rãnh (mm)		
		7	10	15
A	60	160	300	380
E, B	75 - 80	230	450	550
F	100	300	600	720
H	125	380	800	950

Bảng 54c. Rãnh làm lạnh ngang trong máy biến áp khô. Cách chọn chiều rộng rãnh theo độ tăng nhiệt độ cho phép và mật độ dòng nhiệt trên bề mặt dây quấn q

Cấp cách điện	Độ tăng nhiệt độ cho phép ($^{\circ}\text{C}$)	Mật độ dòng nhiệt (W/m^2) với chiều rộng rãnh (mm)		
		8	12	15
A	60	280	380	450
E, B	75 - 80	320	420	540
F	100	420	540	720
H	125	580	720	1000

Bảng 55. Hệ số k_3 trong biểu thức (6-10b)

h_r/a	0,07 - 0,08	0,08 - 0,09	0,1	0,11 - 0,12	0,13 - 0,14	0,15 - 0,19	0,2 trở lên
k_3	1,10	1,05	1,0	0,95	0,90	0,85	0,80

Bảng 56. Hệ số hình dáng k_h trong biểu thức (6-13), (6-46) đối với ống có đường kính 51 mm và ống ôvan 20 x 72 mm

Hình dáng mặt thùng	Không quạt gió							Có quạt gió	
	Thùng phẳng	Kiểu ống				Bộ tản nhiệt		Thùng phẳng	Bộ tản nhiệt theo h.6-15
		một dây	hai dây	ba dây	bốn dây	Theo h.6-16	Theo h.6-15		
k_h	1,0	1,4	1,4, 0,96 = 1,344	1,4, 0,93 = 1,302	1,4, 0,9 = 1,26	1,26	1,4	1,6	1,4, 1,6 = 2,24

Chú thích: Với ống đường kính cỡ 30 mm, hệ số k_h trong bảng phải nhân với 1,15

Bảng 57. Các kiểu thùng dầu của máy biến áp

TT	Kiểu thùng	Hình vẽ	Phạm vi áp dụng theo công suất (kVA)
1	Thùng phẳng	-	Đến 25-40
2	Thùng với vách cánh sóng	6-12	từ 40-63 đến 630
2	Thùng có gắn ống làm lạnh cong (thùng có ống)	6-14	từ 40-30 đến 1600
4	Thùng có bộ tản nhiệt kiểu ống thẳng	6-16	từ 100 đến 6300
5	Thùng có bộ tản nhiệt kiểu ống cong	6-15	từ 2500 đến 10000
6	Thùng có bộ tản nhiệt kiểu ống cong có quạt gió	-	từ 10000 đến 80000
7	Thùng có bộ tản nhiệt kiểu dầu tuần hoàn cưỡng bức và quạt gió	-	từ 63000 trở lên

Bảng 58. Khoảng cách tối thiểu từ gông đến nắp thùng

Cấp điện áp của dây quấn U_1 (kV)	Khoảng cách tối thiểu H_2 (mm)	Ghi chú
6,10	160	Khi bộ điều chỉnh điện áp đặt nằm ngang giữa gông và nắp thùng Khi cấp điện áp 110 kV, dây dẫn vào của CT đặt giữa gông và vách thùng
20	300	
35	400	
110	500	

Bảng 59. Hệ số k trong biểu thức (6-20) và (6-21)

Kiểu thùng	k
Thùng phẳng	1,0
Thùng có ống hay cánh sóng	1,2 - 1,5
Thùng có bộ tán nhiệt	1,5 - 2,0

Bảng 60. Số liệu của loại ống tròn và ống ôvan dùng trong các máy biến áp dầu

Dạng ống	Kích thước tiết diện ống (mm)	Chiều dày ống (mm)	Tiết diện ngang phần ống rỗng (mm ²)	Bề mặt 1 mét ống (m ²)	Trọng lượng 1 mét ống (kg)	
					Phần kim loại	Dầu trong ống
Tròn	φ51	1,5	1810	0,16	1,82	1,63
Ôvan	72x20	1,5	890	0,16	1,82	0,79
Tròn	φ30	1,2	600	0,0942	0,845	0,54

Dạng ống	Bước (mm)		Bán kính cong R của ống (mm)	Số dây ống với công suất S (kVA)		
	Giữa các dây t_d	Trong một dây t_δ		63 - 160	250 - 630	1000 - 1600
Tròn	75	70	150	1	2	2-3
Ôvan	100	50	188	1	1	1-2
Tròn	55	50	150	1	1	2-3

