

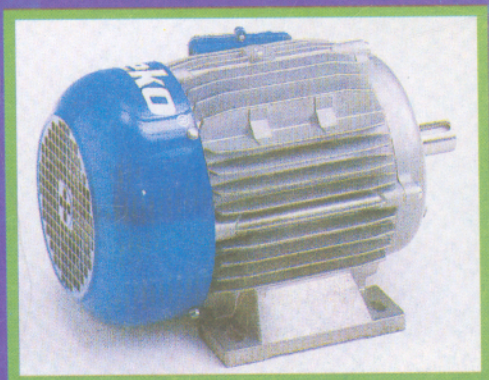
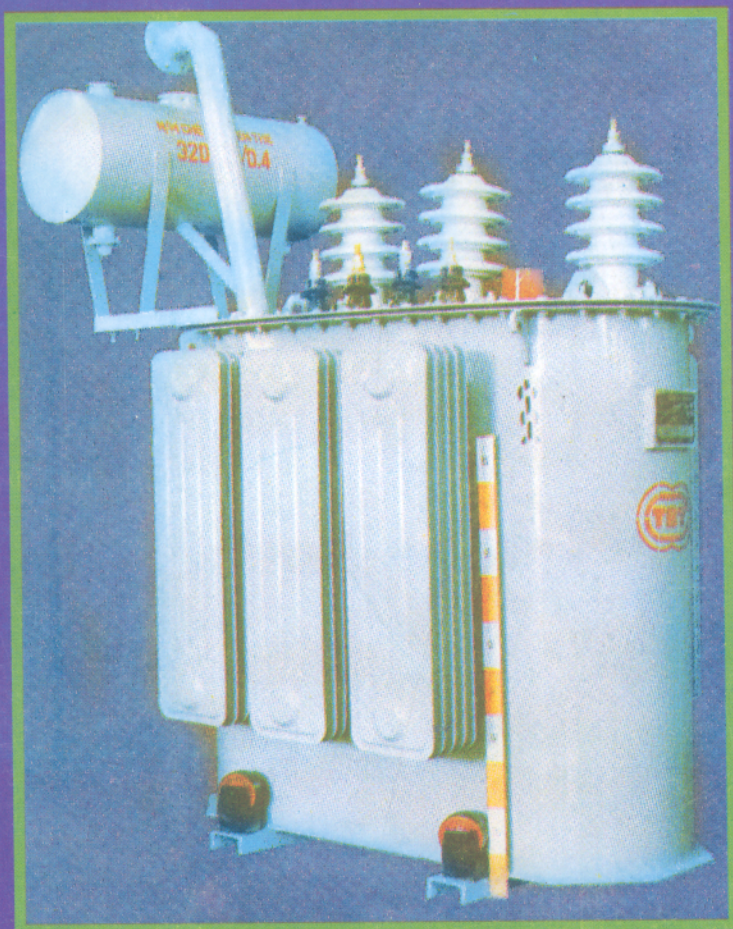
SỬA CHỮA

NGUYỄN ĐỨC SỸ

MÁY ĐIỆN

VÀ

MÁY BIẾN ÁP



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

NGUYỄN ĐỨC SỸ

SỬA CHỮA MÁY ĐIỆN VÀ MÁY BIẾN ÁP

(Tái bản lần thứ ba)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

LỜI NÓI ĐẦU

Trong thời đại ngày nay, tiết kiệm được coi là quốc sách đối với nhiều nước trên thế giới. Việc sửa chữa thiết bị công nghệ trong đó có thiết bị điện góp một phần khá lớn vào công cuộc trên. Công tác sửa chữa nếu được tổ chức tốt sẽ góp phần vào việc giảm chi phí sản xuất, giảm giá thành sản phẩm, giảm đầu tư ban đầu và trên cơ sở đó nâng cao được sức cạnh tranh cho sản phẩm. Đó là chưa kể đến một số thiết bị điện buộc phải sửa chữa vì không có để thay thế. Tuy nhiên nếu tổ chức công tác này không tốt thì cũng không tránh khỏi lãng phí, gây trở ngại cho sản xuất, đặc biệt là sản xuất mang tính dây chuyền, hoặc nghiêm trọng nếu đó là các thiết bị điện trong các khí tài phục vụ công tác huấn luyện và chiến đấu. Chính vì vậy công tác sửa chữa thiết bị điện phải đảm bảo được các yêu cầu sau: chất lượng sửa chữa cao, thời gian sửa chữa ngắn, giá thành sửa chữa thấp. Đây là những yêu cầu rất khó đạt được một cách toàn diện vì những đặc trưng của công tác sửa chữa.

Quyển sách này trình bày những vấn đề mang tính nguyên tắc cơ bản nhất để tiến hành công tác sửa chữa các máy điện quay và máy biến áp. Các vấn đề được trình bày từ thấp đến cao, từ đơn giản đến phức tạp, nhằm phục vụ một cách rộng rãi các đối tượng độc giả. Các công thức, bảng biểu và đồ thị trong tài liệu chủ yếu dựa vào các tài liệu kinh điển của Liên Xô cũ và đã được kiểm nghiệm qua kinh nghiệm làm việc nhiều năm của tác giả và đồng nghiệp. Hiện nay trên thị trường Việt Nam đã xuất hiện nhiều loại vật liệu mới nhập từ nhiều nước khác nhau, đặc biệt là vật liệu cách điện và vật liệu từ. Trên cơ sở lý thuyết đã nêu trong quyển sách kết hợp với sự so sánh đặc điểm, tính năng của các loại vật liệu, căn cứ vào trình độ công nghệ của nhà máy hoặc xưởng của mình, chúng ta có thể thay đổi cường độ từ cảm và khoảng cách cách điện, chiều dày và số lớp cách điện cho phù hợp.

Quyển sách này có thể dùng làm giáo trình cho các học viên trung cấp hoặc cao đẳng và cũng có thể làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư hoạt động trong lĩnh vực vận hành, sửa chữa thiết bị điện. Phần máy biến áp có thể giúp các đồng nghiệp được phân nào trong việc sửa chữa và nâng cấp điện áp của máy biến áp khi tiến hành cải tạo lưới điện.

Quyển sách đã được PGS. Trần Khánh Hà đọc và đóng góp nhiều ý kiến quan trọng.

Vì khả năng, kinh nghiệm còn có hạn, và trong khuôn khổ một quyển sách nhỏ chắc chắn không tránh khỏi thiếu sót và nhược điểm. Rất mong được độc giả góp ý kiến để lần tái bản sau quyển sách được hoàn thiện hơn và đáp ứng được nhiều hơn yêu cầu của độc giả.

TÁC GIẢ

CHƯƠNG I

NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG VỀ CÔNG TÁC SỬA CHỮA MÁY ĐIỆN VÀ MÁY BIẾN ÁP

1-1. MỤC ĐÍCH, Ý NGHĨA, ĐẶC ĐIỂM CỦA CÔNG TÁC SỬA CHỮA MÁY ĐIỆN VÀ MÁY BIẾN ÁP

Mục đích của công tác sửa chữa thiết bị điện nói chung là phục hồi khả năng làm việc của nó với đầy đủ các tính năng mong muốn và đảm bảo thời gian phục vụ như hoặc gần như sản phẩm mới chế tạo.

Nếu đạt được mục đích trên, có nghĩa là một sản phẩm sau khi được sửa chữa cần có tính năng, chất lượng cũng như hình thức hoàn toàn giống như một sản phẩm chế tạo mới. Các tính năng ở đây được hiểu là bao gồm các thông số kỹ thuật đã được ghi trong lý lịch hoặc nhãn máy. Thí dụ: một động cơ điện sau khi sửa chữa phải đảm bảo không làm thay đổi hiệu suất, cosφ, độ tăng nhiệt, bội số mômen mở máy, mômen cực đại, hệ số trượt định mức, cấp cách điện, cấp bảo vệ... và cuối cùng là không được thiếu bất cứ một chi tiết nào, dù nhỏ. Nếu trước khi sửa chữa thiết bị đã bị thiếu một số các chi tiết thì cần phải được bổ sung cho đầy đủ, kể cả những chi tiết nhỏ nhất như hộp đầu dây, gioăng đệm, cánh quạt gió...

Tất cả các chi tiết tuy không hỏng nhưng cần được kiểm tra và hiệu chỉnh. Các chi tiết đã gắn đến lúc phải thay thế như ổ bi, bạc... cần được thay thế luôn khi sửa chữa để đảm bảo tính đồng bộ trong hoạt động, không để tình trạng sự hoạt động kém của một chi tiết dẫn đến làm hư hỏng các chi tiết khác.

Sau khi sửa chữa xong thiết bị phải được sơn lại, đầu trục các máy điện quay cần phải được bọc mỡ bảo quản trong giấy nền hoặc ống nhựa. Máy điện sau khi sửa chữa cần được bổ sung hoặc làm lại lý lịch máy (hồ sơ kỹ thuật) để tiện cho việc vận hành và sửa chữa lần sau.

Nếu đạt được các yêu cầu trên thì việc sửa chữa sẽ có ý nghĩa rất lớn, vì trong máy điện có một số các chi tiết hầu như không bao giờ hư hỏng. Chẳng hạn như trục, thân máy, nắp máy, lõi thép... nếu trong quá trình vận chuyển, tháo lắp không để rơi hoặc làm sai quy trình quy phạm thì không bao giờ xảy ra sự cố gây hỏng hóc. Trong khi đó ta cũng biết rằng giá thành của các chi tiết đó chiếm tới 65 ÷ 70% tổng giá thành của máy.

Nói chung đối với tất cả các quốc gia con số thống kê cho thấy trung bình cứ sau 8 năm số máy điện quay cần được sửa chữa bằng tổng sản lượng chế tạo của ngành chế tạo máy điện trong một năm, đây là không kể con số máy điện nhập khẩu theo con đường nhập thiết bị toàn bộ. Nếu chúng ta tổ chức tốt việc sửa chữa có thể làm lợi cho đất nước một khoản tiền rất lớn.

Đối với những cơ sở sản xuất có vốn đầu tư không lớn thì việc sửa chữa máy điện với chất lượng cao càng có ý nghĩa vì giảm được đầu tư vào thiết bị, tăng vốn lưu động cho sản xuất.

Tất nhiên cũng cần phải nhắc lại việc sửa chữa chỉ đạt hiệu quả cao về kinh tế khi chất lượng sửa chữa đạt được các yêu cầu đã nêu ở trên và giá thành sửa chữa phải được hạ xuống một cách hợp lý.

Một số lớn các máy biến áp truyền tải và phân phối cũng nằm trong quy luật chung đó.

Công nghiệp sửa chữa thường có những đặc điểm sau:

- 1) Thiết bị dụng cụ và máy công nghệ phải có tính vạn năng cao, có thể sử dụng để sửa chữa các máy có công suất, kích thước nằm trong một phạm vi rộng rãi.
- 2) Thiết bị dụng cụ và máy công nghệ có tính chuyên dùng đặc biệt để chỉ sử dụng riêng cho một loại máy nào đó, chẳng hạn vạm móc ngoài, tủ sấy chân không, khuôn tạo hình bởi dây phần tử cứng...
- 3) Việc bổ sung các chi tiết nhỏ như hộp cực, nắp gió, vít năng... gặp nhiều khó khăn vì phải sản xuất đơn chiếc trong điều kiện không có khuôn mẫu... làm cho giá thành sửa chữa tăng vì vậy mà ít người chấp nhận.
- 4) Trình độ sử dụng và vốn đầu tư của người sử dụng thấp nên việc sửa chữa bị khống chế giá thành, do khách hàng thiếu kinh phí và tư tưởng tạm bợ.
- 5) Việc sửa chữa được tiến hành trong điều kiện thiết bị công nghệ kém hiện đại so với sản xuất.
- 6) Sửa chữa là một loại hình sản xuất nhỏ lẻ, đơn chiếc, đa dạng nên thường mang tính chất của nền sản xuất nhỏ, thủ công, không thể tổ chức sản xuất hàng loạt hoặc chuyên môn hóa. Chất lượng sản phẩm phụ thuộc nhiều vào trình độ, ý thức của người thợ.
- 7) Sản xuất sửa chữa mang tính thời vụ, phần lớn các đơn đặt hàng sửa chữa rơi vào mùa mưa, nóng hoặc cuối năm.
- 8) Thời gian sửa chữa thường yêu cầu gấp để phục vụ sản xuất liên tục.

Những đặc điểm của công tác sửa chữa nêu trên thể hiện rõ trên sản phẩm: thiếu đồng bộ, hình thức xấu, tính năng và các đặc tính kỹ thuật không đảm bảo, thời gian phục vụ sau sửa chữa ngắn. Việc sửa chữa mang nặng tính khắc phục, tạm bợ. Chính vì vậy nhiều cơ sở sản xuất không đặt vấn đề sửa chữa mà mua mới để thay thế, gây tổn kém không cần thiết.

1-2. HIỆN TRẠNG NGÀNH CÔNG NGHIỆP SỬA CHỮA THIẾT BỊ ĐIỆN Ở VIỆT NAM

Hiện nay ở các nước cũng như ở Việt Nam 90% các máy điện bị sử cố đều được sửa chữa tại chỗ do phân xưởng cơ điện của xí nghiệp hoặc nhà máy đảm nhiệm. Một số lượng không nhỏ các thiết bị được sửa chữa tại các cơ sở sửa chữa dịch vụ tư nhân. Khoảng 10% số máy điện hỏng được sửa chữa tại các nhà máy chế tạo máy điện hoặc các trung tâm sửa chữa chuyên nghiệp. Các nhà máy chuyên sửa chữa thường đảm trách việc sửa chữa các máy điện lớn, điện áp cao như các máy phát điện lớn, các động cơ điện lớn đến hàng trăm kW.

Ở nước ta hiện không có nhà máy chuyên sửa chữa thiết bị điện. Tất cả các máy điện hỏng hóc được sửa chữa tại chỗ hoặc ở các cơ sở dịch vụ. Việc sửa chữa ở đây, như đã nói, mang nặng tính chất khắc phục tạm, hỏng đâu chữa đấy không đồng bộ, thiết bị sau khi sửa chữa có tuổi thọ rất thấp, gây lãng phí lớn. Tất cả các cơ sở sửa chữa hầu như không có thiết bị tắm ngâm, cấp cách điện thường bị hạ từ một đến hai cấp, nhiều trường hợp còn bị giảm công suất, thay đổi thông số kỹ thuật (nóng hơn, khó khởi động hơn, kêu hơn, đánh lửa nhiều hơn, quay chậm hơn...). Các nhà máy chế tạo thường dành một phân xưởng để sửa chữa bảo hành hoặc sửa chữa dịch vụ, tuy vậy cũng không đảm bảo chất lượng thiết bị sau sửa chữa tương đương với sản phẩm mới. Mặt khác các nhà máy phần nào vẫn còn nằm trong cơ chế bao cấp nên thường giá thành sửa chữa cao, thời gian sửa chữa kéo dài, bảo hành không kịp thời nên chưa khuyến khích được người sửa chữa.

Đối với máy biến áp điện lực, hiện nay chủ yếu được sửa chữa tại các xưởng điện lực của các tỉnh, nói chung sản phẩm sau sửa chữa đều bị giảm chất lượng nhiều, các tiêu chuẩn nhà nước về P_0 ; i_0 ; P_n ; u_n ; η ... thường không đạt.

1-3. TỔ CHỨC PHÂN XƯỞNG SỬA CHỮA MÁY ĐIỆN

1. Đặc điểm của thiết bị

- Có tính vạn năng cao. Thiết bị có khả năng mở rộng kích thước, dùng được cho một phạm vi công suất tương đối rộng rãi.

- Cấp chính xác của thiết bị cao hơn hoặc tương đương cấp chính xác của thiết bị cần sửa chữa.
- Các thiết bị chuyên dụng được cấu tạo theo nguyên tắc có thể tháo rời, ghép nối lại để sử dụng trong thiết bị khác, để di chuyển.
- Để có được sản phẩm sau sửa chữa có chất lượng tương đương sản phẩm mới cần có thiết bị thử nghiệm mạnh để khẳng định chất lượng sửa chữa.
- Phương tiện vận chuyển, nâng hạ linh hoạt.

2. Đặc điểm về nhân sự

- Công nhân phân xưởng sửa chữa phải có trình độ cao cả về văn hóa lẫn chuyên môn để tiếp thu khoa học mới bởi vì thiết bị cần sửa chữa ngày càng phong phú, phức tạp.
- Công nhân phân xưởng sửa chữa phải biết rộng (nhiều kinh nghiệm), hiểu biết nhiều lĩnh vực khác nhau, có khả năng phân tích, tổng hợp. Điều này khác với công nhân sản xuất cần trình độ chuyên môn cao để làm ra sản phẩm có chất lượng và năng suất cao.

3. Đặc điểm về mặt bằng. Cần rộng rãi, chiếu sáng linh hoạt.

4. Một số thiết bị cần thiết cho một phân xưởng sửa chữa máy điện cấp nhà máy, xí nghiệp

1) Nhóm máy và dụng cụ cơ khí:

Máy tiện vạn năng dùng để sửa chữa và bổ sung các chi tiết cơ khí. Máy bào dùng để sửa chữa cơ khí. Máy khoan cần loại to và nhỏ dùng để sửa chữa cơ khí. Máy dập 35T dùng trong sửa chữa mạch từ. Máy cưa to và nhỏ. Máy cắt đá. Máy cắt tôn. Máy mài mặt phẳng để mài khuôn dập. Máy mài tròn để mài trục trong sửa chữa cơ khí. Máy mài hai đá. Các bộ dụng cụ cơ khí. Các bộ khuôn dập vạn năng (dập quay) để sửa chữa mạch từ. Các dụng cụ đo cơ khí như thước panme, thước cặp...

2) Nhóm máy công nghệ:

Máy cân bằng tĩnh dùng để cân bằng tĩnh các rôto sau khi sửa chữa. Máy cân bằng động dùng để phát hiện và loại trừ sự mất cân bằng động trong quá trình sửa chữa. Thiết bị tắm sấy chân không dùng để tắm sấy các máy điện sau sửa chữa. Máy phun sơn phủ dùng để phủ sơn cách điện lên bề mặt dây quấn sau tắm sấy. Các máy quấn bồi dây để chế tạo bồi dây. Máy tạo hình bồi dây. Máy hàn có góp dùng trong sửa chữa có góp. Máy quấn đai rôto. Máy cắt cách điện. Các bộ khuôn quấn dây vạn năng. Các dụng cụ lồng dây như dao phíp, khóa nén dây...

3) Nhóm máy và thiết bị thử nghiệm:

Máy thử cao áp để thử nghiệm cách điện giữa các pha với nhau và giữa các pha với vỏ. Thiết bị thử nghiệm cách điện vòng dây. Thiết bị kiểm tra đầu đúng dây quấn. Thiết bị đo tốc độ. Thiết bị đo nhiệt độ thân máy khi chạy thử tải. Thiết bị đo nhiễu vô tuyến (thiết bị này rất cần thiết cho công tác sửa chữa máy điện một chiều). Thiết bị đo điện trở, đo điện trở cách điện, đồng hồ vạn năng... Thiết bị đo độ rung, tiếng ồn. Tái nước để thử tải máy phát điện. Phanh hãm để thử tải động cơ điện. Các bàn thí nghiệm để lấy đặc tính của máy điện sau sửa chữa.

Hiện nay một số cơ sở sửa chữa chất lượng cao đã bắt đầu nghiên cứu để đưa máy tính vào công tác này.

1-4. PHƯƠNG PHÁP PHÁT HIỆN SỰ CỐ TRONG MÁY ĐIỆN

Tất cả các máy điện khi bị sự cố đều có những biểu hiện không bình thường. Thông qua những biểu hiện đó ta có thể phân tích, phán đoán được tính chất, mức độ, vị trí sự cố. Việc xác định chính xác sự cố rất quan trọng, nó giúp chúng ta quyết định đúng đắn giải pháp sửa chữa một cách nhanh nhất, rẻ nhất, tốt nhất, dễ dàng nhất. Chẳng hạn: quấn lại toàn bộ, quấn lại từng phần, sửa chữa cục bộ... Sửa chữa không đúng chỗ, không thích hợp gây tốn kém không cần thiết, làm giảm độ tin cậy của thiết bị, không kịp thời mà tốn công, vất vả. Xác định sự cố không chính xác nhiều khi thiết bị

bị sửa chữa "oan", ví dụ không hỏng nhưng lại đem quán lại toàn bộ. Nguyên tắc xác định sự cố máy điện dựa trên kết quả quan sát, nghe, kể về sự cố, nghe tiếng máy, đo đặc... Dưới đây là một số phương pháp điển hình.

1. Nghe. Nghe để phân đoán sự cố có hai khía cạnh: nghe người vận hành kể về hiện tượng khi xảy ra sự cố, chẳng hạn về tiếng nổ, khói bốc ra ở đâu máy chạy nhanh hay chậm, máy bị nóng hay không nóng... Cho máy chạy thử nghe tiếng máy, chẳng hạn tiếng nặng nề, rú rít, tiếng hú, tiếng do từ, do điện, do cơ khí... Trên cơ sở những thông tin đó ta có thể phân đoán được tới 70% xác suất sự cố ở đâu, do đâu. Tất cả các dạng sự cố như mất pha, ngược pha, ngắn mạch trong dây quấn, đầu nhầm số mạch nhánh song song, hỏng bi, sát cốt giữa stato và rôto, đứt thanh dẫn rôto lỏng sóc, phối hợp răng rãnh giữa stato và rôto không hợp lý... đều có thể gây ra tiếng động lạ.

2. Quan sát. Quan sát bề ngoài hoặc bề mặt dây quấn ở phần đầu nối có thể đánh giá chất lượng dây quấn và vị trí sự cố của nó. Thông thường động cơ điện sau khi chế tạo bề mặt dây quấn được sơn phủ một lớp sơn màu sáng như màu trắng, xanh ghi, ghi, hồng... Mọi biểu hiện không bình thường về màu sắc là cơ sở để phân tích sự cố.

- Lớp sơn phủ sẫm màu đều trên toàn bộ phần đầu nối cho biết máy điện thường xuyên làm việc quá tải dẫn đến quá nhiệt.

- Nếu dây quấn bị đen sẫm cục bộ hoặc một bối nào đó chứng tỏ dây quấn bị ngắn mạch vòng dây, giữa các bối dây, giữa các pha do hỏng cách điện.

- Nếu các nhóm đối xứng (của một pha) bị đổi màu, các nhóm còn lại màu sáng chứng tỏ dây quấn bị cháy do mất pha.

- Dây quấn bị chấp nổ tạo thành hốc chứng tỏ sự chấp giữa hai pha tạo thành hồ quang. Đồng bị cháy tạo thành hạt như hạt cải.

- Cốt góp máy điện cũng là nơi biểu hiện nhiều dạng sự cố trong dây quấn mà sau này ta sẽ khảo sát tỉ mỉ.

- Quan sát sự đánh lửa dưới chổi than cũng cho thấy triệu chứng của một số sự cố rất điển hình.

- Những trường hợp sắp chạm chấp ta có thể cấp điện áp tăng cao vào dây quấn và quan sát sự đánh lửa sẽ tìm được vị trí của sự cố dạng này.

3. Xác định sự cố thông qua mùi. Dây quấn máy điện sau khi chế tạo được tẩm sơn cách điện. Tất cả các loại sơn cách điện khi bị quá nhiệt đều bốc mùi. Mùi sơn cách điện cháy thường là khét, hắc và chua. Nếu máy điện bị cháy nặng có thể nhận thấy ngay khi bước vào phòng máy.

4. Dùng thiết bị đo đặc để xác định sự cố. Dùng megômet để kiểm tra cách điện giữa các pha với nhau và với vỏ, cách điện giữa các phiến góp...

5. Đo điện trở của dây quấn để phát hiện có vòng dây chấp hoặc có phiến góp chấp.

6. Dùng rônha để kiểm tra cách điện vòng dây, kiểm tra sự đứt trong thanh dẫn rôto lỏng sóc.

7. Dùng rônha để thử nghiệm cách điện vòng dây.

8. Dùng máy tạo cao áp để thử nghiệm cách điện giữa các pha và giữa các pha với vỏ.

9. Dùng các thí nghiệm khác để đo các thông số và kiểm tra sự đấu đúng các dây quấn.

Việc phân tích cụ thể các sự cố được dẫn ra trong chương 4.

CHƯƠNG 2

NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ KẾT CẤU MÁY ĐIỆN QUAY

Để làm tốt công tác sửa chữa máy điện người sửa chữa cần phải nắm vững nguyên lý làm việc và kết cấu của máy điện. Thông thường trong máy điện một sự cố xảy ra có thể biểu hiện khác nhau tùy theo mức độ sự cố, công suất máy, kiểu máy... Mặt khác những biểu hiện như nhau nhưng lại do các sự cố khác nhau gây nên. Vì vậy nếu nắm chắc nguyên lý làm việc và kết cấu của máy ta nhanh chóng phân biệt được nguyên nhân, định vị được sự cố và từ đó có phương án xử lý đúng đắn, kinh tế và chất lượng cao. Sau đây ta lần lượt nghiên cứu đặc điểm nguyên lý và kết cấu của từng loại máy điện quay. Tất cả các máy điện làm việc trên nguyên lý cảm ứng điện từ.

Định luật về cảm ứng điện từ phát biểu như sau: Nếu một thanh dẫn chuyển động trong một từ trường không đổi (hoặc từ trường không đổi chuyển động cắt qua thanh dẫn đứng yên hoặc cả hai chuyển động tương đối so với nhau) thì trong thanh dẫn đó cảm ứng một sức điện động có chiều được xác định theo quy tắc bàn tay phải. Sức điện động này có trị số:

$$e = Blv$$

trong đó: B - từ cảm nơi thanh dẫn cắt qua; l - chiều dài thanh dẫn; v - tốc độ chuyển động tương đối giữa từ trường và thanh dẫn.

Nếu thanh dẫn kín mạch trong thanh dẫn sẽ có dòng điện chạy.

Định luật về lực điện từ phát biểu như sau: Nếu một thanh dẫn có chiều dài l mang dòng điện I được đặt trong một từ trường có từ cảm B thì thanh dẫn đó sẽ chịu một lực tác dụng

$$F = IBl.$$

Lực này có chiều được xác định theo quy tắc bàn tay trái.

2-1. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ KẾT CẤU MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

1. Nguyên lý tác dụng của động cơ không đồng bộ ba pha

Động cơ không đồng bộ ba pha có hai phần chính: stato (phần tĩnh) và rôto (phần quay). Stato gồm có lõi thép trên đó chứa dây quấn ba pha. Khi đầu dây quấn ba pha vào lưới điện ba pha trong dây quấn sẽ có các dòng điện chạy. Hệ thống dòng điện này tạo ra từ trường quay, quay với tốc độ:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

trong đó: f_1 - tần số nguồn điện; với tần số 50Hz ta có:

$$n_1 = \frac{3000}{p}$$

p - số đôi cực của dây quấn.

Phần quay, - rôto, nằm trên trục quay bao gồm lõi thép rôto và dây quấn rôto (hình 2-1). Dây quấn rôto bao gồm một số thanh dẫn đặt trong các rãnh của mạch từ, hai đầu được nối ngắn mạch bằng hai vành ngắn mạch.

Từ trường quay của stato cảm ứng trong dây quấn rôto sức điện động E (có chiều xác định theo quy tắc bàn tay phải) vì dây quấn rôto kín mạch nên trong đó có dòng điện chạy. Sự tác dụng tương

hỗ giữa các thanh dẫn mang dòng điện với từ trường của máy tạo ra các lực điện từ F_{dt} tác dụng lên thanh dẫn có chiều xác định theo quy tắc bàn tay trái.

Từ hình 2-1 ta thấy lực này có xu hướng quay rôto theo chiều quay của từ trường.

Tập hợp các lực tác dụng lên thanh dẫn theo phương tiếp tuyến với bề mặt rôto tạo ra mômen làm rôto quay. Như vậy ta thấy điện năng lấy từ lưới điện đã được biến thành cơ năng trên trục động cơ. Nói cách khác động cơ không đồng bộ là một thiết bị điện từ có khả năng biến điện năng lấy từ lưới điện thành cơ năng đưa ra trên trục của nó. Chiều quay của rôto là chiều quay của từ trường, vì vậy phụ thuộc vào thứ tự pha của điện áp lưới đặt lên dây quấn stato. Tốc độ của rôto n_2 được gọi là tốc độ làm việc và luôn luôn nhỏ hơn tốc độ từ trường vì chỉ trong trường hợp đó mới xảy ra sự cảm ứng sức điện động trong dây quấn rôto. Hiệu số tốc độ quay của từ trường stato và rôto được đặc trưng bằng một đại lượng gọi là hệ số trượt s :

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2-1)$$

Nếu hệ số trượt tính bằng % thì biểu thức trên được nhân thêm 100. Hệ số trượt của động cơ không đồng bộ có trị số nằm trong khoảng $0 \div 1$. Khi $s = 0$ tức là tốc độ rôto bằng tốc độ từ trường chế độ này được gọi là chế độ không tải lí tưởng (không có bất cứ sức cản nào đặt lên trục) ở chế độ không tải thực (có một ít sức cản do quạt gió, ma sát trong ổ bi...) $s \approx 0$. Khi hệ số trượt $s = 1$ tức là khi rôto đứng yên ($n_2 = 0$), mômen trên trục bằng mômen mở máy. Hệ số trượt ứng với tải định mức gọi là hệ số trượt định mức. Tương ứng với hệ số trượt này tốc độ động cơ được gọi là tốc độ định mức. Hệ số trượt định mức nằm trong khoảng $0,01 \div 0,06$ ($1 \div 6\%$).

Tốc độ động cơ không đồng bộ bằng:

$$n_2 = n_1(1 - s) \quad (2-2)$$

Trên nhãn máy thường ghi tốc độ này, nó xấp xỉ bằng tốc độ đồng bộ, cụ thể là:

$p = 1$	$n_1 = 3000$ v/ph	$n_2 \approx 2800$ v/ph.
$p = 2$	$n_1 = 1500$ v/ph	$n_2 \approx 1400$ v/ph.
$p = 3$	$n_1 = 1000$ v/ph	$n_2 \approx 960$ v/ph.
$p = 3$	$n_1 = 750$ v/ph	$n_2 \approx 720$ v/ph.

Thí dụ:

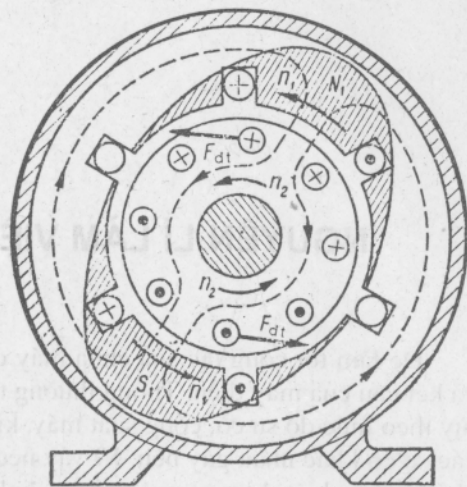
Trên nhãn một động cơ có ghi $f = 50\text{Hz}$; $n_{dm} = 1440$ ta cần hiệu ngay tốc độ đồng bộ $n_1 = 1500$ v/ph, số đôi cực $p = 3000/1500 = 2$; hệ số trượt $s = (1500 - 1440)/1500 = 0,04$ tức 4%.

Một đặc điểm quan trọng của động cơ không đồng bộ là dây quấn rôto không được nối trực tiếp với lưới điện; sức điện động và dòng điện có được trong rôto là do cảm ứng, chính vì vậy người ta cũng gọi loại động cơ này là động cơ cảm ứng. Tần số của dòng điện trong rôto rất nhỏ, nó phụ thuộc vào tốc độ trượt của rôto so với từ trường tức là vào hiệu số $n_1 - n_2$:

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \quad (2-3)$$

hoặc:

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \cdot \frac{n_1}{n_1} = \frac{pn_1}{60} \cdot \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} = sf_1$$



Hình 2-1. Nguyên lý làm việc của động cơ không đồng bộ.

Nghĩa là tần số của dòng điện và sức từ động trong rôto tỉ lệ với hệ số trượt. Chẳng hạn với $s = 0,04$ ta có $f_2 = 0,04.50 = 2\text{Hz}$.

Dòng điện rôto tạo ra sức từ động rôto quay với tốc độ n_s so với rôto:

$$n_s = \frac{60f_2}{p} = \frac{60sf_1}{p} = n_1 s. \quad (2-4)$$

Tốc độ quay của sức từ động rôto so với stato lớn hơn n_s một lượng n_2 :

$$n_s + n_2 = n_1 s + n_1 (1 - s) = n_1.$$

Nghĩa là sức từ động rôto quay trong không gian với tốc độ đồng bộ và không phụ thuộc vào tốc độ quay của rôto. Nói cách khác trong động cơ điện không đồng bộ các sức từ động do rôto và stato sinh ra quay đồng bộ với nhau với tốc độ n_1 và tạo thành một từ trường thống nhất.

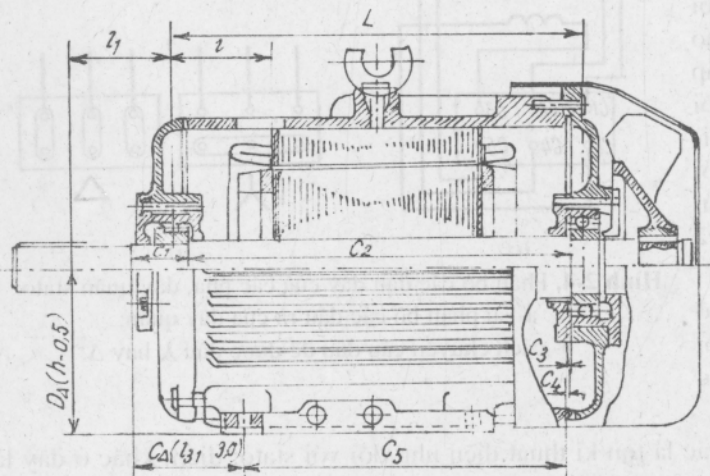
Động cơ không đồng bộ có thể làm việc ở chế độ máy phát điện nếu ta dùng một động cơ khác quay nó với tốc độ cao hơn tốc độ đồng bộ, trong khi các đầu ra của nó được nối với lưới. Nó cũng có thể làm việc độc lập nếu trên đầu ra của nó được kích bằng các tụ điện.

Máy phát không đồng bộ làm việc không ổn định nên ít dùng. Tuy nhiên trong hệ thống ô tô nôm máy phát điện đồng bộ cũng có thể được dùng để làm nguồn điện cho những phụ tải có yêu cầu chất lượng điện không cao.

Động cơ không đồng bộ có thể cấu tạo thành động cơ một pha. Về mặt kết cấu, động cơ không đồng bộ một pha không khác mấy so với động cơ ba pha. Điều khác biệt ở đây là dây quấn stato là dây quấn một pha. Động cơ một pha không tự mở máy được vì vậy để khởi động được động cơ một pha chúng ta cần có các phần tử khởi động như tụ điện, điện trở...

2. Cấu tạo của động cơ điện không đồng bộ

Động cơ không đồng bộ về kết cấu được chia làm hai loại: động cơ không đồng bộ rôto ngắn mạch hay còn gọi là rôto lồng sóc (hình 2-2) và động cơ rôto dây quấn (hình 2-3). Stato của hai loại động cơ này như nhau.



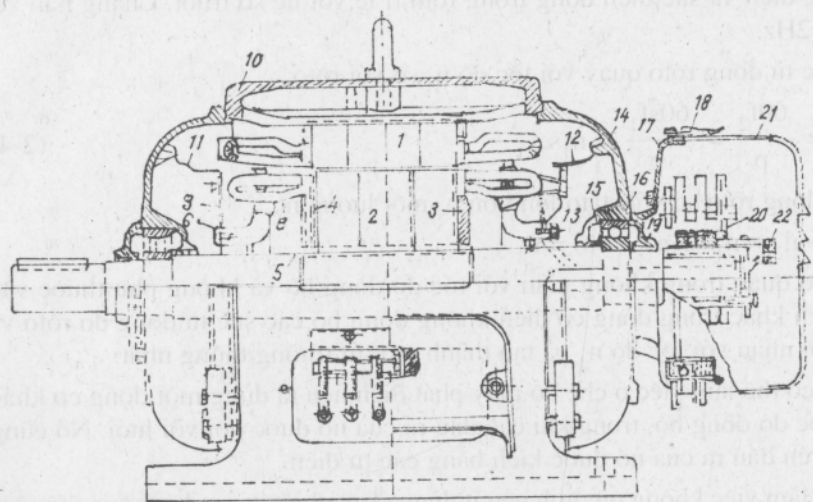
Hình 2-2. Động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc.

Hộp cực là nơi để đấu điện từ lưới vào. Đối với động cơ kiểu kín hộp cực yêu cầu phải kín, giữa thân hộp cực và vỏ máy với nắp hộp cực phải có gioăng cao su; chỗ cấp vào có gioăng cao su bố cấp khi vận hành. Trên vỏ máy còn có bulông vòng để cấu máy khi nâng hạ, vận chuyển và bulông tiếp mát.

Lõi thép stato bao gồm các lá thép kỹ thuật điện dày 0,5 mm ghép lại. Giữa các lá thép được cách điện (thường là sơn) để hạn chế dòng điện phurô. Chức năng của lõi thép là dẫn từ và là nơi

Stato của động cơ bao gồm vỏ máy, lõi thép và dây quấn.

Vỏ máy là nơi cố định lõi thép và đồng thời là nơi ghép nối với nắp hay gối đỡ trục. Vỏ máy có thể làm bằng gang, nhôm, thép; đối với máy nhỏ có thể không có. Để chế tạo vỏ máy người ta có thể đúc, rèn, hàn... Vỏ máy có hai kiểu: vỏ kiểu kín và vỏ kiểu bảo vệ. Vỏ máy kiểu kín yêu cầu phải có diện tích tản nhiệt lớn (người ta làm thêm nhiều gân tản nhiệt trên bề mặt ngoài). Vỏ kiểu bảo vệ thường có bề mặt ngoài nhẵn, gió làm mát thổi trực tiếp trên bề mặt ngoài lõi thép và trong vỏ máy. Hộp



- 1- lõi sắt stato; 2- lõi sắt rôto; 3, 4- vành ép rôto; 5- trục; 6- phần đai đầu nối rôto; 7, 9- quạt gió; 8- phần đai nối rôto; 10- vỏ; 11, 12- chụp hướng gió; 13- dây ra rôto; 14- nắp; 15- nắp mỡ; 16- ổ bi; 17- thân che phần vành trượt; 18- cửa sổ; 20- vành trượt; 21- nắp che phần vành trượt; 22- đầu nối vành trượt với dây cuộn rôto.

Hình 2-3. Động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn:

để làm chỗ dựa cho dây quấn. Vì vậy yêu cầu của lõi thép là phải dẫn từ tốt, tổn hao sắt nhỏ và chắc chắn.

Trên bề mặt trong của lõi thép có các rãnh để chứa dây quấn. Các đầu dây của dây quấn được đưa ra bằng cực trong hộp cực theo quy luật sau (hình 2-4):

Dây quấn được cách điện với lõi thép bằng vật liệu cách điện. Dây quấn của máy điện được nghiên cứu trong chương sau.

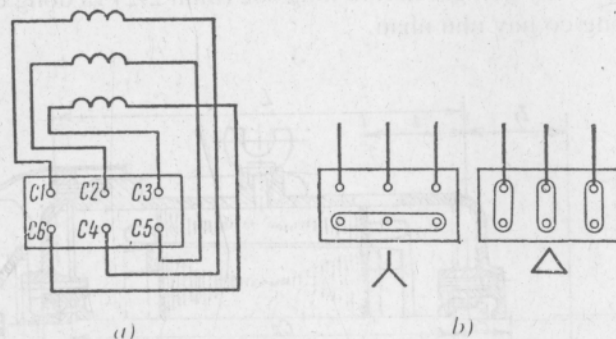
Đối với các động cơ không đồng bộ công suất không lớn (đến hàng trăm kW), nắp máy thường đồng thời là gối đỡ trục. Nắp máy thường được chế tạo bằng gang hoặc thép. Nắp máy được lắp ghép với thân máy qua gờ lắp thân. Mỗi lắp ghép này cùng với mỗi lắp ghép bi-buồng ổ bi xác định vị trí của rôto so với stato. Đây là những mối ghép quan trọng quyết định sự làm việc ổn định và lâu dài của động cơ.

Rôto của động cơ không đồng bộ bao gồm lõi thép, dây quấn và trục; đối với động cơ rôto dây quấn còn có các vành trượt.

Lõi thép của rôto cũng bao gồm các lá tôn kỹ thuật điện như đối với stato; điểm khác ở đây là không cần sơn cách điện giữa các lá tôn vì tần số làm việc trong rôto thấp, như ta đã biết chỉ vài Hz, nên tổn hao do dòng phưcô trong đó rất thấp. Trên bề mặt ngoài của lõi thép rôto có các rãnh để chứa dây quấn rôto.

Dây quấn rôto có hai loại: dây quấn ngắn mạch hay còn gọi là dây quấn lồng sóc và dây quấn pha, tương tự như dây quấn stato.

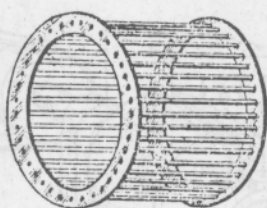
Dây quấn lồng sóc có thể đúc từ nhôm cũng có thể làm từ các thanh đồng; hai đầu các thanh dẫn được nối ngắn mạch với nhau bằng các vành ngắn mạch. Nếu là rôto đúc nhôm trên vành ngắn mạch còn có các cánh khuấy gió (hình 2-5). Rôto thanh đồng được chế tạo từ đồng hợp kim có điện



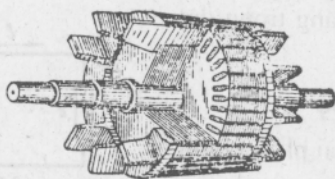
Hình 2-4. Phân bố các đầu dây của các pha, dây quấn stato:

a- sự phân bố các đầu ra của dây quấn;

b- cách chuyển cấu đầu để được đầu Δ hay Δ .



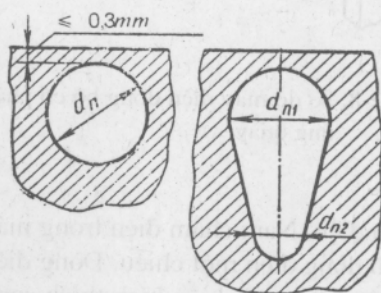
a)



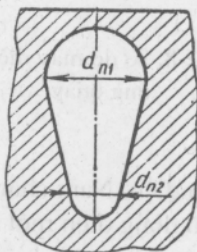
b)

Hình 2-5. Cấu tạo rôtô lồng sóc:

a- dây quấn lồng sóc; b- rôtô lồng sóc gồm dây quấn và lõi thép.



a)



b)

Hình 2-6. Các dạng rãnh rôtô lồng sóc:

a- tròn; b- ôvan.

Việc chế tạo trục khá đơn giản, không cần bất cứ một biện pháp nhiệt luyện nào. Trên trục của rôtô có lõi thép, dây quấn, vành trượt và quạt gió.

2-2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ KẾT CẤU MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

1. Nguyên lý làm việc của máy điện đồng bộ

Máy điện đồng bộ làm việc trên nguyên lý cảm ứng điện từ và việc biến đổi cơ năng thành điện năng dưới dạng dòng điện xoay chiều.

Nếu ta đem quay rôtô là một hệ thống cực từ gồm các nam châm điện một chiều (gọi là kích thích hay phân cảm) thì trong dây quấn trên stato (gọi là phân ứng) sẽ cảm ứng một sức điện động theo định luật cảm ứng điện từ (hình 2-7). Nếu sự phân bố từ trường của nam châm điện có dạng hình sin thì sức điện động cảm ứng trong dây quấn stato cũng có dạng hình sin:

$$e = Blv = B_{\max} \cdot l \cdot v \sin \alpha.$$

Về nguyên lý làm việc, sự phân bố phân cảm và phản ứng trên stato hay rôtô không quan trọng. Hình 2-8 mô tả kết cấu một máy phát điện đồng bộ kiểu có phân cảm nằm trên phân tĩnh. Trên hình 2-8 ta thấy dòng điện cảm ứng được lấy ra từ hai vành trượt thông qua hai chổi than và chạy qua tải Z.

Đối với máy lớn, điện áp cao bắt buộc phải dùng kiểu hệ thống cực từ quay vì lúc đó việc lấy điện xoay chiều điện áp cao từ cụm chổi than - vành trượt gặp nhiều khó khăn.

Tần số của dòng điện tỉ lệ với tốc độ quay của rôtô.

$$f_1 = \frac{pn_1}{60} \quad (2-5)$$

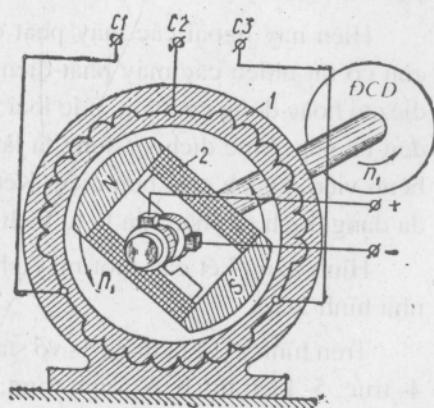
trở suất cao nhằm mục đích nâng cao momen mở máy. Rôtô thanh đồng có độ tin cậy cao vì tránh được hiện tượng rô do dúc. Dạng rôtô này ít gặp trong thực tế vì khó chế tạo và giá thành chế tạo cao.

Dạng rãnh rôtô lồng sóc có thể có nhiều dạng: hình tròn, hình quả lê, hình ôvan, các máy lớn còn có rôtô lồng sóc kép, hai lồng sóc (hình 2-6).

Dây quấn rôtô pha có các thông số tương tự như đối với dây quấn stato như số cực $2p$; số pha... Dây quấn rôtô thường đầu Δ ba đầu dây còn lại của ba pha được đưa ra ba vành trượt đặt trên cùng trục. Các vành trượt được cách điện với nhau và với trục. Thông qua các vành trượt này người ta có thể đưa điện trở phụ vào để mở máy hoặc điều chỉnh tốc độ quay của động cơ.

Việc sửa chữa dây quấn rôtô động cơ không đồng bộ rôtô dây quấn hoàn toàn tương tự như đối với dây quấn stato.

Trục máy điện mang rôtô quay trong lòng stato vì vậy nó là một chi tiết quan trọng. Trục của máy điện tùy theo kích thước có thể được chế tạo từ thép cacbon từ 5 đến 45.



Hình 2-7. Sơ đồ điện từ của máy điện đồng bộ có cực từ quay:

1- stato; 2- rôtô.

Ta thấy trong trường hợp này cơ năng đặt lên trục máy phát điện đã được biến thành điện năng trong dây quấn phản ứng của máy phát.

2. Kết cấu của máy điện đồng bộ

Như đã biết máy điện đồng bộ gồm hai phần chính: phần ứng và phần cảm.

Phần ứng của máy đồng bộ hoàn toàn giống như phần ứng của động cơ không đồng bộ. Nó có thể có ba pha hoặc một pha. Số cực của dây quấn phản ứng phụ thuộc vào số cực của phần cảm. Phần ứng có thể nằm trên stato hoặc rôto đối với máy công suất vừa và nhỏ.

Phần cảm của máy phát là nơi tạo ra từ trường không đổi. Nó có thể là nam châm điện hoặc nam châm vĩnh cửu. Máy phát điện có nam châm vĩnh cửu chỉ áp dụng cho các máy công suất nhỏ (đến hàng kW).

Trong trường hợp máy vừa và lớn phần cảm phải là nam châm điện. Nam châm điện trong máy phát điện đồng bộ bao gồm các cực từ và các cuộn dây trong đó có dòng điện một chiều. Dòng điện một chiều cấp vào dây quấn kích thích có thể lấy từ một máy phát điện một chiều kích thích song song, từ một máy phát điện xoay chiều công suất nhỏ tự kích hoặc từ nguồn tự kích của chính máy phát. Máy phát một chiều tự kích có thể bố trí trên cùng trục hoặc thông qua bộ truyền cơ khí. Máy phát kích xoay chiều thường đặt trên cùng trục của máy phát chính. Điện áp của máy phát kích được một bộ chỉnh lưu quay nắn thành một chiều rồi đưa vào dây quấn kích thích. Việc điều khiển điện áp thông qua dây quấn kích thích của máy phát kích.