Bảng 61. Khoảng cách tối thiểu tâm ống so với đáy $c_{\min}$ và so với nắp $c'_{\min}$ của máy biến áp dầu, ống tròn φ51 mm (hình 6-14)

a (mm)	50 - 80	100 - 150	170 - 200	250 - 280
$c'_{\min}$	60	75	90	120
$c_{\min}$	70	85	100	130

Chú thích: Đối với ống ôvan tiết diện 72 x 20 mm, với cùng trị số a , các trị số $c_{\min}$ và $c'_{\min}$ nhận được trong bảng phải tăng lên 10 mm.

Bảng 62. Số liệu chính của bộ tản nhiệt kiểu ống cong theo hình 6-15

Kích thước A (mm)	Bộ tản nhiệt đơn			Bộ tản nhiệt kép		
	$M_{\text{đ.đl}}$ (m ²)	G_b (kg)	G_d (kg)	$M_{\text{đ.đl}}$ (m ²)	G_b (kg)	G_d (kg)
1880	11,45	205	161	22,9	380	276
2000	12,1	215	169	24,15	401	291
2285	13,55	236	184	27,05	442	321
2485	14,55	249	194	29,1	468	341
2685	15,6	264	204	31,15	499	362
3000	17,2	285	219	34,35	540	393
3250	18,45	302	232	39,6	575	418
3750	21,0	337	258	42,0	644	469
4000	22,3	352	269	44,6	675	492
4250	24,6	373	284	47,2	716	521

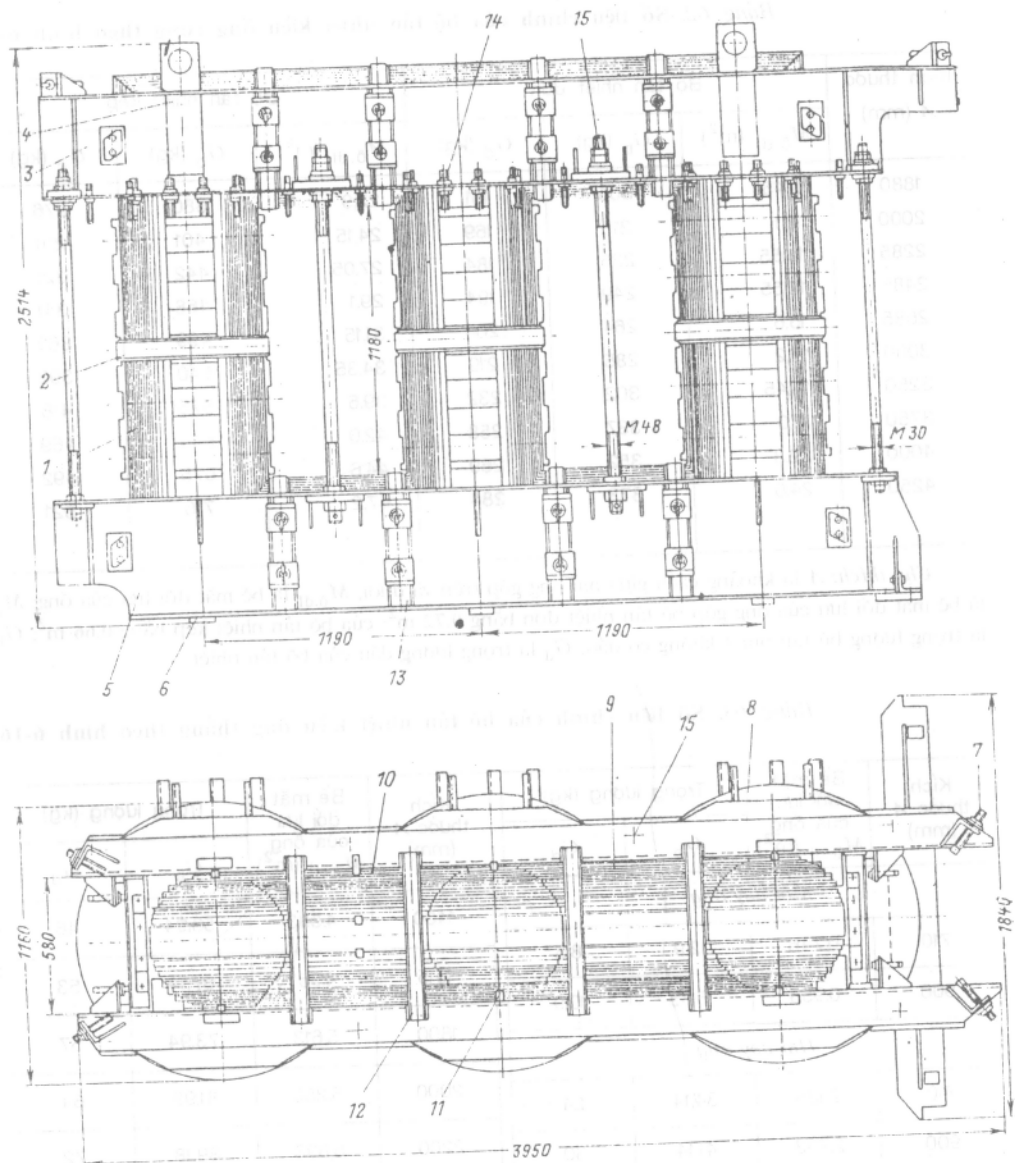
Chú thích: A là khoảng cách giữa hai ống gộp trên và dưới; $M_{\text{đ.đl}}$ là bề mặt đối lưu của ống; M_g là bề mặt đối lưu của ống gộp bộ tản nhiệt đơn bằng 0,72 m²; của bộ tản nhiệt kép bằng 0,66 m²; G_b là trọng lượng bộ tản nhiệt không có dầu; G_d là trọng lượng dầu của bộ tản nhiệt.

Bảng 63. Số liệu chính của bộ tản nhiệt kiểu ống thẳng theo hình 6-16

Kích thước A (mm)	Bề mặt đối lưu của ống $M_{\text{đ.đl}}$ (m ²)	Trọng lượng (kg)	
		G_b	G_d
Một dây ống			
710	0.746	12.9	8,5
900	0.958	15.35	10.9
Hai dây ống			
710	2.135	34.14	24
900	2.733	41.14	30
1150	3.533	50.14	38

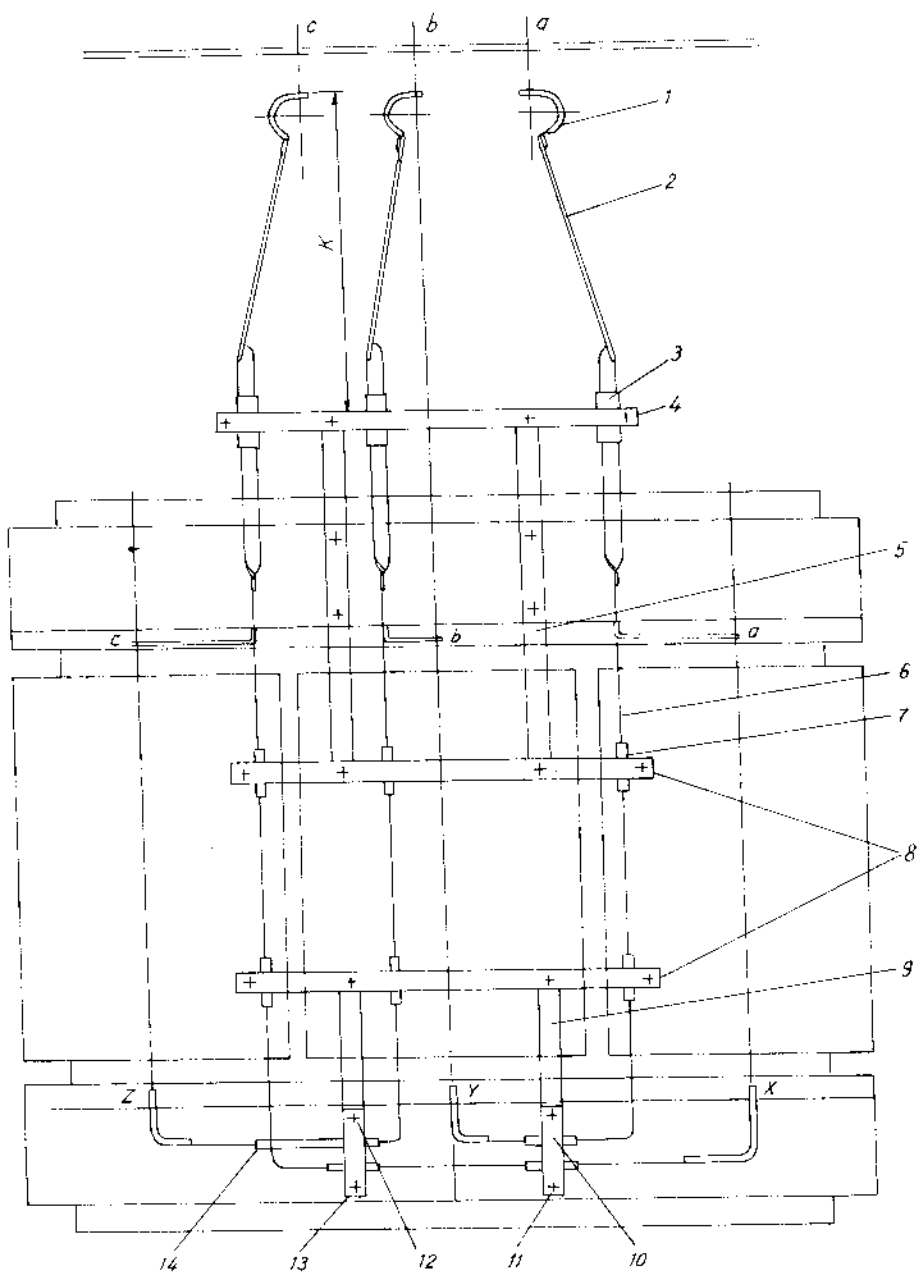
Kích thước A (mm)	Bề mặt đối lưu của ống $M_{\text{đ.đl}}$ (m ²)	Trọng lượng (kg)	
		G_b	G_d
1400	4.333	53.94	46
1615	4.961	67.14	53
1800	5.613	73.94	57
2000	6.253	81.98	64
2200	6.893	89.18	72
2400	7.533	95.68	78