Về kết cấu của phần cảm có hai kiểu: cực lõi và cực ẩn.

Máy điện cực lõi (hình 2-9a) thường cấu tạo cho các máy điện đồng bộ chạy tốc độ chậm, như các máy phát thủy điện (hình 2-10). Máy điện cực ẩn (hình 2-9b) được cấu tạo cho các máy phát điện chạy nhanh, như các máy phát tua bin hơi (hình 2-11).

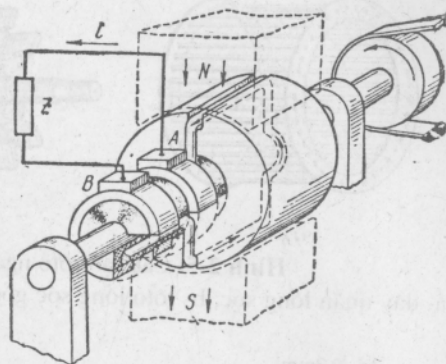
Ở nước ta các nhà máy điện Phả Lại, Ninh Bình... dùng máy phát điện cực ẩn; các nhà máy thủy điện Hòa Bình, Thác Bà, Trị An... dùng máy phát điện cực lõi.

Hiện nay ngoài các máy phát điện thủy điện và nhiệt điện ra còn có rất nhiều các máy phát điện mà động cơ sơ cấp là động cơ diesel hoặc động cơ xăng. Các loại máy này rất đa dạng từ một pha đến ba pha. Mục đích sử dụng là làm các nguồn dự phòng cho các bệnh viện, khách sạn, bưu điện. Kết cấu các máy loại này cũng rất đa dạng, kích từ phần lớn là tự kích bằng khuếch đại thyristor.

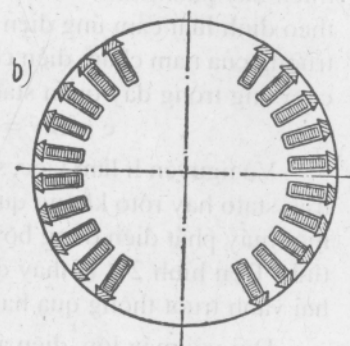
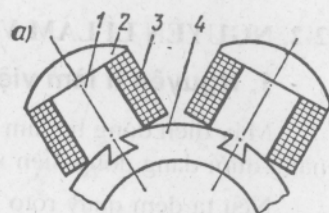
Hình dạng kết cấu một máy phát điện đồng bộ công suất nhỏ như hình 2-12.

Trên hình 2-12 ta thấy: 1- vỏ stato; 2- lõi thép stato; 3- cực rôto; 4- trục; 5- kích thích; 6- vành trượt; 7- gối đỡ; 8- hộp dầu ra.

Máy điện đồng bộ cũng được dùng làm động cơ hoặc máy bù đồng bộ nhưng số lượng rất ít vì giá thành các máy đồng bộ thường cao hơn các phương án dùng tụ điện để bù $\cos\varphi$.



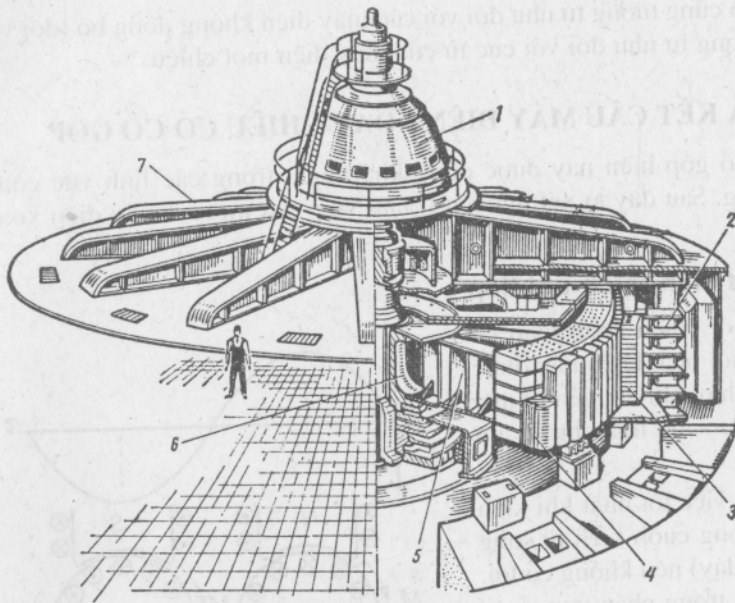
Hình 2-8. Sơ đồ máy điện đồng bộ có phản ứng quay.



Hình 2-9. Cực lõi và cực ẩn của rôto máy điện đồng bộ:

a- cực lõi; b- cực ẩn;

1- thân cực từ; 2- móm cực từ; 3- dây quấn kích thích; 4- giá đỡ cực.

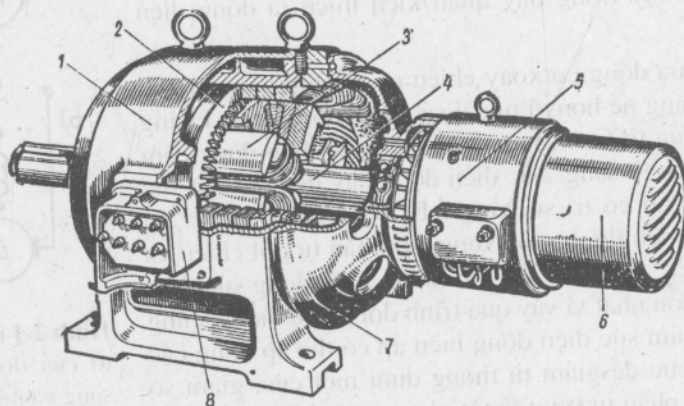
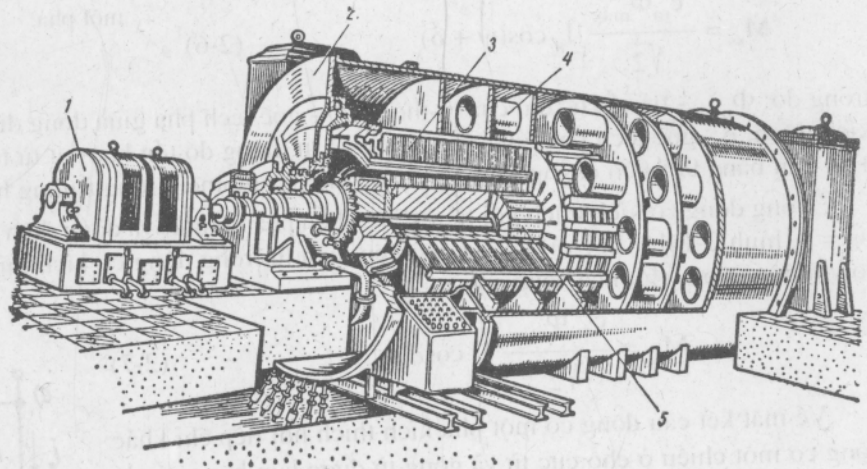


Hình 2-10. Máy phát thủy điện (tuabin nước 105MW, 13,8 kV) kiểu đồng bộ cực lõi:

- 1- phần kích từ;
- 2- vỏ stato;
- 3- lõi thép stato;
- 4- cực của rôto;
- 5- lưng rôto;
- 6- ống lót rôto;
- 7- xà đỡ.

Hình 2-11. Máy phát nhiệt điện (tua bin hơi) kiểu cực ẩn:

- 1- phần kích thích;
- 2- vỏ máy;
- 3- lõi thép stato;
- 4- bộ làm lạnh bằng khí hydro;
- 5- rôto.



Hình 2-12. Một kiểu máy điện đồng bộ công suất nhỏ kiểu hệ thống cực từ quay.

Việc sửa chữa các máy đồng bộ cũng tương tự như đối với các máy điện không đồng bộ (đối với phần ứng). Phần sửa chữa cực từ tương tự như đối với cực từ của máy điện một chiều.

2-3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ KẾT CẤU MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU CÓ CỐ GÓP

Động cơ điện xoay chiều có cố góp hiện nay được dùng khá nhiều trong các lĩnh vực công nghiệp và đặc biệt là trong dân dụng. Sau đây ta xét nguyên lý làm việc của một số máy điện xoay chiều có cố góp thường gặp nhất.

1. Động cơ cố góp một pha kích thích nối tiếp

Về nguyên tắc động cơ điện một chiều hoàn toàn có thể làm việc trong lưới xoay chiều một pha. Điều này được minh họa trên hình 2-13, trên đó ta thấy khi chuyển từ nửa chu kỳ dương của điện áp xoay chiều sang nửa chu kỳ âm mômen điện từ không đổi chiều.

Động cơ một pha có cố góp làm việc tốt nhất khi kích thích nối tiếp. Khi kích thích song song cuộn kích từ song song có điện cảm lớn (vì nhiều vòng dây) nên không có lợi. Lúc này góc lệch pha giữa dòng điện trong phần ứng và từ thông φ lớn (hình 2-14a). Mômen điện từ trong trường hợp này được xác định theo công thức :

$$M_{ss} = \frac{c_m \Phi_{\max}}{\sqrt{2}} I_a \cos(\varphi + \delta) \quad (2-6)$$

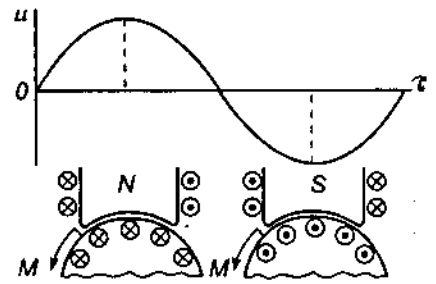
trong đó: $\Phi_{\max}$ - trị số cực đại của từ thông; φ - góc lệch pha giữa dòng điện phần ứng và dòng điện kích thích; δ - góc lệch pha giữa dòng điện và từ thông do tổn hao sắt từ trong máy. Vì góc tổng $(\varphi + \delta)$ gần bằng 90° nên $\cos(\varphi + \delta)$ gần bằng không; mômen trong trường hợp này vì thế sẽ rất nhỏ.

Trong động cơ kích thích nối tiếp, dòng điện phần ứng I_a và dòng điện kích thích trùng pha nhau ($\varphi = 0$, hình 2-14b). Bởi vậy giá trị mômen điện từ trong động cơ kích thích nối tiếp lớn hơn nhiều so với động cơ kích thích song song.

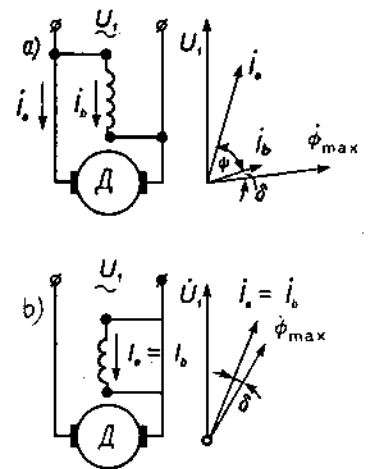
$$M_{nt} = \frac{c_m \Phi_{\max}}{\sqrt{2}} I_a \cos \delta \quad (2-7)$$

Về mặt kết cấu động cơ một pha kích thích nối tiếp chỉ khác động cơ một chiều ở chỗ cực từ và gông từ được làm bằng các lá tôn kỹ thuật điện ghép lại vì từ thông trong nó là từ thông xoay chiều (dòng điện chạy trong dây quấn kích thích là dòng điện xoay chiều).

Nhược điểm của động cơ xoay chiều có cố góp là quá trình đổi chiều diễn ra nặng nề hơn vì ngoài sức điện động phản kháng và sức điện động của từ trường ngoài còn có sức điện động cảm ứng từ dây quấn kích từ sang. Sức điện động này được gọi là sức điện động biến áp, nó có trị số bằng : $E_{ba} = 4,44 f_1 W \Phi_{\max}$. Từ thông do dây quấn kích thích móc vòng với phần từ đổi chiều và cảm ứng trong đó E_{ba} nói trên. Tại thời điểm khởi động sức điện động này đạt trị số lớn nhất vì vậy quá trình đổi chiều lúc đó cũng nặng nề nhất. Để giảm sức điện động biến áp có thể áp dụng các giải pháp: tăng số cực để giảm từ thông dưới một cực, giảm số vòng dây trong một phần từ (một là tốt nhất), tuy nhiên phải tăng số phiên góp, làm phức tạp thêm kết cấu máy. Việc đặt cực từ phụ



Hình 2-13. Nguyên lý động cơ cố góp một pha.



Hình 2-14. Sơ đồ đấu và đồ thị véc tơ của động cơ kích thích song song và nối tiếp:

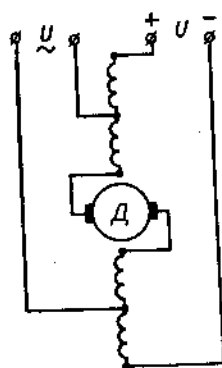
- a- kích thích song song;
- b- kích thích nối tiếp.

trong trường hợp này chỉ có hiệu quả đối với một trị số dòng điện và tốc độ nhất định, ngoài ra sẽ không có hiệu quả do đó ít khi người ta đặt cực từ phụ cho loại động cơ này.

Việc điều chỉnh tốc độ và đảo chiều động cơ một pha có góp tương tự như đối với động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp.

Động cơ điện một pha kích thích nối tiếp có thể làm việc trong lưới điện một pha xoay chiều hoặc lưới một chiều nên được gọi là động cơ vạn năng. Trong loại động cơ này nếu để có được điện áp đặt vào như nhau đối với một tải định mức thì dây quấn kích thích được chia làm hai phần (hình 2-15): khi làm việc với lưới điện một chiều thì dùng toàn bộ dây quấn; khi dùng với lưới điện xoay chiều thì chỉ dùng một phần dây quấn.

Động cơ vạn năng được sử dụng rộng rãi trong đời sống cũng như trong công nghiệp nhỏ (các máy xay sinh tố, máy bơm nước gia đình, máy khoan xínhon điện...). Ưu điểm của loại động cơ này là kích thước nhỏ, mômen mở máy lớn rất thích hợp với chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại.



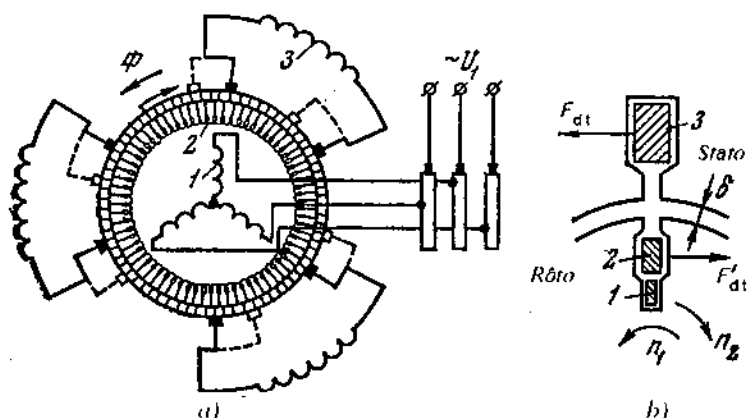
Hình 2-15. Sơ đồ nối động cơ vạn năng

2. Động cơ có cổ góp ba pha

Động cơ này làm việc trên nguyên tắc động cơ không đồng bộ rôto dây quấn có đưa sức điện động phụ vào thứ cấp để điều chỉnh tốc độ.

Trên rôto của loại động cơ này có hai dây quấn: một dây quấn ba pha có ba đầu ra nối với ba vành trượt trên rôto; một dây quấn một chiều nối với cổ góp đặt ở phía đối diện với vành trượt (dây quấn 2).

Hình 2-16 mô tả một động cơ kiểu như vậy.



Hình 2-16. Động cơ có cổ góp ba pha kích thích song song:

a- sơ đồ nguyên lý; b- mặt cắt ngang động cơ;

1- dây quấn 3 pha sơ cấp; 2- dây quấn cổ góp; 3- dây quấn 3 pha thứ cấp.

Thông qua hệ thống chổi than vành trượt ta đưa vào dây quấn ba pha trên rôto (dây quấn 1) điện áp lưới ba pha. Hệ thống dòng điện này tạo thành từ trường quay và cảm ứng trong dây quấn stato sức điện động có tần số $f_3 = sf_1$. Dây quấn stato cũng là dây quấn ba pha nhưng nối kín mạch nên trong nó có dòng điện I_3 chạy. Hình 2-17 mô tả nguyên lý điều chỉnh tốc độ và cosφ của loại động cơ này. Dây quấn 3 trên stato có tác dụng như dây quấn thứ cấp (rôto) của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn. Các đầu dây các pha của dây quấn này được nối với hệ thống chổi than có thể di chuyển được trên bề mặt cổ góp.

Khi làm việc, trong dây quấn 2 cảm ứng một sức điện động (do dòng điện I_1) có tần số f_1 . Nhưng vì nó được nối với cổ góp và dây quấn 3 cũng được nối với cổ góp nên khi rôto quay, sức điện động E_2 đối với dây quấn 3 sẽ có tần số bằng f_3 vì vậy sức điện động này được coi là sức điện động phụ E_r đưa vào dây quấn 3. Dòng điện I_3 trong dây quấn 3 lúc đó sẽ do sức điện động tổng của hai dây quấn trên quyết định:

$$I_3 = \frac{E_3 \pm E_r}{Z_3} \quad (2-8)$$

trong đó Z_3 là tổng trở của dây quấn 3. Trị số và góc pha của dòng điện này quyết định trị số và chiều của mômen quay của động cơ.

Trên hình 2-17 chỉ ra các vị trí tương đối của các chổi than tương ứng với các chế độ thay đổi tốc độ và $\cos\varphi$.

Nếu hai chổi than trùng nhau tức $2\alpha = 0$ thì động cơ làm việc như một động cơ không đồng bộ bình thường. Khi tăng góc 2α số vòng dây giữa hai chổi than tăng, sức điện động phụ tăng, hệ số trượt tăng do đó tốc độ động cơ giảm. Khi chổi than có vị trí như hình 2-17c sức điện động phụ thay đổi theo hướng ngược lại, hệ số trượt âm, tốc độ động cơ tăng cao hơn tốc độ đồng bộ. Phạm vi điều chỉnh tốc độ loại động cơ này có thể đạt tỷ lệ 3:1 ($-0,5 < s < +0,5$).

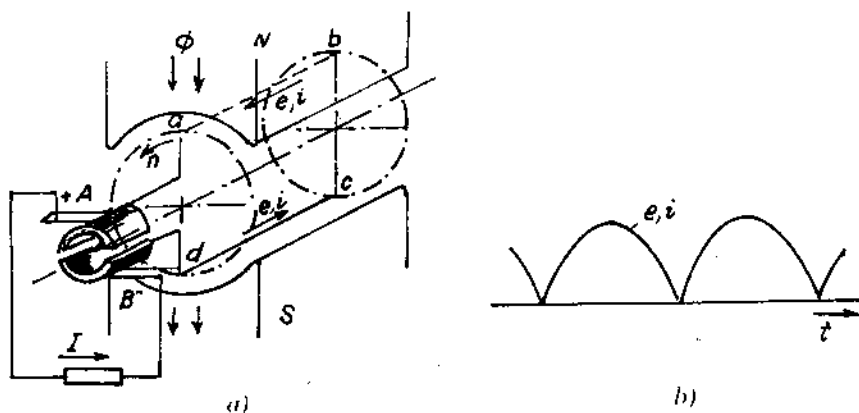
Để cải thiện $\cos\varphi$ của động cơ ta chuyển dịch toàn bộ chổi than đi một góc β theo hướng ngược chiều quay rôto (hình 2-17d) mà không thay đổi góc giữa các chổi. Trong trường hợp này sức điện động phụ sẽ vượt trước sức điện động E_2 một góc θ ; điều này làm nâng cao $\cos\varphi_1$ của động cơ.

Về mặt kết cấu động cơ ba pha kích thích song song, có hình dạng bề ngoài vừa giống như động cơ một chiều vừa giống như động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc. Trên stato có dây quấn ba pha thông thường. Trên rôto có một dây quấn ba pha nối với vành trượt như động cơ rôto dây quấn; một dây quấn một chiều nối với cổ góp giống như máy điện một chiều. Điện áp ba pha được đưa vào rôto thông qua hệ thống chổi than vành trượt. Việc sửa chữa loại máy điện này hoàn toàn giống như đối với động cơ không đồng bộ hoặc máy điện một chiều.

Loại động cơ này được dùng nhiều trong công nghiệp dệt, gỗ, công nghệ bọc dây... Ưu điểm của nó là có thể điều chỉnh tốc độ trong phạm vi rộng và trơn trong điều kiện dùng lưới điện ba pha thông thường việc điều khiển đơn giản, thiết bị điều khiển rẻ tiền. Nhược điểm của nó là kết cấu phức tạp, giá thành chế tạo cao, vận hành và bảo quản cũng phức tạp hơn.

2-4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ CẤU TẠO MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Máy điện một chiều làm việc trên nguyên lý cảm ứng điện từ. Nếu ta quay một khung dây cảm ứng các sức điện động có chiều một từ trường không đổi, trong các cạnh tác dụng của khung dây cảm ứng các sức điện động có chiều được xác định theo quy tắc bàn tay phải. Hình 2-18 trình bày nguyên lý làm việc của một máy phát điện một chiều.



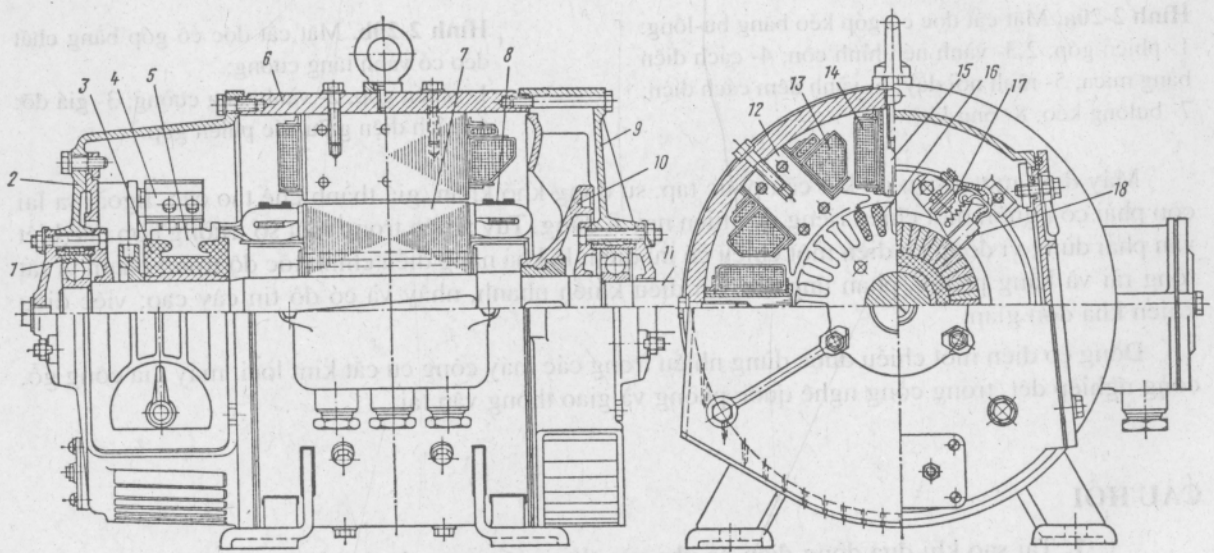
Hình 2-18. Nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều.

Đầu cuối của hai thanh dẫn được nối với hai nửa vành đồng. Trên hai vành đồng người ta dùng hai chổi than tì lên đó để lấy điện ra. Ta thấy chiều của sức điện động trong thanh dẫn thay đổi khi nó nằm dưới các cực có cực tính khác nhau. Trong khi đó các chổi than luôn luôn tiếp xúc với các thanh dẫn nằm dưới một cực tính nhất định. Như vậy cực tính của chổi than không đổi hay nói cách khác ta đã thu được điện áp một chiều trên hai chổi than. Nếu trong mạch ngoài có phụ tải thì trong nó sẽ có dòng điện chạy và ta đã có một máy phát điện. Ta thấy dòng điện trong khung dây là dòng điện xoay chiều còn dòng điện mạch ngoài là dòng điện một chiều. Như vậy cụm chổi than và các phiến đồng đã làm nhiệm vụ của một bộ chỉnh lưu cơ khí.

Nếu ta đặt điện áp một chiều lên hai chổi than thì sẽ có dòng điện chạy trong khung dây. Theo định luật về lực điện từ thanh dẫn mang dòng điện sẽ chịu một lực tác dụng theo phương tiếp tuyến và sẽ sinh ra một mômen điện từ làm cho khung dây quay xung quanh trục của nó. Đó chính là nguyên lí làm việc của động cơ điện một chiều. Máy điện một chiều có tính thuận nghịch: cùng một máy nó có thể làm việc ở chế độ máy phát, cũng có thể làm việc ở chế độ động cơ. Trong chế độ động cơ, dòng điện một chiều được đưa vào phản ứng nhờ cụm chổi than và các phiến đồng. Như vậy trong trường hợp này cụm chổi than-phiến đồng thực chất là một bộ nghịch lưu cơ khí, biến dòng điện một chiều ở mạch ngoài thành dòng điện xoay chiều trong dây quấn rôto.

Để máy phát điện một chiều phát ra một điện áp có thể dùng được trong thực tế cần phải tăng số vòng dây của khung dây. Để điện áp phát ra ít đập mạch cần phải tăng số lượng khung dây. Tập hợp các vòng dây của mỗi khung dây và tất cả các khung dây tạo thành dây quấn. Tập hợp các phiến đồng ở đầu khung dây tạo thành cổ góp. Để làm tăng từ trường theo một hướng đi cần thiết ta cần đặt các khung dây trong một lõi thép gọi là mạch từ.

Phân tạo ra từ trường không đổi gọi là phần cảm. Phần cảm có thể là một nam châm vĩnh cửu hoặc có thể là một nam châm điện. Máy điện có nam châm vĩnh cửu chỉ được áp dụng đối với những máy có công suất nhỏ. Phần cảm là nam châm điện gồm có một mạch từ (lõi cực) và dây quấn xung quanh gọi là dây quấn kích từ. Trong máy điện một chiều ngoài các cực từ chính dùng để kích từ còn có các cực từ phụ dùng để cải thiện điều kiện đổi chiều. Các cực từ phụ được bố trí xen kẽ giữa các cực từ chính. Dây quấn cực từ phụ trong khi làm việc được nối nối tiếp với phần dây quấn trên



Hình 2-19. Máy điện một chiều 220V, 6kW, 1500 v/ph:

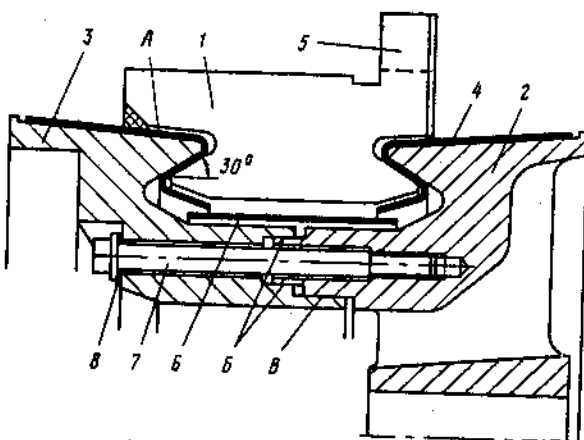
1- ổ bi; 2- nắp (giá đỡ ổ bi); 3- cổ góp chất dẻo; 4- ngón chổi than; 5- phiến góp; 6- thân; 7- lõi thép phản ứng; 8- đai phân đầu nối dây quấn phản ứng; 9- nắp; 10- quạt gió; 11- trục; 12- cực từ chính; 13- dây quấn kích thích cực từ chính; 14- dây quấn cực từ phụ; 15- cực từ phụ; 16- rãnh phân ứng; 17- giá chổi than; 18- chổi than.

rôto. Cũng để cải thiện đối chiều, trên bề mặt cực từ chính người ta còn bố trí dây quấn bù. Dây quấn bù cũng được nối nối tiếp với dây quấn rôto. Phần mạch từ nối các cực với nhau gọi là gông từ và đồng thời là vỏ máy. Hình 2-19 mô tả kết cấu của một máy điện một chiều.

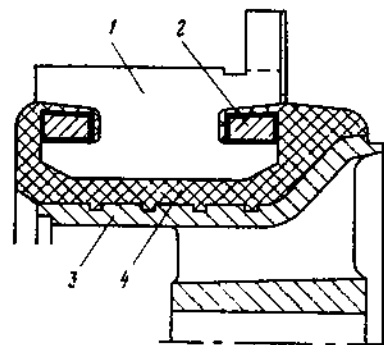
Gông từ và cực từ dẫn từ thông một chiều nên có thể chế tạo bằng thép đúc hoặc thép rèn thông thường mà không cần phải thép kỹ thuật điện ghép từ nhiều lá lại như mạch từ xoay chiều. Phần lõi thép và dây dẫn để cảm ứng sức điện động được gọi là phần ứng.

Như đã biết lõi thép phần ứng dẫn từ thông xoay chiều nên được ghép từ các lá tôn kỹ thuật điện để hạn chế dòng điện phục hồi. Trên bề mặt ngoài của lõi thép phần ứng có các rãnh đập, trong đó đặt dây quấn phần ứng. Như vậy theo nguyên tắc phần ứng của máy điện một chiều luôn phải là phần quay bởi vì có như vậy mới thực hiện được việc chỉnh lưu hoặc nghịch lưu dòng điện.

Trên cùng trục với lõi thép người ta đặt cổ góp. Cổ góp là tổ hợp các phiến góp được cách điện với nhau. Hình 2-20 mô tả kết cấu một cổ góp kiểu có vành nén hình côn (a) và cổ góp ép nhựa (b).



Hình 2-20a. Mặt cắt dọc cổ góp kéo bằng bu-lông:
1- phiến góp; 2, 3- vành nén hình côn; 4- cách điện bằng mica; 5- rãnh nối dây; 6- vành đệm cách điện; 7- bu-lông kéo; 8- ống lót.



Hình 2-20b. Mặt cắt dọc cổ góp bằng chất dẻo có vành tăng cường:
1- phiến góp; 2- vành tăng cường; 3- giá đỡ; 4- cách điện giữa các phiến góp.

Máy điện một chiều có kết cấu phức tạp, sử dụng khó khăn, giá thành chế tạo cao, ngoài ra lại còn phải có nguồn một chiều riêng nên hiện nay ít dùng. Tuy nhiên trong một số trường hợp đặc biệt vẫn phải dùng vì động cơ điện một chiều có ưu điểm là khả năng điều chỉnh tốc độ trong phạm vi rất rộng rãi và bằng phẳng, phản ứng đối với điều khiển nhanh, nhạy và có độ tin cậy cao; việc điều khiển khá đơn giản.

Động cơ điện một chiều được dùng nhiều trong các máy công cụ cắt kim loại, máy gia công gỗ, công nghiệp dệt, trong công nghệ quốc phòng và giao thông vận tải.

CÂU HỎI

1. Tại sao khi đưa dòng điện ba pha vào dây quấn stato động cơ không đồng bộ lại quay được?
2. Về kết cấu động cơ kiểu bảo vệ và động cơ kiểu kín khác nhau ở những điểm nào?
3. Tại sao mạch từ stato của động cơ không đồng bộ lại phải làm bằng các lá tôn kỹ thuật điện ghép lại?
4. Vỏ của động cơ một chiều tại sao phải làm bằng thép mà không thể làm bằng gang?

5. Máy điện đồng bộ và máy điện một chiều khác nhau ở những điểm nào về mặt nguyên lý? Về mặt kết cấu?
6. Tại sao phần ứng của máy điện một chiều nhất thiết phải là rôto?
7. Động cơ một chiều và động cơ không đồng bộ có những ưu nhược điểm gì? Chúng được dùng trong những trường hợp nào?
8. Động cơ rôto lồng sóc và rôto dây quấn khác nhau như thế nào? Trong trường hợp nào phải sử dụng động cơ rôto dây quấn?

CHƯƠNG 3

QUẦN LẠI MÁY ĐIỆN QUAY THEO THÔNG SỐ CŨ

3-1. DÂY QUẦN PHẦN ỨNG CỦA MÁY ĐIỆN

Trước hết để nắm vững nguyên lý và kết cấu của các loại dây quấn chúng ta hãy khảo sát lại đặc điểm của chúng về mặt công nghệ, cách thành lập sơ đồ dây quấn thực tế, trên cơ sở đó nghiên cứu các dạng sự cố thường gặp.

1. Dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều

1) Các tham số của dây quấn

Dây quấn phần ứng của máy điện xoay chiều có các tham số sau: số pha m ; số cực $2p$ (hoặc tốc độ quay); kiểu dây quấn (sóng, xếp, phân tử cứng, phân tử mềm, dây quấn hình sin...); kiểu rãnh (kín, nửa kín, hở hoặc nửa hở); cấp cách điện của dây quấn (hoặc kết cấu, chất liệu của cách điện dây quấn); số rãnh Z ; số phân tử của một pha dưới một cực $q = Z/(2mp)$; số lớp dây (một lớp, hai lớp); số vòng dây trong một bội; số mạch nhánh song song; số sợi chập song song; kích thước dây (đường kính dây trần, kích thước tiết diện của dây dẫn chữ nhật); mã hiệu dây và những yêu cầu đặc biệt khác nếu có.

2) Cách thành lập sơ đồ dây quấn thực tế

- Đối với dây quấn một lớp. Trình tự tiến hành như sau:

+ Đánh số rãnh từ 1 đến Z .

+ Phân các rãnh cho các pha: dưới một đôi cực các rãnh được phân cho các pha theo quy luật sau: A-Z-B-X-C-Y. Tùy theo số phân tử của một pha dưới một cực ta có các rãnh liên tục cùng tên. Chẳng hạn với $q = 2$, $2p = 4$; $Z = 24$ ta có sự phân bố các rãnh cho các pha theo thứ tự sau:

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24.

A. A. Z. Z. B. B. X. X. C. C. Y. Y. A. A. Z. Z. B. B. X. X. C. C. Y. Y.

Tương tự nếu $q = 3$ ta có A.A.A.Z.Z.Z...

+ Nối các rãnh A-X; B-Y; C-Z với nhau ta sẽ có các kiểu dây quấn một pha khác nhau: giả

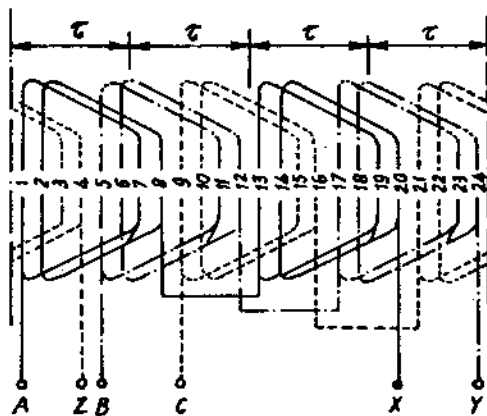
sử cho $2p = 4$; $Z = 24$; số phân tử của một pha dưới một cực $q = \frac{Z}{2mp} = \frac{24}{2.3.2} = 2$; dây quấn một lớp, ta có:

- Dây quấn một lớp đồng khuôn đơn giản (hình 3-1):

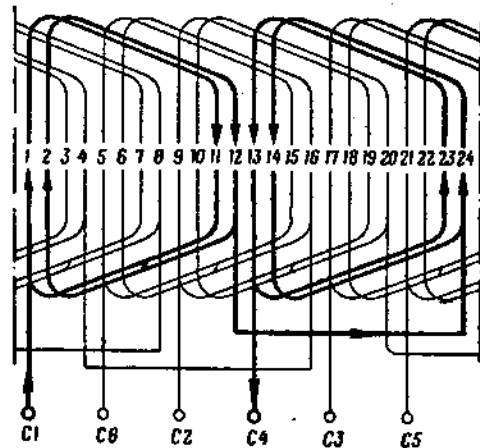
Nối 1-7; 2-8 ... 13-19; 14-20, ta được các nhóm của pha A.

Nối 5-11; 6-12 ... 17-23; 18-24, ta được các nhóm của pha B.

Nối 9-15; 10-16 ... 21-3; 22-4, ta được các nhóm của pha C.



Hình 3-1. Dây quấn một lớp đồng
khuôn đơn giản.



Hình 3-2. Dây quấn một lớp đồng
khuôn phân tán.

- Dây quấn một lớp đồng khuôn phân tán (hình 3-2):
Nối 1-11; 2-12 ... 13-23; 14-24, ta được các nhóm của pha A.
Nối 5-15; 6-16 ... 17-7; 18-8, ta được các nhóm của pha B.
Nối 9-19; 10-20 ... 21-7; 22-8, ta được các nhóm của pha C.
- Dây quấn một lớp đồng tâm đơn giản (hình 3-3):
Nối 1-8; 2-7 ... 13-20; 14-19, ta có các nhóm của pha A.
Nối 5-12; 6-11 ... 17-24; 18-23, ta có các nhóm của pha B.
Nối 9-16; 10-15 ... 21-4; 22-3, ta có các nhóm của pha C.

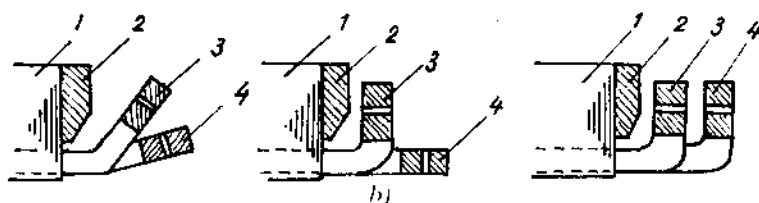
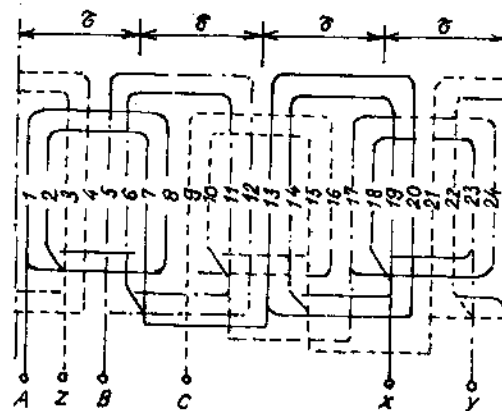
- Dây quấn một lớp đồng tâm phân tán (hình 3-4):

Trong trường hợp này cách nối tương tự như đối với dây quấn đồng khuôn phân tán. Nếu $q = 4$ khi phân tán ta có hai nhóm đồng tâm, mỗi nhóm hai bội. Trên hình 3-4 dẫn ra sơ đồ của một dây quấn có số liệu: $2p = 4$; $Z = 48$; $q = 4$; $y = 11(1-12), 9(2-11)$; $a = 1$.

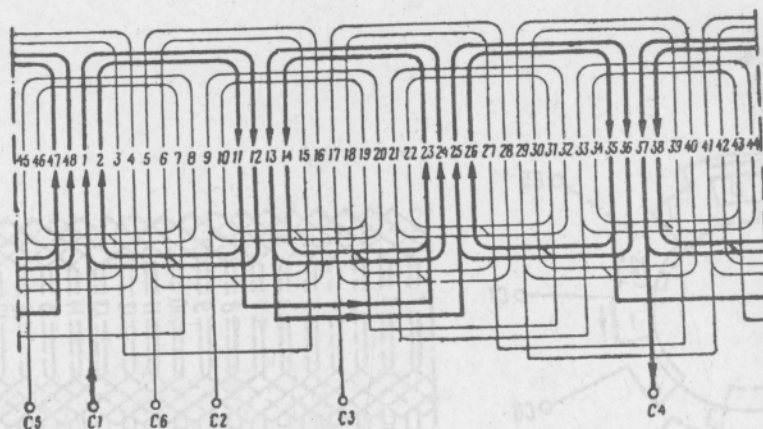
- Dây quấn đồng tâm hai mặt phẳng (hình 3-5).

- Dây quấn đồng tâm ba mặt phẳng (hình 3-6).

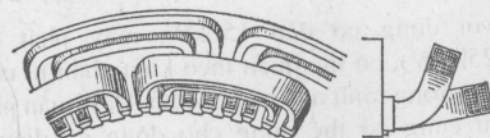
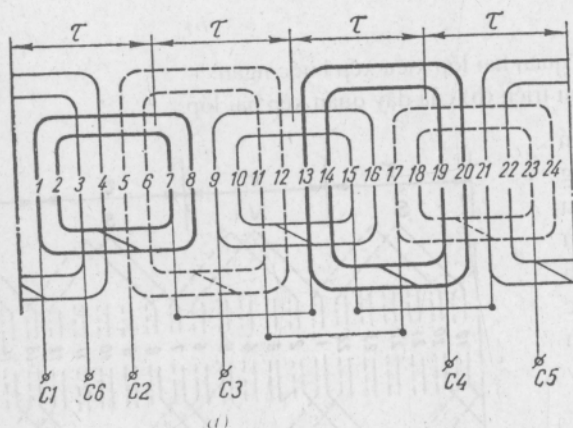
Đối với dây quấn hai lớp. Dây quấn hai lớp có hai loại: sóng và xếp. Dây quấn xếp có thể quấn theo kiểu đồng khuôn hoặc đồng tâm. Cách phân các rãnh cho các pha đối với lớp trên tương tự như dây quấn một lớp, nghĩa là theo quy luật A-Z-B-X-C-Y, còn



Hình 3-3. Sơ đồ dây quấn một lớp đồng tâm đơn giản:
a- sơ đồ dây quấn; b- các phương án bố trí phân đầu nối;
1- lõi sắt stato; 2- vành ép lõi sắt stato; 3, 4- phần đầu nối dây quấn.

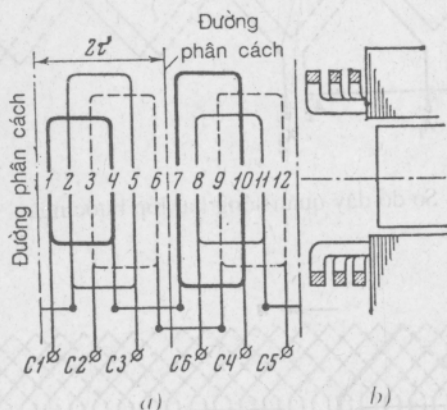


Hình 3-4. Sơ đồ dây quấn một lớp đồng tâm phân tán.



b)

Hình 3-5. Sơ đồ dây quấn một lớp đồng tâm hai mặt phẳng:
a- sơ đồ khai triển; b- sự phân bố đầu nối.



b)

Hình 3-6. Sơ đồ dây quấn một lớp đồng tâm ba mặt phẳng:
a- sơ đồ dây quấn; b- phân đầu nối của ba bố dây khác nhau.

ngắn so với bước đủ nhưng về mặt điện từ thì không có gì thay đổi, bởi vì sự phân bố các rãnh cho các pha không thay đổi. Dây quấn một lớp thường được quấn bằng dây dẫn tròn, phần tử mềm, phần đầu nối được đai bằng băng cách điện sợi bông hoặc sợi thủy tinh.

Dây quấn hai lớp được dùng cho các máy điện công suất lớn, tốc độ cao, nhằm cải thiện dạng sóng sức điện động. Dây quấn hai lớp có thể quấn theo kiểu phân tử mềm trong rãnh nửa kín (đối

các rãnh của lớp dưới thì ngắn đi một số bước rãnh tùy theo tỉ số $b = y/\tau$. Sau đây là một số ví dụ về sơ đồ dây quấn hai lớp.

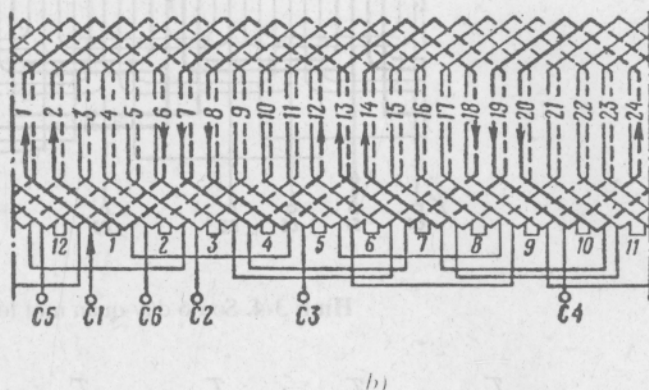
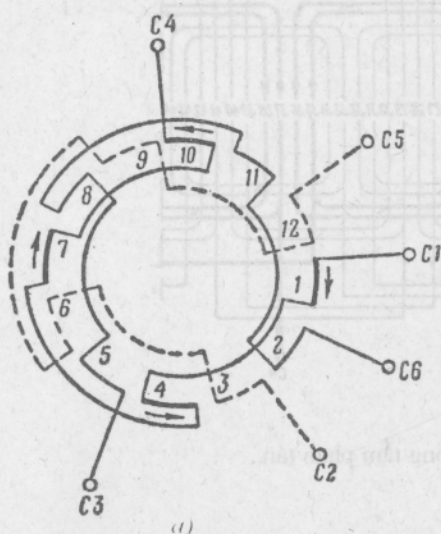
+ Dây quấn hai lớp kiểu xếp, $2p = 4$; $Z = 24$; $a = 1$.

Sơ đồ mặt đầu (a) và khai triển (b) của dây quấn xếp hai lớp khi $2p = 4$; $Z = 24$; $a = 2$; $y = 5(1 - 6)$; $a = 1$ (hình 3-7).

+ Dây quấn hai lớp kiểu sóng.

Theo cách thành lập sơ đồ dây quấn như trên ta thấy được quy luật phân bố các rãnh của các pha rất tiện lợi cho việc phân tích vị trí sự cố sau này.

Dây quấn một lớp được sử dụng chủ yếu trong các máy điện công suất nhỏ (đến 10 kW), tốc độ không cao (đến 1500v/ph). Dây quấn một lớp có bước đủ. Trong trường hợp dây quấn một lớp kiểu phân tán bước dây có



Hình 3-7. Sơ đồ dây quấn hai lớp kiểu xếp bước ngắn: sơ đồ mặt đầu (a) và khai triển (b) của dây quấn xếp hai lớp.

với động cơ đến 150kW, máy phát đến 250kW), có thể quấn theo kiểu phân tử cứng đặt trong rãnh nửa hờ hoặc hờ. Dây quấn phân tử cứng có thể dùng cho động cơ điện từ 20kW trở lên nhằm nâng cao độ tin cậy của dây quấn, chẳng hạn các động cơ trong các ngành xăng dầu, khai thác mỏ... Các máy điện có điện áp thấp (các động cơ khởi động máy nổ chạy acquy) cũng dùng dây quấn loại này. Dây quấn phân tử cứng thường có cách điện từ cấp B đến cấp H.

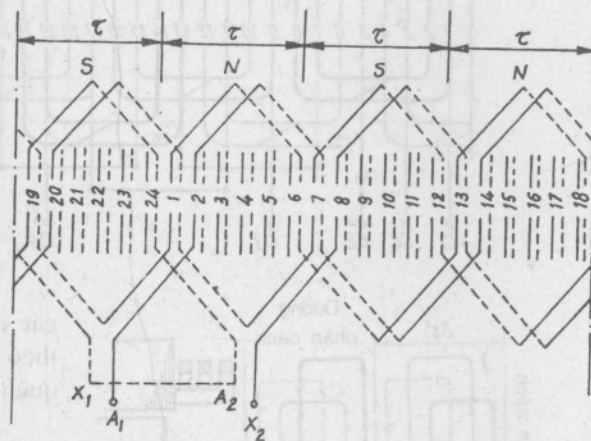
2. Dây quấn máy điện một chiều

Các tham số dây quấn của máy điện một chiều:

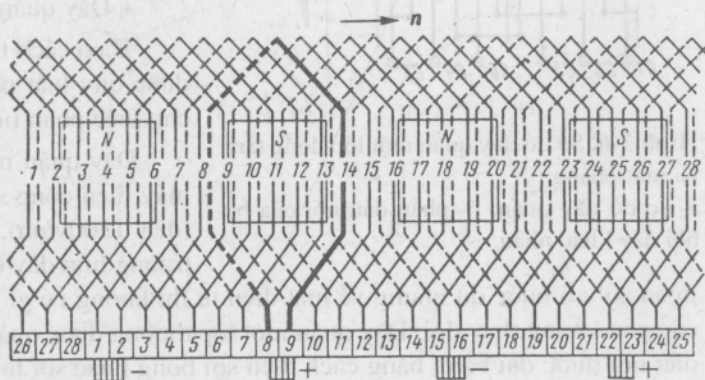
Số rãnh thực Z ; số phần góp của cổ góp; số cực $2p$; bước dây quấn thứ nhất $y_1 = (Z/2p) \pm \epsilon$; bước dây thứ hai y_2 ; bước dây tổng hợp y ; bước trên vành góp y_g ; số rãnh nguyên tố; kiểu dây quấn (xếp đơn, xếp phức, sóng đơn, sóng phức, hỗn hợp); số đôi mạch nhánh song song a ; số vòng dây của một phân tử, kiểu dây dẫn (tròn, tiết diện chữ nhật); cấp cách điện.