- Chú thích:* 1) Các ký hiệu $M_{\text{đ.đl}}$, G_b , G_d xem chú thích ở bảng 62.
- 2) Bề mặt đối lưu của hai ống gộp $M_{\text{đ.đl}}$ bằng 0,15 m² khi là một dây ống và bằng 0,34 m² khi là hai dây ống.
- 3) Khoảng cách tối thiểu tâm trục mặt bích của bộ tản nhiệt đến mặt phẳng dưới và mặt phẳng trên của thanh thùng c_1 và c_2 tương ứng là 0,085 và 0,10 m.

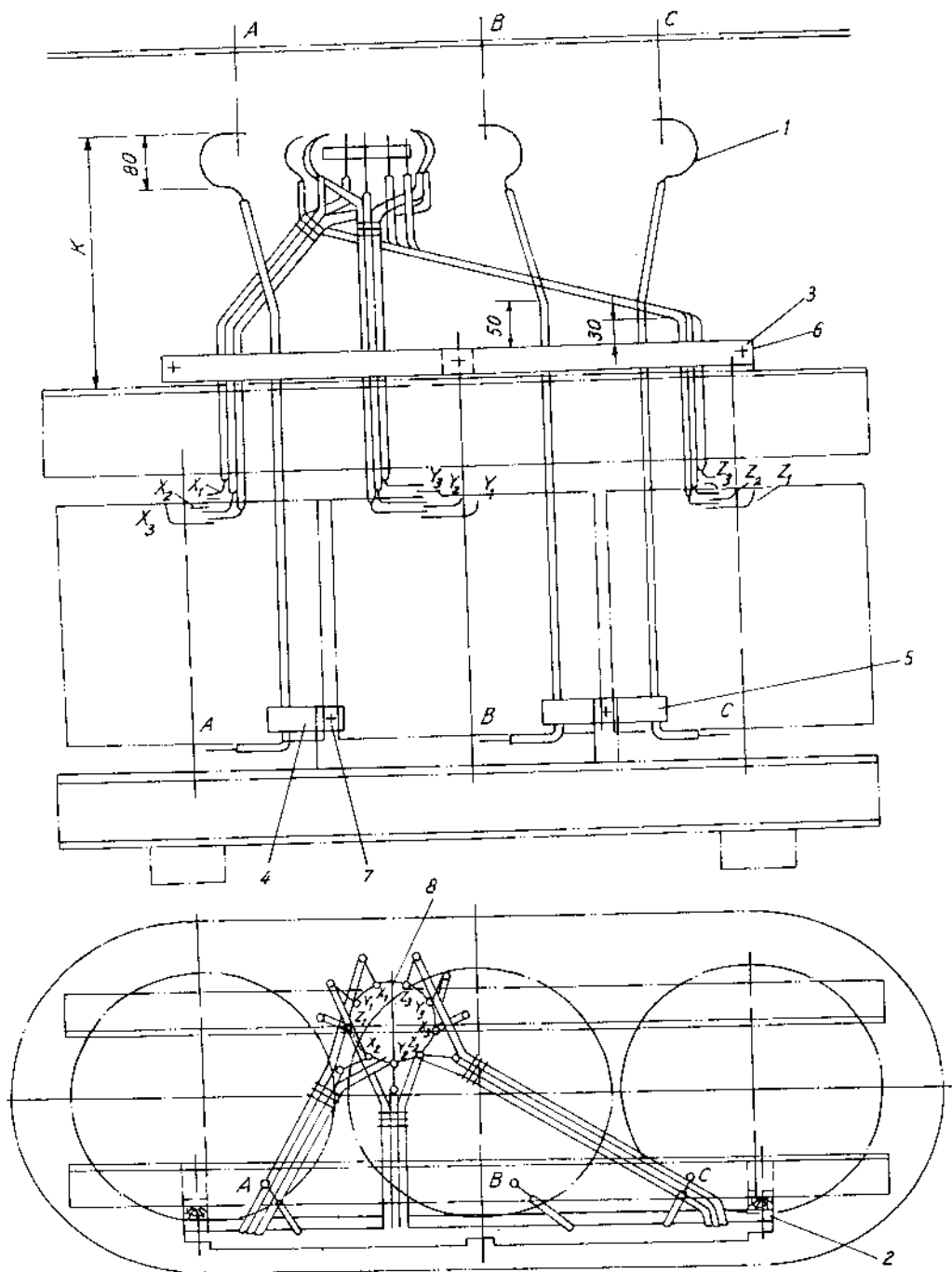


Hình VIII. Lắp ráp toàn bộ lõi sắt m.b.a S= 32 000 kVA;
 $U = 35$ kV bằng tôn cán lạnh.

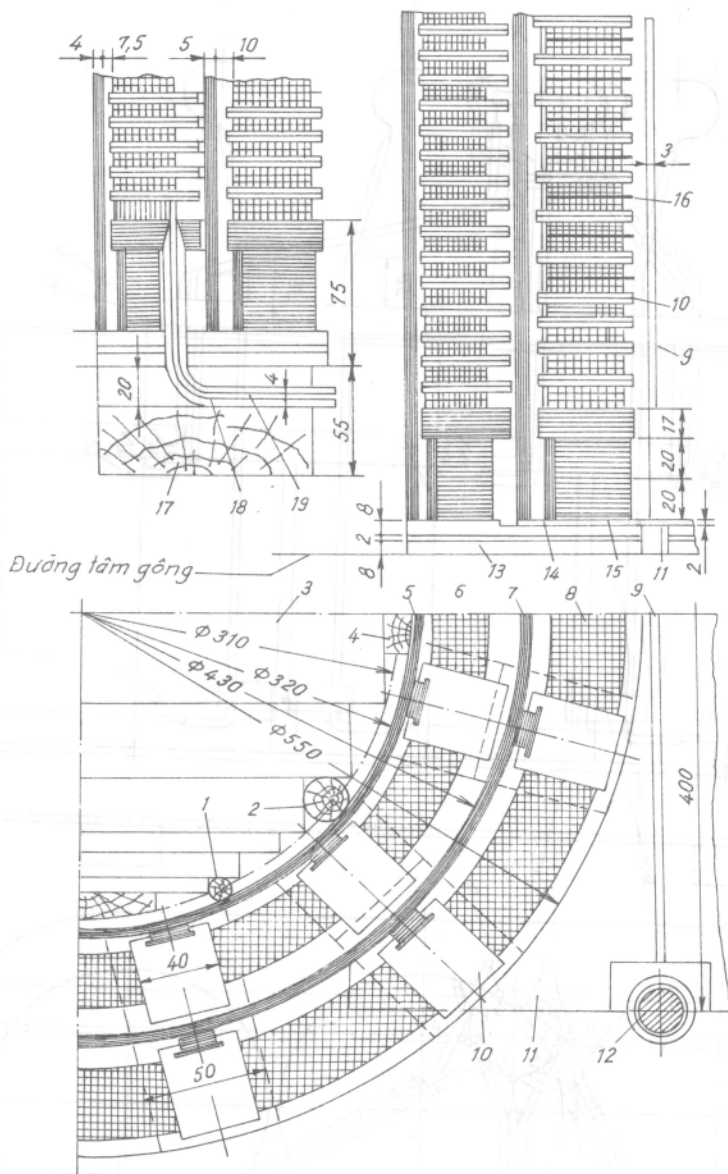
- 1- Trụ; 2- đai thủy tinh; 3- Xà ép gông trên; 4- Móc nâng;
 5- Xà ép gông dưới; 6- Tấm sắt dẽ; 7- Bulông định
 vị lõi sắt; 8- Vành ép cuộn dây; 9- Tấm lót tạo rãnh dầu
 giữa gông và xà ép gông; 10- Gông; 11- Tấm tiếp địa;
 12- Đai thép bán nguyệt để ép gông trên; 13- Đai bán
 nguyệt ép gông dưới; 14- Bulông ép dây quấn theo hướng
 trục; 15- Gudông cố định gông trên và gông dưới.