Để minh họa ta xét một số sơ đồ dây quấn sau:

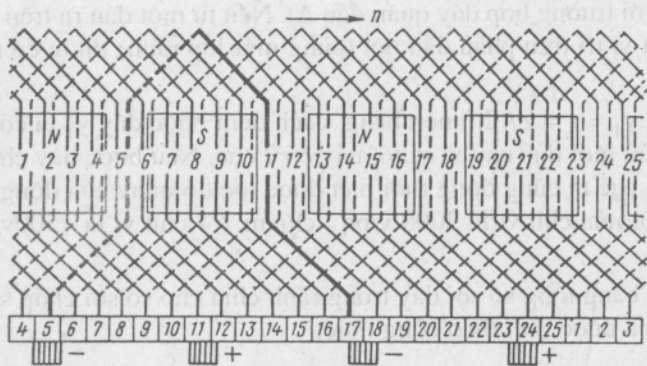
1) Dây quấn xếp đơn có số liệu sau: $2p = 4$; $k = 28$; $y_1 = 6$; $y_2 = 5$; $y = y_k = 1$. Sơ đồ dây quấn xem hình 3-9.



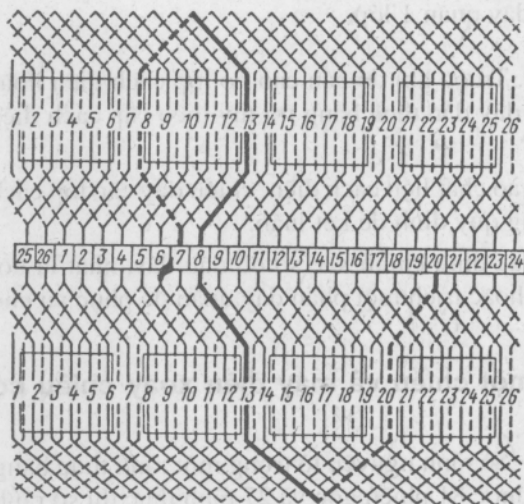
Hình 3-8. Sơ đồ dây quấn sóng hai lớp bước ngắn.



Hình 3-9. Dây quấn xếp đơn.



Hình 3-10. Dây quấn sóng đơn.



Hình 3-11. Sơ đồ dây quấn phức hợp.

2) Dây quấn sóng đơn có số liệu:
 $2p = 4$; $k = 25$; $y_1 = 6$; $y_2 = 6$; $y_k = 12$;
 Sơ đồ xem hình 3-10.

3) Dây quấn phức hợp có số liệu:
 $2p = 4$; $2a = 4$; $k = 26$; $y_{1x} = 6$; $y_{2x} = 5$;
 $y_{kx} = 1$; $y_{1s} = 7$; $y_{2s} = 5$; $y_{ks} = 12$. Sơ
 đồ dây quấn như hình 3-11.

Dây quấn máy điện xoay chiều có
 có góp một pha thường tương tự như
 dây quấn máy điện một chiều. Riêng
 động cơ ba pha xoay chiều có góp
 trên rôto có hai dây quấn: một dây
 quấn xoay chiều ba pha được cung cấp
 từ lưới điện ba pha thông qua ba vành
 trượt, một dây quấn một chiều (được nối với cổ
 góp) làm nguồn sức điện động phụ để đưa điện vào
 dây quấn ba pha trên stato thông qua hệ thống chổi
 than có thể dịch chuyển được. Các dây quấn này
 hoàn toàn tương tự như các dây quấn thông thường.

3-2. CÁCH LẤY SỐ LIỆU DÂY QUẤN

1. Đối với dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều

1) Phân biệt số pha

Dấu hiệu để phân biệt máy điện một pha hay
 ba pha là số đầu dây ra trên bảng cực (3 đầu hay 6
 đầu, có dấu đầu Y không); có phần tử mở máy như
 tụ điện hoặc điện trở không; điện trở ba pha có bằng
 nhau không; kích thước dây các bôi có bằng nhau
 không; nhìn trên phần đầu nối xem các nhóm bôi
 dây phân bố vuông pha nhau hay lệch nhau 180° .

2) Phân biệt một lớp hay hai lớp. Hãy quan sát phần đầu nối: nếu phần đầu nối của tất cả các
 bôi đầu đổ về cùng một hướng là dây quấn hai lớp; nếu xen kẽ các nhóm bôi có phần đầu nối đổ về
 hai phía khác nhau là dây quấn một lớp. Trong một số trường hợp đặc biệt (dây quấn một pha động
 cơ máy lạnh) trên stato có dây quấn vừa một lớp vừa hai lớp.

3) Xác định kiểu dây quấn. Dây quấn đồng tâm có các bôi dây bao nhau, bôi trong bôi ngoài
 (nhìn trên phần đầu nối); dây quấn đồng khuôn thường các bôi dây có kích thước bằng nhau, quấn
 xếp lên nhau như kiểu vành rế.

4) Xác định số bôi dây trong một nhóm. Nếu dây quấn bình thường số bôi dây trong một
 nhóm bằng số phần tử của một pha dưới một cực q. Nếu dây quấn phân tán số bôi dây trong một
 nhóm khác q, chúng có thể chứa một số chẵn hoặc một số lẻ các bôi. Giữa các nhóm bôi, trên phần
 đầu nối bao giờ cũng có cách điện phần đầu nối. Đếm số bôi trong một nhóm mà giữa các bôi không
 có cách điện, ta biết được số bôi trong một nhóm. Ta có thể biết số phần tử của một pha dưới một
 cực bằng cách tính $q = Z/(2mp)$.

Đối với máy lớn (trên 10kW) phần đầu nối của tất cả các bôi đều được cách điện, không phân
 biệt được ranh giới các nhóm.

5) Nhận biết số mạch nhánh song song a và số sợi chập song song n. Nếu một đầu ra trên hộp
 cực được nối với a đầu dây ở a nơi khác nhau (ở các rãnh khác nhau) trên phần đầu nối, thì ta có a

mạch nhánh song song (chú ý phân biệt với trường hợp dây quấn đầu Δ). Nếu từ một đầu ra trên hộp cực được nối với n đầu dây vào cùng một vị trí trên phần đầu nối (cùng một lớp rãnh) thì ta có n số sợi chập song song.

6) Xác định số cực. Ta biết bước dây $y_1 \approx \tau = Z/(2p)$ nên bằng cách đếm bước dây y_1 ta có thể xác định được $2p$. Nếu bước dây chiếm gần một nửa chu vi stato máy có 2 cực. Nếu bước dây chiếm $1/4$ chu vi là 4 cực; $1/6$ là 6 cực... Biết số cực ta cũng đồng thời biết được tốc độ quay của động cơ: với tần số 50 Hz nếu bước dây chiếm một nửa chu vi là 3000 v/ph; chiếm $1/4$ chu vi là 1500v/ph; $1/6$ là 1000v/ph...

7) Số vòng dây tác dụng của một bối bằng tổng số sợi dây trong rãnh chia cho số sợi chập song song. Tổng số sợi dây nối tiếp của một pha được tính theo công thức:

$$W_f = \frac{W_b q}{a} \frac{Z}{2p} \quad - \text{ đối với dây quấn 2 lớp.}$$

$$W_f = \frac{W_b q}{a} \frac{Z}{p} \quad - \text{ đối với dây quấn 1 lớp.}$$

8) Kích thước sợi dây được đo bằng thước panme. Trước khi đo cần cạo bỏ lớp cách điện hoặc đo cả cách điện rồi trừ đi chiều dày lớp cách điện của dây dẫn theo bảng tra tùy theo cấp cách điện và chủng loại dây.

9) Cấp cách điện được xác định bằng cách căn cứ vào chất liệu cách điện, chiều dày các lớp cách điện rãnh và loại sơn tẩm, rồi đem so sánh với các bảng quy định để kết luận.

10) Xác định sơ đồ đầu dây của dây quấn. Phải xác định chính xác sơ đồ đầu dây, nhất là đối với dây quấn máy phát điện, thường có thêm dây quấn hoặc trích một phần dây quấn để phục vụ cho việc kích từ máy phát.

2. Đối với dây quấn phản ứng máy điện một chiều và máy điện xoay chiều có cổ góp

1) Xác định số rãnh nguyên tố trong một rãnh thực. Số rãnh nguyên tố trong một rãnh thực bằng tỉ số giữa số phiên góp với số rãnh thực. Giả sử ta đếm được 81 phiên góp và 27 rãnh thực thì số rãnh nguyên tố trong một rãnh thực là $81/27 = 3$.

2) Số vòng dây tác dụng trong một phần tử bằng số sợi dây trong một bối (trong một nửa rãnh) chia cho số rãnh nguyên tố trong một rãnh thực. Đối với một số động cơ điện một chiều dùng trong quốc phòng, số vòng dây trong các phần tử có thể khác nhau. Vì vậy khi lấy số liệu loại động cơ này cần lưu ý đếm số vòng dây của tất cả các bối.

3) Xác định vị trí các đầu dây của các phần tử đối với cổ góp. Điều này rất quan trọng vì nếu sai, hiện tượng đánh lửa dưới chổi than sẽ tăng mạnh. Ta cần phải đánh dấu đầu dây của phần tử đầu tiên (trong một rãnh bất kì) được nối với phiên góp nào. Các đầu dây của các bối sau sẽ được nối theo quy luật chung.

4) Xác định kiểu dây quấn. Tìm hai đầu dây của một phần tử bất kì (nhả mối hàn ra khỏi phiên góp). Nếu hai đầu dây này được nối với hai phiên góp cạnh nhau thì đó là kiểu xếp đơn. Nếu hai đầu dây được nối với hai phiên cách nhau m phiên thì đó là dây quấn xếp phức có m dây quấn xếp đơn. Nếu hai đầu được nối với hai phiên cách nhau xa (một bước cực) thì đó là dây quấn sóng. Lăn theo mạch này nếu nó trở về phiên góp ngay trước phiên xuất phát thì đó là dây quấn sóng đơn. Nếu nó trở về phiên góp cách phiên xuất phát m phiên thì đó là dây quấn sóng phức có m dây quấn sóng đơn.

3-3. CÔNG NGHỆ QUẤN LẠI DÂY QUẤN PHẢN ỨNG

1. Xác định nguyên nhân sự cố của dây quấn (xem chương 1)

2. Lấy các số liệu dây quấn (xem mục 3-2)

hai lớp kia, vừa có tác dụng cách điện tăng cường ở hai mép rãnh vừa chống rách gáy khi uốn phần đầu nối bởi dây về phía lưng stato. Tuy nhiên theo cách này cách điện ở hai mép rãnh xấu, khó dài, phiền phức, vì vậy nhiều nơi vẫn cắt cả ba lớp cách điện dài bằng nhau.

5. Chuẩn bị bởi dây mới

Cách chế tạo bởi dây mới tương tự như trong công nghệ chế tạo nhưng khuôn và máy quấn dây cần phải có tính vận năng cao. Ta hãy nghiên cứu một số khuôn và máy quấn dây thường dùng trong sửa chữa máy điện.

1) Khuôn quấn dây. Khuôn quấn dây dùng để quấn các bởi dây phân tử mềm (dây dẫn tròn). Kích thước của khuôn rất quan trọng, nó quyết định độ khó lồng dây do đó nó quyết định độ tin cậy cũng như giá thành của dây quấn. Chúng ta cần phải có một bộ khuôn đảm bảo chi phí đồng ở mức vừa phải, dễ lồng dây, các sợi dây sau khi quấn và lồng vào rãnh sóng (các sợi dây song song nhau), xác suất xảy ra xây xước cách điện vòng dây, chống chéo giữa các sợi dây ít nhất. Để có được bộ khuôn đảm bảo các yêu cầu trên ta cần tiến hành các bước sau:

- Tính sơ bộ chiều dài trung bình của một vòng dây đối với dây quấn phản ứng trên stato theo công thức:

$$l_{tb} = \frac{k(D_1 + h_{r1})y_1}{Z_1} + 2l_1 + 60$$

trong đó: k - hệ số xác định theo bảng 3-1.

Bảng 3-1. Xác định hệ số k

| Số cực 2p | Trị số hệ số k | Số cực 2p | Trị số hệ số k |
|-----------|----------------|-------------|----------------|
| 2 | 8,2 | 6 | 9,1 |
| 4 | 8,5 | 8 và trên 8 | 9,8 |

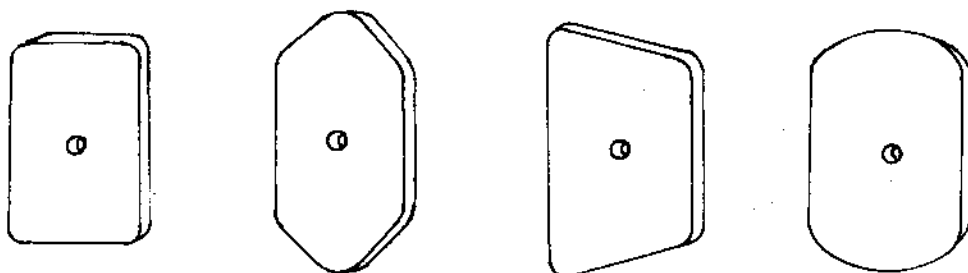
- Chọn chiều dài phần thẳng của khuôn dài hơn chiều dài lõi thép khoảng $1 \div 2$ cm tùy theo đường kính stato và bước dây y_1 .

- Chiều rộng của khuôn thường lấy bằng chiều dài cung nối giữa tâm hai rãnh của bởi dây. Đối với máy hai cực lấy bằng chiều dài cung nối giữa hai dây rãnh.

- Chọn chiều dài phần nhô ra của phần đầu nối sao cho dây quấn không chạm nắp máy và chiều dài trung bình của vòng dây như đã tính.

- Quấn thử một bởi dây trên khuôn rồi đặt thử vào rãnh để kiểm tra bằng thực tế. Căn bởi dây vừa quấn, so sánh với trọng lượng bởi dây cũ. Nếu trọng lượng bởi dây mới bằng trọng lượng bởi dây cũ là kích thước bởi dây mới đúng (trong trường hợp tiết diện dây mới bằng tiết diện dây cũ).

Hình dáng các bởi dây tùy theo dây quấn một lớp, hai lớp, một pha hay ba pha và còn tùy sở trường của từng người thợ có thể chọn một trong những kiểu sau (hình 3-13).



Hình 3-13. Các kiểu hình dáng của khuôn để quấn bởi dây phân tử mềm.

Khuôn được cấu tạo thành bộ, có tính vạn năng cao để quấn được bởi dây hầu hết các máy điện công suất đến 100 kW.

Khuôn được chế tạo có thể bằng gỗ, nhôm, hợp kim nhôm (thường là silumin).

Hình 3-14 trình bày một kiểu khuôn tương đối vạn năng, dùng để quấn các cuộn dây của phần ứng máy điện xoay chiều. Khuôn bao gồm hai phần: phần cố định (a) và phần đầu khuôn chuyển dịch được để thay đổi kích thước cuộn dây theo chiều dài. Với một số đầu khuôn có chiều rộng khác nhau ta đã có một bộ khuôn vạn năng.

Trên hình 3-15 trình bày một bộ khuôn vạn năng khác. Cuộn dây hình thang được quấn trên các dũa côngxôn có thể di chuyển được. Tính vạn năng của loại khuôn này cao hơn loại trên vì nó có thể thay đổi được kích thước bởi dây theo cả hai hướng ngang và dọc. Theo kiểu này nếu không có nhu cầu đầu nhiều mạch nhánh song song thì ta có thể quấn liên tục toàn bộ các bởi dây của một pha. Điều này rất tiện lợi cho việc lồng dây, đấu dây, năng suất lồng dây cao vì không phải hàn nối, phần đầu nối của dây quấn sẽ gọn và đẹp hơn.

Khuôn quấn dây cần tạo thuận lợi cho việc lắp ghép và lấy sản phẩm. Trên hình 3-16 trình bày loại khuôn cho phép lấy nhanh toàn bộ các bởi dây ra ngoài. Theo kiểu này nhờ các tấm 3 và 5 có thể xoay xung trục của nó nên các đầu khuôn có thể di chuyển theo hướng kính và do đó có thể thay đổi kích thước khuôn. Khi quấn xong cho các đầu khuôn di chuyển về phía tâm, toàn bộ các bởi dây nhô ra ngoài rãnh khuôn. Việc lắp lại khuôn cũng rất đơn giản, chỉ cần xiết êcu vào khuôn sẽ được đưa trở lại vị trí cũ.

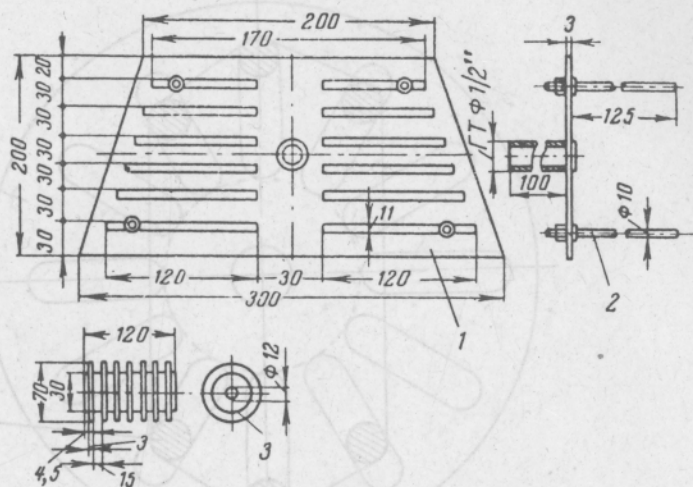
Đối với các động cơ công suất nhỏ ta thường gặp dây quấn một lớp đồng tâm. Trên hình 3-17 trình bày một loại khuôn để quấn các nhóm bởi dây như vậy.

2) Máy quấn dây

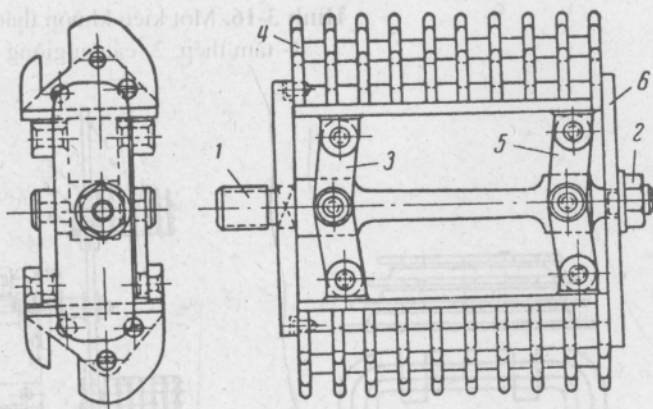
Máy quấn dây cần đảm bảo các yêu cầu sau:

- Không bị giật đột ngột khi quấn dây.
- Khi dừng máy khuôn không bị quay ngược lại làm sổ các vòng dây đã quấn.
- Đối với công việc sửa chữa máy phải đơn giản dễ tháo lắp.
- Trục của máy quấn dây không được đảo.

Trường hợp đơn giản nhất là nếu trong xưởng có máy tiện thì dùng luôn máy tiện làm máy quấn dây. Trục của khuôn được thiết kế có thể cặp vào mâm cặp của máy tiện, đầu còn lại có thể chống

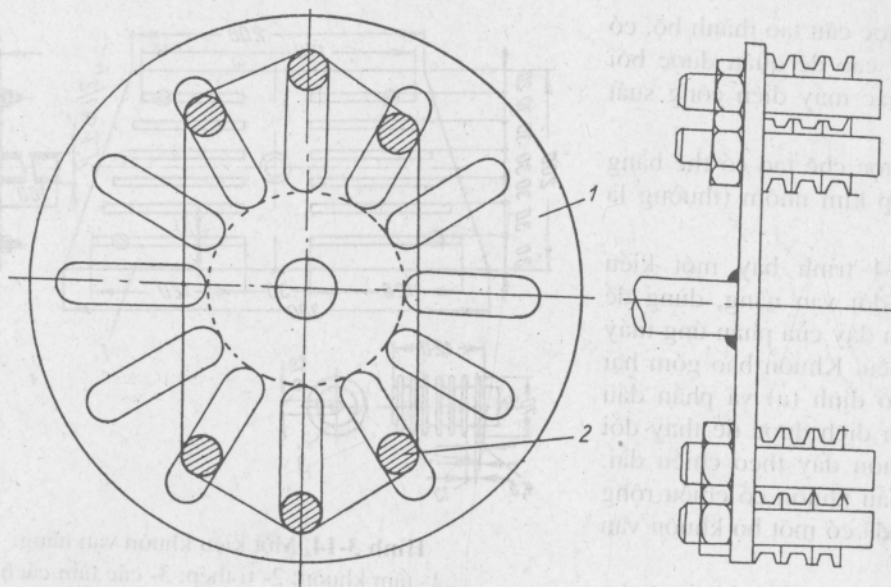


Hình 3-14. Một kiểu khuôn vạn năng:
1- tấm khuôn; 2- ti thép; 3- các tấm cách.

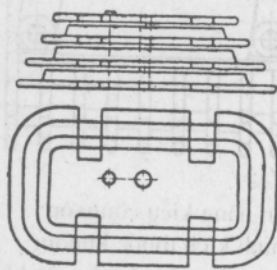


Hình 3-15. Khuôn vạn năng kiểu côngxôn:

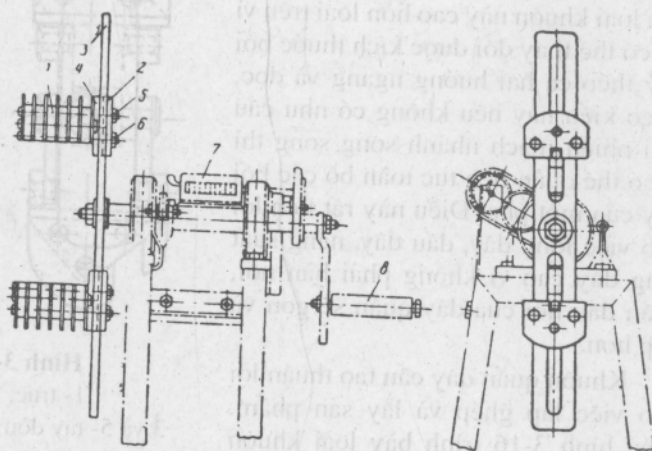
- 1- trục; 2- êcu điều chỉnh kích thước khuôn;
3 và 5- tay đòn điều chỉnh; 4- vách ngăn; 6- tấm ốp khuôn.



Hình 3-16. Một kiểu khuôn tháo lắp đơn giản:
1- tấm thép; 2- các gugiông bằng thép.



Hình 3-17. Khuôn để quấn các bồi dây đồng tâm cho các máy nhỏ.



Hình 3-18. Máy quấn dây đơn giản quay tay:

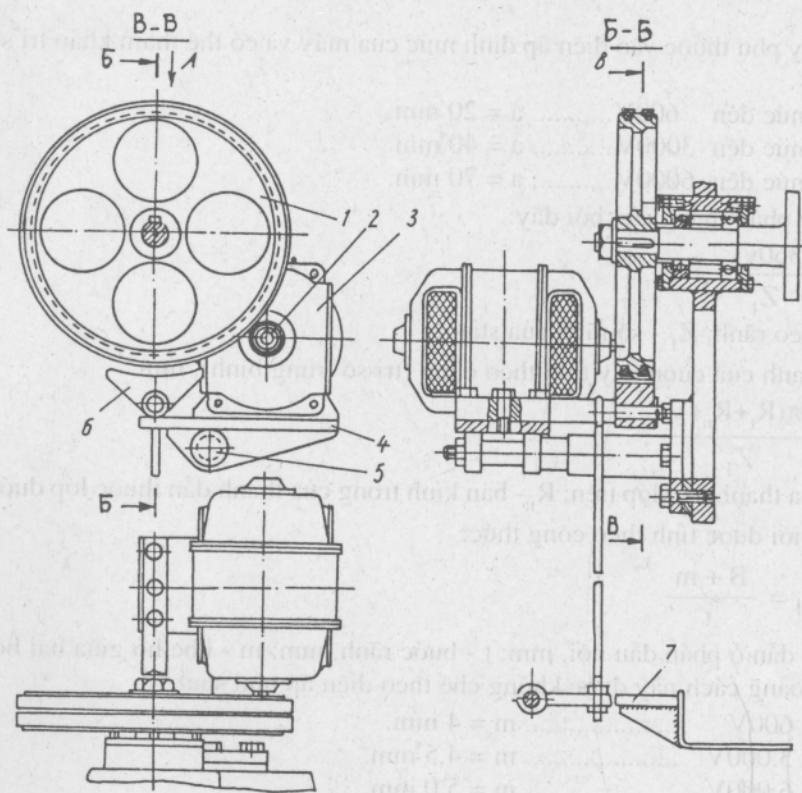
1- tấm nhôm; 2- tấm ốp; 3- thanh gá khuôn; 4- con trượt; 5- trục; 6- c-cu; 7- bộ đếm vòng dây; 8- tay quay.

tâm bằng mũi tâm trên ụ động. Nếu sản lượng sửa chữa không lớn ta có thể dùng kiểu máy đơn giản như trình bày trên hình 3-18.

Khi quấn dây trục của khuôn quấn phải quay tròn không được đảo, nếu khuôn bị đảo các vòng dây sẽ chéo nhau khi lồng dây các sợi dây đan chéo nhau trên miệng rãnh, rất khó lồng và làm giảm độ tin cậy.

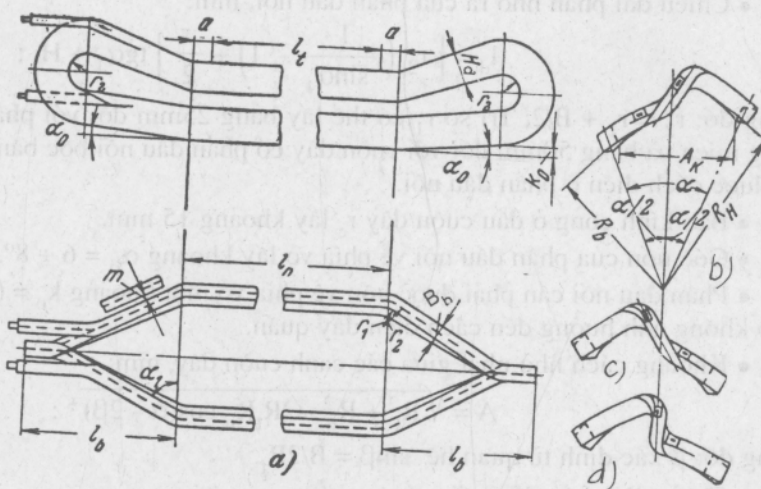
Nếu quấn chập nhiều sợi cùng một lúc (nhiều sợi chập) các sợi dây dẫn cần có độ căng như nhau. Các chỗ nối phải được nối ở phân đầu nối, không được nối trong rãnh.

Ta cũng có thể cấu tạo một máy quấn dây đơn giản bằng cách dùng một động cơ hộp số và một cơ cấu côn để hãm khi dừng máy hoặc dùng bộ truyền ma sát phối hợp cơ cấu li hợp nhờ chính trọng lượng của động cơ kéo máy quấn (hình 3-19).



Hình 3-19. Một kiểu máy quấn dây đơn giản:

- 1- puli to;
- 2- puli nhỏ;
- 3- động cơ điện;
- 4- giá đỡ động cơ;
- 5- trục xoay giá động cơ;
- 6- phanh hãm;
- 7- bàn đạp điều khiển.



Hình 3-20. Kích thước bố trí kiểu phân tử cứng:

a- dạng chung cuộn dây;
b, c - các phương án kéo tạo hình bố trí dây;
d- đầu dây thẳng góc.

3) Chế tạo bố trí dây phân tử cứng. Bố trí dây phân tử cứng được chế tạo từ dây dẫn có tiết diện chữ nhật hoặc dây tròn có kích thước lớn (bố trí dây phản ứng của máy điện một chiều). Quá trình chế tạo tất cả các bố trí dây phân tử cứng như sau: quấn bố trí dây trên khuôn phẳng rồi sau đó tạo hình cho bố trí dây sao cho giống như khi nó đã nằm trong rãnh ở trạng thái hoàn thiện. Nếu máy điện còn dây cũ ta hãy lấy tất cả các kích thước của bố trí dây cũ để làm cơ sở cho việc chế tạo bố trí dây mới. Nếu bố trí dây cũ không còn ta cần tiến hành xác định kích thước của bố trí dây mới theo trình tự như hình 3-20.

- Chiều dài phần thẳng của cuộn dây, mm:

$$l_{tk} = l_1 + 2a$$

trong đó: l_1 - chiều dài toàn phần của lõi thép; a - khoảng cách từ mặt mút của lõi thép đến chỗ bắt

dầu uốn cong. Khoảng cách này phụ thuộc vào điện áp định mức của máy và có thể tham khảo trị số kinh nghiệm như sau:

Điện áp định mức đến 600V..... a = 20 mm.

Điện áp định mức đến 3000V..... a = 40 mm.

Điện áp định mức đến 6000V..... a = 70 mm.

- Góc hướng tâm giữa các phần thẳng của bố dây:

$$\alpha = \frac{360\gamma}{Z_1} ;$$

trong đó: γ - bước dây quấn theo rãnh; Z_1 - số rãnh của stato.

- Khoảng cách giữa các cạnh của cuộn dây tính theo cung (trị số trung bình), mm:

$$\tau = \frac{\pi(R_1 + R_n) \gamma}{Z_1} ;$$

trong đó: R_1 - bán kính trong của thanh dẫn lớp trên; R_n - bán kính trong của thanh dẫn thuộc lớp dưới.

- Góc lệch của phần đầu nối được tính theo công thức:

$$\sin \alpha_1 = \frac{B + m}{t}$$

trong đó: B - chiều rộng thanh dẫn ở phần đầu nối, mm; t - bước rãnh, mm; m - khe hở giữa hai bố cạnh nhau ở phần đầu nối. Khoảng cách này được không chế theo điện áp như sau:

Điện áp định mức đến 600V m = 4 mm.

Điện áp định mức đến 3.000V m = 4,5 mm.

Điện áp định mức đến 6.000V m = 5,0 mm.

Điện áp định mức đến 10.000V m = 7,0 mm.

- Chiều dài phần nhô ra của phần đầu nối, mm:

$$l_d = \left[r_2 \left(\frac{1}{\sin \alpha_1} - 1 \right) + \frac{\tau}{2} \right] \operatorname{tg} \alpha_1 + H ;$$

trong đó: $r_2 = r_1 + B/2$; Trị số r_1 có thể lấy bằng 25mm đối với phần đầu nối cuộn dây không bọc bằng mica và bằng 50mm đối với cuộn dây có phần đầu nối bọc bằng mica; H - chiều cao cuộn dây đã được cách điện ở phần đầu nối.

- Bán kính cong ở đầu cuộn dây r_c lấy khoảng 15 mm.

- Góc uốn của phần đầu nối về phía vỏ lấy khoảng $\alpha_0 = 6 \div 8^\circ$.

• Phần đầu nối cần phải được uốn về phía vỏ một khoảng $k_0 = (l_d - H - r_2) \operatorname{tg} \alpha_0$ để việc tháo lắp rôto không ảnh hưởng đến cách điện dây quấn.

- Khoảng cách nhỏ nhất giữa các cạnh cuộn dây, mm:

$$A = \sqrt{R_1^2 + R_n^2 - 2R_1R_n \cos(\alpha - 2\beta)} ;$$

trong đó: β xác định từ quan hệ $\sin \beta = B/2R_1$.

- Chiều dài phần đầu nối, mm:

$$l_{dn} = k_1 \left[\tau \gamma - \left(r_2 + \frac{h_1}{4} \right) \right] + \pi \left(r_2 + \frac{h_1}{2} \right) + k_2 r_2 + 2a ;$$

trong đó: k_1 và k_2 - hệ số lấy theo bảng 3-2 tùy theo góc α ; h_1 - chiều cao rãnh tính cho đến nèm, mm.

$$\gamma = \frac{Z_1 \sin \left(\frac{\pi y}{Z_1} \right)}{\pi y} \quad - \text{đối với dây quấn hai lớp.}$$

$$\gamma = 1 \quad - \text{đối với dây quấn có } 2p > 2.$$

Bảng 3-2. Các hệ số k_1, k_2 trong quan hệ với góc α

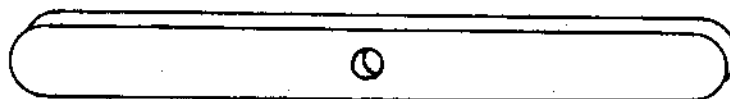
| α , độ | k_1 | k_2 | α , độ | k_1 | k_2 | α , độ | k_1 | k_2 |
|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| 30 | 1,15 | 0,94 | 39 | 1,29 | 0,83 | 48 | 1,50 | 0,70 |
| 31 | 1,17 | 0,93 | 40 | 1,31 | 0,82 | 49 | 1,52 | 0,68 |
| 32 | 1,18 | 0,92 | 41 | 1,33 | 0,80 | 50 | 1,56 | 0,67 |
| 33 | 1,19 | 0,91 | 42 | 1,35 | 0,79 | 51 | 1,59 | 0,65 |
| 34 | 1,21 | 0,90 | 43 | 1,37 | 0,77 | 52 | 1,62 | 0,63 |
| 35 | 1,22 | 0,89 | 44 | 1,39 | 0,75 | 53 | 1,66 | 0,62 |
| 36 | 1,24 | 0,87 | 45 | 1,41 | 0,74 | 54 | 1,70 | 0,61 |
| 37 | 1,25 | 0,85 | 46 | 1,44 | 0,73 | 55 | 1,74 | 0,59 |
| 38 | 1,27 | 0,84 | 47 | 1,47 | 0,71 | | | |

- Chiều dài trung bình của một vòng dây:

$$L_{tb} = 2(l_{ik} + l_{dn}).$$

Quá trình chế tạo bồi dây phân tử cứng như sau:

+ Chế tạo khuôn để quấn cuộn dây trong mặt phẳng: khuôn để quấn cuộn dây trong mặt phẳng có chiều dài bằng một nửa chiều dài trung bình của vòng dây. Khuôn là một thanh gỗ hoặc nhôm. Chiều rộng khuôn bằng đường kính phân vè tròn ở hai đầu (hình 3-21).



Hình 3-21. Khuôn để quấn cuộn dây phân tử cứng trong mặt phẳng.

+ Chiều dài khuôn đúng bằng chiều dài bồi dây (bằng chiều rộng sợi dây nếu là dây chữ nhật). Hai bên khuôn có tấm ốp tương tự như đối với khuôn quấn bồi dây phân tử mềm. Máy để quấn bồi dây cũng tương tự như đối với trường hợp quấn bồi dây thông thường.

+ Cách điện sơ bộ bồi dây bằng cách quấn bằng vải toàn bộ bồi dây. Mục đích của việc này là bảo vệ không để cách điện vòng dây bị hỏng trong quá trình tạo hình bồi dây.

+ Tạo hình bồi dây. Máy để tạo hình bồi dây trong sửa chữa có thể làm rất đơn giản như hình 3-22.

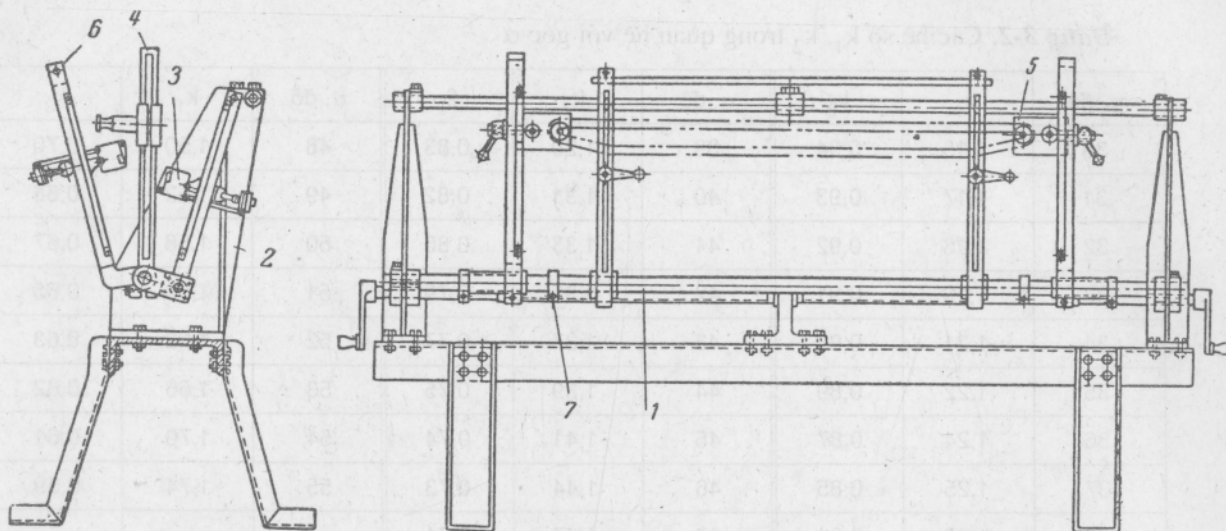
Bồi dây khi kéo tạo hình, phần thẳng của nó được cố định trong khuôn gỗ. Khuôn để kéo tạo hình bồi dây được trình bày trên hình 3-23.

Trong trường hợp không có máy và khuôn kéo tạo hình ta có thể kéo bằng tay. Phần thẳng của bồi dây được kẹp chặt trong các thanh gỗ có rãnh đúng bằng tiết diện thanh dẫn (hình 3-24). Dùng tay kéo hai thanh dẫn ra xa theo hướng ngược nhau, sau đó nắn sửa bằng tay và kiểm tra kích thước bồi dây bằng calíp.

+ Bỏ cách điện sơ bộ, bọc và quấn cách điện mới theo số liệu đã lấy (kết cấu cách điện được lựa chọn theo điện áp).

+ Ép phần thẳng của cuộn dây trong khuôn ép có gia nhiệt (hình 3-25).

Mục đích của việc ép nóng phần thẳng cuộn dây là để ấn định kích thước các cạnh của tiết diện thanh dẫn. Kiểm tra kích thước bồi dây bằng calíp.



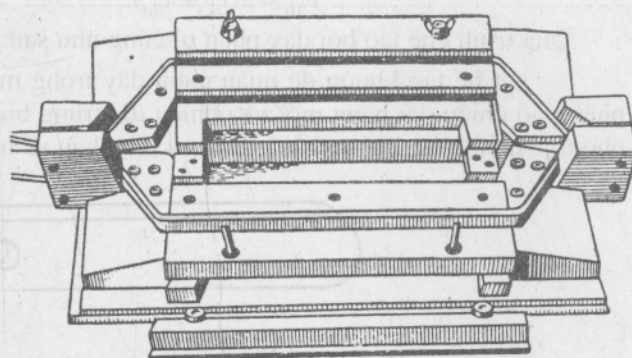
Hình 3-22. Máy để tạo hình bố dây phần tử cứng:

1- trục; 2- trụ; 3- ép cạnh bố dây; 4- giá đỡ đầu dây; 5- đầu cặp máy; 6- đòn xoay; 7- vành hãm.

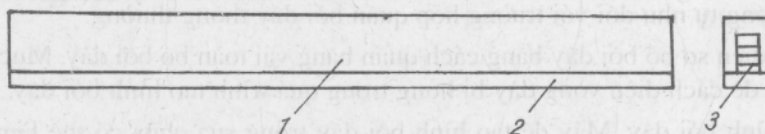
+ Tẩm sấy các bố dây. Việc tẩm sấy các bố dây được thực hiện trong thùng tẩm sấy chân không. Số lần tẩm sấy phụ thuộc vào tầm quan trọng hoặc theo cấp điện áp của máy. Sau khi tẩm sấy cần kiểm tra lại lần nữa kích thước cuộn dây, nếu cần phải ép lại để cố định kích thước thanh dẫn phân trong rãnh.

6. Lồng dây

Quá trình lồng dây là quá trình công nghệ phức tạp, dễ xảy ra hỏng cách điện vòng dây cũng như cách điện rãnh mà không phát hiện ra, làm giảm độ tin cậy

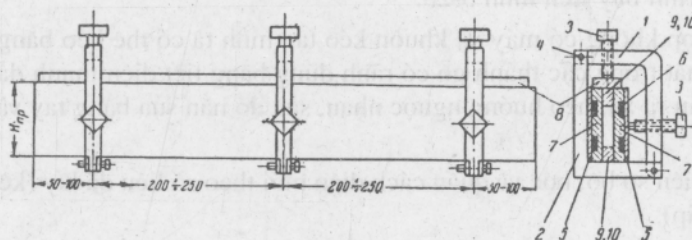


Hình 3-23. Khuôn để kéo tạo hình bố dây phần tử cứng.



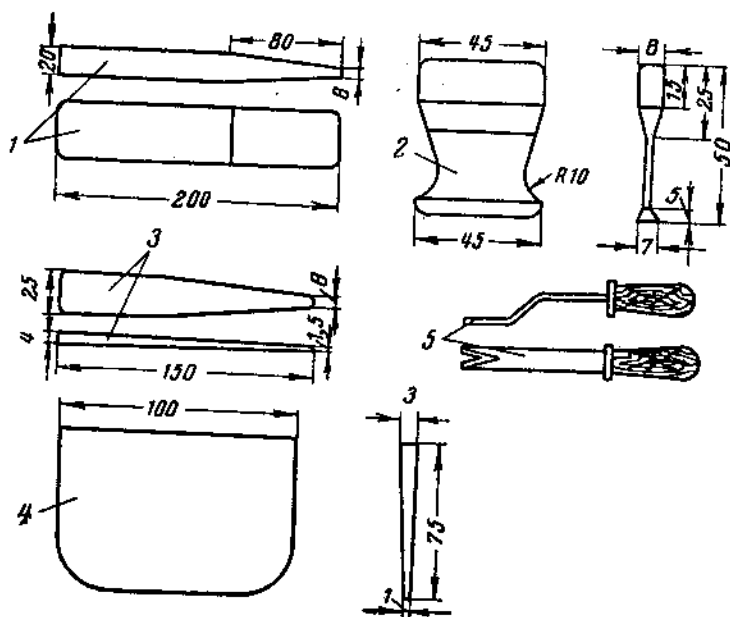
Hình 3-24. Khuôn đơn giản để kẹp chặt phần thẳng bố dây:

1- thanh gỗ có rãnh; 2- nắp khuôn; 3- dây dẫn.



Hình 3-25. Ép phần thẳng cuộn dây trong khuôn ép có gia nhiệt:

1,2- khung ép; 3- bulông ép; 4- chốt; 5- nắp dây che sợi đốt. 6- sợi đốt; 7- thanh ép bên cạnh; 8- thanh ép trên gián tiếp; 9,10- thanh ép trên và dưới trực tiếp.



Hình 3-26. Một số dụng cụ của người thợ lồng dây:
1- thanh nẹp tectolit để nắn sửa phần đầu nối; 2- khóa nẹp dây; 3- nẹp thép để sửa miệng rãnh; 4- dao bằng tectolit để chải cho dây vào trong rãnh; 5- dao để cắt cách điện.

Hình 3-27. Sơ đồ nguyên lý hàn bằng phương pháp dùng hồ quang cực than:
1- cực than; 2- tay cầm để kẹp cực than và cáp; 3- cáp dẫn điện; 4- mối nối xoắn cần làm; 5- thanh nối đến cực còn lại của nguồn điện hàn; 6- hồ quang điện.

của dây quấn. Quá trình lồng dây cũng quyết định năng suất và do đó giá thành sửa chữa. Hiện nay chất lượng sửa chữa phụ thuộc rất nhiều vào tay nghề của công nhân cho nên có được một đội ngũ công nhân lồng dây lành nghề là điều rất quan trọng.

Yêu cầu của công đoạn lồng dây là cách điện của dây không bị hỏng, dây vào sóng (các sợi dây song song nhau), phần đầu nối có hình thức đẹp, cách điện phần đầu nối đảm bảo cách li các nhóm bối với nhau và không bị nhàu nát. Việc bố trí các bối dây trong các nhóm phải thống nhất để các đầu ra của các nhóm phân bố đều trên phần đầu nối theo quy luật nhất định, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình đấu dây sau này. Trên hình 3-26 giới thiệu một số dụng cụ cần thiết mà người thợ lồng dây cần có.

Ngoài ra cũng cần một số dụng cụ cơ khí khác như búa, kéo...

7. Đấu dây, hàn nối dây và đai dây quấn

Đấu dây theo sơ đồ đã định và chọn đầu ra ở vị trí sao cho cáp nối và các khoảng vượt ngắn nhất, phân bố đều để phần đầu nối sau khi đai được tròn đều, cân đối, đẹp.

Để hàn nối dây ta có thể áp dụng một trong các phương pháp sau:

- Hàn thiếc. Trước khi hàn cao sạch các đầu dây cần hàn, xoắn các đầu dây với nhau cho thật chắc, tráng nhựa thông nóng chảy và sau đó tráng thiếc để hàn. Phương pháp này năng suất không cao, chịu nhiệt kém, độ bền cơ khí thấp, ít được sử dụng.

- Hàn hồ quang cực than. Hình 3-27 giới thiệu sơ đồ nguyên lý hàn hồ quang cực than.

Cách hàn như sau: một cực của máy hàn được nối với chân của mối hàn, cực kia được nối với một cực than (chổi than, lõi pin...). Việc hàn được thực hiện tương tự như khi hàn hồ quang thường, hồ quang sẽ nấu chảy các đầu dây cần hàn và tạo thành một giọt đồng chung.

Hàn hồ quang cực than được áp dụng trong một phạm vi kích thước mối hàn tương đối rộng rãi, từ một vài phần mm đến 5mm, chất lượng mối hàn đảm bảo tốt, hình thức đẹp, năng suất hàn rất cao, nhiệt của mối hàn không ảnh hưởng đến cách điện do thời gian hàn nhanh. Nhược điểm của phương pháp này là độ bền cơ học của mối hàn kém do có sự tập trung ứng suất khi chuyển từ một

sợi dây bé đến giọt đồng lớn. Vì vậy để tăng độ bền cơ mỗi hàn cần phải xoắn các sợi dây thật chặt. Để tránh hàn sót sợi cần phải làm cho đầu mỗi hàn thật phẳng (dùng kim bấm bấm phẳng); giọt đồng cần phải là điểm chung cho tất cả các sợi dây tham gia mỗi hàn.

- Hàn tiếp xúc cực than. Phương pháp này thường được áp dụng khi hàn hai sợi dây có tiết diện chữ nhật với nhau. Hình 3-28 trình bày sơ đồ nguyên lý một máy hàn tiếp xúc cực than, còn hình 3-29 trình bày một máy hàn kiểu này.

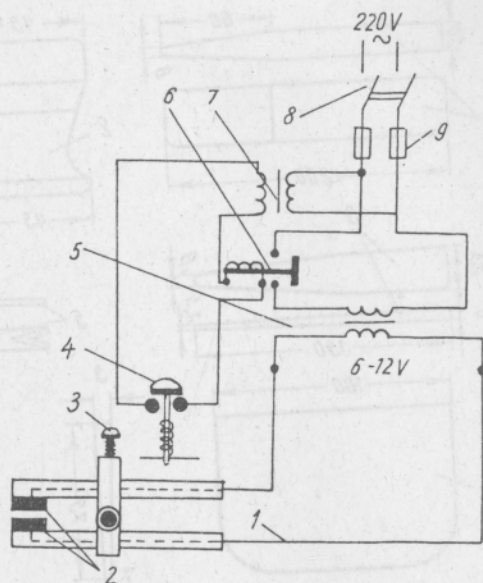
Nguyên lý hàn tiếp xúc cực than như sau: kim hàn tiếp xúc cực than ép hai thanh dẫn cần hàn với nhau; bật công tắc máy hàn, hai cực than sẽ nóng đỏ, truyền nhiệt vào mối hàn; chấm que hàn bạc hoặc que hàn đồng phốt pho vào mối hàn, que hàn sẽ nóng chảy và hàn hai thanh dẫn với nhau. Phương pháp này cho năng suất cao, mối hàn có độ bền cơ học cao, chất lượng mối hàn tốt, nhiệt lượng mối hàn không ảnh hưởng đến cách điện xung quanh, nhưng giá thành cao do que hàn bạc đắt. Phạm vi ứng dụng: hàn các chi tiết có thể tích vật dẫn tới $4-5\text{cm}^3$. Đối với những mối hàn lớn cần nhiệt lượng nhiều hơn người ta còn dùng phương pháp hàn tiếp xúc mà chất có điện trở lớn (thay cho cực than) là hợp kim nicrom. Những máy hàn như thế thường có công suất tới 30kW , điện áp thứ cấp khoảng $10 \div 36\text{V}$. Hình 3-30 mô tả kết cấu của một mối hàn kiểu như vậy, trong đó 3 là các cực, 2 là chi tiết cần hàn, 1 là que hàn, 4 là công tắc.