Hình IX. Sơ đồ kết cấu của dây dẫn ra *IIA* của máy biến áp đến 6300 kVA
 1- Dây dẫn bổ sung; 2- Dây dẫn ra *IIA*; 3- Ống cách điện; 4, 5, 8, 9 và 10- Thanh
 kẹp dây ra ở bên sườn máy; 6- Dây đồng; 7 và 14- Ống giấy bakêlít; 11- Bulông;
 12- Ốc bắt bulông; 13- Bulông.



Hình XI. Sơ đồ kết cấu dây dẫn ra (CA) của m.b.a đến 630 kVA
 1- Dây dẫn lên sứ; 2,3,4,5 - Các thanh kẹp dây dẫn ra bên cạnh máy;
 6,7- Bulông bắt thanh kẹp; 8- Bộ điều chỉnh điện áp.



Hình XII. Dây quấn của m.b.a ba pha 1600 kVA, 35 kV

1,2- Thanh gỗ dọc; 3- Mạch từ; 4- Tấm gỗ dọc; 5- Ống cách điện của dây quấn *HA*; 6- Dây quấn *HA*; 7- Ống cách điện dây quấn *CA*; 8- Dây quấn *CA*; 9- Tấm chắn cách điện pha; 10- Đệm cách điện giữa các bánh dây cuộn *CA*; 11- Đệm cách điện che gông; 12- Gudông đứng có ống cách điện; 13- Cách điện gông; 14- Que nêm (cắn) dọc cách điện; 15- Vành đệm cách điện; 16- Đệm vành giữa từng đôi bóng bánh dây; 17- Cách điện cân bằng; 12 và 19- Cách điện bằng vải tấm sơn cho dây dẫn ra *HA*.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ALSTHOM. Transformateurs de grande puissance. 1995.
2. H. BOYER, M. NORERT, R. PHILIPPE. Cours de construction du materiel électrique.
Deuxieme partie: Transformateurs Paris. 1994.
3. FRANCIS MILSANT. Cours d'électrotechnique. Vol. 1: Transformateurs. Paris 1990
4. PH. BARRET. Cours d'électrotechnique tranformateurs Tom I. Paris 1987.
5. VINCENT DELTORO. Electric Machines and Power Systems. Part One: Transformers New Delhi 1988
6. R. BOURGEOIS, D. COGNIEL. Method électrotechnique - Paris 1987
7. ГАЛУНОВ А.М. Охлаждающие устройства масляных трансформаторов. 1967
8. АЛТОНОВ Г.В., ОБЧАРОВ Ф.Ф. Ремонт магнитоприводов трансформаторов 1965.
9. САНЮЖНИКОВ А.В. Конструирование трансформаторов. 1959
10. ВАСЮТИНСКИЙ С.Б. Вопросы теории и расчёта трансформаторов. 1970
11. ТИХОМИРОВ П.М. Расчёта трансформаторов 1962, 1966, 1976, 1986
12. IVANOV SMOLENSKI (Vũ Gia Hanh, Phan Tử Thụ biên dịch). Máy điện. Tập 1. Nhà xuất bản KHKT-1991
13. VŨ GIA HANH, TRẦN KHÁNH HÀ, PHAN TỬ THỤ, NGUYỄN VĂN SAU. Giáo trình Máy điện. Tập 1. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. 1998
14. VŨ GIA HANH, TRẦN KHÁNH HÀ, PHAN TỬ THỤ. Máy điện. Tập 1. Nhà xuất bản KHKT-1999-
15. PHAN TỬ THỤ. Thiết kế máy biến áp. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. 1967
16. PHAN TỬ THỤ. Thiết kế máy biến áp điện lực. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. 1985