Để nối các thanh dẫn có tiết diện chữ nhật ta có thể ghép chúng theo những cách sau (hình 3-31): nối đối đầu, đối đầu nhưng có mài vát để tăng diện tích hàn, nối chồng lên nhau.

- Đồ thiếc các mối hàn. Những mối hàn lớn thường áp dụng phương pháp đồ thiếc mối hàn. Theo phương pháp này mối hàn được bọc bởi một cái hộp bằng đồng hoặc kẽm; phía trên hộp có một lỗ nhỏ. Dùng mỏ hàn hơi hoặc đèn khò xăng đốt nóng mối hàn; cho thiếc chảy đầy vào mối hàn. Mọi trường dẫn điện bây giờ là thiếc còn đảm bảo độ bền cơ cho mối hàn chính là hộp bọc, (xem hình 3-32) trong trường hợp này nhiệt hàn do cực hàn graphit 2 sinh ra.

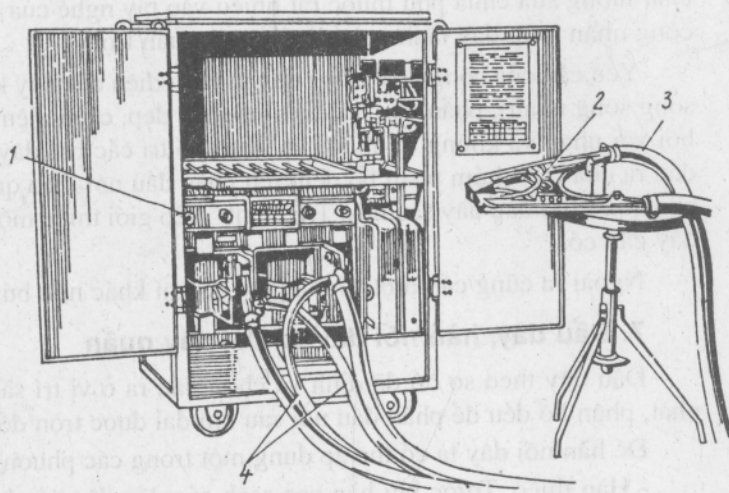
- Hàn bằng mỏ hàn hơi (hàn axêtilen) hoặc đèn khò xăng. Sau khi mối hàn được đốt nóng đỏ quét que hàn đồng - bạc hoặc que hàn đồng - phốt pho vào mối hàn; que hàn nóng chảy hàn hai chi tiết cần hàn với nhau. Phương pháp này chậm, giá thành cao, nhiệt của mỏ hàn làm cháy cách điện vùng lân cận nên ít dùng.

- Hàn bằng hồ quang điện xoay chiều hoặc một chiều. Phương pháp này được thực hiện như đối



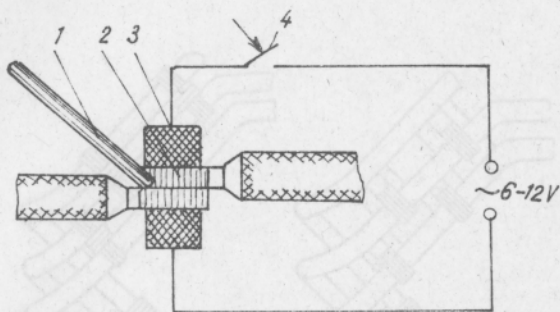
Hình 3-28. Sơ đồ điện máy hàn tiếp xúc cực than:

1- cáp dẫn; 2- cực than; 3- vít điều chỉnh lực nén cực than; 4- nút ấn để đóng cắt máy hàn; 5- máy biến áp hàn; 6- khởi động từ; 7- máy biến áp điều khiển; 8- cầu dao; 9- cầu chì.

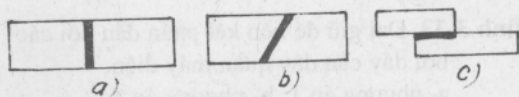


Hình 3-29. Một kiểu máy hàn tiếp xúc cực than:

1- máy biến áp hàn; 2- kim hàn; 3, 4- cáp hàn.

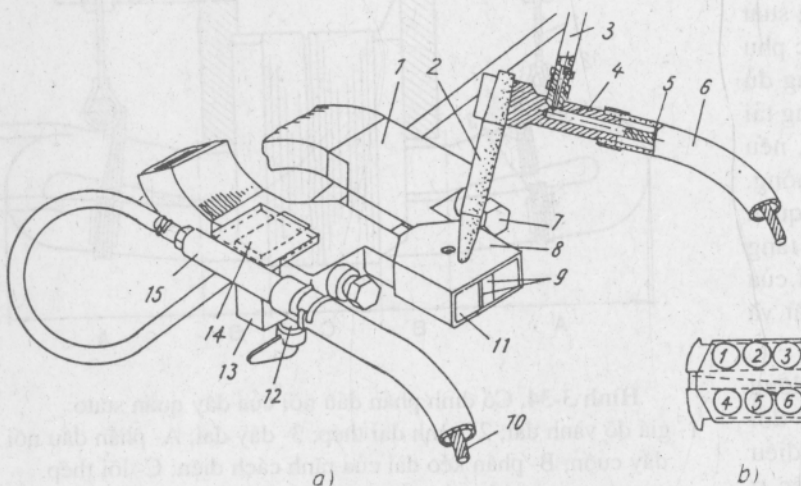


Hình 3-30. Nguyên lý hàn tiếp xúc có chất làm tăng điện trở mỗi hàn là nicrôm.



Hình 3-31. Các phương pháp nối thanh dẫn có tiết diện chữ nhật:

a- nối đối đầu thẳng; b- nối chéo; c- nối chồng.



Hình 3-32. Đồ thiếc để nối hai thanh dẫn với nhau:

1,11- các thanh dẫn cầu nối; 2- điện cực than; 3,15- ống dẫn nước; 4- thân mỏ hàn; 5, 10- cáp dẫn điện; 6- vỏ cao su; 7- nút công nghệ; 8- hộp nối; 9- nệm; 12- vít ép; 13- ván ép; 14- tấm đồng.

Đối với máy điện lớn quấn bằng dây có tiết diện chữ nhật khi mở máy hoặc mang tải đột ngột lực điện động rất lớn có thể làm cho dây quấn rung lên. Để đai phân đầu nối dây quấn thật chặt ta có thể áp dụng các biện pháp như mô tả trên hình 3-33. Phân đầu nối các bó dây phải cách đều và được liên kết chặt chẽ với nhau qua các tấm đệm cách điện và dây đai (băng thủy tinh).

Để liên kết tất cả các bó dây thành một khối ta dùng một vành thép khép kín, bọc cách điện rồi đai chung tất cả các bó dây vào đó, (hình 3-34).

Nếu máy điện không lớn (đến 100 kW) ta không cần nối vành này vào thân máy. Đối với máy điện có công suất trên 100 kW cần phải cố định vành thép này lên phần stato hoặc thân máy. Số lượng vành thép có thể một hoặc hai chiếc.

8. Tẩm sấy dây quấn máy điện sau khi quấn lại. Xem chương 7.

9. Kiểm tra và thử nghiệm dây quấn máy điện sau khi quấn lại. Xem chương 8.

3-4. QUẤN LẠI DÂY QUẤN KÍCH THÍCH CỦA MÁY ĐIỆN

Dây quấn kích thích là dây quấn có nhiệm vụ tạo ra từ trường không đổi trong máy điện. Dòng điện chạy trong dây quấn kích thích là dòng điện một chiều. Trong máy điện một chiều dây quấn kích thích luôn luôn nằm trên phần tĩnh (stato). Trong máy điện đồng bộ dây quấn kích thích có thể nằm trên stato hoặc rôto; trong các máy lớn điện áp cao dây quấn này luôn luôn nằm trên rôto.

1. Yêu cầu kỹ thuật khi quấn lại dây quấn kích thích

- Điện trở trước và sau khi quấn lại không được thay đổi. Nếu điều kiện này không đảm bảo hậu quả sẽ như sau:

+ Đối với máy điện một chiều, nếu giả sử điện trở tăng, dòng kích từ sẽ giảm, sức điện động giảm, máy phát điện sẽ không phát đủ điện áp, làm cho công suất máy giảm, ảnh hưởng đến các phụ tải sau nó; động cơ điện không đủ sức điện động, dòng điện không tải sẽ tăng, công suất máy giảm, nếu phụ tải không đổi máy sẽ nóng. Ngược lại nếu điện trở dây quấn kích thích giảm máy phát sẽ tăng điện áp, làm hỏng các phụ tải của nó; động cơ sẽ giảm công suất và cũng sẽ phát nóng.

+ Đối với máy điện đồng bộ, nếu điện trở kích từ thay đổi thiết bị tự kích và tự động điều chỉnh điện áp sẽ phải làm việc ở chế độ khác, sai lệch với chế độ ban đầu, khả năng điều chỉnh điện áp khi phụ tải thay đổi sẽ bị thu hẹp.

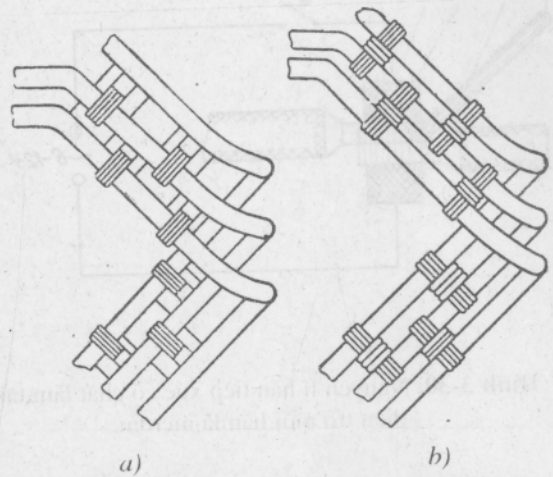
- Điện trở các cuộn dây của các cực phải như nhau. Nếu điều kiện này không đạt được hậu quả sẽ như sau:

+ Đối với máy điện một chiều, từ trường dưới các cực không giống nhau, sức điện động trong các mạch nhánh cũng không bằng nhau gây ra dòng điện cân bằng chảy trong các nhánh song song, quá trình đổi chiều sẽ phức tạp hơn, dây quấn sẽ nóng hơn, hiệu suất giảm.

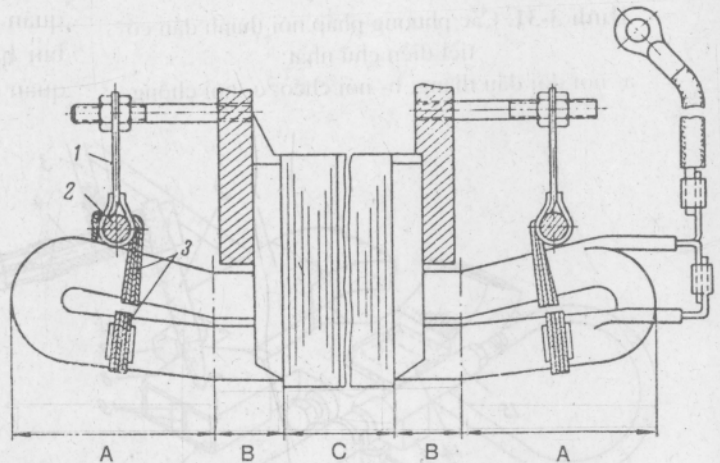
+ Đối với máy điện đồng bộ biên độ từ, từ trường dưới các cực không bằng nhau sẽ gây sự đập mạch sức điện động trong các pha, làm tăng tổn hao, giảm hiệu suất của máy.

- Số vòng dây của các cuộn dây kích từ không được thay đổi. Nếu điều kiện này không được đảm bảo hậu quả cũng tương tự như khi thay đổi điện trở, bởi vì sức từ động kích thích $F = IW$ sẽ bị thay đổi.

- Không gian giữa các cực phải đảm bảo như cũ để giữ nguyên điều kiện thông gió làm mát.



Hình 3-33. Đai giữ để liên kết phần đầu nối các bó dây của dây quấn máy điện: a- phương án 1; b- phương án 2.



Hình 3-34. Cố định phần đầu nối của dây quấn stato: 1- giá đỡ vành đai; 2- vành đai thép; 3- dây đai; A- phần đầu nối dây cuộn; B- phần kéo dài của rãnh cách điện; C- lõi thép.

- Đối với rôto, trọng lượng các cuộn dây sau khi quấn lại phải như nhau. Điều kiện này đảm bảo cho rôto không bị mất cân bằng, nếu không sau khi quấn phải tiến hành cân bằng động lại.

2. Những vấn đề cần lưu ý khi quấn lại dây quấn kích thích

Việc quấn lại cuộn dây của cực từ hoàn toàn tương tự như quấn cuộn dây phần ứng, nghĩa là quấn trên khuôn, chỉ khác đây là cuộn dây nhiều lớp và các vòng dây trong các lớp được xếp thứ tự sát với nhau. Để đảm bảo các yêu cầu trên khi quấn lại dây quấn kích thích ta phải lưu ý các vấn đề sau:

- Không được thay đổi tiết diện của dây dẫn dùng làm dây quấn. Nếu không có loại dây hoàn toàn tương tự ta có thể thay đổi kích thước hoặc số sợi chấp để quấn nhưng không được thay đổi tiết diện tổng.

- Giữ nguyên chiều dài, cách điện giữa các lớp để kích thước cuộn dây sau khi quấn không thay đổi so với trước. Kích thước cuộn dây tăng làm thu hẹp không gian giữa các cuộn dây, làm tăng điện trở dây quấn (do tăng chiều dài sợi dây), không có lợi.

- Khi quấn dây sợi dây phải đủ căng, phía cạnh dài của cuộn dây trong khi quấn cần vỗ để các lớp dây ép sát nhau, không bị phồng, để làm tăng kích thước cuộn dây.

- Đối với những cuộn dây kích từ của máy bé nằm bên phía stato cuộn dây sau khi quấn được ép để uốn cong theo độ cong của vỏ máy. Để định hình được hình dáng cuộn dây trong trường hợp này cần ép nóng sau khi đã tẩm sấy sơn cách điện. Hoặc dùng sơn cách điện bằng epoxi khô, sau khi ép trong khuôn có gia nhiệt và để nguội trong khuôn, cuộn dây sẽ được định hình. Trường hợp đặc biệt cần quấn cuộn dây trong khuôn cong để tạo hình cuộn dây ngay trong khuôn.

- Dây quấn kích thích khi bị chấp vòng dây tuy không gây cháy nổ như đối với cuộn dây xoay chiều nhưng gây lệch từ trường (do tích số IW thay đổi) và từ đó gây ra nhiều hiện tượng không bình thường cho máy điện, đặc biệt là máy điện một chiều.

- Các cuộn kích từ của các máy điện lớn thường được sửa chữa cục bộ bằng cách thay cách điện mà không thay dây dẫn.

CHƯƠNG 4

CÁC DẠNG SỰ CỐ CỦA MÁY ĐIỆN VÀ CÁCH KHẮC PHỤC

Các dạng sự cố trong máy điện rất phức tạp, bao gồm các nguyên nhân về cơ, điện, từ và rất nhiều nguyên nhân khác và nhiều khi là tổng hợp của tất cả các nguyên nhân đó. Đối tượng sử dụng các máy điện có qua sửa chữa cũng rất phức tạp. Vì vậy trong chương này chúng ta sẽ chỉ nghiên cứu những dạng sự cố đặc trưng nhất, chủ yếu đi sâu phân tích nguyên nhân để khi gặp bất cứ sự cố dạng nào cũng có thể xử lý được.

Đối với máy điện quay khi nghiên cứu về kết cấu ta thấy loại máy nào cũng có hai phần chính: phần cảm và phần ứng. Vì vậy khi phân tích sự cố ta sẽ không đi lần lượt từng máy mà đi lần lượt từng dạng sự cố.

4-1. SỰ PHÁT TIA LỬA DƯỚI CHỖI THAN

Chổi than dùng để dẫn điện từ stato sang rôto hoặc ngược lại thông qua vành góp hoặc vành trượt. Cụm chổi than - vành góp có trong tất cả các máy điện một chiều và các máy điện xoay chiều có cổ góp. Chức năng của chúng trong các loại máy có khác nhau nhưng các hiện tượng điện từ trong

chúng khác nhau không nhiều vì vậy chúng ta gộp lại để xét chung. Cụm chổi than vành trượt có trong tất cả các máy điện đồng bộ, các máy điện không đồng bộ rôto dây quấn. Các động cơ xoay chiều kiểu Sraghe-Richte có cả hai cụm chổi than - cổ góp và chổi than - vành trượt.

1. Khi không tải cũng như khi có tải, tia lửa dưới chổi than rất nhỏ (chỉ hơi lẩn tẩn hoặc không nhìn thấy) nhưng dùng thiết bị đo nhiễu vô tuyến đo thì thấy lớn, ảnh hưởng của nhiễu đến các thiết bị xung quanh ở mức độ không chấp nhận được

Khi đó đối với các động cơ một chiều đã qua sửa chữa nhiều lần cần lưu ý các vấn đề sau:

1) Nguyên nhân về cổ

- Cổ góp không tròn do mòn không đều. Yếu tố này đã bị loại trừ bằng cách tiện và mài láng bề mặt cổ góp.

- Cổ góp không tròn do mất ổn định động. Hiện tượng này thực chất là do cổ góp bị mất ổn định khi quay, cổ góp bị biến dạng do lực li tâm (khi dừng thì tròn, khi quay thì không tròn).

Khả năng này ít xảy ra đối với động cơ đã làm việc nhiều năm. Hiện tại ta chưa có loại máy để kiểm tra dạng sự cố này.

- Cổ góp không tròn do có biến dạng dư. Bề mặt cổ góp đã được mài tròn nhưng sau khi cho quay ở trạng thái nóng cổ góp bị biến dạng và không tròn trở lại sau khi dừng máy. Hiện tượng này ít khi xảy ra đối với động cơ đã làm việc ổn định nhiều năm nhưng không loại trừ do có sự biến dạng mới của vật liệu.

- Trục quay của cổ góp không trùng với trục quay của rôto, làm cho chổi than bị nhảy, gây phát tia lửa dưới chổi. Trường hợp này không xảy ra đối với động cơ đã làm việc ổn định.

- Trục quay của rôto bị cong do để rơi động cơ.

- Trục quay của rôto không trùng với trục stato, chổi than bị nhảy gây phát tia lửa. Trường hợp này thường xảy ra do động cơ đã tháo lắp nhiều lần, gờ lắp thân của nắp và gờ lắp nắp của thân bị mòn gây ra sự rơ giữa thân và nắp. Sự rơ giữa ổ bi và trục, giữa ổ bi và nắp (gối đỡ trục) cũng gây hiện tượng trên. Qua khảo sát cho thấy sự rơ rão trên chưa đến mức báo động nhưng cũng là một trong những nguyên nhân gây tia lửa dưới chổi than (biểu hiện ở độ rung của động cơ khi quay). Loại trừ hiện tượng này rất khó, cần phải có những thiết bị đo độ nhảy có độ chính xác cao.

- Mã hiệu chổi than không đúng. Đây cũng là một nguyên nhân rất cơ bản. Mã hiệu chổi than khác nhau phản ánh các yếu tố sau: độ cứng của chổi, độ mịn các hạt than, thành phần hỗn hợp cấu thành chổi than, điện trở suất của chổi... Việc chọn chổi phải thích hợp mà tốt nhất là theo quy định của nhà chế tạo. Trong trường hợp này phải tiến hành thay thế nhiều loại chổi và thấy chổi than thường (không pha bột đồng) có độ cứng vừa phải, độ mịn của hạt càng cao càng tốt.

- Phần nhô ra của chổi than khỏi hộp chổi vừa phải ($2 \pm 3\text{mm}$).

- Lực ép chổi than vừa đủ, yếu quá hoặc mạnh quá đều không được. Trong trường hợp này chổi than ép hơi bị yếu do lò xo đàn hồi kém.

- Độ bóng bề mặt cổ góp phải cao. Trong trường hợp này cổ góp đã được mài nên đã loại trừ nguyên nhân trên.

- Độ sâu rãnh giữa các phiến góp vừa phải, không sâu quá để bột than đóng trong đó cũng không được nông quá làm nhô cách điện lên trên gây nhảy chổi than.

2) Nguyên nhân về điện

- Sơ đồ nối dây không đúng. Nguyên nhân này thường xảy ra do xác định đầu dây nối với phần tử đầu tiên sai. Tuy nhiên trường hợp này không xảy ra vì nếu nối sai tia lửa sẽ rất mạnh, mặt khác nếu nối sai vị trí một phiến góp ta có thể xê dịch vị trí chổi than để loại trừ ảnh hưởng của nó.

- Từ trường ở khu vực đối chiều chưa phù hợp với điều kiện đối chiều theo yêu cầu. Từ trường ở khu vực đối chiều phải có chiều ngược với chiều của từ trường do phản ứng phản ứng sinh ra và

phải có trị số đủ để sinh ra một sức điện động phản kháng để cho quá trình đổi chiều là vượt trước; ở chế độ này quá trình đổi chiều xảy ra thuận lợi nhất, ít tia lửa nhất. Những yếu tố ảnh hưởng đến quá trình này là:

+ Vị trí chổi than không đúng. Việc điều chỉnh vị trí chổi than sao cho ít tia lửa nhất khá dễ dàng nhưng điều chỉnh sao cho hết hẳn thì rất khó vì khi đó tia lửa nằm dưới chổi than không còn nhìn thấy nữa. Lúc này tuy không nhìn thấy tia lửa nhưng sự phát nhiều vẫn còn rất mạnh. Để thuận lợi cho quá trình điều chỉnh để tìm một vị trí chổi than tối ưu cần có một thiết bị đo nhiễu vô tuyến có độ nhạy cao.

+ Khe hở dưới cực từ phụ không thích hợp. Trường hợp này thường xảy ra khi tháo cực từ phụ ra nhưng khi lắp lại không đúng. Không đúng ở đây hiểu theo nghĩa là khe hở dưới cực từ phụ không còn giống như trước (để rơi tấm cân chỉnh hạn). Lúc này từ trường ở khu vực đổi chiều thay đổi so với thiết kế. Nếu động cơ chưa bị tháo cực từ phụ lần nào thì khả năng này không xảy ra.

+ Cực tính của cực từ phụ và cực từ chính bị thay đổi. Nếu đã tháo cực từ chính và phụ ra để sửa chữa thì cần phải kiểm tra lại cực tính của chúng cho thích hợp (bằng nam châm vĩnh cửu). Trong trường hợp này khả năng ít xảy ra vì nếu xảy ra tia lửa sẽ rất mạnh.

+ Chập vòng dây cực từ phụ. Số vòng dây cực từ phụ rất ít nhưng chỉ cần chập một vòng là có thể gây tia lửa khá mạnh. Trường hợp này ít xảy ra tình huống trên.

+ Chập một số vòng dây cực từ chính cũng làm mất đối xứng về từ. Trong trường hợp này khả năng không xảy ra vì do điện trở các cuộn dây thấy đều.

- Mất đối xứng về điện. Sự mất đối xứng về điện làm cho sức điện động trong các mạch nhánh song song không bằng nhau, do đó ngay cả khi không tải trong dây quấn đã có dòng điện, sự đổi chiều trong phân tử khó khăn thêm; khi có thêm dòng điện tải tia lửa sẽ tăng thêm. Nguyên nhân của hiện tượng này có thể như sau:

+ Trong một bố dây nào đó thừa hoặc thiếu vòng dây (thậm chí chỉ cần sai lệch một vòng là đã có thể gây tia lửa).

+ Chiều dài sợi dây quấn các bố dây không bằng nhau, do khi quấn độ căng sợi dây không đều làm cho điện trở các bố dây không bằng nhau.

+ Tiết diện dây quấn cho các bố không bằng nhau. Hiện tượng này thường xảy ra do khi quấn đã dùng các loại dây khác nhau.

- Cách điện giữa các phiến góp bị kém đi do bị ẩm hoặc do sự cố trong quá trình vận hành. Nhiều trường hợp điện trở của cổ góp bị suy giảm sau khi mang tải một lúc nghĩa là khi bị nóng. Điện trở cách điện giảm làm tăng dòng điện rò giữa các phiến góp và do tăng không đều nên gây tia lửa ở cổ góp. Vì vậy trước khi quấn lại dây mới cần kiểm tra lại điện trở cách điện giữa các phiến góp.

3) Kết luận

Mức độ gây nhiễu của động cơ do nhiều nguyên nhân nhưng chủ yếu là do động cơ bị xuống cấp, mỗi nguyên nhân đều có tham gia một phần.

4) Lời khuyên

Nâng cao độ chính xác trong sửa chữa bằng cách nâng cấp thiết bị công nghệ và thiết bị kiểm tra thử nghiệm chất lượng sản phẩm trong mỗi công đoạn sửa chữa, đồng thời với nâng cao trình độ của công nhân sửa chữa.

Đối với các động cơ đã bị phát nhiễu nhiều có thể dùng biện pháp khắc phục thụ động như thay nắp động cơ phía chổi than bằng thép hoặc đặt một nắp phụ bằng thép phía trong nắp nhôm của cửa sổ chổi than.

2. Sự phát tia lửa dưới toàn bộ chổi than hoặc từng phần

- Chổi than đặt không đúng. Kiểm tra lại vị trí chổi than. Nếu giá chổi có thể điều chỉnh được thì điều chỉnh thử về cả hai hướng để chọn vị trí có tia lửa nhỏ nhất. Cũng cần kiểm tra khoảng cách giữa các chổi xem có đều không.

- Chổi than tiếp xúc với bề mặt cổ góp không hoàn toàn làm tăng mật độ dòng điện quá mức ở chỗ tiếp xúc. Rút chổi than ra để xem, phần tiếp xúc tốt sẽ bị mài bóng. Cách xử lý như sau: dùng một mảnh giấy ráp đặt lên bề mặt cổ góp, từ mảnh chổi than (trong hộp chổi) rồi xoay rôto. Chổi than sẽ được mài mòn theo bề mặt của rôto.

- Chổi than bị quá lỏng hoặc quá chặt trong hộp chổi. Nếu chổi than quá lỏng chổi sẽ bị lắc, bề mặt tiếp xúc không ổn định, gây tia lửa. Chổi bị kẹt trong hộp chổi làm cho lực ép của chổi lên bề mặt cổ góp không đủ, gây tia lửa. Kiểm tra bằng cách cầm phần trên của chổi lắc nhẹ, rút chổi ra một đoạn rồi thả, vài lần như vậy để xem mức độ rơi của chổi so với hộp chổi.

- Lực ép của chổi không đủ do lò xo bị yếu (do bị nóng hoặc lâu ngày). Kiểm tra lực ép bằng lực kế lò xo, nếu không đủ cần chỉnh lại lực ép hoặc thay lò xo.

- Lực ép của chổi lên bề mặt cổ góp quá mạnh. Kiểm tra và điều chỉnh lại lực ép chổi. Lực ép của chổi còn yếu cần phải đều trên toàn bề mặt chổi và trên tất cả các chổi.

- Hộp chổi cố định không chắc chắn lên giá chổi gây rung khi làm việc. Kiểm tra và cố định lại thật chặt các hộp chổi.

- Mã hiệu chổi than không đúng theo quy định của nhà chế tạo. Chổi than được chế tạo rất nhiều loại có độ cứng, thành phần hợp chất khác nhau. Khi sản xuất máy điện các nhà thiết kế đã quy định dùng loại chổi nào là căn cứ vào vật liệu đồng cổ góp, kích thước, công suất, vậy khi sửa chữa nên sử dụng đúng loại chổi mà nhà sản xuất đã dùng. Dùng chổi cứng quá, mềm quá hoặc nhiều bột đồng quá đều bị đánh lửa mạnh. Dùng chổi cứng quá còn làm cho cổ góp mòn nhanh, chóng phải mài lại. Dùng chổi mềm quá chóng phải thay chổi do bị mòn nhanh, mặt khác tạo ra trên bề mặt cổ góp một lớp muội than, gây đánh lửa.

- Trong cực từ chính hoặc cực từ phụ có vòng dây bị chập làm cho từ trường mất đối xứng. Tia lửa đánh rất mạnh, thậm chí văng cả ra ngoài (không bám theo bề mặt cổ góp) nếu bị chập dây quấn cực từ phụ.

3. Chổi than đánh lửa mạnh; máy phát được kích thích kém; động cơ khởi động khó, khi làm việc thì tốc độ không ổn định; dây quấn phần ứng bị đốt nóng cục bộ

- Có thể chập một vài phiến góp do không tách ra hết sau khi hàn dây quấn vào cổ góp. Cần quan sát kỹ trên các phiến góp và những chỗ dây quấn bắt đầu đi vào phiến góp để tìm chỗ chập rồi tách ra.

- Có thể chập một vài vòng dây trong một phần tử hoặc chập một vài phần tử với nhau. Trong trường hợp này để phát hiện vòng chập hoặc chập trực tiếp các phiến góp cần tách dây quấn khỏi cổ góp và kiểm tra độc lập. Nếu công suất máy không lớn lắm thì tiến hành đo điện trở phần ứng giữa hai phiến đối diện của cổ góp. Nếu điện trở đo được ở tất cả các cặp giống nhau thì cổ góp và dây quấn tốt. Nếu có một số vị trí điện trở đo được lớn hơn hoặc nhỏ hơn bình thường thì cần căn cứ vào vị trí đo mà có điện trở lớn nhất hoặc bé nhất ta có thể phán đoán được vị trí của phiến góp hoặc phần tử sự cố.

Chú ý: Có một số trường hợp đặc biệt là cổ góp ép nhựa một số phiến góp chỉ chập với nhau khi ở nhiệt độ cao (khi làm việc được một thời gian). Vì vậy để kiểm tra cách điện giữa các phiến góp cần sấy nóng cổ góp trước.

4. Máy bắt đầu phát tia lửa khi mang tải

Bình thường khi không tải dưới chổi than không có tia lửa. Khi bắt đầu mang tải máy cũng bắt đầu phát tia lửa; tải càng lớn tia lửa càng nhiều, đến quá mức cho phép.

- Chổi than, giá chổi đặt không đúng. Kiểm tra lại vị trí chổi than và tình trạng giá chổi than.

- Trật tự cực tính của cực từ chính và phụ không thích ứng, hoặc cực tính của bản thân mỗi dây quấn không đúng. Kiểm tra lại cực tính của cực từ chính và phụ theo đúng như lý thuyết, (cách kiểm tra xem chương 8).

5. Chổi than đánh lửa đều khi có tải

Khi không tải dưới chổi than không có tia lửa. Hiện tượng này có thể do khi sửa chữa đã làm thay đổi khe hở giữa các cực từ phụ với rôto. Giữa các cực từ phụ và thân máy có các tấm đệm cách từ mà nhà sản xuất đã đặt để khống chế từ trường cực từ phụ, không được thay đổi khi sửa chữa. Nếu đã thay đổi cần xác định lại bằng cách thay đổi độ dày, số lượng tấm cách để hiệu chỉnh cho đến khi đạt được chế độ có tia lửa ít nhất.

6. Có một chổi bị đánh lửa mạnh hơn các chổi khác

- Có thể kẹt chổi, khoảng cách từ hộp chổi đến bề mặt cổ góp quá lớn, lò xo của chổi đó bị yếu.
 - Một cực từ phụ bị chập vòng dây hoặc một cực từ phụ bị ngắn mạch, mất tác dụng bù từ trường.
- Tìm sự cố trong cuộn cực từ phụ gần chổi than đánh lửa.

7. Lúc đầu có tia lửa, khi có tải thì hết

Tiếp xúc xấu dưới bề mặt chổi.

8. Chổi đánh lửa nhưng chỉ với một số phiến góp nào đó

Do hàn không tốt thanh dẫn với phiến góp. Do một phiến góp nào đó nhô cao hơn các phiến khác. Có thể có vòng dây bị chập hoặc chập hai phiến góp với nhau. Dùng máy, quan sát ta sẽ thấy có phiến góp bị muội đen do phóng điện. Hãy hàn lại hoặc tách bồi dây ra khỏi cổ góp để kiểm tra riêng biệt cổ góp và dây quấn.

9. Chổi than đánh lửa mạnh, tiếng ồn mạnh khác thường

Toàn máy bị rung, trên bề mặt phiến góp có nhiều vết phóng điện. Cổ góp không tròn hoặc không phẳng, cổ góp bị mài mòn không đều; giữa các phiến góp có sự phóng điện do cách điện hỏng hoặc do muội than kẹt giữa các phiến góp. Hãy rà láng lại cổ góp trên máy tiện, xẻ lại các rãnh giữa các phiến góp. Nếu hiện tượng trên không hết và chỉ đánh lửa khi cổ góp nóng thì đó là do cổ góp đã bị biến dạng dư (mất ổn định).

10. Chổi than đánh lửa; cổ góp phủ một lớp ôxít, lau sạch lại bị ngay cả khi máy không làm việc

Nguyên nhân là do hơi nước và khí ẩm trong máy gây ra sự phá hủy đồng phiến góp về hóa học. Hãy tẩy sạch lớp ôxít khi cổ góp đã nguội, nên dùng chổi than cứng hơn và làm kín máy, không cho hơi ẩm lọt vào.

11. Chổi than đánh lửa tạo thành một vệt nhỏ nối từ chổi này đến chổi kia

Do chổi than mềm quá. Lau sạch lớp muội than, thay chổi than khác cứng hơn.

12. Chổi than đánh lửa tạo thành một vành lửa trên bề mặt cổ góp

Chổi than đặt không đúng vị trí. Thứ tự cực tính của các cực từ chính và phụ không đúng. Ngắn mạch trong mạch ngoài. Hãy kiểm tra lại vị trí chổi than, cực tính các cực từ và mạch ngoài.

13. Chổi than đánh lửa mạnh khi động cơ đổi chiều đột ngột

Hiện tượng này là bình thường đối với các động cơ thông dụng, không phải bệnh lý mà nguyên nhân là đổi chiều nhanh quá. Hãy tìm cách giảm bớt sự đột ngột khi đổi chiều. Đối với những động cơ cần phải đổi chiều nhanh phải đặt hàng nhà sản xuất đáp ứng yêu cầu này. Nếu những động cơ loại này sau khi sửa chữa bị hiện tượng trên thì áp dụng những biện pháp như đã nói trong mục 1.

14. Đánh lửa dưới chổi than - vành trượt

Máy bị quá tải; sự cố trong tải (ngắn mạch). Bề mặt vành trượt hoặc bề mặt chổi than không tốt. Cần tiện láng và mài lại cổ góp, mài lại bề mặt chổi than, loại trừ chỗ ngắn mạch trong tải.

4-2. MÁY NÓNG QUÁ MỨC CHO PHÉP

1. Dây quấn bị nóng quá mức cho phép nhưng đều, ngoài ra không còn dấu hiệu bất bình thường nào

- Máy bị quá tải. Cần phải giảm tải hoặc tăng cường làm mát hoặc phải thay máy khác.
- Đem máy làm việc ngắn hạn hoặc ngắn hạn lặp lại làm việc trong chế độ dài hạn.
- Máy bị hỏng quạt gió, hoặc đường gió làm mát bị tắc hoặc điện tích làm mát trên lõi thép bị phủ một lớp cách nhiệt. Hiện tượng này thường xảy ra đối với những động cơ điện làm việc trong nhà máy sợi, nhà máy gỗ... có nhiều sợi và bột bám ngoài vỏ máy. Kiểm tra lại quạt gió và đường gió làm mát.
- Dùng động cơ trong trường hợp chiều quay không thích hợp với chiều quay quạt gió (quạt hướng trục) nên động cơ không được làm mát. Cần kiểm tra lại quạt gió.
- Sát cốt giữa rôto và stato sinh ra nhiệt làm nóng máy.

2. Dây quấn rôto bị quá nhiệt. Rôto máy điện một chiều bị nóng đều, dòng tải tăng, điện áp nguồn bình thường

Rất có thể do máy điện một chiều này không phải là loại kích thích hỗn hợp nên khi tải tăng, dẫn đến tăng tốc độ, máy càng bị quá tải.

3. Máy điện một chiều có tải bình thường, tốc độ quay chậm, dây quấn phản ứng quá nóng nhưng đều

Điều kiện làm mát kém. Cần tăng tốc độ máy lên.

4. Chổi than dưới các cực đánh lửa không đều, máy phát phải quay nhanh mới đủ điện áp; động cơ tăng tốc độ không bình thường. Phản ứng quá nóng; các cực nóng đều

Nguyên nhân phổ biến nhất là trật tự cực tính các cực từ chính không đúng, từ trường máy không bình thường tạo ra dòng điện cân bằng chảy trong các mạch nhánh, gây quá nhiệt. Nếu các cuộn dây cực từ chính nóng không đều thì do cuộn dây cực từ chính bị chập vòng dây.

5. Cổ góp bị quá nhiệt mặc dù chổi than không đánh lửa, bề mặt cổ góp phẳng

Chọn chổi than không đúng loại, ma sát làm cổ góp nóng không bình thường.

6. Tất cả các cuộn dây kích thích nóng đều hơn bình thường; động cơ một chiều chạy chậm trong khi điện áp nguồn bình thường

Nguyên nhân có thể là dòng điện kích thích quá lớn (nên tốc độ chậm) do đấu sai biến trở điều chỉnh (nối tiếp thành song song). Cần kiểm tra lại biến trở điều chỉnh và đổi lại sao cho tốc độ tăng lên đúng như nhãn máy.

Hiện tượng và nguyên nhân cũng như trên nhưng đối với máy phát điện một chiều, tốc độ bằng định mức nhưng điện áp tăng cao.

Đối với máy phát điện đồng bộ hiện tượng trên có thể là do máy làm việc với $\cos\phi$ thấp (công suất phản kháng quá lớn), do đó dòng điện kích thích tăng quá mức. Cần phải giảm tải phản kháng hoặc cải thiện $\cos\phi$ cho phụ tải. Cũng cần kiểm tra xem có thể có một số vòng dây của dây quấn kích thích chạm ra vỏ ở hai điểm. Nếu khả năng này xảy ra có thể kèm theo hiện tượng máy rung.

7. Một số cuộn dây kích thích bị nóng; chổi than đánh lửa; phản ứng bị nóng

- Ngắn mạch một số vòng dây trong dây quấn cực từ, điện trở dây quấn kích thích giảm. Đo điện trở các cuộn dây kích thích để tìm cuộn bị chập.
- Nối song song một số cuộn dây cực từ chính với dây quấn kích thích song song. Kiểm tra lại cách đấu nối dây quấn kích thích.

8. Dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều bị nóng cục bộ

- Trong dây quấn có các nhóm bội dây đầu song song nhưng số vòng dây không bằng nhau. Đo điện trở của các nhóm bội dây xem có bằng nhau không.

- Dây quấn bị chập hai pha với nhau hoặc pha với vỏ ở hai điểm khác nhau. Kiểm tra cách điện giữa các pha với nhau và giữa các pha với vỏ.

9. Máy bị nóng đều nhưng vẫn làm việc bình thường

Một số máy ngoại nhập làm việc ở Việt Nam không hợp vì được thiết kế để làm việc ở nhiệt độ môi trường thấp, khi làm việc liên tục vào mùa hè thường bị quá nhiệt. Cần phải tăng cường làm mát cho máy bằng cách đặt quạt gió ngoài.

4-3. ĐIỆN ÁP CỦA MÁY PHÁT KHÔNG BÌNH THƯỜNG

1. Máy phát điện không có kích thích

Cách kiểm tra như sau: Đối với máy một chiều hoặc máy đồng bộ có cuộn kích từ ở stato ta dùng một lá tôn để gần hàng bu lông bắt cực xem nó có bị hút không (khi đã đóng kích thích). Nếu lá tôn không bị hút là không có dòng kích từ chảy trong dây quấn. Nguyên nhân có thể là:

- Đối với máy điện một chiều: có thể không có từ dư, cần phải mới lại từ dư bằng cách cắm hai đầu vào hai cực của acquy.

- Có thể chiều quay không phù hợp với chiều của từ dư, cần phải mới lại từ dư theo hướng ngược lại.

- Có thể tốc độ quay không đủ nên điện áp không lên được do đặc tính từ hóa ứng với tốc độ đó nằm dưới đặc tính $U_t = I_f R_f$. Cần kiểm tra tốc độ, nếu thấy thiếu phải tăng lên.

- Có thể điện trở dây quấn kích thích quá lớn do có điện trở phụ mắc trong đó.

- Có thể do vị trí chổi than không đúng nên điện áp ra bằng không. Cần kiểm tra lại vị trí chổi than xem đã đúng với thiết kế ban đầu chưa.

- Có thể bị ngắn mạch một số cuộn dây kích thích. Khả năng này ít.

- Có thể ngắn mạch trong dây quấn phần ứng, trong cổ góp, trên chỗ hàn nối giữa cổ góp và dây dẫn. Kiểm tra sự chập mạch của dây quấn phần ứng.

- Có thể đứt trong dây quấn phần ứng. Đo điện trở để kiểm tra.

Hãy dùng vít ấn vào chổi than nếu máy kích thích được chứng tỏ do điện trở quá độ giữa chổi than và cổ góp quá lớn. Cần làm sạch bề mặt cổ góp.

- Đối với máy điện xoay chiều. Máy phát điện xoay chiều được kích từ bởi rất nhiều phương pháp:

Nếu kích từ bằng máy phát điện một chiều tự kích thì nguyên nhân không tự kích được, giống như đối với máy phát điện một chiều xét ở trên.

Nếu kích từ bằng máy phát kích xoay chiều đặt trên cùng trục thì cần phải kiểm tra máy phát kích và bộ chỉnh lưu ở ngay đầu trục. Máy phát kích loại này thường được tự kích và tự động điều chỉnh điện áp. Việc điều khiển được thực hiện ở phía dây quấn kích thích của máy phát kích. Hãy kiểm tra từ dây nếu máy không tự kích được hoặc không tự động điều chỉnh điện áp được. Việc tự động điều chỉnh điện áp được thực hiện nhờ phản hồi dòng và áp từ máy phát chính.

Nếu máy phát được tự kích hoàn toàn nhờ bộ tự kích bằng khuếch đại từ hoặc bằng thyristor thì cần kiểm tra lại toàn bộ hệ thống này.

Sau khi kiểm tra máy phát kích (đầu ra của bộ kích từ đã có điện áp) ta tiến hành kiểm tra lại dây quấn kích thích máy phát chính bằng cách đo điện trở và đo cách điện của nó (trên từng cuộn).

2. Máy phát tự kích được nhưng không giữ được điện áp khi có tải

Có thể có những khả năng sau:

- Bệnh trong động cơ sơ cấp, khi có tải tốc độ của nó sụt nhanh. Cần kiểm tra tốc độ quay của hệ thống.
- Máy phát một chiều có cực từ phụ, dây quấn bù hoặc dây quấn kích thích nối tiếp đấu không đúng cực tính. Máy phát điện xoay chiều có phản hồi đồng và phản hồi áp đấu không đúng (phản hồi ngược). Điện áp bị giảm đi do kích từ bị khử từ.
- Công suất phản kháng của tải quá lớn ($\cos\phi$ thấp), phản ứng phần ứng có tính chất khử từ.
- Bệnh trong bộ điều khiển ổn định điện áp. Kiểm tra các linh kiện bộ tự động điều chỉnh điện áp.

4.4. TỐC ĐỘ QUAY CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG BÌNH THƯỜNG

1. Động cơ không khởi động được

Có thể có những khả năng sau:

- Bị đứt cầu chì đối với động cơ một chiều, động cơ một pha, bị mất pha đối với động cơ ba pha. Kiểm tra lại cầu chì và các pha của động cơ ba pha.
- Bị đứt dây dẫn đến động cơ, bị đứt ngay trong dây quấn của động cơ.
- Động cơ ba pha bị ngược một pha. Kiểm tra lại kí hiệu đầu dây của các pha (chương 8).
- Điện áp nguồn giảm nhanh khi khởi động do công suất nguồn bé quá trong khi động cơ không có thiết bị khởi động.
- Nguồn điện ba pha bị mất đối xứng nghiêm trọng.
- Động cơ không đồng bộ rôto dây quấn không khởi động được ngoài những nguyên nhân trên còn có thể do hở mạch rôto.

2. Động cơ điện một chiều không khởi động được mặc dù trong phần ứng có dòng điện, khi dùng tay để khởi động thì tốc độ lại tăng vọt

Hiện tượng này là do máy không có từ trường kích thích hoặc có nhưng rất yếu. Nguyên nhân có thể là đứt, chập một cuộn ra vỏ máy của dây quấn kích thích song song. Cần kiểm tra lại mạch dây quấn kích thích.

Đối với động cơ xoay chiều không có hiện tượng này.

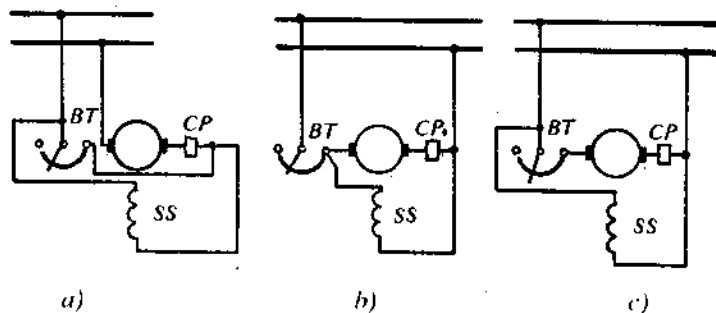
3. Động cơ một chiều khởi động được khi không tải; không khởi động được khi có tải

Có thể do đấu biến trở khởi động trong mạch kích thích sai (hình 4-1b). Đối với động cơ một pha có thể tụ (hoặc điện trở) dùng để khởi động không đủ; dây quấn đầu không đúng (lần giữa dây quấn khởi động và làm việc hoặc vị trí tụ khởi động không đúng). Đối với động cơ ba pha hiện tượng này có thể do điện áp nguồn bị yếu, đứt hoặc rô thanh dẫn rôto, trượt mối ghép giữa rôto và trục.

4. Tốc độ động cơ một chiều tăng quá định mức khi điện áp bình thường

Có thể có các khả năng:

- Chổi than trượt khỏi đường



Hình 4-1. Nối sai và đúng điện trở điều chỉnh trong mạch kích thích song song: a, b- nối sai; c- nối đúng.

trung tính theo hướng ngược chiều quay của động cơ. Cần hiệu chỉnh lại vị trí chổi than.

- Điện trở điều chỉnh mạch kích thích quá lớn. Cần giảm điện trở điều chỉnh.

- Có thể chập vòng dây hoặc ngắn mạch một trong các cuộn dây của dây quấn kích thích song song.

- Động cơ kích thích hỗn hợp có dây quấn kích thích nối tiếp đầu song song ngược.

Hiện tượng này không thể xảy ra đối với động cơ điện xoay chiều.

5. Điện áp vẫn bình thường nhưng tốc độ động cơ giảm so với định mức

- Đối với động cơ một chiều chổi than bị lệch ra khỏi trung tính hình học theo chiều quay của động cơ. Cần đặt lại chổi than.

- Điện trở trong mạch kích thích của động cơ một chiều bị giảm trị số. Cần tăng điện trở đó lên.

- Khi sửa chữa đã nối sai các đầu dây vào cổ góp. Cần kiểm tra lại cách nối dây.

- Đối với động cơ điện xoay chiều sự suy giảm tốc độ có thể do một số thanh dẫn rôto bị rỗ hoặc bị đứt, rôto quấn dây của động cơ không đồng bộ bị hở mạch, điện áp nguồn bị giảm nhiều đối với động cơ một pha có thể do khe hở không khí bị lệch, làm xuất hiện lực từ một phía gây quá tải. Cũng có thể do động cơ bị quá tải. Cần lần lượt kiểm tra các yếu tố trên và loại trừ chúng.

6. Động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc bị dao động tốc độ quay trong khi mang tải

Hiện tượng này thường xảy ra đối với động cơ lớn rôto lồng sóc đúc nhôm hoặc rôto thanh đồng. Nguyên nhân là một số thanh dẫn rôto bị đứt khỏi vành ngắn mạch nhưng chưa đứt hẳn nên gây dao động về dòng điện và tốc độ. Phải hàn lại những chỗ nứt đó. Động cơ rôto dây quấn cũng bị dao động về tốc độ khi mạch rôto bị hở hoặc tiếp xúc xấu.

7. Động cơ đồng bộ bị dao động và có khi ra khỏi đồng bộ

Khi làm việc rôto động cơ đồng bộ bị dao động làm cho kim ampe kế và watt kế dao động. Không tìm thấy một sự cố nào của động cơ. Dao động mạnh đến mức có thể làm cho rôto ra khỏi đồng bộ. Nguyên nhân có thể là:

- Tải thay đổi quá mạnh. Cách khắc phục là tăng dòng điện kích thích để hạn chế dao động.

- Dao động có thể được truyền từ máy công tác nối trực với động cơ, chẳng hạn máy nén khí kiểu piston, máy bơm...

- Dao động điện áp và tần số lưới. Hãy kiểm tra điện áp và tần số lưới.

8. Động cơ đồng bộ bị ra khỏi đồng bộ

Nguyên nhân không phải như mục trên. Nguyên nhân có thể là: động cơ bị quá tải; bị sự cố trong lưới điện cung cấp cho mạch kích từ của động cơ hoặc sự cố trong lưới cung cấp cho mạch stato.

9. Động cơ một chiều kích thích song song đang làm việc bình thường bỗng nhiên tăng tốc độ đột ngột

Khả năng bị đứt mạch kích từ.

10. Động cơ kích thích nối tiếp tăng tốc độ đột ngột khi đang làm việc

Khả năng có thể là mất tải.

4-5. MÁY ĐIỆN CÓ TIẾNG ỒN VÀ DAO ĐỘNG KHÔNG BÌNH THƯỜNG

1. Máy điện bị kêu to không bình thường; dòng điện làm việc tăng; máy nóng

Kiểm tra tốc độ đối với động cơ một chiều xem có tăng quá không, (do kích thích giảm vì lí do

gì đó). Có thể có ngắn mạch trong dây quấn phần ứng, hoặc trong cổ góp của máy điện một chiều. Đối với máy điện xoay chiều có thể có ngắn mạch trong dây quấn stato hoặc số vòng dây trong các mạch nhánh song song không bằng nhau.

Cần kiểm tra xem dòng điện trong các pha có bằng nhau không. Tháo máy để kiểm tra ngắn mạch vòng dây; kiểm tra số vòng dây trong các bố dây bằng cách đưa điện áp thấp vào một nhánh, đo điện áp trên các nhánh còn lại. Theo quy định độ chênh điện áp giữa các nhánh song song không quá 5%. Đối với động cơ rôto dây quấn có thể không cần tháo rôto, điện áp cấp vào dây quấn stato bằng định mức. Cũng có thể cấp điện vào từ phía rôto để kiểm tra stato.

2. Động cơ không đồng bộ bị kêu, rung nhưng vẫn làm việc bình thường

Trong dây quấn stato có các nhóm bố dây phân bố không đối xứng; khe hở không khí không đều, tất cả những cái đó gây mất đối xứng về từ, làm cho máy rung và ồn.

Hãy kiểm tra khe hở không khí thật tỉ mỉ; kiểm tra xem dây quấn stato có hoàn toàn đối xứng không. Thứ đầu lại dây quấn theo sơ đồ hình 4-2. Trên hình 4-2 ta thấy hình 4-2a nếu hai mạch nhánh song song mất đối xứng thì theo sơ đồ hình 4-2b có thể sẽ khắc phục được.

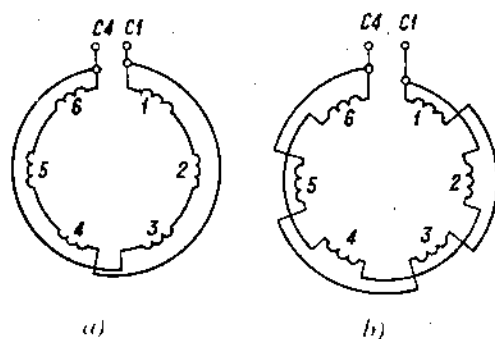
3. Động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc phát ra tiếng ồn với tần số cao khi làm việc thậm chí bị dao động mạnh, khi cắt điện tiếng ồn này mất ngay

Nguyên nhân là do sự phối hợp răng rãnh giữa stato và rôto không thích hợp (trường hợp này hay xảy ra khi ta sửa chữa có thay đổi tốc độ quay). Tại các thời điểm khác nhau và ở các vị trí khác nhau trên khe hở không khí có các cặp răng stato và rôto trùng nhau (hình 4-3) tạo ra lực từ một phía chạy trên bề mặt rôto, gây rung và kêu (dao động cơ học trong môi trường đàn hồi là không khí tạo ra âm thanh). Kinh nghiệm cho thấy sự dao động của máy điện dạng này có thể rất nguy hiểm khi xảy ra sự cộng hưởng, khi đó tần số dao động do lực từ một phía trùng với dao động riêng của máy. Hiện tượng này thường xảy ra khi dây quấn stato có số phân tử của một pha dưới một cực $q = 2\frac{1}{2}; 3\frac{1}{2}; 4\frac{1}{2}; \dots$

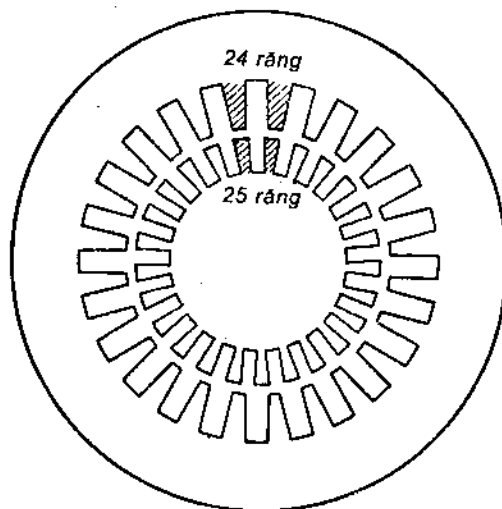
Để loại trừ hiện tượng này cần phải thay một rôto khác có số răng rãnh phù hợp với số răng rãnh của stato. Cũng có thể làm yếu hiện tượng này bằng cách tăng khe hở không khí lên $15 \div 20\%$. Tuy nhiên việc tăng khe hở không khí làm tăng dòng điện không tải và do đó làm giảm hệ số cosφ của máy.

4. Sự rung và tiếng ồn còn do hiện tượng từ giảo

Hiện tượng khi bị từ hóa thể tích của vật liệu sắt từ thay đổi, chạy vòng quanh một cách chu kỳ trên các răng của rôto và stato.



Hình 4-2. Đấu lại dây quấn để có các mạch nhánh song song đối xứng.
1, 2, 3, 4, 5, 6 - các nhóm bố dây



Hình 4-3. Sự xuất hiện lực từ một phía do phân bố răng rãnh của stato và rôto động cơ không đồng bộ.

5. Tiếng ồn và dao động cũng xảy ra khi quần thiếu số vòng dây làm tăng dòng điện không tải; đấu sai số mạch nhánh song song...

Dòng điện không tải lớn, mạch từ bão hòa làm tăng trị số lực từ một phía, tăng hiện tượng từ giảo và từ đó làm tăng tiếng ồn.

6. Sự rung và tiếng ồn do nguyên nhân về cơ khí

- Khi quần lại rôto máy điện một chiều và xoay chiều cần cân bằng động lại để loại trừ sự mất cân bằng do thay đổi dây quấn, đặc biệt đối với những trường hợp phải đại lại, đổ epoxi để cố định dây quấn vì trọng lượng thiếc và epoxi rất khó không chế các phía cho cân bằng. Sự mất cân bằng động hoặc tĩnh đều làm cho ổ bi hoặc ổ trượt làm việc không ổn định gây rung và ồn.

- Ổ bi hoặc ổ trượt bị rơi làm cho trục máy không ổn định gây rung. Nếu độ rơi lớn quá có thể gây sát cốt (có tiếng rít tần số cao).

- Ổ bi bị rỗ gây ra tiếng ồn. Cần thay bi.

- Lắp bi vào không hết, ổ bi không hoàn toàn vuông góc với trục hoặc lắp bi căng quá gây ma sát trực tiếp giữa các chi tiết trong ổ bi. Cần dùng máy nghe (tương tự như máy nghe khám bệnh cho người) để nghe các tiếng động lạ trong ổ bi hoặc ổ trượt để loại trừ.

- Lắp ghép giữa máy điện và máy công tác không tốt (trục của hai máy không thẳng) làm cho các ổ bi hoặc bạc bị va đập chu kỳ gây rung và tiếng ồn. Kiểm tra và hiệu chỉnh lại khớp nối.

- Động cơ không đồng bộ rung và ồn, tốc độ động cơ giảm. Nguyên nhân là khe hở không khí bị lệch do gờ lắp thân của nắp hoặc gờ lắp nắp của thân bị rơi quá mức, bị va buồng ổ bi bị rơi so với nhau. Khi rôto quay lực từ một phía sẽ hút rôto về một phía gây quá tải, rung và kêu. Tiếng ồn trong trường hợp này vừa do từ vừa do cơ.

4.6. CÁC SỰ CỐ CHẠM CHẬP VÀ CÁCH KHẮC PHỤC

Dây quấn máy điện thường hay bị chạm chập giữa các vòng dây, giữa các bồi dây, giữa các pha và giữa các pha với vỏ. Nguyên nhân chạm chập chủ yếu là do hỏng cách điện giữa các phần mang điện áp khác nhau. Cách điện hỏng có thể có nhiều nguyên nhân: bị già hóa theo thời gian, nhiệt độ, độ ẩm, hóa chất, vi khuẩn... Cách điện cũng bị hỏng do sơ suất trong quá trình lồng dây, do máy điện bị rung trong quá trình làm việc. Sau đây là một số sự cố đặc trưng và cách khắc phục (sửa chữa cục bộ).

1. Chạm chập giữa các vòng dây trong một bồi dây của dây quấn phản ứng

Trong khi đang làm việc do cách điện vòng dây hỏng, xảy ra chạm chập làm ngắn mạch một hoặc một số vòng dây. Trường hợp này tương tự như ngắn mạch một số vòng dây thứ cấp của máy biến áp. Dòng điện trong các vòng dây bị ngắn mạch phụ thuộc vào từ thông của máy và tổng trở các vòng dây ngắn mạch. Như vậy ta thấy công suất máy càng lớn thì dòng ngắn mạch càng lớn vì lúc đó từ thông lớn (sức điện động vòng dây lớn) nhưng tổng trở vòng dây ngắn mạch lại bé. Vì vậy thường hậu quả do ngắn mạch vòng dây đối với các máy lớn nặng hơn (thường là nổ ngay). Dòng điện sơ cấp lấy từ lưới vào, tăng không nhiều vì tỉ số giữa các vòng dây bị ngắn mạch với tổng số vòng dây nối tiếp của một pha rất nhỏ. Vì vậy thường các thiết bị bảo vệ không kịp tác động để ngắt động cơ ra khỏi lưới. Đối với máy phát điện nếu số vòng dây ngắn mạch nhiều hậu quả có thể rất nguy hiểm vì điện áp của máy phát giảm nhanh do phản ứng khử từ của các vòng dây ngắn mạch. Đối với các máy bé các vòng dây bị ngắn mạch cháy chậm hơn thậm chí không cháy (quạt trần, quạt bàn và các máy có công suất tương đương).

Các vòng dây ngắn mạch thường có màu sẫm có thể nhận ra ngay nếu không có thể dùng rônha để tìm.

Quan sát kỹ khu vực hai đầu mép rãnh hoặc phần đầu nối là nơi cách điện vòng dây hay hỏng để tìm chỗ chập. Tách dần các vòng dây của bồi dây có vòng chập (ở phần đầu nối) dùng thời dùng rônha để kiểm tra.

Nếu dây quấn chưa tẩm sấy có thể rút so lệch các vòng dây trong bối có thể làm cho chỗ chập tách ra.

Đối với dây quấn đã tẩm sấy nếu chỗ chập không ở phần đầu nối thì cần tháo bỏ bối dây chập và thay vào đó bối dây khác nếu việc tháo dỡ cục bộ cho phép.

Đối với bối dây phân tử cứng quấn bằng dây có tiết diện chữ nhật đặt trong rãnh hồ ta có thể lấy bối dây bị chập ra ngoài dễ dàng. Nếu bối dây chập nổ đứt ta có thể hàn nối hoặc thậm chí chập thêm rồi hàn lại. Việc hàn nối được thực hiện bằng que hàn đồng-bạc dưới ngọn lửa của đèn khò xăng hoặc axetylen. Dùng dũa dũa chỗ hàn thật phẳng rồi bọc lại bằng cách điện. Yêu cầu mối hàn phải ngấu, sau khi hàn nối và bọc cách điện kích thước chỗ nối không thay đổi. Tẩm sơn lại bối dây rồi đặt trở lại rãnh của nó.

2. Xử lý chập chập giữa hai pha

Đối với dây quấn một lớp sự chập chập giữa hai pha chỉ có thể xảy ra ở phần đầu nối. Chúng ta có thể giới hạn phạm vi chỗ chập bằng cách cắt tách các nhóm bối dây và kiểm tra xem hai nhóm nào chập nhau. Quan sát kĩ chỗ giáp mối giữa hai nhóm, tách phần đầu nối của hai nhóm rồi kiểm tra lại. Khi phát hiện được chỗ chập chập đặt cách điện để cách li phần đầu nối của hai pha.

Đối với dây quấn hai lớp chỗ chập chập có thể xảy ra cả trong các rãnh có các thanh dẫn của hai pha nhưng xác suất xảy ra ít hơn.

Nếu chỗ chập chập chưa rõ ràng (sắp chập hoặc khi chập khi không, chỉ thể hiện khi chạy) thì dùng phương pháp thử nghiệm điện áp cao để tìm. Cho điện áp cao (tăng dần) vào hai pha, che tối những chỗ nghi vấn để phát hiện chỗ có phóng điện.

3. Xử lý cục bộ chỗ chập chập giữa dây quấn và vỏ máy

Đối với dây quấn phản ứng trên stato chỗ dễ xảy ra chập chập nhất là miệng rãnh và mép rãnh vì ở đó cách điện thường bị đập nát khi lỏng dây. Dùng megômet quay liên tục đồng thời lay phần đầu nối dây quấn hoặc rút dây quấn về hai phía (nếu chưa tẩm sấy) để tìm chỗ chập. Cắt tách các pha, các nhóm bối để giới hạn khả năng chỗ chập chập. Cũng có thể loại trừ các rãnh tốt bằng xác định và đánh dấu các rãnh của pha bị chập theo quy luật phân bố các rãnh cho các pha (theo trình tự A-Z-B-X-C-Y). Sau khi phát hiện được chỗ chập chập ta tìm cách cách li chỗ đó bằng cách điện rồi tẩm sấy lại để cố định.

CHƯƠNG 5

TÍNH TOÁN LẠI MÁY ĐIỆN KHI SỬA CHỮA

Động cơ điện không đồng bộ nói riêng và máy điện nói chung khi sửa chữa trong nhiều trường hợp cần phải tính toán lại. Việc tính toán lại máy điện trong sửa chữa mang tính gần đúng bởi vì có nhiều thông số không xác định được một cách chính xác như loại tôn, hệ số ép chặt...

Những trường hợp cần phải tính toán trong sửa chữa thường là: máy điện đã quấn lại nhiều lần, thông số có thể sai lệch cần kiểm tra lại, rôto bị lẫn làm cho phối hợp răng rãnh bị sai; dây quấn cũ bị mất cần phải phục hồi lại như cũ; các tính toán để cải tiến, thay đổi thông số máy như thay đổi tốc độ, điện áp, tần số, cấp chịu nhiệt của cách điện, cỡ dây, vật liệu dây dẫn, số pha...

Trong quá trình tính toán chúng ta cần thống nhất quy ước về kí hiệu các đại lượng (bảng 5-1).

Các đại lượng phía stato quy ước thêm chỉ số 1; các đại lượng phía rôto quy ước thêm chỉ số 2 phía dưới.

Bảng 5-1. Tên, kí hiệu và đơn vị đo các đại lượng dùng trong tính toán lại máy điện

| Ký hiệu | Tên gọi | Đơn vị |
|---------------|---|-----------------|
| 1 | 2 | 3 |
| P | Công suất định mức của động cơ | kW |
| P_1 | Công suất tiêu thụ của động cơ | kVA |
| η | Hiệu suất | % |
| f | Tần số | Hz |
| $\cos\varphi$ | Hệ số công suất | - |
| p | Số đôi cực | - |
| n_1 | Tốc độ quay đồng bộ | v/ph |
| n | Tốc độ quay thực | v/ph |
| s | Hệ số trượt | % |
| D_n | Đường kính ngoài stato | cm |
| D_t | Đường kính trong stato | cm |
| l_{α} | Chiều dài tính toán của lõi thép | cm |
| l | Chiều dài toàn phần của lõi thép | cm |
| n_k | Số rãnh thông gió ngang trục | - |
| b_k | Chiều rộng rãnh thông gió ngang trục | - |
| k_c | Hệ số ép chặt | - |
| Z | Số rãnh | - |
| t | Bước rãnh | cm |
| α | Góc độ điện giữa các rãnh | độ |
| b | Chiều rộng tính toán của răng | cm |
| b' | Chiều rộng răng ở chỗ hẹp nhất | cm |
| b'' | Chiều rộng răng ở chỗ rộng nhất | cm |
| h_r | Chiều cao rãnh | cm |
| Q_r | Diện tích mặt cắt ngang rãnh | cm ² |
| τ | Bước cực | cm |
| h_l | Chiều cao lưng phần ứng | cm |
| U_f | Điện áp pha | V |
| U | Điện áp dây | V |
| I_f | Dòng điện pha | A |
| I_{fd} | Dòng điện trong thanh dẫn | A |
| I_v | Dòng điện trong vành ngắn mạch | A |
| W_p | Số vòng dây tổng một pha | |
| W_f | Số vòng dây nối tiếp của một pha | |
| W_r | Số thanh dẫn tác dụng trong một rãnh | |
| q_t | Tiết diện vòng dây tác dụng trần | mm ² |
| $q_{cđ}$ | Tiết diện vòng dây tác dụng kể cả cách điện | mm ² |
| q_{nt} | Tiết diện sợi dây nguyên tố không cách điện | mm ² |
| $q_{ntcđ}$ | Tiết diện sợi dây nguyên tố kể cả cách điện | mm ² |
| q | Số phần tử của một pha dưới một cực | |

(tiếp theo bảng 5-1)

| 1 | 2 | 3 |
|-----------------|---------------------------------------|---------------------|
| m | Số sợi chập song song | |
| d | Đường kính sợi dây không kể cách điện | mm |
| d _{cd} | Đường kính sợi dây có cách điện | mm |
| y | Bước dây | |
| k _{dq} | Hệ số dây quấn | |
| B _δ | Từ cảm trong khe hở không khí | T |
| B _l | Từ cảm trong lõi | T |
| B _r | Từ cảm trong răng | T |
| Δ | Mật độ dòng điện | A/mm ² |
| A | Phụ tải đường | A/cm |
| ρ _{Cu} | Điện trở suất của đồng | Ωmm ² /m |
| ρ _{Al} | Điện trở suất của nhôm | Ωmm ² /m |

5-1. TÍNH TOÁN KIỂM TRA STATO ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Trong trường hợp thông số dây quấn không còn đáng tin cậy do quấn đi quấn lại nhiều lần hoặc do động cơ không rõ tải lịch đã bị cháy do quá nóng khi làm việc trước khi quấn lại dây quấn ta cần tính toán để kiểm tra lại.

Trên cơ sở các thông số ghi trên nhãn máy và dây quấn có sẵn ta xác định được các đại lượng cần thiết để tính toán như sau:

1. Số cực của động cơ:

$$2p = \frac{120f}{n_1} \quad (5-1)$$

trong đó: f - tần số dòng điện nguồn, Hz; n₁ - tốc độ đồng bộ (tốc độ từ trường).

Với tần số bằng 50Hz ta có:

$$2p = \frac{6000}{n_1} \quad (5-2)$$

Theo nhãn máy ta thu được tốc độ đồng bộ (hay số cực), tốc độ thực (nhỏ hơn tốc độ đồng bộ). Hệ số trượt giữa hai tốc độ này là s:

$$s = \frac{(n_1 - n)}{n_1} \cdot 100 \quad (5-3)$$

Hệ số trượt có trị số vào khoảng 1,5 ÷ 5% tùy theo công suất. Thường trên nhãn máy ghi tốc độ thực nên muốn xác định tốc độ đồng bộ ta chỉ cần làm tròn đến số nguyên gần nhất là được. Chẳng hạn 2960 làm tròn đến 3000; 1470 làm tròn đến 1500; 960 làm tròn đến 1000v/ph...

2. Bước cực, cm:

$$\tau_1 = \frac{\pi D_{11}}{2p} \quad (5-4)$$

3. Bước răng, cm:

$$t_1 = \frac{\pi D_{11}}{Z_1} \quad (5-5)$$

4. Chiều dài tác dụng của lõi thép stato, cm:

$$l_{\delta} = k_{cl}(l_1 - n_{kl} \cdot b_{kl}) \quad (5-6)$$

Giá trị hệ số ép chặt k_{cl} có thể lấy theo bảng 5-2.

Bảng 5-2. Giá trị của hệ số ép chặt k_c

| Chiều dày tôn (mm) | Dạng cách điện | | |
|--------------------|----------------|------|------------------------------------|
| | Giấy | Sơn | Không cách điện hoặc bằng lớp ôxit |
| 0.50 | 0.90 | 0.93 | 0.95 |
| 0.35 | 0.87 | 0.91 | 0.93 |

5. Các dạng rãnh phổ biến nhất (hình 5-1).

Các công thức để xác định tiết diện rãnh như sau, (mm):

Rãnh dạng 1: $Q_r = \frac{\pi}{8} (a_1^2 + a_2^2) + \frac{h'}{2} (a_1 + a_2) ;$

Rãnh dạng 2: $Q_r = \frac{\pi}{2} (r_1^2 + r_2^2) + \frac{h'}{2} (a_1 + a_2) + r a_2' ;$

Rãnh dạng 3: $Q_r = \frac{\pi}{2} a_1^2 + \frac{h'}{2} (a_1 + a_2) ;$

Rãnh dạng 4: $Q_r = \frac{h'}{2} (a_1 + a_2) + h'' (a_0 + a_1) ;$

Rãnh dạng 5: $Q_r = \frac{\pi}{4} a^2 + h'a ;$

Rãnh dạng 6: $Q_r = \frac{\pi}{8} a^2 + \frac{\pi}{2} r^2 + h'a + \frac{a}{2} .r^2 ;$

Rãnh dạng 7: $Q_r = \frac{\pi}{8} a^2 + h'a ;$

Rãnh dạng 8: $Q_r = h'a + \frac{h'}{2} (a_0 + a) .$

6. Chiều rộng tính toán của răng có tiết diện thay đổi, cm:

$$b_1 = \frac{2}{3} b_1' + \frac{1}{3} b_1'' \quad (5-7)$$

7. Chiều cao lưng lõi thép stato, cm:

$$h_{ll} = \frac{D_{nl} - D_{ll}}{2} - h_{rl} \quad (5-8)$$

Bài toán tính toán kiểm tra thực chất là xác định tải điện từ rồi đem so sánh với giá trị cho phép của chúng.

Đối với stato các đại lượng đặc trưng là: B_{δ} - từ cảm trong khe hở không khí, T; B_{ll} - từ cảm trong lưng lõi thép lưng, T; B_{rl} - từ cảm trong răng, T; Δ_1 - mật độ dòng điện trong dây quấn, A; A_1 - tải đường, A/cm; k_{dl} - hệ số đáy rãnh.

Các trị số tải điện từ đối với động cơ không đồng bộ tùy thuộc vào công suất và được cho trong bảng 5-3.

Nếu kết quả tính toán kiểm tra các đại lượng trên nằm trong phạm vi cho phép (bảng 5-3) thì việc sửa chữa được tiến hành bình thường theo thông số dây quấn đã lấy được.

Bảng 5-3. Các trị số tải điện từ đối với động cơ không đồng bộ

| Các đại lượng | Ký hiệu | Đơn vị | Công suất (kW) | | | |
|---------------------------------------|----------------|------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| | | | Cao hơn 100 | 10 ÷ 100 | 1,0 ÷ 10 | đến 1 |
| Từ cảm trong khe hở | B_δ | T | 1,0 ÷ 0,9 | 0,9 ÷ 0,7 | 0,7 ÷ 0,6 | 0,6 ÷ 0,3 |
| Từ cảm trong lưng stato | B_{g1} | T | 1,7 ÷ 1,4 | 1,6 ÷ 1,3 | 1,6 ÷ 1,2 | 1,5 ÷ 1,1 |
| Từ cảm trong lưng rôto | B_{g2} | T | 1,4 ÷ 1,2 | 1,3 ÷ 1,2 | 1,2 ÷ 1,0 | 1,1 ÷ 0,9 |
| Từ cảm trong răng stato | B_{r1} | T | 2,0 ÷ 1,8 | 1,8 ÷ 1,4 | 1,6 ÷ 1,4 | 1,5 ÷ 1,3 |
| Từ cảm trong răng rôto | B_{r2} | T | 1,8 ÷ 1,6 | 1,6 ÷ 1,4 | 1,4 ÷ 1,3 | 1,3 ÷ 1,1 |
| Mật độ dòng điện trong dây quấn stato | Δ_1 | A/mm ² | 5,0 ÷ 3,0 | 5,5 ÷ 4,0 | 6,0 ÷ 5,0 | 8,0 ÷ 6,0 |
| Mật độ dòng điện trong dây quấn rôto | Δ_2 | A/mm ² | 5,5 ÷ 5,0 | 6,0 ÷ 6,5 | — | — |
| Mật độ dòng điện trong rôto lồng sóc | Δ_2 | A/mm ² | 7,0 ÷ 5,5 | 8,0 ÷ 7,0 | 8,5 ÷ 8,0 | 9,0 ÷ 8,5 |
| Mật độ dòng điện trong vành ngắn mạch | Δ_v | A/mm ² | 5,0 ÷ 4,0 | 5,5 ÷ 5,0 | 6,0 ÷ 5,5 | 7,0 ÷ 6,5 |
| Mật độ đường stato | A_1 | A/cm | 350 ÷ 600 | 250 ÷ 400 | 200 ÷ 300 | 100 ÷ 200 |
| Hệ số dây rãnh stato | k_d | | 0,65 ÷ 0,7 đối với dây đồng
0,7 ÷ 0,75 đối với dây nhôm | | | |
| Tích số mật độ dòng với mật độ đường | $\Delta_1 A_1$ | A ² /cm.mm ² | — | 2000 | — | 1700 |

Nếu kết quả tính toán ra ngoài phạm vi cho phép của các đại lượng trên thì số liệu dây quấn thu được không chính xác, có thể do lần sửa chữa trước đã làm sai lệch số liệu thiết kế hoặc động cơ đã được cải tiến để dùng với mục đích khác nhưng đã không thay đổi lại nhãn máy. Trong trường hợp này ta cần phải tính toán lại thông số dây quấn cho phù hợp với nhãn máy và mục đích sử dụng (xem mục 5-4).

Các công thức để tính toán các đại lượng trên như sau:

1) Từ cảm trong khe hở không khí, T:

$$B_\delta = \frac{2,5pU_{f1}a_1 10^2}{t_1 Z_1 D_{n1} W_{r1} k_{dq1}} ; \quad (5-9)$$

trong đó: $U_{f1} = U$ - khi đấu Δ , V; (5-10)

$$U_{f1} = \frac{U}{\sqrt{3}} - \text{khi đấu } Y, \text{ V}; \quad (5-11)$$

$$W_{r1} = \frac{6W_{f1}a_1}{Z_1} = \frac{W_p}{Z_1} \quad (5-12)$$

Trị số hệ số dây quấn phụ thuộc vào số phần tử của một pha dưới một cực q và vào bước dây, quấn y, có thể tham khảo bảng 5-4.

Bảng 5-4. Hệ số dây quấn đối với một số bước dây thường dùng

| Trị số q | Hệ số dây quấn khi β | | | | | | | | |
|----------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,6 |
| 1 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 0,97 | 0,95 | 0,92 | 0,89 | 0,85 | 0,81 |
| 2 | 0,97 | 0,96 | 0,95 | 0,93 | 0,91 | 0,88 | 0,85 | 0,82 | 0,78 |
| 3 | 0,96 | 0,96 | 0,95 | 0,93 | 0,91 | 0,88 | 0,85 | 0,82 | 0,78 |
| 4 | 0,96 | 0,95 | 0,92 | 0,93 | 0,91 | 0,88 | 0,85 | 0,82 | 0,77 |
| 5-7 | 0,96 | 0,90 | 0,92 | 0,93 | 0,91 | 0,88 | 0,85 | 0,82 | 0,77 |

Đối với bước dây trung gian giữa các trị số trong bảng trên ta có thể tính hệ số dây quấn theo công thức:

$$k_{dq} = \frac{\sin(\beta \cdot 90^\circ) \cdot 0,5}{q_1 \sin\left(\frac{30^\circ}{q_1}\right)} \quad (5-13)$$

2) Từ cảm trong răng, T :

$$B_{r1} = B_\delta \frac{t_1}{b_1} \frac{l_\delta}{l_1} \quad (5-14)$$

3) Từ cảm trong lưng, T :

$$B_{l1} = 0,55 B_\delta \frac{D_{l1}}{h_{l1}} \frac{l_\delta}{l_1} \frac{1}{p} \quad (5-15)$$

4) Mật độ dòng điện, A/mm²:

$$\Delta_1 = \frac{I_{f1}}{q_{r1} a_1} = \frac{I_{f1}}{q_{m1} m_1 a_1} ; \quad (5-16)$$

trong đó :

$$I_{f1} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} U \eta \cos \varphi} \quad \text{khi dấu } \Delta ; \quad (5-17)$$

$$I_{f1} = \frac{P \cdot 10^3}{3 U \eta \cos \varphi} \quad \text{khi dấu } \Delta . \quad (5-18)$$

Nếu các trị số η , $\cos \varphi$ không ghi trên nhãn máy ta có thể tìm trong các bảng sau:

5) Tải đường A_1 , A/cm:

$$A_1 = \frac{I_{f1} Z_1 W_{r1}}{\pi D_{l1} a_1} \quad (5-19)$$

Một trong những yếu tố làm cho động cơ điện phát nóng khi làm việc là tích số ΔA . Trị số cho phép của tích số này cho trong bảng 5-3 là đối với dây đồng. Đối với dây nhôm cần phải tăng trị số này lên 15 + 20%.

6) Hệ số dây rãnh

Khái niệm hệ số dây rãnh được các tác giả khác nhau định nghĩa theo các cách khác nhau. Có thể định nghĩa hệ số dây rãnh là tỉ số giữa tiết diện đồng với tiết diện rãnh. Theo cách này ta chỉ có thể tính một cách gần đúng hệ số dây rãnh vì có nhiều yếu tố chưa được kể đến như cấp cách điện... Một vài tác giả cũng đưa ra cách tính theo đó hệ số dây rãnh là tỉ số giữa diện tích chiếm bởi các sợi dây có kể cả cách điện với diện tích rãnh, hoặc diện tích tự do của rãnh.

Bảng 5-5. Trị số hiệu suất, cosφ của động cơ không đồng bộ rôto ngắn mạch dây A do Liên Xô cũ sản xuất và tương đương

| Công suất,
kW | Hiệu suất % | | | | cosφ | | | |
|------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Khi tốc độ quay v/ph | | | | | | | |
| | 3000 | 1500 | 1000 | 750 | 3000 | 1500 | 1000 | 750 |
| 0,6 | - | 74,0 | - | - | - | 0,76 | - | - |
| 1,0 | 79,0 | 78,5 | 77,0 | - | 0,86 | 0,79 | 0,72 | - |
| 1,7 | 81,5 | 81,5 | 79,5 | - | 0,87 | 0,82 | 0,75 | - |
| 2,8 | 84,0 | 83,5 | 82,5 | - | 0,88 | 0,84 | 0,78 | - |
| 4,5 | 85,5 | 85,5 | 84,5 | 83,5 | 0,88 | 0,85 | 0,80 | 0,76 |
| 7 | 87,0 | 87,0 | 86,0 | 85,0 | 0,89 | 0,86 | 0,81 | 0,78 |
| 10 | 87,5 | 87,5 | 86,5 | 85,0 | 0,89 | 0,88 | 0,82 | 0,80 |
| 14 | 87,5 | 88,5 | 87,0 | 87,0 | 0,89 | 0,88 | 0,83 | 0,81 |
| 20 | 88,5 | 89,0 | 88,0 | 88,0 | 0,90 | 0,88 | 0,84 | 0,82 |
| 28 | 89,0 | 90,0 | 89,0 | 89,0 | 0,90 | 0,88 | 0,85 | 0,83 |
| 40 | 90,0 | 90,5 | 90,0 | 89,0 | 0,91 | 0,89 | 0,86 | 0,84 |
| 55 | 90,5 | 91,0 | 91,0 | 91,0 | 0,91 | 0,89 | 0,87 | 0,84 |
| 75 | 91,0 | 91,5 | 92,5 | - | 0,91 | 0,89 | 0,88 | - |
| 100 | 91,5 | 92,0 | - | - | 0,92 | 0,89 | - | - |

Bảng 5-6. Trị số hiệu suất, cosφ của động cơ không đồng bộ rôto ngắn mạch dây AO do Liên Xô cũ sản xuất và tương đương

| Công suất,
kW | Hiệu suất % | | | | cosφ | | | |
|------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Khi tốc độ quay v/ph | | | | | | | |
| | 3000 | 1500 | 1000 | 750 | 3000 | 1500 | 1000 | 750 |
| 0,6 | 76,0 | 74,0 | - | - | 0,85 | 0,76 | - | - |
| 1,0 | 79,0 | 78,5 | 77,0 | - | 0,86 | 0,79 | 0,72 | - |
| 1,7 | 81,5 | 81,5 | 79,5 | - | 0,87 | 0,82 | 0,75 | - |
| 2,8 | 84,0 | 83,5 | 82,5 | - | 0,88 | 0,84 | 0,78 | - |
| 4,5 | 85,5 | 85,5 | 84,5 | 84,5 | 0,88 | 0,85 | 0,80 | 0,76 |
| 7,0 | 87,5 | 87,0 | 86,0 | 86,0 | 0,89 | 0,86 | 0,81 | 0,78 |
| 10 | 87,5 | 87,5 | 87,0 | 87,0 | 0,89 | 0,88 | 0,82 | 0,80 |
| 14 | 88,0 | 88,5 | 88,0 | 97,5 | 0,90 | 0,88 | 0,83 | 0,81 |
| 20 | 88,5 | 89,0 | 88,5 | 88,0 | 0,90 | 0,88 | 0,84 | 0,82 |
| 28 | 89,5 | 90,0 | 89,0 | 89,0 | 0,91 | 0,88 | 0,86 | 0,83 |
| 40 | 89,5 | 90,5 | 90,0 | 90,0 | 0,91 | 0,89 | 0,87 | 0,84 |
| 55 | 90,0 | 91,0 | 91,0 | 91,0 | 0,92 | 0,89 | 0,88 | 0,84 |
| 75 | 90,5 | 91,5 | 92,0 | - | 0,92 | 0,90 | 0,89 | - |
| 100 | 91,5 | 92,0 | - | - | 0,92 | 0,90 | - | - |

Bảng 5-7. Thông số kỹ thuật của động cơ không đồng bộ ba pha dây 4A do Liên Xô cũ sản xuất

| Kiểu
động cơ | Công suất,
kW | Khi tải định mức | | | | |
|-----------------|------------------|----------------------|-----------------------------|-------|-----------------|------|
| | | Tốc độ quay,
v/ph | Dòng điện, A khi điện áp, V | | Hiệu suất,
% | cosφ |
| | | | 220V | 380 V | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 4AA56A2 | 0,18 | 2815 | 0,80 | 0,45 | 67,5 | 0,87 |
| 4AA56B2 | 0,25 | 2780 | 1,05 | 0,60 | 70,5 | 0,89 |
| 4AA63A2 | 0,37 | 2740 | 1,55 | 0,90 | 70 | 0,91 |
| 4AA63B2 | 0,55 | 2740 | 2,20 | 1,25 | 72 | 0,91 |
| 4A71A2 | 0,75 | 2810 | 2,80 | 1,65 | 76 | 0,91 |
| 4A71B2 | 1,1 | 2795 | 4,15 | 2,40 | 76 | 0,92 |
| 4A80A2 | 1,5 | 2865 | 5,45 | 0,15 | 81 | 0,88 |
| 4A80B2 | 2,2 | 2860 | 7,80 | 4,50 | 83 | 0,89 |
| 4A90L2 | 3 | 2865 | 10,10 | 5,85 | 84 | 0,91 |
| 4A100S2 | 4 | 2895 | 13,70 | 7,90 | 85 | 0,90 |
| 4A100L2 | 5,5 | 2890 | 18,20 | 10,5 | 85 | 0,92 |
| 4A112M2 | 7,5 | 2920 | 25 | 14,45 | 87,5 | 0,90 |
| 4A132M2 | 11 | 2930 | 36 | 20,75 | 87 | 0,91 |
| 4A160S2 | 15 | 2930 | 49 | 28,2 | 87,5 | 0,92 |
| 4A160M2 | 18,5 | 2930 | 59 | 34,1 | 88 | 0,93 |
| 4AH160S2 | 22 | 2920 | 70 | 41,2 | 88,5 | 0,89 |
| 4AH160M2 | 30 | 2925 | 96 | 54,8 | 90 | 0,92 |
| 4A180S2 | 22 | 2950 | 70 | 41,1 | 89 | 0,91 |
| 4A180M2 | 30 | 2945 | 94 | 54,1 | 90 | 0,93 |
| 4AH180S2 | 37 | 2940 | 114 | 66,1 | 91 | 0,93 |
| 4AH180M2 | 45 | 2935 | 138 | 79,8 | 91 | 0,94 |
| 4A200M2 | 37 | 2645 | 119 | 68,7 | 90 | 0,90 |
| 4A200L2 | 45 | 2945 | 140 | 81,3 | 91 | 0,92 |
| 4AH200M2 | 55 | 2945 | 172 | 99,5 | 92 | 0,91 |
| 4AH200L2 | 75 | 2940 | 230 | 133,5 | 92,5 | 0,92 |
| 4A225L2 | 55 | 2945 | 168 | 97,3 | 91 | 0,94 |
| 4AH225L2 | 90 | 2935 | 274 | 158,2 | 92,5 | 0,93 |
| 4A250S2 | 75 | 2955 | 232 | 134,4 | 91 | 0,93 |
| 4A250M2 | 90 | 2950 | 274 | 158,5 | 92 | 0,94 |
| 4AH250S2 | 110 | 2950 | 340 | 196,2 | 93 | 0,91 |
| 4AH250L2 | 132 | 2945 | 405 | 233,4 | 93,5 | 0,93 |
| 4AA56A4 | 0,12 | 1385 | 0,75 | 0,45 | 60 | 0,70 |
| 4AA56B4 | 0,18 | 1375 | 1,1 | 0,65 | 62 | 0,70 |
| 4AA63A4 | 0,25 | 1385 | 1,4 | 0,8 | 67 | 0,72 |

(tiếp bảng 5-7)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|------|------|-------|-------|----|------|
| 4AA63B4 | 0,37 | 1370 | 2 | 1,15 | 66 | 0,73 |
| 4A71A4 | 0,55 | 1390 | 2,8 | 1,6 | 71 | 0,74 |
| 4A71B4 | 0,75 | 1375 | 3,75 | 2,12 | 71 | 0,74 |
| 4A80A4 | 1,1 | 1415 | 4,6 | 2,65 | 75 | 0,82 |
| 4A80B4 | 1,5 | 1410 | 6 | 3,45 | 77 | 0,85 |
| 4A90L4 | 2,2 | 1420 | 8,5 | 4,9 | 80 | 0,85 |
| 4A100S4 | 3 | 1430 | 11,3 | 6,55 | 82 | 0,84 |
| 4A100L4 | 4 | 1430 | 14,5 | 8,4 | 84 | 0,86 |
| 4A112M4 | 5,5 | 1450 | 19,2 | 11,1 | 85 | 0,88 |
| 4A132S4 | 7,5 | 1460 | 26,3 | 15,2 | 87 | 0,87 |
| 4A132M4 | 11 | 1460 | 37,3 | 21,5 | 88 | 0,88 |
| 4A160S4 | 15 | 1465 | 49 | 28,5 | 89 | 0,88 |
| 4A160M4 | 18,5 | 1465 | 60 | 34,5 | 90 | 0,9 |
| 4AH160S4 | 18,5 | 1460 | 63 | 36,2 | 88 | 0,87 |
| 4AH160M4 | 22 | 1465 | 72 | 41,4 | 90 | 0,9 |
| 4A180S4 | 22 | 1470 | 71 | 40,8 | 90 | 0,91 |
| 4A180M4 | 30 | 1470 | 95,5 | 55 | 91 | 0,91 |
| 4AH180S4 | 30 | 1465 | 98,5 | 56,8 | 90 | 0,89 |
| 4AH180M4 | 37 | 1470 | 118 | 68,6 | 91 | 0,9 |
| 4A200M4 | 37 | 1475 | 117 | 68 | 91 | 0,91 |
| 4A200M4 | 45 | 1475 | 140 | 81,4 | 92 | 0,91 |
| 4AH200M4 | 45 | 1475 | 144 | 83,7 | 91 | 0,89 |
| 4AH200M4 | 55 | 1475 | 174 | 100,5 | 92 | 0,90 |
| 4A225M4 | 55 | 1480 | 172 | 99,3 | 92 | 0,91 |
| 4AH225M4 | 75 | 1475 | 237 | 137,0 | 92 | 0,90 |
| 4A250S4 | 75 | 1480 | 230,5 | 133,3 | 93 | 0,92 |
| 4A250M4 | 90 | 1480 | 275 | 158,6 | 93 | 0,92 |
| 4AH250S4 | 90 | 1480 | 278 | 160,8 | 93 | 0,91 |
| 4AH250M4 | 110 | 1480 | 340 | 195,5 | 93 | 0,91 |
| 4AA63A6 | 0,18 | 885 | 1,2 | 0,7 | 52 | 0,75 |
| 4AA63B6 | 0,25 | 895 | 1,65 | 0,95 | 58 | 0,68 |
| 4A71A6 | 0,37 | 900 | 2,15 | 1,25 | 64 | 0,74 |
| 4A71B6 | 0,55 | 915 | 3,2 | 1,85 | 66 | 0,70 |
| 4A80A6 | 0,75 | 915 | 3,7 | 2,15 | 69 | 0,86 |
| 4A80B6 | 1,1 | 920 | 5,2 | 3,0 | 73 | 0,76 |
| 4A90L6 | 1,5 | 935 | 6,75 | 3,9 | 76 | 0,77 |
| 4A100L6 | 2,2 | 950 | 9,4 | 5,4 | 80 | 0,77 |
| 4A112MA6 | 3 | 955 | 12 | 6,95 | 80 | 0,81 |
| 4A112MB6 | 4 | 970 | 15,4 | 8,9 | 81 | 0,84 |
| 4A132S6 | 5,5 | 965 | 21 | 12,1 | 84 | 0,82 |

(tiếp bảng 5-7)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|------|------|-------|-------|----|------|
| 4A132M6 | 7,5 | 970 | 27,5 | 15,9 | 85 | 0,84 |
| 4A160S6 | 11 | 9975 | 38,8 | 22,4 | 86 | 0,87 |
| 4A160M6 | 15 | 975 | 52 | 29,9 | 88 | 0,87 |
| 4A180M6 | 18,5 | 975 | 62,7 | 36,1 | 88 | 0,88 |
| 4AH180S6 | 18,5 | 975 | 64,5 | 37 | 88 | 0,87 |
| 4AH180M6 | 22 | 975 | 73,5 | 42,4 | 89 | 0,88 |
| 4A200M6 | 22 | 980 | 71 | 40,9 | 90 | 0,91 |
| 4A200L6 | 30 | 980 | 97 | 55,8 | 90 | 0,90 |
| 4AH200M6 | 30 | 980 | 98,5 | 56,9 | 90 | 0,89 |
| 4AH200L6 | 37 | 980 | 120 | 69,2 | 91 | 0,89 |
| 4A225M6 | 37 | 980 | 118,8 | 68,5 | 90 | 0,91 |
| 4AH225M6 | 45 | 980 | 146 | 84,2 | 91 | 0,89 |
| 4A250S6 | 45 | 985 | 143 | 82,6 | 92 | 0,90 |
| 4A250M6 | 55 | 985 | 174 | 100,8 | 92 | 0,90 |
| 4AH250S6 | 55 | 985 | 175 | 101,3 | 92 | 0,90 |
| 4AH250M6 | 75 | 985 | 236 | 136,3 | 92 | 0,90 |
| 4A71B8 | 0,25 | 685 | 2,1 | 1,2 | 53 | 0,59 |
| 4A80A8 | 0,37 | 685 | 2,35 | 1,35 | 62 | 0,68 |
| 4A80B8 | 0,55 | 685 | 3,4 | 1,95 | 63 | 0,67 |
| 4A90LA8 | 0,75 | 705 | 4,5 | 2,6 | 68 | 0,64 |
| 4A90LB8 | 1,1 | 700 | 6,2 | 3,55 | 70 | 0,67 |
| 4A100L8 | 1,5 | 705 | 7,9 | 4,55 | 74 | 0,67 |
| 4A112MA8 | 2,2 | 710 | 14,4 | 6,0 | 76 | 0,73 |
| 4A112MB8 | 3 | 700 | 13,4 | 7,75 | 78 | 0,75 |
| 4A132S8 | 4 | 720 | 18,1 | 10,45 | 81 | 0,72 |
| 4A132M8 | 5,5 | 715 | 23,3 | 13,45 | 82 | 0,76 |
| 4A160S8 | 7,5 | 735 | 32 | 18,4 | 85 | 0,73 |
| 4A160M8 | 11 | 735 | 46 | 26,4 | 86 | 0,73 |
| 4A180M8 | 15 | 735 | 56,5 | 32,6 | 87 | 0,79 |
| 4AH180S8 | 15 | 735 | 56,5 | 32,6 | 87 | 0,80 |
| 4AH180M8 | 18,5 | 730 | 67 | 38,5 | 88 | 0,82 |
| 4A200M8 | 18,5 | 730 | 65,5 | 37,7 | 88 | 0,84 |
| 4A200L8 | 22 | 730 | 77,6 | 44,6 | 88 | 0,84 |
| 4AH200M8 | 22 | 735 | 76,5 | 46,2 | 89 | 0,81 |
| 4AH200L8 | 30 | 3,5 | 107 | 62,0 | 90 | 0,81 |
| 4A225M8 | 30 | 735 | 107,5 | 62,2 | 90 | 0,81 |
| 4AH225M8 | 37 | 735 | 130 | 75,4 | 90 | 0,82 |
| 4A250S8 | 37 | 740 | 127,5 | 73,6 | 90 | 0,84 |
| 4A250M8 | 45 | 740 | 153 | 88,4 | 91 | 0,82 |
| 4AH250S8 | 45 | 740 | 157 | 91,8 | 91 | 0,82 |
| 4AH250M8 | 55 | 740 | 192 | 110,7 | 92 | 0,82 |

Sau đây ta khảo sát một phương pháp xác định hệ số đầy rãnh tương đối chính xác để tránh sau này khi xác định công suất máy ta được một giá trị trung gian giữa hai cấp công suất, gây khó khăn cho việc ấn định công suất định mức của máy.

Hệ số đầy rãnh ở đây được định nghĩa là tích số của ba hệ số:

$$k = k_1' k_1'' k_1''' \quad (5-20a)$$

- k_1''' là tỉ số giữa diện tích tiết diện của sợi dây không có cách điện với diện tích hình chữ nhật ngoại tiếp sợi dây có cách điện.