MỤC LỤC

Lời nói đầu	3
 <i>Chương 1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ THIẾT KẾ MÁY BIẾN ÁP ĐIỆN LỰC</i>	
1.1. Vài nét về tình hình chế tạo m.b.a hiện nay và quá trình phát triển của nó	5
1.2. Tiêu chuẩn hóa trong việc chế tạo m.b.a	6
1.3. Sử dụng vật liệu mới trong việc chế tạo	8
1.4. Các kết cấu chính của m.b.a	11
1.5. Mục đích, yêu cầu và nhiệm vụ thiết kế	17
 <i>Chương 2. TÍNH TOÁN CÁC KÍCH THƯỚC CHỦ YẾU CỦA M.B.A</i>	
2.1. Tính toán các đại lượng điện cơ bản của m.b.a và m.b.a tự ngẫu	22
2.2. Thiết kế sơ bộ lõi sắt và tính toán các kích thước chủ yếu của m.b.a	26
 <i>Chương 3. TÍNH TOÁN DÂY QUẤN M.B.A</i>	
3.1. Các yêu cầu chung đối với dây quấn	54
3.2. Các kiểu và kết cấu dây quấn	55
3.3. Điều chỉnh điện áp dây quấn cao áp.	77
3.4. Lựa chọn kết cấu dây quấn.	81
3.5. Tính toán dây quấn m.b.a	84
 <i>Chương 4. TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH</i>	
4.1. Xác định tổn hao ngắn mạch	102
4.2. Xác định điện áp ngắn mạch u_n	109
4.3. Tính lực cơ của dây quấn m.b.a	114
 <i>Chương 5. TÍNH TOÁN CUỐI CÙNG HỆ THỐNG MẠCH TỦ VÀ TÍNH TOÁN THAM SỐ KHÔNG TẢI CỦA M.B.A</i>	
5.1. Xác định kích thước cụ thể của lõi sắt	121
5.2. Tính tổn hao không tải, dòng điện không tải và hiệu suất của m.b.a	127
 <i>Chương 6. TÍNH TOÁN NHIỆT CỦA M.B.A</i>	
6.1. Đại cương	135
6.2. Tính nhiệt độ chênh qua từng phần	135

6.3. Tiêu chuẩn về nhiệt độ chênh và yêu cầu về nhiệt đối hóa đối với m.b.a	143
6.4. Tính toán nhiệt của thùng dầu	144
6.5. Tính toán cuối cùng nhiệt độ chênh của dây quấn và dầu của m.b.a	155
6.6. Xác định sơ bộ trọng lượng ruột máy, vỏ máy, dầu và bình giãn dầu	156
VÍ DỤ TÍNH TOÁN 1	158
VÍ DỤ TÍNH TOÁN 2	179
PHỤ LỤC CÁC BẢNG TRA CỨU	185
Tài liệu tham khảo	233

THIẾT KẾ MÁY BIẾN ÁP ĐIỆN LỰC

Tác giả **PHAN TỬ THỤ**

<i>Chịu trách nhiệm xuất bản:</i>	PGs. Ts. TÔ DĂNG HẢI
<i>Biên tập:</i>	NGUYỄN NGỌC - PHẠM VĂN
<i>Chế bản :</i>	VĂN CẨM
<i>Vẽ bìa :</i>	HƯƠNG LAN

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
70 Trần Hưng Đạo - Hà Nội

In 1.000 cuốn khuôn khổ 16x24cm, tại Xưởng in NXB Văn hóa Dân tộc
Giấy phép xuất bản số: 111-263-7/5/02
In xong và nộp lưu chiểu Quý IV năm 2002.

202168



Giá: 27.000đ