Đối với dây đồng tròn:

$$k_1''' = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{d_{cd}} \right)^2 \quad (5-20b)$$

trong đó: d - đường kính dây trần, mm; d_{cd} - đường kính dây kể cả cách điện, mm.

Hệ số này tăng khi giảm chiều dày cách điện và tăng đường kính dây. Phạm vi thay đổi của hệ số này tương đối rộng, từ 0,38 đến 0,71 tùy theo dây cốt tông hay dây êmay.

- k_1'' là hệ số tiết diện tự do của rãnh, là tỉ số giữa diện tích tự do của rãnh (diện tích tự do là diện tích rãnh trừ đi diện tích chiếm bởi nêm, cách điện rãnh, cách điện giữa các lớp) với tổng diện tích rãnh. Hệ số này phụ thuộc vào điện áp định mức của máy, số lớp dây, chất lượng vật liệu cách điện, hình dạng rãnh. Đối với động cơ điện áp đến 500V, công suất đến 100 kW, hệ số này nằm trong khoảng 0,7÷0,8. Đối với động cơ điện áp đến 3kV hệ số này khoảng 0,6÷0,75.

- k_1' là tỉ số giữa tổng diện tích các hình chữ nhật ngoại tiếp các sợi dây có trong rãnh với diện tích tự do của rãnh. Hệ số này phụ thuộc vào kích thước dây, vật liệu dây (dây mềm hay cứng), trình độ thợ lồng dây (có sóng, chặt chẽ hay không...) và dao động trong khoảng từ 0,65÷0,7 đối với dây đồng và 0,7 ÷ 0,75 đối với dây nhôm. Nếu chọn hệ số này cao việc lồng dây sẽ khó và do đó độ tin cậy của dây quấn sẽ giảm.

5-2. TÍNH TOÁN KIỂM TRA RÔTO ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ RÔTO DÂY QUẤN

Cũng tương tự như đối với stato, từ các số liệu dây quấn thu được và các thông số ghi trên nhãn máy ta tính được các đại lượng sau:

1) Bước răng, cm:

$$t_2 = \frac{\pi D_{n2}}{Z_2} \quad (5-21)$$

2) Chiều dài tác dụng của lõi thép, cm:

$$l_{s2} = k_{c2}(l_2 - n_{k2}b_{k2}) \quad (5-22)$$

3) Diện tích tiết diện rãnh, cm^2 , được xác định tương tự như đối với stato, đã trình bày ở trên.

4) Chiều rộng tính toán của răng có tiết diện thay đổi, cm:

$$b_2 = \frac{2}{3} b_2' + \frac{1}{3} b_2'' \quad (5-23)$$

5) Chiều cao lưng lõi thép rôto, cm:

$$h_{l2} = \frac{D_{n2} - D_{l2}}{2} - h_{r2} \quad (5-24)$$

Trong động cơ nhỏ đường kính trong rôto chính là đường kính trục; trong các động cơ lớn đường kính trong rôto là đường kính giá đỡ rôto trên trục.

Các công thức tính toán

1) Từ cảm trong răng, T:

$$B_{r2} = B_{\delta} \frac{l_2}{b_2} \frac{l_{\delta 2}}{l_2} \quad (5-25)$$

2) Từ cảm trong lưng rôto, T:

$$B = 0,55 B_{\delta} \frac{D_{n2}}{h_{l2}} \frac{l_{\delta 2}}{l_2} \frac{1}{p} \quad (5-26)$$

3) Điện áp pha, V:

$$U_{\Gamma 2} = \frac{U_{\Gamma 1} \cdot W_{r2} Z_2 k_{dq2} a_2}{W_{r1} Z_1 k_{dq1} a_1} \quad (5-27)$$

$U_2 = U_{\Gamma 2}$ khi các pha nối Δ ,

$U_2 = \sqrt{3} U_{\Gamma 2}$ khi nối các pha thành hình Δ .

Điện áp giữa các vành trượt thường không theo định mức nhưng được quyết định bởi cách điện giữa các vành. Thường trong các động cơ điện công suất đến 15kW điện áp giữa các vành trượt khoảng 200 ÷ 250V; công suất đến 50kW khoảng 350V; công suất cao hơn (hàng trăm kW) điện áp này có thể tới 1000V hoặc cao hơn.

Để giảm điện áp giữa các vành trượt ta có thể đấu dây quấn thành hình tam giác hoặc dây quấn được thực hiện bằng hai mạch nhánh song song. Tuy nhiên trong trường hợp đó dòng điện chảy qua mỗi chổi than sẽ tăng lên. Bởi vậy nếu điện áp chưa quá trị số nêu trên thì tốt nhất là đấu Δ .

4) Dòng điện trong rôto, A (lượng pha):

$$I_{\Gamma 2} = \frac{0,9 \cdot I_{\Gamma 1} Z_1 W_{r1} k_{dq1} a_2}{Z_2 W_{r2} k_{dq2} a_1} \quad (5-28)$$

5) Mật độ dòng điện, A/mm²:

$$A_2 = \frac{I_{\Gamma 2}}{q_{l2} a_2} = \frac{I_{\Gamma 2}}{q_{n2} m_2 a_2} \quad (5-29)$$

6) Tải đường, A/cm:

$$A_2 = \frac{I_{\Gamma 2} W_{r2}}{\pi D_{n2} a_2} \quad (5-30)$$

7) Hệ số dây rãnh của dây quấn rôto cũng được xác định như đối với dây quấn stato.

5-3. TÍNH TOÁN KIỂM TRA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ RÔTO LỒNG SÓC

Đối với động cơ điện rôto lồng sóc cần lưu ý một điểm là số rãnh của stato và rôto phải thích ứng với số cực, nghĩa là cần phải tránh một số quan hệ có thể gây ra sự làm việc không có lợi cho máy như khởi động khó khăn, khi làm việc thì ồn, dao động...

Để tránh những trường hợp có thể bị lẫn rôto trong quá trình sửa chữa gây ra sự không phù hợp trên ta cần kiểm tra theo các bất đẳng thức sau:

$$\begin{aligned} Z_2 \neq Z_1; Z_2 \neq 0,5Z_1; Z_2 \neq 2Z_1; Z_2 \neq 6pk; Z_2 \neq 6pk + 2p; Z_2 \neq Z_1 \pm p; \\ Z_2 \neq Z_1 + 2p; Z_2 \neq 0,5Z_1 \pm p; Z_2 \neq 2Z_1 + 2p; Z_2 \neq 6pk \pm 1; \\ Z_2 \neq 6pk \pm (2p \pm 1) \end{aligned} \quad (5-31)$$

5-4. TÍNH TOÁN XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ DÂY QUẤN (BỊ MẤT DÂY VÀ MẤT NHÃN MÁY)

Trong thực tế sửa chữa máy điện thường xảy ra trường hợp máy điện bị mất dây và mất nhãn do các lần sửa chữa trước bỏ dở vì lý do nào đó rồi bị thất lạc số liệu dây quấn đã lấy được. Lúc này chỉ còn lõi thép với các kích thước đo được trên nó. Nếu máy còn nhãn vấn đề sẽ đơn giản hơn: ít nhất ta cũng đã biết số cực, chế độ làm việc (liên tục hay không), máy thuộc dãy (xêri) nào, nước sản xuất, công suất, dòng điện, điện áp, hiệu suất, hệ số công suất... Vấn đề còn lại là xác định các thông số dây quấn.

Khi bị mất nhãn máy ta cần phải tính toán để phục hồi tất cả các thông số trên. Sau đây là một số phương pháp gần đúng để xác định các thông số đó.

1. Phương pháp thứ nhất

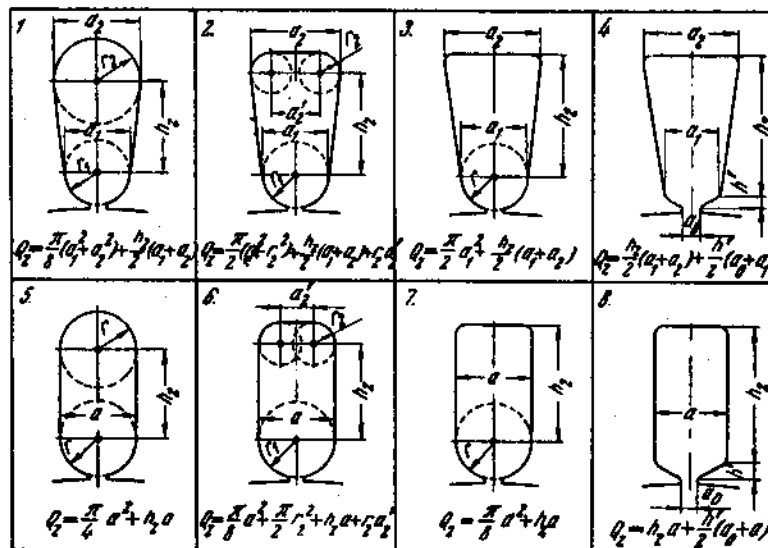
Đo tất cả các kích thước của mạch từ như đường kính trong, đường kính ngoài, số rãnh stato, số rãnh rôto, chiều dài lõi thép, kích thước răng rãnh, kích thước đầu trục, xác định xêri máy, nước sản xuất (căn cứ theo hình dạng bề ngoài). Trên cơ sở các số liệu đó tra và đối chiếu với các số liệu sổ tay để tìm các thông số máy và dây quấn tương ứng. Phương pháp này cũng chỉ cho kết quả gần đúng vì chưa kể đến những đặc điểm khác như chống nổ, động cơ chuyên cho các ngành kỹ thuật khác như dệt, động cơ chịu nhiệt...

2. Phương pháp thứ hai

Lấy các kích thước mạch từ như trên rồi tiến hành các tính toán sau:

1) Tính các thông số kích thước:

- Số cực $2p$ theo công thức 5-1, (giả thiết chọn trước tốc độ đồng bộ).
- Bước cực theo công thức 5-4.
- Bước răng stato theo công thức 5-5.
- Bước răng rôto theo công thức 5-23.
- Chiều dài tác dụng lõi sắt stato theo công thức 5-6.
- Chiều dài tác dụng lõi sắt rôto theo công thức 5-24.
- Diện tích tiết diện rãnh stato theo hình 5-1.



Hình 5-1. Các dạng rãnh phổ biến nhất và công thức tính tiết diện tương ứng.

- Diện tích tiết diện rãnh rôto theo hình 5-1.
 - Chiều rộng tính toán của răng stato theo công thức 5-7.
 - Chiều rộng tính toán của răng rôto theo công thức 5-25.
 - Chiều cao lưng stato theo công thức 5-8.
 - Chiều cao lưng rôto theo công thức 5-26.
- 2) Xác định sơ bộ công suất của động cơ theo công thức, kW:

$$P = A d_{11}^2 l_{\delta 1} n_1 \quad (5-32)$$

trong đó: A - hệ số sử dụng (hằng số công suất), phụ thuộc vào bước cực và có thể tìm thấy trên đồ thị hình 5-2.

Công suất tính được theo công thức trên chỉ là gần đúng. Kết quả tính toán dựa trên công suất này sẽ được kiểm tra lại theo trị số cho phép của tải điện từ (bảng 5-3).

3) Chọn trị số từ cảm trong khe hở B_{δ} căn cứ theo các yếu tố sau:

- Từ cảm trong khe hở không khí B_{δ} càng lớn mômen mở máy và mômen cực đại càng cao.
- Chọn B_{δ} lớn số vòng dây tác dụng trong một rãnh sẽ nhỏ và do đó có thể tăng tiết diện dây từ đó tăng công suất máy.
- Sự tăng B_{δ} quá mức có thể dẫn đến làm tăng từ cảm trong các đoạn mạch từ khác, làm tăng dòng điện không tải, tăng tổn hao sắt, giảm hiệu suất, giảm hệ số công suất của động cơ.
- Khi từ cảm trong lưng phần ứng tăng mạnh làm tăng từ tản, móc vòng với các chi tiết cơ khí gây nóng các chi tiết đó.

Việc chọn B_{δ} phải đảm bảo sao cho từ cảm trong các phần khác không quá trị số cho phép theo bảng 5-3.

Từ các công thức 5-14 và 5-15 ta có:

$$\frac{B_{11}}{B_{\delta}} = 0,55 \frac{D_{11}}{h_{11}} \frac{l_{\delta}}{l_1} \frac{1}{p} \quad (5-33)$$

$$\frac{B_{r1}}{B_{\delta}} = \frac{t_1}{b_1} \frac{l_{\delta}}{l_1} \quad (5-34)$$

Từ đó rút ra:

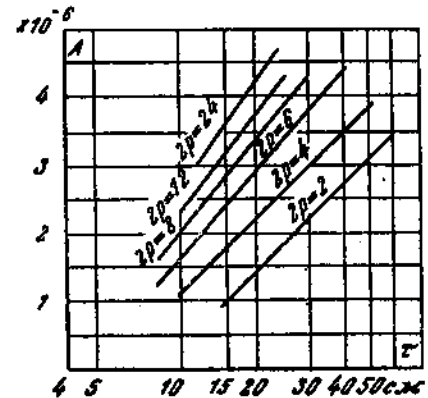
$$B_{\delta} = k_1 \frac{l_1}{l_{\delta}} \frac{b_1}{t_1} \quad (5-35)$$

$$B_{\delta} = k_2 p \frac{l_1}{l_{\delta}} \frac{h_{11}}{D_{11}} \quad (5-36)$$

Các hệ số k_1, k_2 tính trên cơ sở giá trị giới hạn của B_{11}, B_{r1} được dẫn ra trong bảng 5-8.

Bảng 5-8. Trị số các hệ số k_1, k_2

| Công suất, kW | Hệ số | | Công suất, kW | Hệ số | |
|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| | k_1 | k_2 | | k_1 | k_2 |
| Đến 1 | 1,45 | 2,6 | 10 ÷ 100 | 1,75 | 2,8 |
| 1-10 | 1,55 | 2,8 | > 100 | 1,90 | 3,0 |



Hình 5-2. Hằng số công suất A trong quan hệ với bước cực p.

4) Chọn giá trị B_{δ} nhỏ nhất trong các trị số tính toán theo công thức trên và nhỏ hơn trị số giới hạn từ 3÷5%.

Từ công thức 5-15, với giá trị từ cảm tính được ở trên ta có thể xác lập được quan hệ giữa số cực, đường kính trong và ngoài của phần ứng:

$$2p \approx (0,5 \div 0,6) \frac{D_{r1}}{h_{11}} \quad (5-37)$$

Theo phương pháp này nếu khi tính toán thấy từ cảm không đạt cần tính lại số cực theo công thức 5-37.

Nếu từ cảm trong khe hở nằm trong phạm vi cho phép nhưng từ cảm trong lưng vượt quá trị số cho phép thì cần phải tăng số cực lên và ngược lại cần phải giảm số cực nếu từ cảm trong lưng quá thấp so với trị số cho phép. Nếu từ cảm trong lưng rôto có ra ngoài phạm vi cho phép không nhiều thì cũng có thể chấp nhận được vì thường nhà thiết kế cũng cho phép như vậy mà không ảnh hưởng nhiều đến tính năng của động cơ (do tần số trong rôto thấp).

5) Chọn kiểu dây quấn đối với rôto và stato.

Trong động cơ không đồng bộ công suất nhỏ (đến 10 kW) dây quấn stato thường dùng kiểu một lớp đồng tâm hoặc đồng khuôn đối với tốc độ 1500v/ph trở xuống, đối với tốc độ 3000v/ph thường dùng dây quấn hai lớp bước ngắn $y/\tau = 0,66$. Dây quấn rôto thường dùng loại một lớp đồng tâm hai hoặc ba mặt phẳng. Đối với động cơ lớn dây quấn stato nhất thiết phải là hai lớp bước ngắn còn dây quấn rôto là dây quấn hai lớp, sóng, kiểu thanh dẫn (trong mỗi rãnh chỉ có hai thanh dẫn), bước đủ, số phần tử của một pha dưới một cực nguyên hoặc nếu là phân số thì phần thập phân phải là 1/2. Các pha rôto thường được dấu λ .

Sau khi đã chọn được kiểu dây quấn ta tính bước dây quấn.

$$\text{Đối với dây quấn một lớp: } y = \frac{Z_1}{2p}$$

$$\text{Đối với dây quấn hai lớp: } y = \beta \frac{Z_1}{2p};$$

trong đó: $\beta = \frac{y}{\tau}$ thường nằm trong khoảng 0,75 ÷ 0,85.

Xác định hệ số dây quấn theo bảng 5-4 hoặc theo công thức 5-13.

6) Cho trước số mạch nhánh song song trong một pha, trên cơ sở công thức 5-9 ta xác định được số thanh dẫn tác dụng trong một rãnh stato:

$$W_{r1} = \frac{2,5pU_{r1}a_1 10^2}{B_{\delta 1} l_{\delta 1} Z_1 D_{r1} k_{dq1}}$$

Số vòng dây tác dụng trong một pha:

$$w_{r1} = \frac{W_p}{a_1} = \frac{W_{r1} Z_1}{6a_1}$$

Số thanh dẫn tác dụng trong một rãnh của dây quấn rôto được xác định trên cơ sở điện áp cho phép giữa các vành trượt.

7) Xác định tiết diện tự do của rãnh Q'_r bằng cách tính hiệu diện tích toàn phần của rãnh và diện tích tiết diện chiếm bởi cách điện rãnh, cách điện giữa các lớp và nêm. Xác định hệ số tiết diện tự do của rãnh.

$$k'' = \frac{Q'_r}{Q_r}$$

8) Xác định tổng diện tích các hình chữ nhật ngoại tiếp các sợi dây (đã có cách điện) trong rãnh.

$$Q_r'' = k_1' \cdot Q_r' = k_1' \cdot k'' \cdot Q_r$$

trong đó: k_1' lấy trong khoảng $0,65 \div 0,70$ đối với dây đồng và $0,7 \div 0,75$ đối với dây nhôm.

9) Xác định diện tích hình chữ nhật ngoại tiếp sợi dây nguyên tố, mm^2 :

$$q_{n1}' = \frac{Q_r''}{m_1 W_{r1}}$$

trong đó: m_1 - số sợi chập song song trong thanh dẫn tác dụng.

Số sợi chập song song và số mạch nhánh song song được chọn sao cho đường kính dây đồng không quá 1,81mm; đường kính dây nhôm không vượt quá 2,26mm. Đường nhiên đường kính dây không được bằng và quá kích thước miệng rãnh (thường nhỏ hơn $0,8 \div 1,2\text{mm}$) để đảm bảo khi lồng dây cách điện sợi dây không bị hỏng.

Số mạch nhánh song song cũng không được nhiều quá làm hệ số dây rãnh giảm, khi hàn nối dây dễ bị bỏ sót sợi.

Số mạch nhánh song song của động cơ đến 100 kW có thể tham khảo bảng 5-9.

Bảng 5-9. Số mạch nhánh song song có thể của các loại dây quấn

| Dạng dây quấn | Số mạch nhánh song song khi 2p | | | | | |
|----------------|--------------------------------|------|---------|---------|---------|---------------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| Dây quấn 2 lớp | 1 | 1, 2 | 1, 2, 3 | 1, 2, 4 | 1, 2, 5 | 1, 2, 3, 4, 6 |
| Dây quấn 1 lớp | 1 | 1, 2 | 1, 3 | 1, 2, 4 | 1, 5 | 1, 2, 3, 6 |

Đối với rôto dây quấn tương tự ta xác định được m_2, a_2, q_{n12} .

Đường kính dây dẫn nguyên tố: $d_{n11} = \sqrt{q_{n1}'}$.

Đường kính dây trần, mm: $d = d_{n11} - \delta$.

trong đó δ là chiều dày cách điện hai phía của dây dẫn.

10) Tính dòng điện pha của stato theo công thức 5-16:

$$I_{f1} = \Delta_1 a_1 m_1 q_{n11}$$

Trị số mật độ dòng điện chọn theo bảng 5-3.

11) Tính dòng điện pha rôto theo công thức 5-28:

$$I_{f2} = \frac{0,9 \cdot I_{f1} \cdot Z_1 \cdot W_{r1} \cdot k_{dq1} \cdot a_2}{Z_2 \cdot W_{r2} \cdot k_{dq2} \cdot a_1}$$

và xác định mật độ dòng điện theo công thức 5-29:

$$\Delta_2 = \frac{I_{f2}}{q_{f2} a_2} = \frac{I_{f2}}{q_{n12} m_2 a_2}$$

Nếu mật độ dòng điện Δ_2 vượt quá trị số cho phép cho trong bảng 5-3 thì cần phải giảm dòng điện I_{f2} đến giá trị sao cho Δ_2 lọt vào phạm vi cho phép hoặc nếu có thể thì tăng số vòng dây tác dụng trong rãnh lên một ít (nhưng không giảm tiết diện dây dẫn).

Đối với rôto lồng sóc dòng điện trong thanh dẫn và vành ngắn mạch được tính toán theo công thức:

$$I_{d2} = \frac{K I_{f1} 6 W_{f1} k_{dq1}}{Z_2} \quad (5-38)$$

$$I_v = \frac{1}{2} I_{ld2} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \quad (5-39)$$

trong đó: $\beta = \frac{2\pi p}{Z_2}$

Nếu rôto bị mất cả thanh dẫn và vành ngắn mạch thì cần phải tính lại như sau:

- Tiết diện thanh dẫn theo tiết diện rãnh.
- Tiết diện vành ngắn mạch tính theo công thức:

$$Q_v = \frac{I_v}{\Delta_v}, \text{ mm}^2$$

trong đó: I_v , Δ_v là dòng điện và mật độ dòng điện trong vành ngắn mạch.

12) Xác định các đại lượng A_1 theo 5-19 và A_2 theo công thức 5-30, tính toán các tích số $\Delta_1 A_1$, $\Delta_2 A_2$. Nếu các đại lượng này vượt quá trị số cho phép thì phải giảm I_{fl} rồi tính lại.

13) Xác định công suất:

Công suất tiêu thụ, kVA:

$$P' = \sqrt{3} U I_{fl} \cdot 10^{-3} \quad \text{khi nối } \Delta$$

$$P' = 3 U I_{fl} \cdot 10^{-3} \quad \text{khi nối } \Delta$$

Công suất định mức của động cơ điện (công suất trên trục):

$$P = P' \cdot \eta \cos \varphi$$

Trị số η , $\cos \varphi$ lấy theo bảng 5-5, 5-6.

3. Phương pháp thứ ba

Tương tự như phương pháp trên ta cần đo các kích thước của mạch từ rồi tính các kích thước còn lại như bước cực τ , chiều cao lưng phân ứng, rồi tính các bước sau:

1) Xác định số cực:

Số cực của động cơ không đồng bộ có thể xác định theo bảng 5-10.

Bảng 5-10. Số cực trong mối quan hệ với tỉ số $\frac{D_n}{D_t}$

| Số cực 2p | $\frac{D_n}{D_t}$ | Số cực 2p | $\frac{D_n}{D_t}$ |
|-----------|-------------------|-----------|-------------------|
| 2 | 1,70 ÷ 1,90 | 6 | 1,40 ÷ 1,50 |
| 4 | 1,55 ÷ 1,65 | 8,10 | 1,30 ÷ 1,40 |

2) Diện tích bước cực, cm^2 :

$$Q_\delta = \tau l_\delta$$

3) Số vòng dây nối tiếp của một pha:

$$W_f = W'_f \frac{U_f}{127}$$

trong đó: W'_f - là số vòng dây nối tiếp của một pha tương ứng với điện áp 127V và có thể tìm được từ đồ thị hình 5-3 trong quan hệ với diện tích bước cực Q_δ .

4) Số thanh dẫn tác dụng trong một rãnh:

$$W_{rl} = \frac{6a_1 W_f}{Z_1}$$

5) Từ cảm trong khe hở không khí, T :

$$B_\delta = \frac{64k_E U}{k_{dq} Q_\delta W}$$

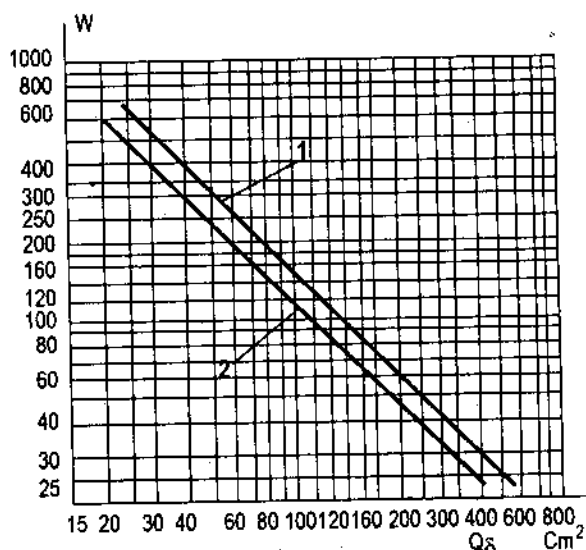
trong đó: k_E - tỉ số giữa suất điện động và điện áp tra bảng 5-11.

6) Từ cảm trong lưng stato, T :

$$B_{ll} = \frac{0,36 B_\delta \tau}{h_{ll} \cdot 10^{-4}}$$

7) Từ cảm trong răng, T :

$$B_r = \frac{B_\delta t_1 \cdot 10^{-4}}{0,93b_1}$$



1- Đối với $2p=2$; 2- Đối với $2p>2$

Hình 5-3. Số vòng dây nối tiếp của một pha ở điện áp 127V trong quan hệ với Q_δ .

Bảng 5-11. Trị số k_E trong quan hệ với diện tích bước cực Q_δ

| Q_δ, cm^2 | 15 ÷ 50 | 50 ÷ 100 | 100 ÷ 150 | 150 ÷ 400 | > 400 |
|-------------------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| k_E | 0,75 ÷ 0,86 | 0,86 ÷ 0,9 | 0,9 ÷ 0,93 | 0,93 ÷ 0,95 | 0,96 ÷ 0,97 |

8) Nếu các trị số từ cảm tính được vượt quá trị số cho phép thì phải kiểm tra lại số đôi cực như đã nói trên.

9) Đường kính sợi dây nguyên tố có cách điện, mm: $d_{ntcd} = \sqrt{\frac{k_d Q_r}{0,785 m_1 W_{rl}}}$

10) Dòng điện pha, A: $I_{rl} = \Delta_1 q_{nt} m_1 a_1$

Việc xác định công suất được tiến hành như phương pháp trên.

4. Phương pháp thứ tư

Tương tự như các phương pháp trên ta phải đo và tính đầy đủ các kích thước của mạch từ. Việc tính hệ số vòng dây nối tiếp của một pha được thực hiện trên cơ sở sau:

Biểu thức sdd có thể viết: $E = 4,44f W_f k_{dq} \Phi$.

Với $f = 50\text{Hz}$, $E_f = k_E U_f$ ta có:

$$W_f = \frac{E_f}{4,44f k_{dq} \Phi} = \frac{k_E U_f}{222 k_{dq} \Phi}$$

Nếu điện áp pha $U_f = 220\text{V}$ và coi $k_E \approx k_{qd}$ thì $W_f = \frac{1}{\Phi}$

trong đó: $\Phi = \frac{2}{\pi} B_r Q_r = 0,64 B_r Q_r$.

Các bước tính toán còn lại tương tự như phương pháp trên.

5. Thí dụ tính toán

Tính toán để phục hồi dây quấn cho động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn bị mất dây, mất nhãn. Kích thước đo được trên lõi thép như sau:

1) Phía stato:

| | |
|---|----------------------------|
| - Đường kính ngoài stato | $D_{n1} = 46,0 \text{ cm}$ |
| - Đường kính trong stato | $D_{t1} = 31,0 \text{ cm}$ |
| - Chiều dài toàn phần của lõi thép | $l_1 = 22,5 \text{ cm}$ |
| - Số rãnh thông gió ngang trục | $n_{kl} = 3$ |
| - Chiều rộng rãnh thông gió | $b_{kl} = 1 \text{ cm}$ |
| - Hệ số ép chặt lõi thép (cách điện bằng sơn, tôn dày 0,5 mm) | $k_{c1} = 0,93$ |
| - Số rãnh | $Z_1 = 72$ |
| - Bề rộng răng ở chỗ rộng nhất | $b_1'' = 0,93 \text{ cm}$ |
| - Bề rộng ở chỗ hẹp nhất | $b_1' = 0,69 \text{ cm}$ |
| - Chiều cao răng | $h_{r1} = 3,2 \text{ cm}$ |
| - Diện tích tiết diện rãnh | $Q_r = 375 \text{ mm}^2$ |

2) Phía rôto:

| | |
|------------------------------------|----------------------------|
| - Đường kính ngoài rôto | $D_{n2} = 30 \text{ cm}$ |
| - Đường kính trong rôto | $D_{t2} = 8,5 \text{ cm}$ |
| - Chiều dài toàn phần của lõi thép | $l_2 = 22,5 \text{ cm}$ |
| - Hệ số ép chặt lõi thép rôto | $k_{c2} = 0,93$ |
| - Số rãnh | $Z_2 = 90$ |
| - Bề rộng răng ở chỗ rộng nhất | $b_2'' = 0,54 \text{ cm}$ |
| - Bề rộng răng ở chỗ hẹp nhất | $b_2' = 0,36 \text{ cm}$ |
| - Chiều cao răng | $h_{r2} = 4,55$ |
| - Chiều rộng rãnh | $a_{r2} = 0,42 \text{ cm}$ |

Rôto không có rãnh thông gió.

Các tính toán:

Động cơ được tính toán cho điện áp lưới 500V.

1) Số cực

$$\frac{D_{n1}}{D_{t1}} = \frac{46}{31} = 1,48. \text{ Theo bảng 5-9 ta thấy động cơ này có số cực } 2p \text{ bằng } 6 \text{ (} p = 3 \text{), tức có}$$

$$\text{tốc độ quay đồng bộ } n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{3000}{3} = 1000 \text{ v/ph.}$$

2) Bước cực:

$$\tau_1 = \frac{\pi D_{n1}}{2p} = \frac{3,14 \cdot 31,0}{6} = 16,2 \text{ cm.}$$

3) Bước răng stato:

$$t_1 = \frac{\pi D_{n1}}{Z_1} = \frac{3,14 \cdot 31,0}{72} = 1,35 \text{ cm.}$$

4) Bước răng rôto:

$$l_2 = \frac{\pi D_{n2}}{Z_2} = \frac{3,14 \cdot 30,0}{90} = 1,05 \text{ cm.}$$

5) Chiều dài tính toán lõi sắt stato:

$$l_{\delta 1} = k_{c1}(l_1 - n_k b_k) = 0,93(22,5 - 3 \cdot 1) = 18,1 \text{ cm.}$$

6) Chiều dài tính toán lõi sắt rôto:

$$l_{\delta 2} = k_{c2} l_2 = 0,93 \cdot 22,5 = 21 \text{ cm.}$$

7) Chiều rộng tính toán của răng stato:

$$b_1 = \frac{2}{3} b'_1 + \frac{1}{3} b''_1 = \frac{2}{3} 0,69 + \frac{1}{3} 0,93 = 0,77 \text{ cm.}$$

8) Chiều rộng tính toán của răng rôto:

$$b_2 = \frac{2}{3} b'_2 + \frac{1}{3} b''_2 = \frac{2}{3} 0,36 + \frac{1}{3} 0,54 = 0,42 \text{ cm.}$$

9) Chiều cao lưng stato:

$$h_{11} = \frac{D_{n1} - D_{t1}}{2} - h_{r1} = \frac{46,0 - 31,0}{2} - 3,2 = 4,3 \text{ cm.}$$

10) Chiều cao lưng rôto:

$$h_{12} = \frac{D_{n2} - D_{t2}}{2} - h_{r2} = \frac{30,0 - 8,5}{2} - 4,65 = 6,2 \text{ cm.}$$

11) Tính gần đúng công suất:

$$p = A D_{t1}^2 l_{\delta 1} n_1$$

trong đó theo hình 5-2 khi $\tau_1 = 16,2 \text{ cm}$ và $2p = 6$ hệ số $A = 2,5 \cdot 10^{-6}$, do đó:

$$p = 2,5 \cdot 31,0^2 \cdot 22,5 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} = 54 \text{ kW.}$$

12) Trị số từ cảm trong khe hở không khí B_δ theo công thức 5-35 và 5-36:

$$B_\delta = k_1 \frac{l_1}{l_\delta} \frac{b_1}{t_1}; \quad B_\delta = k_2 p \frac{l_1}{l_\delta} \frac{h_{11}}{D_{t1}};$$

lấy $k_2 = 1,75$; $k_1 = 2,8$ theo bảng 5-7:

$$B_\delta = 1,75 \frac{18,1}{22,5} \cdot \frac{0,77}{1,35} = 0,8 \text{ T};$$

$$B_\delta = 2,8 \cdot \frac{18,1}{22,5} \cdot \frac{4,3}{31,0} = 1,85 \text{ T};$$

Chúng ta chọn giá trị nhỏ: $B_\delta = 0,8 \text{ T}$.

13) Từ cảm trong răng stato:

$$B_{r1} = \frac{B_\delta \cdot t_1}{b_1} \frac{l_1}{l_{\delta 1}} = \frac{0,8 \cdot 1,35}{0,77} \cdot \frac{22,5}{18,1} = 1,75 \text{ T.}$$

14) Từ cảm trong lưng stato:

$$B_{11} = \frac{0,55 B_\delta D_{t1}}{h_{11}} \frac{1}{p} = \frac{0,55 \cdot 0,8 \cdot 31,0}{4,3} \cdot \frac{22,5}{18,1} \cdot \frac{1}{3} = 1,31 \text{ T.}$$

15) Từ cảm trong răng rôto:

$$B_{r2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2}{b_2} \cdot \frac{l_2}{l_{\delta 2}} = \frac{0,8 \cdot 1,05}{0,42} \cdot \frac{22,5}{21,0} = 2,14 \text{ T.}$$

16) Từ cảm trong lưng rôto:

$$B_{l2} = \frac{0,55 B_{\delta} \cdot D_{n2}}{h_{l2}} \cdot \frac{l}{p} = \frac{0,55 \cdot 0,8 \cdot 30,0}{6,2} \cdot \frac{22,5}{21,0} \cdot \frac{1}{3} = 1,1 \text{ T.}$$

17) Chọn dây quấn hai lớp bước ngắn $\frac{y}{\tau} = 0,85$.

18) Số rãnh trên một cực và một pha stato:

$$q_1 = \frac{Z_1}{2m_1 p} = \frac{72}{2 \cdot 3 \cdot 3} = 4.$$

19) Bước dây quấn stato:

$$y_1 = \frac{\beta Z_1}{2p} = \frac{0,85 \cdot 72}{6} = 10,2; \text{ làm tròn còn } 10.$$

20) Hệ số dây quấn của stato theo bảng 5-4: $k_{dq} = 0,931$.

21) Chọn dây quấn rôto là dây quấn hai lớp kiểu thanh dẫn, trong mỗi rãnh có hai thanh dẫn, bước đủ.

$$W_{r2} = 2; \quad W_{r2} = \frac{W_{r2} \cdot Z_2}{2p} = \frac{2 \cdot 90}{6} = 30; \quad a_2 = 1.$$

22) Số rãnh trên một cực và một pha của rôto.

$$q_2 = \frac{Z_2}{2m_2 p} = \frac{90}{2 \cdot 3 \cdot 3} = 5.$$

Chú ý: trong các công thức tính q thì m_1, m_2 là số pha.

23) Bước dây quấn rôto:

$$y_2 = \frac{Z_2}{2p} = \frac{90}{6} = 15.$$

24) Hệ số dây quấn rôto theo bảng 5-4: $k_{dq2} = 0,957$.

25) Số thanh dẫn tác dụng trong một rãnh của một dây quấn stato, chọn sơ bộ $a_1 = 2$:

$$W_{r1} = \frac{2,5 p U_{f1} a_1 10^2}{B_{\delta} l_{\delta 1} Z_1 D_{n1} k_d q_1} = \frac{2,5 \cdot 3 \cdot \frac{500}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 22,5 \cdot 72 \cdot 31,0 \cdot 0,931} = 11,6; \text{ làm tròn đến } 12.$$

26) Số vòng dây tác dụng trong một pha của stato:

$$W_{r1} = \frac{W_{r1} Z_1}{6 a_1} = \frac{12 \cdot 72}{6 \cdot 2} = 72.$$

27) Chọn hệ số dây rãnh $k_1'' = 0,75$; hệ số $k_1' = 0,67$ (chọn trung bình). Tổng diện tích các hình chữ nhật ngoại tiếp các sợi dây trong rãnh bằng:

$$Q_1'' = k_1' \cdot k_1'' \cdot Q_{r1} = 0,75 \cdot 0,67 \cdot 375 = 188 \text{ mm}^2.$$

28) Sơ bộ chọn số sợi chập song song $m_1 = 3$, xác định diện tích hình vuông ngoại tiếp sợi dây nguyên tố đã có cách điện và đường kính của nó:

$$q_{ntcd} = \frac{Q_1''}{m_1 W_{r1}} = \frac{188}{3 \cdot 12} = 5,2 \text{ mm}^2$$

$$d_{ntcd} = \sqrt{q_{ntcd}} = \sqrt{5,2} = 2,3 \text{ mm.}$$

Giả sử ta chọn loại dây cotton-êmay (một lớp êmay bên trong và một lớp chỉ bọc ngoài), có chiều dày cách điện hai phía bằng 0,21 mm; đường kính dây trần lúc đó bằng:

$$d = d_{ntcd} - \delta = 2,3 - 0,21 = 2,09 \text{ mm.}$$

Như đã nói ở trên để dễ lồng dây, tăng độ tin cậy của dây quấn, đường kính sợi dây không nên quá 1,81 mm nên ở đây ta quyết định chọn số mạch nhánh song song a_1 bằng 2 và số sợi chập song song m_1 bằng 4.

29) Với $a_1 = 2$; $m_1 = 4$ ta có:

$$q_{ntcd} = \frac{Q_1''}{m_1 W_{r1}} = \frac{188}{4 \cdot 12} = 3,9 \text{ mm}^2$$

$$d_{ntcd} = \sqrt{q_{ntcd}} = \sqrt{3,9} = 1,97 \text{ mm}$$

$$d = d_{ntcd} - \delta = 1,97 - 0,21 = 1,76 \text{ mm.}$$

Tiết diện dây trần: $q_1 = \frac{3,14 \cdot 1,76^2}{4} = 2,43 \text{ mm}^2$.

30) Các kích thước thanh dẫn rôto được tính toán theo kích thước rãnh: chiều rộng 2,8; chiều cao 19 mm:

$$q_{r2} = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}^2$$

31) Chọn mật độ dòng điện trong dây quấn stato bằng 4,5 A/mm²:

32) Dòng điện pha định mức: $I_{f1} = \Delta_1 a_1 m_1 q_{nt1} = 4,5 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 2,43 = 86 \text{ A.}$

33) Dòng điện pha rôto định mức:

$$I_{r2} = \frac{0,9 \cdot I_{f1} Z_1 W_{r1} k_{dq1} a_2}{Z_2 W_{r2} k_{dq2} a_1} = \frac{0,9 \cdot 86,0 \cdot 12 \cdot 0,931 \cdot 1}{2 \cdot 0,957 \cdot 2} = 225 \text{ A.}$$

34) Mật độ dòng điện trong dây quấn rôto:

$$\Delta_2 = \frac{I_{r2}}{q_{r2}} = \frac{225}{53} = 4,24 \text{ A/mm}^2$$

35) Tải đường của dây quấn stato:

$$A_1 = \frac{I_{f1} Z_1 W_{r1}}{D_{11} a_1 \pi} = \frac{86,0 \cdot 72 \cdot 12}{31 \cdot 2 \cdot 3,14} = 380 \text{ A/cm.}$$

36) Tích số $\Delta_1 A_1$ đối với dây quấn stato: $4,5 \cdot 380 = 1710$.

37) Tải đường của dây quấn rôto:

$$A_2 = \frac{I_{r2} Z_2 W_{r2}}{D_{22} a_2 \pi} = \frac{225 \cdot 90 \cdot 2}{30 \cdot 1,3 \cdot 3,14} \text{ A/cm.}$$

38) Tích số $\Delta_2 A_2$ đối với dây quấn rôto: $\Delta_2 A_2 = 4,25 \cdot 430 = 1830$.

Ta thấy các đại lượng trên đều nằm trong phạm vi cho phép.

39) Điện áp pha của dây quấn rôto:

$$U_{f2} = \frac{U_{f1} W_{r2} Z_2 k_{dq2} a_1}{W_{r1} Z_1 k_{dq1} a_2} = \frac{2 \cdot 90 \cdot 0,957 \cdot 2}{12 \cdot 72 \cdot 0,931 \cdot 1} = 125 \text{ V.}$$

40) Điện áp giữa các vành trượt khi đấu các pha hình Y:

$$U_2 = \sqrt{3} U_{f2} = 125 \cdot \sqrt{3} = 216 \text{ V.}$$

41) Công suất tiêu thụ của động cơ:

$$P_1 = 3 I_{r1} U_{f1} 10^{-3} = 10^{-3} \cdot 3 \cdot 86,0 \frac{500}{\sqrt{3}} = 75 \text{ kVA}$$

42) Công suất định mức của động cơ khi $\cos \varphi = 0,83$ và $\eta = 0,885$.

$$P = P_1 \eta \cos \varphi = 75 \cdot 0,83 \cdot 0,885 = 55 \text{ kW.}$$

Kết quả tính toán khớp với công suất chọn sơ bộ nên không phải tính lại.

5-5. TÍNH TOÁN KHI THAY ĐỔI HỆ SỐ ĐÂY RÃNH

Khi sửa chữa máy điện thường có các tình huống phải thay đổi hệ số dây rãnh. Những trường hợp đó là:

- Nâng hoặc hạ cấp chịu nhiệt của vật liệu cách điện. Trường hợp này thường xảy ra khi sửa chữa các máy điện thuộc hệ cũ, cách điện cấp Δ hoặc Y, chiều dày cách điện lớn nay thay bằng vật liệu cách điện mới tốt hơn nhưng mỏng hơn. Trường hợp này hệ số dây rãnh tăng. Cũng có những động cơ điện khi sửa chữa yêu cầu nâng cấp chịu nhiệt, tăng độ dày cách điện rãnh, khi đó hệ số dây rãnh giảm.

- Thay dây cô tông có cách điện dày bằng dây émay có cách điện mỏng hơn, lúc này hệ số dây rãnh tăng.

- Thay dây có tiết diện chữ nhật bằng dây có tiết diện tròn. Trường hợp này hệ số dây rãnh giảm.

Khi thay đổi hệ số dây rãnh tiết diện đồng của dây dẫn cũng thay đổi, tăng khi hệ số dây rãnh tăng và giảm khi hệ số dây rãnh giảm nhưng không tỉ lệ thuận. Do đó khi thay đổi hệ số dây rãnh ta thay đổi dòng điện theo và do đó công suất của máy điện cũng thay đổi theo.

Mặt khác khi công suất thay đổi mômen cũng thay đổi và vì $M_{dm} = 795 \text{ P/n}$ cho nên khi tăng công suất mômen định mức tăng theo. Bởi vậy nếu yêu cầu giữ bội số mômen cực đại không đổi ta phải tăng đồng thời mômen cực đại bằng cách thay đổi thông số dây quấn.

Mômen cực đại tăng khi từ cảm trong khe hở không khí tăng và tăng theo quan hệ M_{max} tỉ lệ với bình phương của B_g .

Theo biểu thức 5-9 việc tăng B_g chỉ có thể bằng cách giảm số vòng dây tác dụng trong rãnh; việc này kéo theo làm tăng dòng điện không tải, tăng tổn hao trong mạch từ giảm hệ số công suất. Mặt khác do giảm số vòng dây trong rãnh nên có thể tăng tiết diện dây do đó làm giảm tổn hao trong dây quấn.

Người ta đã xác lập được quan hệ giữa mức tăng hệ số lấp đầy với tỉ số giữa công suất cũ và mới như sau (trong trường hợp giữ bội số mômen cực đại và tổn hao không đổi):

$$\gamma = \frac{P_m}{P} = \frac{I_{fm}}{I_f} = 0,75b + 0,3$$

trong đó: b - tỉ số của hệ số dây rãnh, nghĩa là:

$$b = \frac{k_{dm}}{k_d} \text{ hay } \gamma - 1 = 0,7(b - 1).$$

Nghĩa là hệ số dây rãnh tăng 1% thì công suất của động cơ tăng 0,7%. Trong hai công thức trên chỉ số "m" là mới.

Khi tăng công suất như vậy số thanh dẫn tác dụng trong rãnh giảm tương ứng:

$$\frac{W_{r1m}}{W_{r1}} = \frac{1}{\sqrt{0,7b + 0,3}}$$

còn tiết diện của thanh dẫn tác dụng tăng: $\frac{q_{l1m}}{q_{l1}} = b \sqrt{0,7b + 0,3}$

và lúc đó mật độ dòng điện giảm: $\frac{\Delta_{1m}}{\Delta_1} = \frac{\sqrt{0,7b + 0,3}}{b}$

Tải đường và từ cảm trong khe hở không khí tăng:

$$\frac{A_{1m}}{A_1} = \frac{B_{\delta m}}{B_{\delta}} = \sqrt{0,7b + 0,3}$$

Tích số của mật độ dòng điện với tải đường thay đổi theo quy luật:

$$\frac{\Delta_{1m} A_{1m}}{\Delta_1 A_1} = \frac{0,7b + 0,3}{b}$$

Trong thực tế tỉ số hệ số dây rãnh có thể thay đổi trong phạm vi 1,1 ÷ 1,5. Trong phạm vi đó các đại lượng trên sẽ thay đổi như trong bảng 5-12.

Do bảo toàn tổn hao không đổi trong khi công suất định mức tăng nên hiệu suất tăng, hệ số công suất giảm một ít.

Nếu khi tính toán thấy từ cảm trong khe hở không khí vượt quá trị số cho phép (bảng 5-3) thì phải giảm xuống đến trị số cho phép lớn nhất rồi tính lại các tỉ số ghi trong bảng 5-12.

Bảng 5-12. Tỉ số các đại lượng khi tăng hệ số dây rãnh

| Tỉ số | Công thức tính | Trị số của tỉ số khi b bằng | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1,1 | 1,15 | 1,20 | 1,25 | 1,30 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,50 |
| $\frac{P_m}{P_c} \cdot \frac{I_{fn}}{I_{fc}}$ | $0,7b + 0,3$ | 1,07 | 1,105 | 1,14 | 1,175 | 1,21 | 1,245 | 1,28 | 1,315 | 1,35 |
| $\frac{W_{r1m}}{W_{r1}}$ | $\frac{1}{\sqrt{0,7b + 0,3}}$ | 0,97 | 0,955 | 0,94 | 0,925 | 0,91 | 0,90 | 0,88 | 0,87 | 0,86 |
| $\frac{q_{l1m}}{q_{l1}}$ | $b\sqrt{0,7b + 0,3}$ | 1,14 | 1,21 | 1,28 | 1,36 | 1,43 | 1,50 | 1,58 | 1,66 | 1,74 |
| $\frac{\Delta_{1m}}{\Delta_{1c}}$ | $\frac{\sqrt{0,7b + 0,3}}{b}$ | 0,94 | 0,915 | 0,890 | 0,875 | 0,850 | 0,825 | 0,805 | 0,790 | 0,775 |
| $\frac{A_{1m}}{A_1}$ | $\sqrt{0,7b + 0,3}$ | 1,035 | 1,05 | 1,07 | 1,085 | 1,10 | 1,115 | 1,13 | 1,145 | 1,16 |
| $\frac{\Delta_{1m} A_{1m}}{\Delta_1 A_1}$ | $\frac{\sqrt{0,7b + 0,3}}{b}$ | 0,97 | 0,96 | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,922 | 0,915 | 0,905 | 0,909 |

Thí dụ: Một động cơ có các tham số dây quấn sau:

- Số sợi dây nguyên tố trong một rãnh 64
- Số mạch nhánh song song 2
- Số sợi chập song song 2

- Đường kính dây trần 1,16 mm
- Loại dây: dây đồng êmay bọc một lớp sợi xenlulo
chiều dây cách điện cả hai phía là 0,21 mm.
- Đường kính sợi dây có cách điện 1,51 mm
- Chiều dây cách điện rãnh 0,6 mm
- Hệ số dây rãnh 0,29

Khi tính toán lại không thay đổi sơ đồ dây quấn, số sợi chập và số mạch nhánh song song. Các tính toán như sau:

1) Giảm số sợi dây nguyên tố trong rãnh xuống còn 60. Việc giảm số vòng dây này là hoàn toàn cho phép vì trị số từ cảm trong khe hở không khí tăng 7% cũng chưa vượt quá trị số cho phép.

2) Thay vì dùng cách điện rãnh bằng vật liệu cấp thấp ta dùng cách điện cao cấp hơn nhưng chiều dây bây giờ chỉ còn 0,3 mm.

3) Thay dây êmay cotton sợi có chiều dây cách điện 0,21 mm bằng dây êmay có chiều dây cách điện hai phía bằng 0,11mm. Đường kính sợi dây trần bây giờ tăng lên 1,45; đường kính sợi dây có cách điện là 1,56 mm.

Bằng tính toán cụ thể ta thấy hệ số dây rãnh bây giờ tăng lên 0,38 tức mức tăng hệ số dây rãnh là:

$$b = \frac{0,38}{0,29} = 1,31.$$

Với trị số b này tra bảng 5-11 ta được công suất tăng 22% tức động cơ sau khi cải tạo có công suất 17kW.

5-6. TÍNH TOÁN KHI THAY ĐỔI ĐIỆN ÁP

Khi sửa chữa thường xảy ra tình huống phải thay đổi điện áp-định mức; chẳng hạn thay đổi lưới điện từ 220/127V sang lưới 380/220V, hoặc từ điện áp 380 đấu Δ sang 380 đấu Y ...

Khi chuyển đến điện áp mới mà giữ nguyên công suất ta cần phải giữ nguyên từ cảm trong mạch từ và tải đường của động cơ.

Từ công thức 5-9 khi từ cảm trong khe hở không đổi ta có:

$$\frac{U_{f1c}}{W_{r1c} \cdot k_{dq1c}} = \frac{U_{f1m}}{W_{r1m} \cdot k_{dqm}}$$

Nếu giữ kiểu dây quấn không thay đổi ta có:

$$W_{r1m} = \frac{W_{r1c} \cdot U_{f1m}}{U_{f1c}}$$

Từ công thức 5-10; 5-11 khi giữ nguyên mật độ dòng điện ta có:

$$\frac{I_{f1m}}{I_{f1c}} = \frac{U_{f1c}}{U_{f1m}} = \frac{q_{1m}}{q_{1c}}$$

hoặc:

$$q_{1m} = \frac{q_{1c} \cdot U_{f1c}}{U_{f1m}}$$

Bởi vậy khi giữ nguyên tốc độ quay, mật độ dòng điện và công suất thì số thanh dẫn tác dụng trong rãnh tỉ lệ thuận với điện áp còn tiết diện của chúng tỉ lệ nghịch với điện áp.

Chú ý:

- Khi tăng số sợi dây trong rãnh hệ số dây rãnh sẽ giảm bởi vậy cần kiểm tra lại hệ số này xem có phù hợp không. Để lồng dây được dễ dàng cần phải đảm bảo quan hệ sau:

$$\frac{n_{\Sigma m} d_{cdm}}{n_{\Sigma c} d_{cdc}} \leq 1$$

trong đó: n_{Σ} = tổng số sợi dây có trong rãnh.

- Nếu đường kính dây tính ra quá nhỏ hoặc quá lớn thì cần phải thay đổi số mạch nhánh song song hoặc số sợi chập song song rồi từ đó tính toán lại đường kính dây.

- Chúng ta cũng cần lưu ý một điều là nếu tăng điện áp lên nhiều lần thì cần phải tăng chiều dày cách điện và do vậy lại cần phải kiểm tra lại hệ số đầy rãnh. Nếu hệ số đầy rãnh không đạt yêu cầu thì cần phải giảm kích thước dây, tức là phải giảm công suất của máy. Chẳng hạn khi chuyển điện áp của các động cơ lớn từ 3 lên 6kV do phải tăng chiều dày cách điện nên công suất phải giảm đi 15 ÷ 20%.

Mặt khác, khi chuyển xuống điện áp thấp hơn ta có thể tăng công suất máy nhờ giảm số thanh dẫn trong rãnh và cách điện rãnh.

- Đối với động cơ không đồng bộ rôto dây quấn khi chuyển đến điện áp cao hơn cần phải tính lại cả dây quấn rôto và phải kiểm tra điện áp cho phép giữa các vành trượt.

- Đối với máy phát điện mà rôto là phản ứng cũng cần kiểm tra điện áp cho phép giữa các片片 góp; đối với máy có hệ thống cực từ quay việc tính lại dây quấn stato được tiến hành như với stato động cơ không đồng bộ.

Thí dụ: Tính toán lại động cơ điện có điện áp 127/220V lên điện áp 220/380V. Thông số dây quấn của động cơ như sau:

| | |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Kiểu dây quấn | hai lớp. |
| Số thanh dẫn tác dụng trong rãnh | $W_r = 20$. |
| Số mạch nhánh song song | $a_1 = 2$. |
| Số sợi chập song song | $m_1 = 1$. |
| Tổng số sợi dây trong rãnh | $W_r = 40$. |
| Đường kính sợi dây trần nguyên tố | $d_{nt} = 1,3 \text{ mm}$. |
| Tiết diện sợi dây trần nguyên tố | $q_{nt} = 1,327 \text{ mm}^2$. |
| Loại dây | côtông giấy có tấm sơn |
| Chiều dày cách điện hai lớp | $\delta = 0,21 \text{ mm}$. |
| Đường kính sợi dây có cách điện | $d_{cd} = 1,51$. |

Các tính toán như sau:

1) Khi giữ nguyên sơ đồ dây quấn và số sợi chập song song thì số thanh dẫn tác dụng trong rãnh mới sẽ là:

$$W_{rm} = \frac{W_{rc} \cdot U_{flm}}{U_{flc}} = \frac{20 \cdot 380}{220} = 34,6.$$

Chúng ta làm tròn còn 34.

2) Tiết diện sợi dây trần nguyên tố:

$$q_{ntm} = \frac{q_{ntc} \cdot U_{flc}}{U_{flm}} = \frac{1,327 \cdot 220}{380} = 0,77 \text{ mm}^2.$$

3) Đường kính sợi dây trần nguyên tố:

$$d_{ntm} = 1,13 \sqrt{0,77} = 1,01 \text{ mm}.$$

4) Đường kính sợi dây đã cách điện (giữ nguyên loại dây):

$$d_{cdm} = d_{ntm} + \delta = 1,01 + 0,21 = 1,22 \text{ mm}.$$

Đường kính dây giảm trong khi số thanh dẫn nguyên tố tăng đã làm giảm hệ số đầy rãnh.

$$k_{lc}''' = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_{nlc}}{d_{cdlc}} \right)^2 = \frac{3,14}{4} \left(\frac{1,3}{1,51} \right)^2 = 0,58;$$

$$k_{lm}''' = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_{nlm}}{d_{cdm}} \right)^2 = \frac{3,14}{4} \left(\frac{1,01}{1,22} \right)^2 = 0,54;$$

Sự giảm hệ số đầy rãnh có thể làm cho độ khó khi lồng dây tăng lên, làm giảm độ tin cậy của dây quấn. Vì vậy cần phải thay dây để có một loại dây có cách điện mỏng hơn nhưng tốt hơn. Nếu không có loại dây mới để thay thế ta có thể thay đổi số mạch nhánh song song từ hai xuống một mà không thay đổi số sợi chập song song.

5) Tiết diện dây dẫn khi đó bằng: $q_{nlm} = 1,54 \text{ mm}^2$.

6) Đường kính sợi dây không có cách điện: $d_{nlm} = 1,13 \sqrt{1,54} = 1,41$; làm tròn xuống 1,4mm.

7) Đường kính sợi dây có cách điện: $d_{cdm} = 1,4 + 0,21 = 1,61$.

8) Hệ số đầy rãnh mới: $k_{lm}''' = \left(\frac{3,14}{4} \cdot \frac{1,4}{1,61} \right)^2 = 0,595$.

Ta thấy bây giờ hệ số đầy rãnh gần như không đổi so với ban đầu.

5-7. TÍNH TOÁN KHI THAY ĐỔI TỐC ĐỘ QUAY

Khi tính chuyển một động cơ điện không đồng bộ đến một tốc độ khác cần lưu ý tính kiểm tra sự phối hợp số răng rãnh của stato, rôto với số cực theo các công thức 5-31.

Khi giảm số cực và khi giữ nguyên từ cảm trong khe hở không khí, từ cảm trong lưng stato và rôto tăng. Khi tăng số cực, quá trình trên sẽ ngược lại. Từ cảm trong răng stato và rôto giữ không đổi.

Việc tính toán lại động cơ điện khi thay đổi số cực cần phải được bắt đầu từ việc xác định từ cảm trong các đoạn mạch từ. Trong một số trường hợp cho phép tăng từ cảm trong lưng stato và rôto chút ít, nhất là đối với các động cơ thuộc xèri cũ vì vật liệu sắt từ của chúng chậm bão hòa hơn. Nếu từ cảm trong lưng stato và rôto được phép tăng không quá 10 ÷ 15% thì có thể tiến hành tính toán lại động cơ như sau.

Từ công thức 5-9 nếu từ cảm trong khe hở không khí và điện áp không đổi ta có thể rút ra:

$$\frac{P_c a_{lc}}{W_r k_{dqlc}} = \frac{P_m a_{lm}}{W_m k_{dqm}}$$

Nghĩa là số thanh dẫn tác dụng trong rãnh bây giờ sẽ là:

$$W_m = \frac{W_{rc} k_{dqlc}}{k_{dqlm}} \frac{a_{lm}}{a_{lc}} \frac{P_m}{P_c} = \frac{W_{rc} k_{dqlc}}{k_{dqlm}} \frac{a_{lm}}{a_{lc}} \frac{n_c}{n_m}$$

Khi giữ nguyên kiểu dây quấn, bước dây thì diện tích thanh dẫn tác dụng trong rãnh là:

$$q_{t1m} = \frac{q_{t1c} P_c}{P_m} = \frac{q_{t1c} n_m}{n_c}$$

Công suất định mức của động cơ:

$$P_m = \frac{P_c P_c}{P_m} = \frac{P_c n_m}{n_c}$$

Khi giảm tốc độ quay (tăng số cực), số thanh dẫn tác dụng trong rãnh tăng, tiết diện thanh dẫn tác dụng giảm theo công suất giảm. Nếu số thanh dẫn tăng nhiều sẽ ảnh hưởng đến hệ số đầy rãnh do đó cần chọn dây có cách điện mỏng nhưng cấp chịu nhiệt cao hơn. Khi tốc độ tăng cần giảm từ cảm trong khe hở không khí sao cho từ cảm trong các phần mạch từ khác không vượt ra khỏi phạm

vi cho phép. Trong trường hợp này cũng cần xem xét lại số mạch nhánh song song và số sợi chập song song sao cho kích thước sợi dây nguyên tố không lớn quá, bị cứng khó lồng dây hoặc nhỏ quá dễ làm giảm hệ số đầy rãnh.

Sự thay đổi công suất nói trên mang tính tương đối vì khi tăng tốc độ quay, tổn hao tăng lên đồng thời cũng tăng lượng gió làm mát thổi qua máy. Sự tăng công suất cũng bị hạn chế do độ bền cơ của các chi tiết chịu lực và sự đốt nóng máy. Tốc độ dài giới hạn của rôto được xác định theo công thức, m/s:

$$v_r = \frac{\pi D_r n_1}{60 \cdot 1000}$$

Tốc độ này không được vượt quá 30 ÷ 40 m/s đối với rôto dây quấn và 40 ÷ 60 m/s đối với rôto lồng sóc.

Khi tăng tốc độ quay cũng cần tăng cường đai của dây quấn rôto đối với động cơ rôto dây quấn. Kiểm tra lại độ bền cơ các chi tiết kiểu vành như vành trượt, cổ góp... Tài cho phép của trục có thể tra theo đồ thị hình 5-4.

Sự đốt nóng ổ bi cũng tăng lên cùng với tốc độ và công suất. Tổn hao do đốt nóng ổ được tính theo công thức, kW:

$$p_o = 0,52 \cdot d_o \cdot l_o \cdot v_o^2 \quad \text{đối với ổ trượt;}$$

$$p_o = \frac{0,15 \cdot G_o}{d_o \cdot v_o \cdot 10^{-3}} \quad \text{đối với ổ bi;}$$

trong đó: d_o, l_o là đường kính và chiều dài ngỗng trục phần lắp ổ; v_o - tốc độ ngỗng trục, m/s; G_o - tải trọng tác dụng lên ổ, kG.

Khi tăng tải trọng và tốc độ quay tuổi thọ của ổ giảm nhanh.

Trong trường hợp giảm số cực, bước dây tăng lên chiều dài phần nhô ra của phần đầu nối tăng cần lưu ý khoảng cách giữa phần đầu nối và nắp.

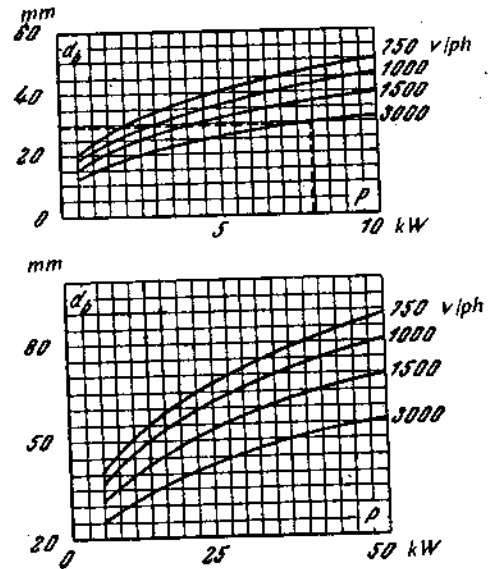
Thí dụ: Tính toán lại động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc có tốc độ quay 1500v/ph thành tốc độ quay 3000 v/ph.

Các thông số kĩ thuật của động cơ như sau:

| | |
|-------------------|-------------------|
| Công suất | P = 4,5 kW |
| Điện áp | U = 220/380 V |
| Dòng điện | I = 16/9,3 A |
| Tốc độ quay | $n_1 = 1500$ v/ph |
| Kiểu bảo vệ | IP-23 |

Các tham số kích thước:

| | |
|---------------------------------------|--------------------|
| 1) Stator | |
| Đường kính trong stator | $D_{11} = 15,2$ cm |
| Chiều dài lõi thép | $l_1 = 12,0$ cm |
| Số rãnh thông gió ngang trục | $n_k = 2$ |
| Chiều rộng rãnh thông gió ngang | $b_k = 1$ cm |
| Chiều dày lá tôn | 0,5 mm |
| Số rãnh | $Z_1 = 36$ |
| Chiều cao lưng stator | $h_1 = 2,5$ cm |



Hình 5-4. Tài cho phép trên trục.

| | |
|---|-------------------|
| Kiểu dây quấn | hai lớp |
| Số vòng dây tác dụng trong rãnh | $W_r = 32$ |
| Số mạch nhánh song song | $a_1 = 1$ |
| Số sợi chập song song | $m_1 = 2$ |
| Đường kính sợi dây nguyên tố, mm; | $d_{nt1} = 1,16$ |
| Tiết diện sợi dây nguyên tố, mm ² ; | $q_{nt1} = 1,057$ |
| Tiết diện thanh dẫn tác dụng, mm ² ; | $q_{ld1} = 2,11$ |

2) Rôto

| | |
|---------------------------------|------------------|
| Đường kính ngoài rôto, cm | $D_{n2} = 15,12$ |
| Chiều dài lõi thép, cm; | $l_2 = 12$ |
| Đường kính trục, cm; | $d_1 = 4,5$ |
| Số rãnh | $Z_2 = 28$ |
| Chiều cao lưng rôto, mm; | $h_{l2} = 30$ |

Rôto lồng sóc.

Các tính toán như sau:

1) Kiểm tra quan hệ giữa số cực và số rãnh:

| | |
|-------------------------------|------------------------------|
| $Z_2 \neq Z_1$ | $28 \neq 36$ |
| $Z_2 \neq 0,5 Z_1$ | $28 \neq 18$ |
| $Z_2 \neq 2 Z_1$ | $28 \neq 72$ |
| $Z_2 \neq 6pk$ | $28 \neq 6; 12; 18; 24$ |
| $Z_2 \neq 6pk + 2p$ | $28 \neq 8; 14; 20; 26$ |
| $Z_2 \neq Z_1 \pm p$ | $28 \neq 35; 37$ |
| $Z_2 \neq Z_1 \pm 2p$ | $28 \neq 38$ |
| $Z_2 \neq 0,5 Z_1 \pm p$ | $28 \neq 17; 19$ |
| $Z_2 \neq 2 Z_1 \pm 2p$ | $28 \neq 74$ |
| $Z_2 \neq 6pk \pm 1$ | $28 \neq 5; 7; \dots 23; 25$ |
| $Z_2 \neq 6pk \pm (2p \pm 1)$ | $28 \neq 3; 5; \dots 25; 27$ |

Ta thấy sự thay đổi số đôi cực không làm mất sự thích hợp giữa số cực và số rãnh của stato và rôto.

2) Tốc độ dài của rôto:

$$v_r = \frac{\pi D_{n2} n_1}{60 \cdot 100} = \frac{3,14 \cdot 15,12 \cdot 3000}{60 \cdot 100} = 23,8 \text{ m/s.}$$

3) Kiểm tra độ bền của trục. Theo đồ thị hình 5-4 với đường kính ngỗng trục bằng 45 mm thỏa mãn điều kiện độ bền của trục.

4) Số cực:

$$2p_m = \frac{6000}{n_{1m}} = \frac{6000}{3000} = 2$$

5) Bước cực:

$$\tau_m = \frac{\pi D_{l1}}{2p_m} = \frac{3,14 \cdot 15,2}{2} = 23,9 \text{ cm.}$$

6) Chiều dài tác dụng của lõi thép rôto:

$$l_{\delta 1} = k_{c1}(l_1 - n_k b_k) = 0,93(12 - 2 \cdot 1) = 9,3 \text{ cm.}$$

7) Chiều dài tác dụng của lõi thép rôto:

$$l_{\delta 2} = k_{e2} l_2 = 0,93 \cdot 12 = 11,2 \text{ cm.}$$

8) Số rãnh trên một cực và một pha của dây quấn stato:

$$q_1 = \frac{Z_1}{3 \cdot 2 \cdot p_m} = \frac{36}{3 \cdot 2} = 6.$$

9) Chọn dây quấn stato hai lớp bước ngắn với $\beta = 0,7$.

10) Bước dây quấn stato:

$$y_1 = \frac{\beta Z_1}{2p_m} = \frac{0,7 \cdot 36}{2} = 12,6; \text{ làm tròn đến } 13.$$

11) Hệ số dây quấn stato:

Theo bảng 5-4 có $k_{dq1} = 0,853$.

12) Số thanh dẫn tác dụng trong một rãnh khi giữ nguyên kiểu dây quấn (sơ bộ):

$$W_{rm} = \frac{W_{rc} \cdot p_m}{p_c} = \frac{32 \cdot 1}{2} = 16.$$

13) Từ cảm trong khe hở không khí:

$$B_{\delta m} = \frac{2,5 U_{f1} p_m 10^2 a_1}{Z_2 D_{t1} l_1 k_{dq1m} W_{rm}} = \frac{2,5 \cdot 220 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 1}{36 \cdot 15,2 \cdot 12,0 \cdot 0,853 \cdot 16} = 0,61 \text{ T.}$$

14) Từ cảm trong lưng stato:

$$B_{l1m} = 0,55 B_{\delta m} \frac{D_{t1}}{h_{l1}} \frac{l_1}{p_m} = 0,55 \cdot 0,61 \frac{15,2}{2,5} \frac{12}{9,3} \frac{1}{1} = 2,6 \text{ T.}$$

15) Từ cảm trong lưng rôto:

$$B_{l2m} = 0,55 B_{\delta m} \frac{D_{n2}}{h_{l2}} \frac{l_2}{p_m} = 0,55 \cdot 0,61 \frac{15,12}{3,0} \frac{12}{11,2} \frac{1}{1} = 1,8 \text{ T.}$$

16) Từ cảm trong lưng stato vượt quá giới hạn cho phép và cần phải giảm xuống. Từ cảm trong lưng rôto nằm trong giới hạn cho phép. Từ cảm trong răng stato và rôto không cần kiểm tra vì sự thay đổi số cực không ảnh hưởng đến trị số của chúng.

17) Lấy từ cảm trong lưng stato bằng 1,6 T, trên cơ sở đó tính lại số vòng dây trong rãnh:

$$W_{rm} = \frac{16 \cdot 2,6}{1,6} = 26$$

18) Tiết diện thanh dẫn tác dụng:

$$q_{lm} = \frac{q_{lc} \cdot W_{rc}}{W_{rm}} = \frac{2,11 \cdot 32}{26} = 2,59 \text{ mm}^2.$$

19) Giữ nguyên số sợi chập song song $m_{lm} = m_{lc} = 2$.

20) tiết diện sợi dây nguyên tố:

$$q_{ntm} = \frac{q_{dtm}}{2} = \frac{2,59}{2} = 1,3 \text{ mm}^2.$$

21) Đường kính sợi dây nguyên tố:

$$d_{ntm} = 1,13 \sqrt{q_{ntm}} = 1,13 \sqrt{1,3} = 1,29 \text{ mm.}$$

Làm tròn đến đường kính tiêu chuẩn $d = 1,3$ và ta có tiết diện $1,327 \text{ mm}^2$.

22) Dòng điện pha khi giữ mật độ dòng điện không đổi $\Delta = 4,4 \text{ A/mm}^2$:

$$I_{fm} = \Delta q_{ntm} m_{lm} = 4,4 \cdot 1,327 \cdot 2 = 11,7 \text{ A.}$$

23) Công suất tiêu thụ của động cơ:

$$P_l = 3I_{fm} U_f 10^{-3} = 3 \cdot 11,7 \cdot 220 \cdot 10^{-3} = 7,7 \text{ kVA.}$$

24) Công suất định mức của động cơ khi $\cos\varphi = 0,89$ và $\eta = 0,87$ (theo bảng 5-6):

$$P_{dm} = P_l \cos\varphi \eta = 7,7 \cdot 0,89 \cdot 0,87 = 6 \text{ kW.}$$

5-8. TÍNH TOÁN KHI THAY ĐỔI TẦN SỐ

Tính toán lại khi thay đổi tần số thường gặp đối với động cơ không đồng bộ hoặc máy phát điện đồng bộ khi tần số thay đổi từ 60 Hz xuống 50 Hz hoặc ngược lại.

Sức điện động của các máy trên được tính theo công thức:

$$E = 4,44f\Phi W_f k_{dq}$$

Ta thấy để giữ cho sức điện động không đổi thì số vòng dây nối tiếp trong một pha phải tỉ lệ nghịch với tần số, nghĩa là:

$$W_{fm} = \frac{W_{fc} \cdot f_c}{f_m}$$

Tiết diện và đường kính dây mới là:

$$q_{tm} = \frac{q_{tc} W_{fc}}{W_{fm}}, \text{ mm}^2$$

$$d_m = d_c \sqrt{\frac{W_{fc}}{W_{fm}}}, \text{ mm.}$$

Công suất ở tần số mới sẽ là:

$$P_m = \frac{P_c \cdot f_m}{f_c}, \text{ kW.}$$

Tốc độ động cơ không đồng bộ thay đổi tỉ lệ với tần số nguồn:

$$n_m = \frac{n_c \cdot f_m}{f_c}$$

Chú ý:

- Trong trường hợp tần số tăng nhiều chẳng hạn từ 50 lên 200Hz thì công suất tính được theo công thức trên cần phải giảm đi 20 đến 40% do tổn hao trong đồng tăng (do hiệu ứng bề mặt) và tổn hao trong thép tăng.

- Khi tăng tần số, tốc độ tăng do đó cần kiểm tra lại tốc độ giới hạn của trục như trường hợp thay đổi tốc độ.

5-9. TÍNH TOÁN KHI THAY ĐỔI CHẤT LIỆU DÂY DẪN

Động cơ không đồng bộ phần lớn được quấn bằng dây đồng nhưng trong nhiều trường hợp cũng được quấn bằng dây nhôm. Khi sửa chữa thường xảy ra trường hợp phải thay đổi dây đồng thành dây nhôm và ngược lại.

Dây nhôm có ưu điểm là nhẹ, mềm, dễ lồng dây (hệ số đầy rãnh của dây nhôm có thể lấy cao hơn 8 đến 10% so với dây đồng); nhược điểm của nó vẫn là dẫn điện kém hơn dây đồng, khó hàn và đặc biệt là ở Việt Nam chưa phổ biến nên rất khó kiếm.

Dây đồng có độ bền cơ cao hơn, dễ kiểm, dễ hàn nối và chuyển tiếp ra bulông cực, dẫn điện tốt hơn. Nhược điểm là nặng.

Cần cứ để tính thay thế hai loại dây này là giữ nguyên tổn hao tổng trong máy điện không đổi và do đó cần căn cứ vào điện trở suất của chúng. Khi nhiệt độ môi trường 20°C điện trở suất của đồng là 0,017 còn của nhôm là 0,028 Ω.mm²/m. Tỉ số điện trở suất của nhôm và đồng là 0,028/0,017 = 1,65.

Nếu giữ nguyên mật độ từ thông, trong mạch từ không đổi, tức là không thay đổi số vòng dây nối tiếp của một pha mà giữ nguyên kích thước của dây dẫn khi chuyển dây đồng thành dây nhôm thì tổn hao sẽ tăng lên. Do đó trong trường hợp này cần phải tăng kích thước dây nhôm lên để giữ cho tổn hao trong dây quấn không đổi.

Tổn hao đồng trong một pha bằng:

$$\Delta P_{Cu} = \frac{I_f^2 \cdot \rho_{Cu} \cdot l}{q_{lCu}}$$

Tổn hao nhôm trong một pha bằng:

$$\Delta P_{Al} = \frac{I_f^2 \cdot \rho_{Al} \cdot l}{q_{lAl}}$$

trong đó: l - chiều dài toàn bộ các vòng dây tác dụng trong một pha.

Nếu $q_{lCu} = q_{lAl}$ và $\Delta P_{Cu} = \Delta P_{Al}$ thì:

$$I_{fAl} = \frac{I_{fCu}}{\sqrt{1,65}} = 0,78 I_{fCu}$$

Nghĩa là dòng điện pha khi dùng dây nhôm cần phải giảm đi 22% so với khi dùng dây đồng hay nói cách khác công suất máy điện cần phải giảm đi 22% khi chuyển từ dây đồng sang dây nhôm.

Nếu yêu cầu giữ dòng điện định mức và công suất không đổi thì trong trường hợp này cần phải tăng tiết diện của dây nhôm lên:

$$\text{Bởi vì: } \frac{I_f^2 \cdot \rho_{Cu} \cdot l}{q_{lCu}} = \frac{I_f^2 \cdot \rho_{Al} \cdot l}{q_{lAl}}$$

$$\text{nên: } \frac{\rho_{Cu}}{q_{lCu}} = \frac{\rho_{Al}}{q_{lAl}} = \frac{1,65 \rho_{Cu}}{q_{Al}}$$

$$\text{hoặc: } q_{lAl} = 1,65 q_{lCu}$$

Nếu dây quấn dùng dây dẫn tròn thì đường kính dây nhôm cần phải tăng lên là:

$$d_{Al} = \sqrt{1,65} \cdot d_{Cu} = 1,28 d_{Cu}$$

Nghĩa là phải tăng lên 28%.

Để đặt được dây trong trường hợp này cần phải giảm chiều dày cách điện của sợi dây và chiều dày cách điện rãnh; để bù lại ta phải dùng vật liệu cách điện có cấp chịu nhiệt cao hơn.

Trong trường hợp ngược lại khi thay dây nhôm bằng dây đồng ta có thể giảm kích thước dây nếu không muốn tăng công suất hoặc giữ nguyên kích thước dây thì công suất máy sẽ tăng gần tương ứng với sự giảm điện trở suất.

5-10. TÍNH TOÁN KHI THAY ĐỔI KHE HỖ KHÔNG KHÍ

Đối với động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc trong trường hợp đặc biệt chẳng hạn cần nâng cao mômen mở máy ta phải tăng khe hở không khí giữa stato và rôto. Khi đó dòng điện không tải sẽ tăng, cosφ và công suất có ích của động cơ giảm. Để giữ dòng điện không tải không đổi ta cần tăng thích đáng số vòng dây tác dụng trong rãnh. Các tính toán được thực hiện như sau:

1) Độ tăng tương đối của từ trở khe hở không khí:

$$\Delta R_{\delta} = \frac{\delta_m k_{\delta m} - \delta_c k_{\delta c}}{\delta_c k_{\delta c}}$$

trong đó: δ_c - khe hở không khí cũ (của nhà chế tạo); δ_m - khe hở sau sửa chữa; $k_{\delta c}$ - hệ số khe hở không khí cũ.

$$k_{\delta c} = \frac{t_1 + 10\delta_c}{b_1 + 10\delta_c} \cdot \frac{t_2 + 10\delta_c}{b_2 + 10\delta_c}$$

$k_{\delta m}$ - hệ số khe hở không khí sau sửa chữa.

$$k_{\delta m} = \frac{t_1 + 10\delta_m}{b_1 + 10\delta_m} \cdot \frac{t_2 + 10\delta_m}{b_2 + 10\delta_m}$$

trong đó: t_1 - bước răng stato; t_2 - bước răng rôto; b_1 - chiều rộng răng stato ở chỗ hẹp nhất; b_2 - chiều rộng răng rôto ở chỗ hẹp nhất.

2) Từ trở của các đoạn mạch từ khác cũng sẽ tăng nhưng ở mức:

$$\Delta R_{\mu} = (0,7 \div 0,8) \cdot \Delta R_{\delta}$$

3) Số thanh dẫn tác dụng trong một rãnh mới được xác định từ các sức từ động trước và sau khi sửa chữa:

$$F_c = I_{oc} W_{fc} = \frac{I_{oc} W_{rc} Z_1}{6} = \Phi_c R_{\mu c}$$

$$F_m = I_{om} W_{fm} = \frac{I_{om} W_{rm} Z_1}{6} = \Phi_m R_{\mu m}$$

trong đó: Φ_c - từ thông trước khi sửa chữa; Φ_m - từ thông sau sửa chữa; $R_{\mu c}$ - từ trở mạch từ trước sửa chữa; $R_{\mu m}$ - từ trở mạch từ sau sửa chữa.

4) Từ điều kiện giữ dòng không tải không đổi ta có:

$$\frac{W_{rm}}{W_{rc}} = \frac{\Phi_m R_{\mu m}}{\Phi_c R_{\mu c}} = \frac{B_{\delta m} R_{\mu m}}{B_{\delta c} R_{\mu c}}$$

Theo điều kiện giữ điện áp không đổi theo công thức 5-9 ta có:

$$\frac{B_{\delta m}}{B_{\delta c}} = \frac{W_{rc}}{W_{rm}}$$

Từ đó suy ra:

$$\frac{W_{rm}}{W_{rc}} = \frac{W_{rc}}{W_{rm}} \cdot \frac{R_{\mu m}}{R_{\mu c}}$$

Nghĩa là số vòng dây tác dụng mới bây giờ sẽ là:

$$W_{rm} = W_{rc} \sqrt{\frac{R_{\mu m}}{R_{\mu c}}}$$

5) Trong đơn vị tương đối $\frac{R_{\mu m}}{R_{\mu c}} = 1 + \Delta R_{\mu}$. Bởi vậy số vòng dây tác dụng trong một rãnh cũng như số vòng dây tác dụng nối tiếp trong một pha được tăng lên tương ứng theo quan hệ:

$$W_{rm} = W_{rc} \sqrt{1 + \Delta R_{\mu}}; \quad W_{fm} = W_{fc} \sqrt{1 + \Delta R_{\mu}}$$

6) Khi hệ số lấp đầy rãnh và mật độ dòng điện không đổi ta có tiết diện dây dẫn và dòng điện tương ứng sẽ giảm theo quan hệ:

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \Delta R_{\mu}}} ; \text{ nghĩa là:}$$

$$q_{lm} = \frac{q_{lc}}{\sqrt{1 + \Delta R_{\mu}}} ; \quad I_{lm} = \frac{I_{lc}}{\sqrt{1 + \Delta R_{\mu}}}$$

Công suất có ích của động cơ giảm nhanh hơn dòng điện một ít do $\cos\phi$ sau khi sửa chữa giảm. Có thể coi công suất mới sau khi sửa chữa bằng:

$$P_m = \frac{P_c}{\sqrt{1 + \Delta R_{\mu}}}$$

Nếu trường hợp yêu cầu giữ cả $\cos\phi$ không đổi thì cũng theo phương pháp trên ta thu được:

$$W_{fm} = W_{fc}(1 + \Delta R_{\mu}) ;$$

$$q_{lm} = \frac{q_{lc}}{1 + \Delta R_{\mu}} ; \quad I_{lm} = \frac{I_{lc}}{1 + \Delta R_{\mu}} ; \quad P_m = \frac{P_c}{1 + \Delta R_{\mu}}$$

5-11. TÍNH TOÁN KHI THAY ĐỔI SỐ PHA

Trong phạm vi công suất đến 2kW trong nhiều trường hợp người ta sử dụng cùng một bộ khuôn dập chung cho việc sản xuất các động cơ ba pha và một pha. Mạch từ các động cơ này hoàn toàn giống nhau nhưng dây quấn thì khác nhau (một pha và ba pha) nên công suất khác nhau. Khi sửa chữa các động cơ này tùy theo nó được sử dụng trong lưới ba pha hay một pha ta tính toán để quấn lại dây quấn thành ba pha hay một pha. Trường hợp này cũng thường xảy ra đối với các máy phát điện công suất nhỏ. Tuy nhiên khi đó cần phải thay đổi hệ thống kích từ chút ít. Sau đây là phương pháp tính toán lại một động cơ không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc thành một pha.

1) Khi chuyển dây quấn ba pha động cơ không đồng bộ thành dây quấn một pha ta dành 2/3 số rãnh cho dây quấn làm việc còn 1/3 số rãnh cho dây quấn khởi động.

2) Số vòng dây tác dụng trong một rãnh của dây quấn làm việc bây giờ là:

$$W_{r1} = (0,5 \div 0,7) W_{r3} \frac{U_1}{U_3}$$

trong đó: U_1 - điện áp đặt lên dây quấn động cơ một pha; U_3 - điện áp đặt lên dây quấn ba pha; W_{r3} - số vòng dây tác dụng trong một rãnh của động cơ ba pha.

Hệ số trong dấu móc dùng như sau: giá trị nhỏ là đối với các động cơ lớn (hơn một kW), làm việc ngắn hạn hoặc ngắn hạn lặp lại.

3) Tiết diện và đường kính dây quấn làm việc được tính theo công thức:

$$q_{lv1} = \frac{q_{r3} W_{r3}}{W_{r1}} , \text{ mm}^2 ; \quad d_{lv1} = d_{r3} \sqrt{\frac{W_{r3}}{W_{r1}}} , \text{ mm}.$$

4) Dây quấn khởi động được đặt trong 1/3 số rãnh và thường được nối tiếp với một điện trở ngoài hoặc có chứa cuộn dây quấn ngược chiều để tăng mômen mở máy.

Số vòng dây tác dụng trong một rãnh của dây quấn khởi động có điện trở ngoài:

$$W_{kd} = (0,7 \div 1) W_{lv1}$$

Tiết diện dây:

$$q_{kd} = (1 \div 1,4) q_{lv} , \text{ mm}^2.$$

Điện trở phụ nối tiếp với dây quấn khởi động sơ bộ có thể tính theo công thức:

$$R_f = \frac{(1,6 \div 8) 10^{-3} U_1}{q_{kd}} , \quad \Omega.$$

Trị số chính xác được xác định qua thực tế.

Trong một số trường hợp để tránh dùng điện trở rườm rà, phức tạp trong sử dụng người ta dùng phương pháp quấn một sợi dây ngược trong sợi dây khởi động để tăng điện trở mở máy. Phương pháp này chỉ dùng khi mômen mở máy không cần lớn.

Số vòng dây khởi động quấn thuận có thể tính theo công thức:

$$W_{kdt} = (1,3 \div 1,6)W_{lv}$$

Số vòng dây quấn ngược:

$$W_{kdn} = (0,45 \div 0,25)W_{kdt}$$

Số vòng dây tổng trong rãnh:

$$W_{kd} = W_{kdt} + W_{kdn}$$

Tiết diện dây quấn khởi động có thể lấy gần đúng:

$$q_{kd} = 0,5q_{lv}$$

5) Dòng điện trong dây quấn làm việc của động cơ một pha khi chọn số mạch nhánh song song $a = 1$:

$$I_1 = \Delta q_{lv} \quad , \quad A$$

trong đó: Δ - mật độ dòng điện trong dây quấn làm việc thường chọn trong khoảng từ 5 đến 8A/mm² tùy theo chế độ làm việc, điều kiện làm mát, mức độ tải.

6) Công suất tiêu thụ của động cơ một pha:

$$P_1 = U_1 I_1 \quad , \quad VA.$$

Công suất trên trục động cơ một pha:

$$P = P_1 \eta \cos \varphi \quad , \quad W.$$

Tích số $\eta \cos \varphi$ có thể tra bảng 5-13.

Mômen mở máy của động cơ một pha thường nhỏ hơn so với động cơ ba pha, đặc biệt là động cơ tốc độ 3000v/ph. Để nâng cao mômen mở máy ta có thể áp dụng biện pháp tăng khe hở không khí, tăng điện trở dây quấn rôto. Khe hở giữa stato và rôto có thể tăng lên bằng cách tiện bớt rôto đi. Điện trở của dây quấn rôto có thể tăng bằng cách giảm tiết diện của vành ngắn mạch và thanh dẫn. Giảm tiết diện vành ngắn mạch bằng cách tiện bớt đường kính vành; giảm tiết diện thanh dẫn bằng cách dùng khoan để lấy bớt một phần thanh dẫn.

Mômen mở máy cũng được cải thiện bằng cách dùng dây quấn hai lớp bước ngắn trên 1/3 bước cực.

Mômen mở máy của động cơ điện một pha bị giảm nhanh khi điện áp lưới sụt. Vì vậy khi dùng động cơ một pha chú ý dùng dây dẫn có tiết diện tương đối lớn để giảm sụt áp trên đường dây.

Bảng 5-13. Tích số $\eta \cos \varphi$ của động cơ một pha có dây quấn mở máy

| Công suất, VA | Tích số $\eta \cos \varphi$ khi số cực | |
|---------------------|--|----------|
| | $2p = 2$ | $2p = 4$ |
| 100 | 0,30 | 0,15 |
| 150 | 0,32 | 0,19 |
| 200 | 0,34 | 0,22 |
| 400 | 0,43 | 0,31 |
| 600 | 0,49 | 0,38 |
| 800 | 0,52 | 0,43 |
| 1000 | 0,54 | 0,46 |
| $2000 > P_1 > 1000$ | 0,62 | 0,52 |

BÀI TẬP

1. Cho động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc có số liệu $D_n = 208$ mm, $D_l = 123$ mm, $l_l = 148$ mm, chiều cao toàn phần của răng $h_r = 20,95$ mm, $b_{r1} = 5,4$ mm, diện tích rãnh $Q_r = 214$ mm², $Z = 24$.

Hãy tính toán phục hồi lại thông số dây quấn ba pha, điện áp 380V, đấu Δ . Kiểm tra công suất động cơ?

2. Cho một động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc có số liệu: ba pha, 7,5 kW, 380/220 V đấu Δ/Δ , $n_1 = 1000$ v/ph, $Z_1 = 36$, số sợi chập song song bằng 2, dây quấn hai lớp, số vòng dây trong một bối $W_s = 11$, đường kính sợi dây $\Phi = 1,47$ mm, số mạch nhánh song song $a = 1$. Tính lại dây quấn của động cơ này ở điện áp 380V đấu Δ , tốc độ 1500 v/ph.

3. Cho động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc bị mất dây quấn stato và mất nhãn máy. Kích thước mạch từ đo được như sau:

$D_n/D_l = 208/113$ mm, chiều dài lõi thép $l = 148$ mm, $Z_1 = 36$, cho $\cos\varphi = 0,86$, $\eta = 87\%$, biết động cơ thuộc gam A02, tiết diện rãnh đo được 149 mm², chiều rộng răng $b_{r1} = 5$ mm. Hãy tính lại dây quấn của động cơ trên ở điện áp 380/220V đấu Δ/Δ .

Kiểm tra xem động cơ trên có công suất bằng bao nhiêu?

CHƯƠNG 6

ĐẤU LẠI MÁY ĐIỆN TRONG SỬA CHỮA

Dây quấn máy điện có thể đấu lại để thay đổi chế độ làm việc như thay đổi tốc độ quay, thay đổi điện áp, thay đổi số pha.

6-1. ĐẤU LẠI DÂY QUẤN ĐỂ THAY ĐỔI ĐIỆN ÁP LÀM VIỆC

1. Thay đổi số mạch nhánh song song để thay đổi điện áp

Đấu lại để thay đổi số mạch nhánh song song có thể thay đổi điện áp gấp một lần rưỡi đến hai lần bởi vì trong nhiều trường hợp ta có thể đấu để có $a = 1; 2; 3; 4...$

Đối với trường hợp máy một pha ta có thể đấu lại số mạch nhánh song song để sử dụng trong lưới 110 và 220V. Cụ thể là nếu động cơ điện có điện áp định mức 110V có dây quấn đấu $a = 2$, ta có thể đấu lại dây quấn của nó thành $a = 1$ để dùng trong lưới điện một pha 220V. Ngược lại nếu điện áp định mức của động cơ là 220V đấu $a = 1$, muốn dùng động cơ này trong lưới 110V ta có thể đấu lại dây quấn của nó thành $a = 2$. Trong hai trường hợp trên công suất động cơ coi như không đổi vì tích số UI không đổi.

Đối với trường hợp động cơ một pha có dây quấn khởi động ta phải đấu lại cả hai dây quấn, các phần tử mở máy như tụ điện, điện trở... cũng phải thay đổi theo. (Trị số tụ điện thay đổi tương tự như trong quấn lại).

Đối với máy phát điện một pha điện áp 110V, dây quấn phản ứng đấu $a = 2$ ta chỉ việc đấu lại $a = 1$ là được. Dây quấn kích thích giữ không đổi. Nếu máy phát tự kích thì cần phải chỉnh định lại hệ thống tự động điều chỉnh điện áp (phản hồi dòng và áp) cho phù hợp với điện áp mới và dòng điện mới.

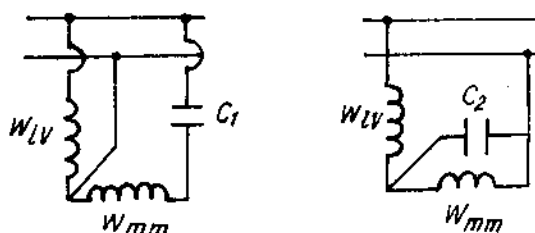
Đối với động cơ điện ba pha hoặc máy phát điện ba pha việc thay đổi số mạch nhánh song song để thay đổi điện áp rất khó giữ cho công suất không đổi. Hiện nay ta đang sử dụng lưới điện hạ áp 380V. Các động cơ điện áp định mức 220V, có dây quấn đầu $a = 2$, khi đấu lại $a = 1$ mà muốn giữ công suất không đổi phải làm việc ở điện áp 440V (vì vectơ sức điện động của hai nhóm bởi dây này trùng phương). Như vậy nếu cho động cơ này làm việc với lưới 380V ta đã giảm điện áp đi $440/380$ lần và do đó công suất cũng giảm đi bấy nhiêu lần. Nếu đấu lại để tăng số vòng dây nối tiếp của một pha lên 1,5 lần từ $a = 3$ xuống $a = 2$ thì không tương ứng với một cấp điện áp lưới nào cả.

Đối với máy phát điện ba pha việc đấu lại dây quấn phản ứng để thay đổi điện áp hoàn toàn tương tự như đối với động cơ điện ba pha. Dây quấn kích thích giữ không đổi, tuy nhiên cần thay đổi hệ thống tự động điều chỉnh điện áp cho phù hợp với điện áp và dòng điện mới (thay đổi phản hồi).

2. Thay đổi cách đấu giữa hai dây quấn làm việc và mở máy để thay đổi điện áp

Đối với động cơ chạy tự 110V, đầu $a = 1$ ta cũng có thể đấu lại dây quấn để chạy ở điện áp 220V theo sơ đồ hình 6-1. Theo cách này công suất động cơ không còn giữ được hoàn toàn như cũ nữa (giảm do dòng điện và $\cos\varphi$ giảm).

Trong trường hợp này trị số điện dung của tụ mới được chọn tăng lên $1,5 \div 2$ lần so với tụ cũ. Nếu động cơ đó là quạt thì việc điều chỉnh tốc độ không còn hiệu lực nữa vì số vòng dây điều chỉnh không còn thích hợp (ít quá).



Hình 6-1. Đấu lại động cơ một pha chạy tự 110V, $a = 1$ để làm việc trong lưới 220V.

3. Đấu nối tiếp máy điện với một phần tử khác để thay đổi điện áp làm việc

Đối với các động cơ nhỏ, một pha điện áp 110V, dây quấn đầu $a = 1$, muốn làm việc trong lưới 220V ta cũng có thể đấu nối tiếp nó với một phần tử khác để hạ điện áp, chẳng hạn một tụ điện, điện trở, cuộn kháng hoặc một động cơ khác tương tự. Các phần tử nối tiếp cần có tổng trở bằng tổng trở của động cơ một pha để điện áp phân bố đều trên hai thiết bị.

4. Đấu lại số sợi chập song song để thay đổi điện áp

Ta có thể đấu lại từ số mạch nhánh giảm đi một nửa để tăng điện áp làm việc lên hai lần. Phương pháp này khá nguy hiểm cho cách điện vòng dây vì các vòng dây tuy cạnh nhau nhưng có điện áp cao. Thường, khi gặp trường hợp số sợi chập song song $n_1 = 2$ nhưng số mạch nhánh song song $a = 1$, dây dẫn cốtông bằng sợi thủy tinh ta có thể áp dụng phương pháp này để tăng điện áp làm việc. Do số vòng dây tăng gấp đôi trong khi điện áp chỉ tăng 1,73 lần nên công suất của máy giảm $2/1,73$ lần.

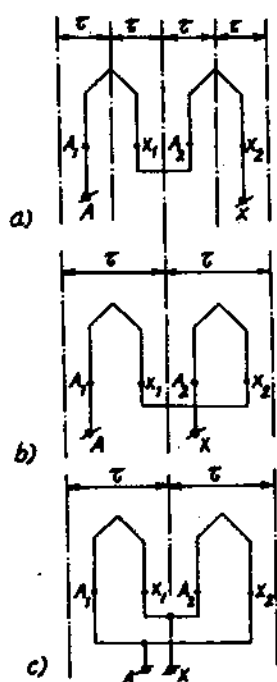
6-2. ĐẤU LẠI DÂY QUẤN ĐỂ THAY ĐỔI TỐC ĐỘ QUAY ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ RÔTÔ LÔNG SÓC

Đấu lại dây quấn để thay đổi tốc độ chỉ áp dụng được cho động cơ không đồng bộ rôtô lồng sóc. Đối với động cơ rôtô dây quấn việc đấu lại phức tạp vì phải đấu lại cả dây quấn rôtô. Đối với máy phát đồng bộ vì số cực của phần cảm đã cố định nên không thay đổi được. Thực chất của phương pháp này là đấu lại để thay đổi chiều dòng điện trong dây quấn để thay đổi số cực của nó.

Sơ đồ đấu dây trong trường hợp này như hình 6-2.

Khi đấu lại như vậy ta chỉ có thể thay đổi tốc độ hoặc gấp đôi hoặc bằng một nửa tốc độ cũ. Trong trường hợp thay đổi từ $2p = 4$ đến $2p = 2$, tốc độ động cơ tăng từ 1500 v/ph đến 3000 v/ph bước dây giảm nhanh nên hệ số dây quấn giảm nhiều (từ 0,96 xuống dưới 0,7), tốc độ làm mát tăng, tiết diện dây không đổi và có thể coi công suất gần như không đổi.

Đối với động cơ nhỏ (quạt dân dụng) người ta cũng dùng phương pháp đấu phối hợp song song - nối tiếp để thay đổi tốc độ nhưng chỉ thay đổi tốc độ trong phạm vi nhỏ.



Hình 6-2. Đấu lại dây quấn để thay đổi số cực của động cơ không đồng bộ.

Nếu động cơ ba pha đưa cả 6 đầu dây các pha ra hộp cực ta có thể đấu theo ba phương án sau (hình 6-4):

Hình 6-3a,b và 6-4a,b dùng cho trường hợp động cơ ba pha có điện áp định mức 220V đấu Δ (giả sử điện áp xoay chiều dùng cho chế độ một pha là 220V). Hình 6-3c dùng cho trường hợp điện áp định mức của động cơ ba pha bằng 380V đấu Δ . Hình 6-4c dùng cho trường hợp động cơ ba pha có điện áp 380V đấu Δ .

Trị số tụ điện làm việc tùy theo mỗi sơ đồ có thể tính được xuất phát từ điện áp ở chế độ một pha và dòng điện pha ở chế độ ba pha.

$$C_{lv} \approx K \frac{I_f}{U_l}, \mu F$$

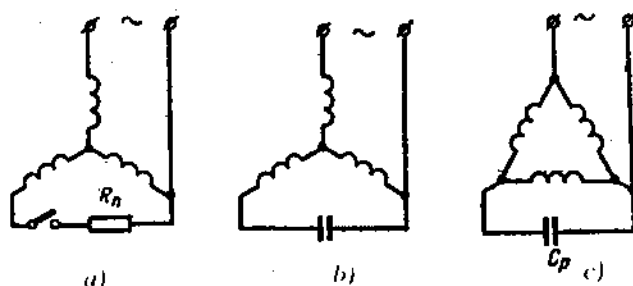
trong đó K là hệ số phụ thuộc vào sơ đồ đấu. Với tần số 50 Hz đối với sơ đồ hình 6-3b và 6-4b có thể lấy $K = 2800$; đối với sơ đồ hình 6-3c lấy $K = 4800$; đối với sơ đồ hình 6-4c lấy $K = 1600$.

Điện áp trên tụ U_c cũng phụ thuộc vào sơ đồ đấu và điện áp lưới.

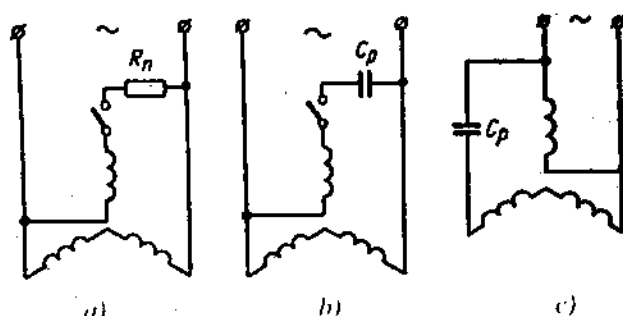
6-3. ĐẤU LẠI DÂY QUẤN ĐỂ THAY ĐỔI SỐ PHA

Ta có thể đấu lại một động cơ ba pha để làm việc trong lưới điện một pha. Trường hợp này thường xảy ra cả trong sản xuất lẫn sửa chữa. Lợi dụng cùng một bộ khuôn dập và công nghệ sản xuất dây quấn cho động cơ ba pha ta có thể sản xuất động cơ một pha bằng cách chỉ cần đấu lại dây quấn theo sơ đồ khác. Phần tử khởi động có thể là tụ điện hoặc điện trở. Số vòng dây ở chế độ ba pha được tính toán sao cho khi không cần sử dụng trong lưới một pha nữa có thể quay trở về chế độ ba pha.

Nếu một động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc ba pha chỉ đưa ra ba đầu dây (đầu chung không đưa ra ngoài hoặc đấu Δ sẵn trong dây quấn) ta có thể có ba phương án sau (hình 6-3):



Hình 6-3. Các phương án đấu lại động cơ ba pha thành một pha khi trên hộp cực chỉ có ba đầu ra.



Hình 6-4. Các phương án đấu lại động cơ ba pha thành một pha khi trên hộp cực có cả 6 đầu ra.

Đối với sơ đồ hình 6-3b và 6-3c có thể lấy U_c bằng điện áp lưới. Đối với sơ đồ hình 6-4b lấy $U_c = 1,15U_l$; đối với sơ đồ hình 6-4c lấy $U_c = 2U_l$.

Điện áp định mức của tụ cần chọn cao hơn trị số tính được ở trên.

Chú ý: Đối với trường hợp tụ điện chỉ dùng để mở máy, sau khi cắt mạch trên cực của tụ điện vẫn còn giữ điện áp khá lâu, cần thận trọng khi sửa chữa, để phòng bị điện giật. Để khắc phục hiện tượng này nên mắc một điện trở có trị số lớn (công suất nhỏ) trên hai cực của tụ để tiêu tán điện tích trên tụ khi ngắt mạch.

Trị số điện trở mở máy thường được xác định bằng kinh nghiệm thực tế và tốt nhất là dùng một biến trở điều khiển. Trị số sơ bộ của nó có thể xác định theo công thức:

$$R_{mm} = (1,3 \div 8) \frac{10^{-3} \cdot U_l}{q_{mm}}$$

Trong trường hợp nếu chỉ có tụ điện làm việc, động cơ một pha mở máy yếu thì có thể nối song song với tụ làm việc một tụ mở máy để tăng cường mômen mở máy nhưng sau đó phải cắt đi. Trị số của tụ mở máy thường tính theo công thức:

$$C_{mm} \approx (2,5 \div 3) C_{lv} \quad , \mu F$$

Mômen mở máy khi đó đạt gần bằng mômen định mức của động cơ ba pha.

CHƯƠNG 7

TẮM SẤY TRONG SỬA CHỮA THIẾT BỊ ĐIỆN

7-1. MỤC ĐÍCH VÀ Ý NGHĨA CỦA VIỆC TẮM SẤY DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN

Dây quấn sau khi chế tạo hoàn chỉnh được sấy khô, tẩm sơn cách điện rồi sấy khô sơn cách điện. Lúc này tất cả các vòng dây được liên kết với nhau thành một khối thống nhất, giữa các vòng dây không còn khe hở. Ý nghĩa của việc tẩm sấy như sau:

Tăng độ bền cơ của dây quấn. Các vòng dây do được liên kết với nhau bởi sơn cách điện nên không chuyển dịch tương đối so với nhau được, cách điện vòng dây sẽ không bị hỏng trong quá trình vận hành do máy điện rung.

Tăng cường độ cách điện cho vật liệu cách điện của dây quấn. Thực nghiệm cho thấy khi có tẩm sấy điện áp đánh thủng của vật liệu cách điện tăng lên.

Tẩm sấy làm tăng độ bền điện của vật liệu cách điện. Trong quá trình vận hành vật liệu cách điện bị suy giảm cường độ cách điện. Nếu qua tẩm sấy tốc độ suy giảm cách điện của vật liệu giảm, tuổi thọ của vật liệu cách điện tăng.

Tẩm sấy tốt vật liệu cách điện sẽ giảm khả năng hút ẩm, giữ được điện trở cách điện cao trong quá trình vận hành.

Tẩm sấy tốt dây quấn có khả năng chịu được sự phá hoại của môi trường (hóa chất, vi khuẩn...).

Tẩm sấy cũng làm tăng khả năng chịu nhiệt, khả năng truyền nhiệt tránh cho dây quấn không bị nóng cục bộ. Thông thường nếu được tẩm sấy tốt cách điện được nâng lên một cấp chịu nhiệt.

7-2. CÁC PHƯƠNG PHÁP SẤY MÁY ĐIỆN TRONG SỬA CHỮA

Sấy là quá trình đưa hơi ẩm trong dây quấn ra ngoài. Quá trình này dựa trên các nguyên tắc sau:

- Hơi ẩm chuyển dịch từ trong ra ngoài nhờ độ chênh nhiệt. Độ chênh nhiệt càng cao tốc độ vận chuyển dòng hơi ẩm càng nhanh. Vì vậy trong quá trình sấy cần phải thổi gió để làm mát mặt ngoài dây quấn theo chu kỳ.

- Hơi ẩm chuyển dịch từ trong ra ngoài nhờ chênh độ ẩm. Việc thổi gió hoặc cho đối lưu không khí khi sấy sẽ làm tăng nhanh quá trình khô, rút ngắn thời gian sấy.

- Hơi ẩm chuyển dịch từ trong ra ngoài nhờ độ chênh áp suất. Dòng hơi ẩm sẽ chảy càng nhanh nếu độ chênh áp suất trong và ngoài cách điện càng lớn. Vì vậy để rút ngắn thời gian sấy ta cần phải sấy dây quấn máy điện trong chân không.

Sấy được thực hiện đối với các máy điện sau khi sửa chữa, trong quá trình vận hành nếu thấy cách điện bị suy giảm do mưa gió gây ẩm ướt, các máy điện để lâu ngày không dùng tới (các động cơ chống ứng hoặc hạn...).

Một thiết bị được coi là không ẩm, có thể cho vận hành được cần bảo đảm các điều kiện sau:

- Hoàn toàn khẳng định được trong quá trình vận hành hoặc bảo quản không bị ẩm ướt.
- Điện trở cách điện đo được bằng megômet ở 75°C không nhỏ hơn:

$$R_{cd} = \frac{U_{dm}}{1000 + \frac{P}{100}}, \text{ M}\Omega$$

trong đó: U_{dm} - điện áp định mức của thiết bị; P - công suất định mức tính bằng kVA. Chú ý: trong bất cứ trường hợp nào R_{cd} cũng không được nhỏ hơn 0,5MΩ.

- Tỷ số điện trở cách điện đo được khi quay đều tay megômet sau 60 giây và 30 giây (do điện trở cách điện thay đổi theo thời gian tác động của điện áp):

$$K = \frac{R_{cd60}}{R_{cd30}} \quad \text{không nhỏ hơn } 1,3.$$

Những vấn đề cần chú ý trong quá trình sấy:

- Điện trở cách điện phụ thuộc vào nhiệt độ: nhiệt độ dây quấn càng cao, điện trở cách điện càng thấp.

- Không tăng giảm nhiệt độ của dây quấn quá nhanh vì như vậy sẽ làm cho cách điện vòng dây co giãn đột ngột gây nứt vỡ. Đối với các máy lớn tốc độ nâng nhiệt độ không quá 4 độ/giờ.

- Trong nhiều trường hợp dây quấn chỉ bị ẩm bề mặt, do đó trước khi quyết định sấy bằng phương pháp nào đó cần sấy sơ bộ bề mặt ngoài của dây quấn để kiểm tra.

Thiết bị và phương pháp sấy máy điện trong sửa chữa yêu cầu đơn giản, dễ sử dụng, có thể lưu động được, bảo đảm phục vụ được một phạm vi công suất và kích thước rộng rãi, thích hợp với điều kiện sản xuất đơn chiếc, lẻ tẻ.

1. Sấy bằng dòng điện ngắn mạch

Theo phương pháp này nhiệt lượng dùng để sấy là tổn hao trong chính dây quấn của máy điện sinh ra, năng lượng đó bằng:

$$N = mI^2r_f t$$

trong đó: m - số pha; I - dòng điện sấy chạy trong dây quấn pha; r_f - điện trở pha dây quấn; t - thời gian sấy.

Nguồn để sấy theo phương pháp này tốt nhất là nguồn xoay chiều hoặc một chiều có thể điều chỉnh được để thay đổi dòng sấy tùy theo công suất của thiết bị cần sấy. Việc điều chỉnh dòng sấy

có thể liên tục hoặc theo cấp. Sấy bằng dòng điện một chiều an toàn hơn vì không có sức điện động và do đó không làm ngắn mạch vòng dây khi cách điện còn thấp.

Ưu điểm của phương pháp này là hiệu suất cao, tốc độ gia nhiệt nhanh, nhiệt độ trong lòng dây quấn luôn cao hơn bên ngoài nên hơi ẩm chuyển ra ngoài nhanh hơn.

Nếu không có nguồn sấy chuyên dụng ta có thể vận dụng một trong các biện pháp sau đây để thay đổi dòng sấy:

- Nguồn sấy là một máy hàn hồ quang có nhiều cấp điều chỉnh.

- Thay đổi cách đấu (nối tiếp hoặc song song) giữa các pha, giữa stato và rôto để thay đổi dòng sấy (xem hình 7-1).

- Thay đổi cách đấu (nối tiếp hoặc song song) giữa các thiết bị để thay đổi dòng sấy. Phương pháp này chỉ áp dụng được cho trường hợp có nhiều máy điện có công suất bằng nhau.

- Thay đổi thời gian sấy để duy trì nhiệt độ sấy. Nếu dòng điện sấy quá lớn ta có thể sấy ngắn hạn lặp lại bằng cách đóng cắt định kì dòng điện sấy. Thay đổi thời gian đóng lặp lại ta có thể khống chế nhiệt độ sấy. Phương pháp này có nhược điểm là nhiệt độ dây quấn tăng nhanh dễ gây hỏng cách điện vòng dây.

Trong trường hợp là máy phát điện ta có thể sấy ngắn mạch bằng cách ngắn mạch đầu ra của dây quấn, cho máy chạy với tốc độ nào đó rồi tăng dần kích thích cho dòng điện tăng dần đến dòng sấy. Cần chú ý một điều ở đây là không được sấy không tải với điện áp định mức khi điện trở cách điện còn nhỏ vì như vậy dễ xảy ra trường hợp cách điện bị đánh thủng và bị phá hỏng hoàn toàn.

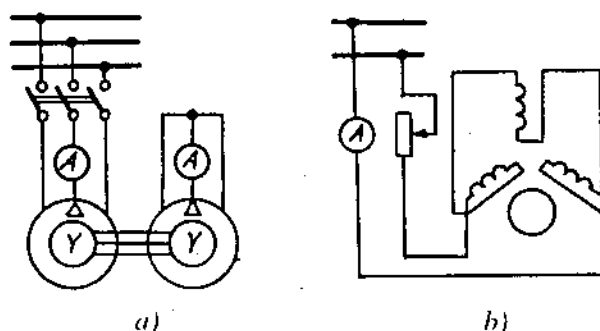
Sơ đồ đấu dây để sấy ngắn mạch máy phát điện một chiều và máy phát điện đồng bộ như hình 7-2a,b.

2. Sấy bằng nguồn nhiệt ngoài

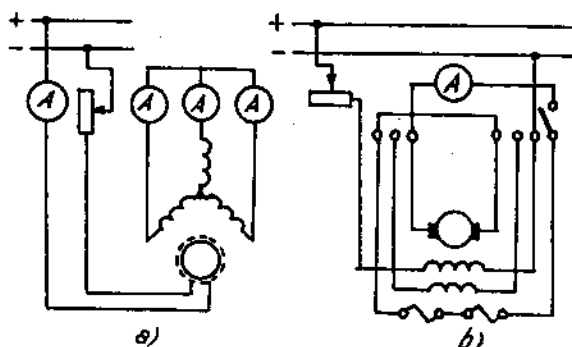
Nguồn nhiệt ngoài có nhiều dạng, có thể là bộ đốt chạy dầu, dây điện trở, bóng đèn sợi đốt, nhiệt thải từ các nhà máy như nhiệt điện, nhà máy xi măng... hoặc bất cứ nguồn nhiệt nào, thậm chí từ than đá.

Để thực hiện sấy theo phương pháp này chúng ta cần phải vây kín máy điện cần sấy thành một buồng sấy sao cho khí nóng đi từ đầu này đến đầu kia máy. Các nguồn nhiệt làm nóng không khí và luồng không khí này được thổi qua máy (hình 7-3).

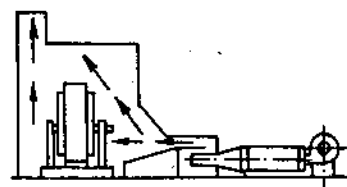
Phương pháp này cho hiệu suất thấp vì gió nóng đi qua máy mang cả nhiệt dư ra ngoài, mặt khác dây quấn được đốt nóng từ ngoài vào trong nên hơi ẩm khó thoát ra ngoài (dòng hơi ẩm ngược chiều dòng nhiệt). Yêu cầu của phương pháp này là khí nóng dùng để sấy phải sạch, không có bụi bặm và hơi hóa chất.



Hình 7-1. Các phương pháp đấu dây quấn để sấy bằng dòng ngắn mạch (a- đối với máy điện đồng bộ, b- đối với động cơ không đồng bộ).



Hình 7-2. Sấy ngắn mạch máy phát điện một chiều và máy phát điện đồng bộ.



Hình 7-3. Sấy bằng nguồn nhiệt ngoài thông qua gió nóng.

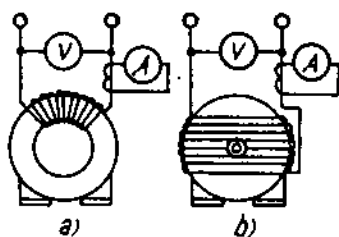
Ta cũng có thể sấy bằng cách cho nước nóng đi qua hệ thống ống xoắn để trong lòng stato máy điện. Việc gia nhiệt cho nước nóng có thể tiến hành bằng tất cả các nguồn nhiệt nói trên.

3. Sấy bằng phương pháp dùng tổn hao quạt gió

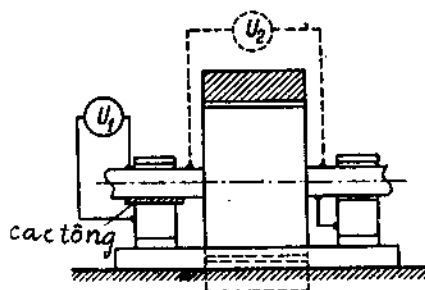
Phương pháp này thường áp dụng cho máy phát điện chạy nhanh. Nhiệt lượng để sấy là tổn hao của quạt gió. Lúc này dây quấn kích thích phải để hở mạch, còn dây quấn phản ứng phải ngắn mạch. Đối với máy phát điện lớn có làm mát bằng nước ta có thể tăng cường nhiệt năng sấy bằng cách đưa nước nóng vào hệ thống làm mát.

4. Sấy bằng phương pháp dùng tổn hao trong lõi thép stato

Quấn một dây quấn từ hóa xung quanh lõi thép stato như hình 7-4. Dây quấn được tính toán cho điện áp xoay chiều một pha.



Hình 7-4. Sấy bằng phương pháp dùng tổn hao trong mạch từ của stato.



Hình 7-5. Cách điện trực rôtô khi sấy.

Theo cách quấn dây quấn từ hóa này ta thấy tổn hao do dòng điện xoáy không những xảy ra trong mạch từ stato mà còn cả trong vỏ máy. Mặt khác ruột máy phải có khe hở lớn để luồn dây qua, chẳng hạn máy phát điện, máy điện một chiều. Riêng đối với máy điện không đồng bộ công suất lớn có thể luồn dây qua khoảng trống giữa các nan hoa của giá đỡ rôtô; đối với động cơ rôtô lồng sóc thường cần phải tháo rôtô ra ngoài. Trong trường hợp sấy có cả rôtô cần phải cách điện các cactông cách điện gối đỡ với nền hoặc cách điện trực máy với gối đỡ để không tạo thành vòng ngắn mạch (trục, gối đỡ, nền). Trong quá trình sấy ta có thể kiểm tra điện trở cách điện bằng cách đo điện áp giữa trục và gối đỡ (hình 7-5). Nếu điện trở cách điện tăng cao, điện áp U_1 xấp xỉ bằng điện áp U_2 giữa hai đầu trục. Hoặc ta cũng có thể dùng megômet đo điện trở cách điện ngay cả khi đang sấy vì dây quấn từ hóa không cảm ứng sức điện động trong dây quấn phản ứng.

Tính toán dây quấn từ hóa để sấy như sau:

Số vòng dây của dây quấn từ hóa được tính theo công thức:

$$W = \frac{45U}{QB}$$

trong đó: U - điện áp đặt lên dây quấn sấy, V; Q - tiết diện mạch từ, cm^2 ; B - Trị số từ cảm, T.

$$Q = k_c \cdot I_{\delta} \cdot h_1 = k_c \cdot (l_1 - n_g \cdot b_g) \cdot h_1$$

k_c - hệ số ép chặt lấy bằng $0,93 \div 0,95$.

Từ cảm trong trụ lấy khoảng $0,6$ đến $0,8T$.

Để tính dòng điện sấy cần tính sức từ hóa: $F = \pi D_{th}(A/\text{cm})$;

trong đó: D_{th} - đường kính trung bình của lõi thép stato, cm; A/cm - cường độ từ trường (trên một cm chiều dài mạch từ), phụ thuộc vào loại thép. Đối với thép kỹ thuật điện thông dụng tương ứng với $B = 0,6$; $0,7$; $0,8T$ ta có thể lấy cường độ từ trường bằng $2,2$; $2,8$; $3,7$.

Dòng điện trong dây quấn từ hóa được xác định theo công thức:

$$I = \frac{F}{W}$$

Dây dẫn dùng để quấn dây quấn sấy phải đảm bảo chịu nhiệt vì nhiệt độ trong khe hở không khí khá lớn. Mật độ dòng điện trong dây quấn sấy được chọn khoảng 70% so với trường hợp dây quấn phản ứng.

Để khống chế nhiệt độ sấy ta phải thay đổi từ cảm trong lõi thép nghĩa là thay đổi số vòng dây của dây quấn từ hóa.

5. Sấy bằng tổn hao trong vỏ stato

Trong trường hợp không thể hoặc không tiện tháo rôto ra ngoài ta có thể sấy máy điện bằng tổn hao trong vỏ của nó. Tất nhiên để sấy được, máy điện phải là loại có kết cấu không kín để hơi ẩm còn có đường thoát ra ngoài. Dây quấn từ hóa trong trường hợp này được quấn như hình 7-6.

Dây quấn từ hóa trong trường hợp này được tính như sau:

Công suất sấy cần thiết:

$$P_s = k.F(t_s - t_{mt}) \quad , \text{ kW}$$

trong đó: F - diện tích bề mặt vỏ máy, m^2 ; k - hệ số truyền nhiệt, lấy $k = 12.10^{-3} \text{ kW}/(m^2\text{độ})$ đối với trường hợp khi sấy không che chắn và $k = 5.10^{-3}$ đối với trường hợp khi sấy có che chắn để giữ nhiệt; t_s, t_{mt} - là nhiệt độ sấy và nhiệt độ môi trường.

Tổn hao riêng được xác định theo công thức:

$$\Delta P = \frac{P_s}{F_0} \quad , \text{ kW}/m^2$$

trong đó: F_0 - diện tích bề mặt vỏ máy, phần nằm dưới dây quấn từ hóa, m^2 .

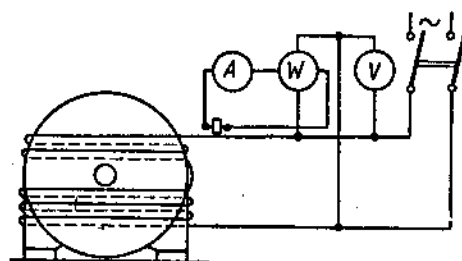
Số vòng dây của dây quấn từ hóa:

$$W = U \frac{A}{L}$$

trong đó: U - điện áp đặt lên dây quấn sấy, V ; L - chiều dài một vòng dây, m ; A - hệ số phụ thuộc vào trị số Δp và có thể chọn theo bảng 7-1.

Bảng 7-1. Hệ số A trong quan hệ với Δp

| Δp | A | Δp | A | Δp | A | Δp | A |
|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|
| 0,1 | 4,21 | 1 | 1,85 | 1,8 | 1,49 | 2,8 | 1,27 |
| 0,3 | 2,76 | 1,2 | 1,72 | 2,0 | 1,44 | 3,0 | 1,24 |
| 0,5 | 2,3 | 1,4 | 1,63 | 2,2 | 1,39 | 3,25 | 1,2 |
| 0,7 | 2,06 | 1,5 | 1,6 | 2,4 | 1,35 | 3,5 | 1,18 |
| 0,9 | 1,9 | 1,6 | 1,55 | 2,6 | 1,31 | 4,0 | 1,12 |



Hình 7-6. Sơ đồ đấu dây để sấy bằng phương pháp dùng tổn hao máy điện.

Dòng điện trong dây quấn sấy:

$$I = \frac{P_s}{U \cos \varphi} ;$$

trong đó $\cos \varphi$ có thể lấy sơ bộ 0,5 đến 0,7.

Tiết diện dây quấn được chọn thông qua việc chọn mật độ dòng điện khoảng 3 đến 4 A/mm².

7.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP TẮM SƠN MÁY ĐIỆN TRONG SỬ CHỮA

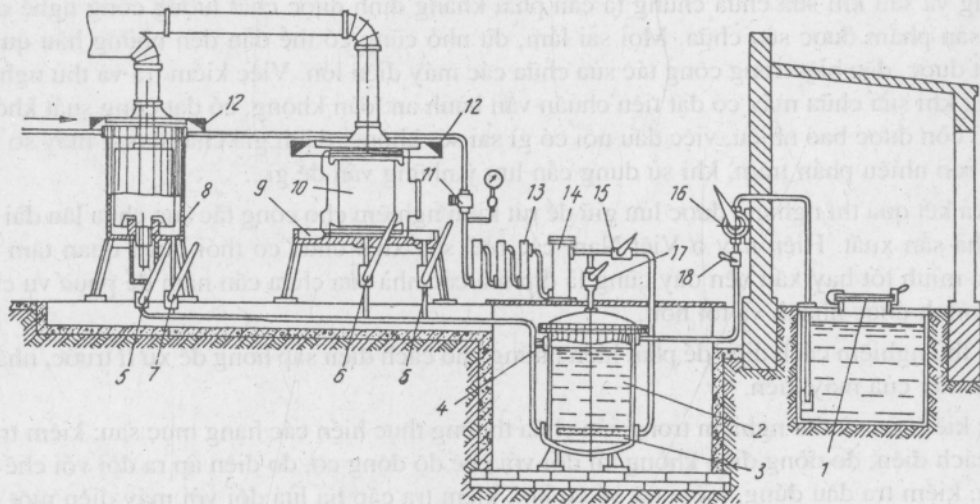
Hiện nay phương pháp thông dụng để tắm sơn trong sửa chữa ở các cơ sở nhỏ là dội sơn vào dây quấn. Dội sơn vào dây quấn có nhược điểm là sơn cách điện không thấm vào được mọi chỗ trong dây dẫn và cách điện, chất lượng tắm sấy không đảm bảo và chỉ áp dụng được cho những máy bé, máy kiểu kín và yêu cầu kỹ thuật không cao.

Việc nhúng chìm toàn bộ stato hoặc rôto trong bể sơn như trong sản xuất không áp dụng được vì vỏ máy sẽ bị dính sơn, vừa bẩn vừa lãng phí, mặt khác các cơ sở sửa chữa nhỏ không thể có thùng sơn kích thước lớn, đảm bảo phục vụ một phạm vi kích thước máy rộng rãi được.

Để nâng cao chất lượng tắm sấy ta có thể áp dụng các biện pháp sau:

- Đối với các máy điện nhỏ yêu cầu kỹ thuật không cao ta vẫn phải ngâm tắm trong thùng sơn. Phần vỏ dính sơn được lau sạch và sơn lại sau khi hoàn thiện việc sửa chữa.

- Đối với các cơ sở chuyên sửa chữa các máy lớn có thể trang bị một thiết bị tắm sấy phối hợp như trình bày trên hình 7-7. Trên hình 7-7 ta thấy có thể kết hợp tắm và sấy trên cùng một thiết bị nếu vỏ ngoài các thùng tắm được gia nhiệt. Ta cũng có thể cấu tạo một thiết bị tương tự để tắm sấy chân không và dưới áp lực bằng cách trang bị thêm máy hút chân không và tìm cách làm kín các thùng sấy. Một hệ thống như vậy tuy năng suất thấp nhưng cho chất lượng tắm sấy rất cao, có thể áp dụng ở các cơ sở nhỏ thường sửa chữa các thiết bị cao cấp.



Hình 7-7. Thiết bị tắm sơn các máy điện trong sửa chữa.

Trong hình 7-7: 1- thùng chứa dung môi; 2 - sơn cách điện; 3 - thùng sơn chứa sơn cách điện; 4 - ống dẫn sơn lên các thùng sấy; 5, 6, 15, 17, 18 - các van; 13, 14 - bộ lọc khí trước khi đưa vào thùng sơn; 11 - van khí nén; 12 - phễu hút hơi sơn.

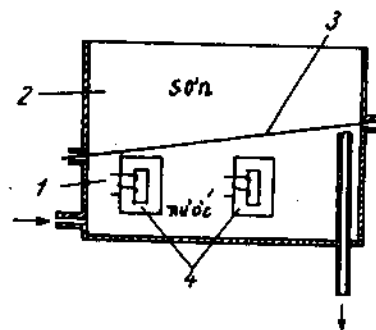
Đối với những cuộn dây hoặc máy điện nhiều vòng nhiều lớp nếu tắm ngâm sơn cách điện

không ngấm vào sâu được người ta thường áp dụng phương pháp tắm siêu âm. Hình 7-8 trình bày kết cấu một thùng tắm siêu âm dạng như vậy.

Thùng tắm gồm hai phần :

Phần dưới 1 đặt các phần tử phát xạ siêu âm 4 được cấp nguồn cao tần. Nước cấp vào thùng 1 được lưu động theo một chu trình kín. Giữa hai phần được cách li bằng một lớp đồng phôi pho đóng vai trò như một màng rung.

Phần trên 2 chứa sơn cách điện và các cuộn dây cần tắm. Theo phương pháp này sơn được thẩm thấu rất sâu, có thể giảm thời gian tắm từ 2,5 giờ xuống còn 2 phút.



Hình 7-8. Thùng để tắm siêu âm các cuộn dây máy điện.

CHƯƠNG 8

KIỂM TRA VÀ THỬ NGHIỆM THIẾT BỊ ĐIỆN TRONG CÔNG TÁC SỬ CHỮA

8-1. MỤC ĐÍCH CỦA CÔNG TÁC KIỂM TRA VÀ THỬ NGHIỆM TRONG SỬ CHỮA THIẾT BỊ ĐIỆN

Trong và sau khi sửa chữa chúng ta cần phải khẳng định được chất lượng công nghệ các công đoạn và sản phẩm được sửa chữa. Mọi sai lầm, dù nhỏ cũng có thể dẫn đến những hậu quả không lường hết được, đặc biệt trong công tác sửa chữa các máy điện lớn. Việc kiểm tra và thử nghiệm cho ta biết sau khi sửa chữa máy có đạt tiêu chuẩn vận hành an toàn không, có đạt công suất không, nếu không thì còn được bao nhiêu, việc đấu nối có gì sai sót không, đánh giá chất lượng máy so với máy mới còn bao nhiêu phần trăm, khi sử dụng cần lưu ý những vấn đề gì...

Tất cả kết quả thí nghiệm được lưu giữ để rút kinh nghiệm cho công tác sửa chữa lâu dài và cũng cho cả nhà sản xuất. Hiện nay ở Việt Nam các nhà sản xuất chưa có thói quen quan tâm đến sản phẩm của mình tốt hay xấu nên đây cũng là dịp mà các nhà sửa chữa cần nắm để phục vụ cho công việc của mình được nhanh và tốt hơn.

Việc thử nghiệm cách điện để phát hiện những chỗ cách điện sắp hỏng để xử lý trước, nhằm nâng cao độ tin cậy của máy điện.

Việc kiểm tra và thử nghiệm trong sửa chữa thường thực hiện các hạng mục sau: kiểm tra và thử nghiệm cách điện, đo dòng điện không tải đối với chế độ động cơ, đo điện áp ra đối với chế độ máy phát điện, kiểm tra đầu đúng, kiểm tra về cơ khí, kiểm tra cấp tia lửa đối với máy điện một chiều...

8-2. KIỂM TRA VÀ THỬ NGHIỆM CÁCH ĐIỆN CỦA THIẾT BỊ ĐIỆN

1. Đo điện trở cách điện

Điện trở cách điện được đo bằng megômét. Megômét về nguyên lí có hai loại chính: máy phát điện một chiều quay tay và megômét kiểu điện tử, kích điện áp một chiều lên cao từ nguồn pin. Việc đo điện trở cách điện dựa trên nguyên lí vôn-ampe ($R = V/A$). Tuy nhiên điện trở cách điện phụ thuộc

vào rất nhiều yếu tố: thời gian tác động của điện áp, điện áp định mức của megômet, trạng thái bề mặt của vật liệu cách điện, tình trạng cách điện của bản thân megômet, công suất của megômet...

Vì vậy mà khi dùng megômet để đo điện trở cách điện cần lưu ý những điểm sau:

- Khi dùng megômet để đo cách điện cần chú ý chọn megômet có điện áp thích hợp với điện áp định mức của máy điện, cụ thể là:

+ Dùng megômet 500V để đo cách điện các máy điện có $U_{dm} \leq 500V$.

+ Dùng megômet 1000V để đo cách điện các máy điện có $U_{dm} \leq 1000V$

+ Dùng megômet 2500V để đo cách điện các máy điện có $U_{dm} > 1000V$.

Nếu nhiệt độ dây quấn lớn hơn $75^{\circ}C$ thì cứ quá $20^{\circ}C$ giảm điện trở cách điện cho phép đi 2 lần so với trị số tính được theo công thức trên.

Điện trở cách điện cho phép được theo công thức:

$$R_{cd} = \frac{U_{dm}}{1000 + \frac{P}{100}}, M\Omega.$$

Nếu dùng megômet không đúng quy định trên thì kết quả đo được sẽ không có ý nghĩa, tức là không phản ánh đúng tình trạng cách điện của dây quấn. Chẳng hạn, dùng megômet 500V để đo cách điện một máy phát điện có điện áp định mức 6600V ta được 6 M Ω (dùng được) nhưng dùng megômet 2500V để đo ta chỉ được 0,3 M Ω (không dùng được); hoặc ngược lại nếu dùng megômet 2500V để đo cách điện một động cơ 380V, kết quả đo được sẽ rất bé, thậm chí gây đánh thủng, dẫn đến làm hỏng hoàn toàn cách điện của nó.

- Trị số cách điện đo được của các pha phải tương đối đều, không có trường hợp một pha nào đó có trị số thấp đột ngột mặc dù vẫn nằm trong phạm vi cho phép.

- Nếu đo điện trở cách điện ở trạng thái nóng hơn $75^{\circ}C$ thì cho phép giảm điện trở cách điện cho phép đi một nửa.

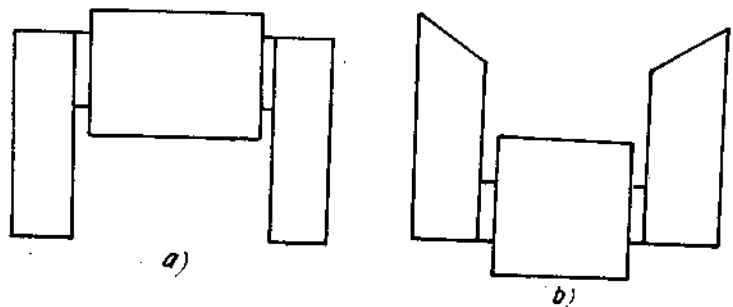
- Để tránh nhầm lẫn với độ ẩm bề mặt của cách điện nên sấy qua cho bay hết hơi ẩm bên ngoài trước khi đo.

- Trước khi đo cần kiểm tra xem megômet có về vô cùng không? (xem megômet có bị ẩm không).

2. Kiểm tra và thử nghiệm cách điện vòng dây

Để kiểm tra cách điện vòng dây ta dùng một thiết bị đơn giản gọi là rônha. Rônha bao gồm một mạch từ hở, trên đó quấn một cuộn dây có số vòng thích hợp với điện áp pha mà xưởng có (hình 8-1).

Về thực chất rônha tạo thành một nửa máy biến áp, gồm một nửa mạch từ và dây quấn sơ cấp. Nửa máy biến áp còn lại thuộc mạch từ và cuộn dây của máy điện mà ta cần kiểm tra.



Hình 8-1. Rônha dùng để kiểm tra cách điện cuộn dây:
a- rônha để kiểm tra stato; b- rônha để kiểm tra rôto

Mạch từ của rônha được ghép từ các lá tôn kỹ thuật điện, tổng tiết diện khoảng 10cm². Số vòng dây của rônha phụ thuộc vào tiết diện mạch từ và được tính như sau:

$$W_m = (40 \div 45) \frac{U_f}{Q_r}$$

trong đó: U_f - điện áp pha của lưới, V; Q_f - tiết diện mạch từ, cm^2

Đường kính dây chọn khoảng $0,2 \div 0,25 \text{mm}$.

Cách đặt rônha để kiểm tra bố trí dây trong một rãnh như hình 8-1b. Đặt điện áp vào rônha, dùng một lá thép mỏng đặt lên cùng rãnh kiểm tra hoặc rãnh có thanh dẫn của cùng một bố trí. Nếu lá thép bị hút (rung và kêu) thì trong bố trí dây kiểm tra có vòng dây bị chập. Để tránh nhầm lẫn, bố trí dây kiểm tra phải để hở mạch, không được nằm trong một mạch nhánh song song nào. Thay cho lá thép ta có thể dùng một rônha thứ hai gọi là rônha thu đặt trên cùng rãnh cần kiểm tra. Hai đầu cuộn dây của rônha này được nối với một von kế. Nếu khi kiểm tra ta thấy von kế chỉ là trong bố trí dây có vòng dây bị chập (cách điện bị hỏng).

Cũng theo cách này ta có thể thử nghiệm cách điện vòng dây, chỉ khác là điện áp cấp vào rônha phát phải là điện áp xung cao áp (khoảng $2,5 \div 3$ lần điện áp pha). Nếu thấy kim von kế nhảy là cách điện bố trí dây ở chỗ nào đó đã bị chọc thủng.

Đối với máy phát điện việc thử nghiệm cách điện vòng dây được thực hiện bằng cách cho tăng tốc độ và kích từ để tăng điện áp lên khoảng $1,25 \div 1,5$ điện áp định mức của máy.

3. Thử nghiệm cách điện giữa các pha với nhau, giữa các pha với vỏ, giữa cổ góp, vành trượt với trục được thực hiện bằng máy tạo cao áp (hình 8-2)

Máy tạo cao áp để thử nghiệm bao gồm một máy biến áp tự ngẫu để cấp điện áp vào thay đổi trơn trong khoảng $0 \div 220 \text{V}$, một máy biến áp tăng áp có điện áp ra khoảng $3 \div 6 \text{kV}$ khi điện áp sơ cấp 220V , một hệ thống rơle bảo vệ dòng điện rò hoặc cơ cấu cắt và chỉ thị khi cách điện bị đánh thủng. Ngoài ra máy còn có cơ cấu để đo điện áp, cơ cấu phóng điện sau khi thử để đảm bảo an toàn cho người vận hành.

Điện áp thử chúng ta có thể tham khảo bảng 8-1 và 8-2.

Trong bảng 8-1 cho các nấc điện áp thử tương ứng với cấp điện áp định mức của máy điện thuộc nhóm thứ nhất bao gồm các máy công suất đến 5000kW , tốc độ quay dưới 1500v/ph . Trên cơ sở bảng này ta thành lập được đặc tính:

$$I_r = f(U_{tn})$$

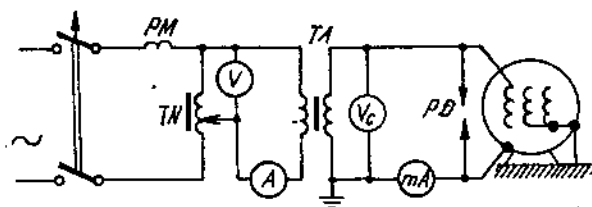
trong đó: I_r - dòng điện rò; U_{tn} - điện áp thử nghiệm.

Bảng 8-1. Điện áp thử đối với các động cơ thuộc nhóm một

| Điện áp định mức, kV | Các nấc điện áp thử, kV |
|----------------------|-------------------------|
| 3kV | 1,5; 3; 4,5; 6; 7,5 |
| 6kV | 3; 6; 9; 12; 15 |
| 10kV | 5; 10; 15; 20; 25 |

Trong bảng 8-2 cho trị số điện áp thử đối với nhóm các máy điện thuộc nhóm thứ hai, bao gồm các máy có công suất lớn hơn 5000kW , tốc độ trên 1500v/ph , các máy phát điện tua bin hơi, tua bin nước và các máy bù đồng bộ.

Tương tự như đối với nhóm một ta có thể lấy được đặc tính $I_r = f(U_{tn})$, μA . Quan hệ này có dạng như đồ thị hình 8-3, trên đó đường 1 ứng với bề mặt dây quấn bị ẩm, đường 2 ứng với bề mặt dây quấn khô (sau khi sấy).



Hình 8-2. Sơ đồ nguyên lý máy tạo cao áp để thử nghiệm cách điện của thiết bị điện.

Bảng 8-2. Điện áp thử nghiệm của các máy điện thuộc nhóm hai

| Công suất, kW | Điện áp định mức, kV | Điện áp thử nhỏ nhất, kV | Điện áp thử cực đại, kV |
|---------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Đến 1000 | Tất cả các điện áp | $0,5U_{dm}$ | $1,2(2U_{dm}+1)$ |
| Trên 100 | Đến 3,3 | $0,5U_{dm}$ | $1,2(2U_{dm}+1)$ |
| Trên 1000 | $3,3 \div 6,6$ | $0,5U_{dm}$ | $1,2, 2, 5U_{dm}$ |
| Trên 1000 | Trên 6,6 | $0,5U_{dm}$ | $1,15(2U_{dm}+3)$ |

Đối với máy kiểu hở hoặc kiểu bảo vệ, trước khi thử nghiệm phải làm sạch bụi bặm trên bề mặt phần đầu nối dây quấn bằng khí nén.

8-3. KIỂM TRA ĐẦU ĐÚNG DÂY QUẤN

Việc kiểm tra đầu đúng dây quấn rất quan trọng, đặc biệt đối với các máy điện lớn vì trong trường hợp này dễ dẫn đến hậu quả nghiêm trọng.

1. Đối với máy điện một chiều

Các sai sót khi đấu dây máy điện một chiều thường là: đấu sai đầu dây vào cổ góp, đấu sai dây quấn kích thích, đấu sai cực tính dây quấn cực từ phụ, dây quấn bù, vị trí chổi than sai...

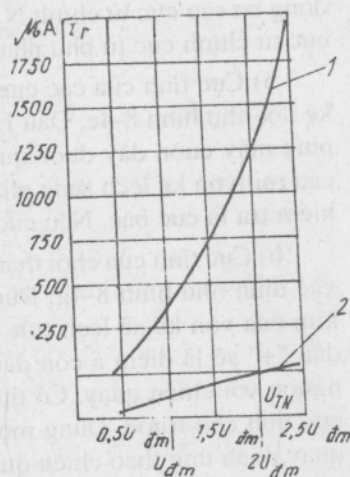
1) Kiểm tra sự tương ứng về cực tính của dây quấn kích thích nối tiếp và song song. Có hai cách kiểm tra: cách thứ nhất là đấu thử dây quấn kích thích song song với dây quấn nối tiếp ở cả hai chiều để theo dõi; cách thứ hai là dùng nguyên lý cảm ứng.

Theo phương pháp cảm ứng ta cần đấu mạch theo hình 8-4.

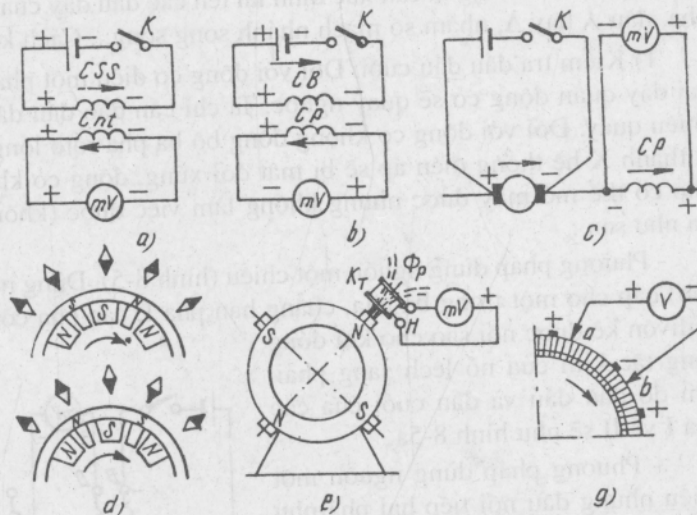
Thang đo của milivôn kế chọn đến $1000 \div 3000\text{mV}$. Nguồn một chiều có thể là pin hoặc acquy. Cách kiểm tra như sau: nếu khi đóng công tắc K, kim milivôn kế lệch sang phải (hoặc lệch sang trái khi ngắt) thì cực tính các cuộn dây kích thích song song và nối tiếp như hình vẽ (hình 8-4a).

2) Phương pháp này cũng được dùng để xác định cực tính của dây quấn bù và dây quấn cực từ phụ (hình 8-4b). Sau khi xác định được cực tính của các đầu ra dây quấn, ta nối tiếp các cực khử từ nghĩa là "+" của một dây quấn nối với "-" của dây quấn kia. Lúc đó sức từ động sẽ có tác dụng thích ứng.

3) Việc kiểm tra cực tính của dây quấn phản ứng và dây quấn cực từ phụ được thực hiện như hình 8-4c. Nếu dây quấn cực từ phụ được đấu xen kẽ với dây quấn bù thì milivôn kế được đấu trên các đầu ra chung của chúng. Chọn cực của milivôn kế sao cho khi đóng công tắc kim của nó lệch sang phải, theo hướng dương. Nếu đấu đúng thì sức từ hóa của dây quấn bù và dây quấn cực từ phụ phải ngược chiều với sức từ hóa của



Hình 8-3. Đặc tính $I_T = f(U_m)$.



Hình 8-4. Sơ đồ đấu điện để kiểm tra đầu đúng dây quấn máy điện một chiều.

phản ứng, bởi vậy ta dấu phản ứng và cực từ phụ sao cho cùng tên gọi. Thí dụ dương của phản ứng nối với dương của cực từ phụ.

4) Kiểm tra thứ tự và cực tính của cực từ chính và cực từ phụ được thực hiện nhờ một la bàn, hoặc một chiếc kim treo trên sợi chỉ (hình 8-4d). Chiếc kim nối ở đây ta có thể tự tạo bằng cách cắt từ một nửa lưỡi dao lam thành hình thoi hoặc dùng hai ngòi bút sắt gắn đối nhau rồi đánh dấu cực bằng màu. Đặt la bàn phía ngoài vỏ máy, phía trên hàng bulông kéo cực, cấp dòng điện một chiều vào dây quấn kích thích. Nếu cuộn dây đấu đúng, kim la bàn sẽ chỉ cực tính của các cực xen kẽ nhau. Nếu chưa biết cực tính của kim (trường hợp không có la bàn phải dùng một cái kim treo trên sợi chỉ) thì cực tính của các cực được chọn theo quy ước. Nếu kim la bàn kém nhạy thì tăng dòng kích thích lên 5-6%. Cực tính của cực từ phụ nếu đấu đúng thì phải như sau: theo chiều quay đã chọn ở chế độ động cơ sau cực từ chính N (hoặc S) phải có cực từ phụ cùng tên N (hoặc S); ở chế độ máy phát, sau cực từ chính cực từ phụ phải có cực tính ngược lại.

5) Cực tính của các cực từ phụ và chính có thể xác định được nhờ một ống dây và một milivôn kế nối như hình 8-4e. Đầu H của cuộn dây được nối với cực dương của milivôn kế là đầu mà nhìn từ phía máy cuộn dây được quấn theo chiều kim đồng hồ. Khi đưa nhanh cuộn dây lại gần máy, kim của milivôn kế lệch sang phải; khi đưa cuộn dây ra xa máy, kim đồng hồ lệch sang trái thì cực đang kiểm tra là cực bắc. Nếu cực là cực nam hiện tượng trên sẽ ngược lại.

6) Cực tính của chổi than, chiều quay và cực tính của cực từ chính phải phù hợp với nhau và được xác định như hình 8-4g. Dùng một vôn kế một chiều nối với hai điểm a và b. Khi đóng kích thích kim của vôn kế sẽ lệch (tức thời). Nếu kim lệch sang phải (với tên cực của vôn kế đã quy ước) thì dấu "+" sẽ là điểm a còn dấu "-" sẽ là điểm b. Các chổi gắn nhất có cực tính như vậy sẽ được đặt ngược với chiều quay. Có thể dùng một cách khác: cấp vào dây quấn kích thích một dòng điện có cực tính cho trước. Dùng một vôn kế có thang đo 15 - 30V nối với các chổi than, sau đó dùng tay quay phản ứng theo chiều quay cho trước. Hướng lệch của kim vôn kế chỉ ra cực tính của chổi.

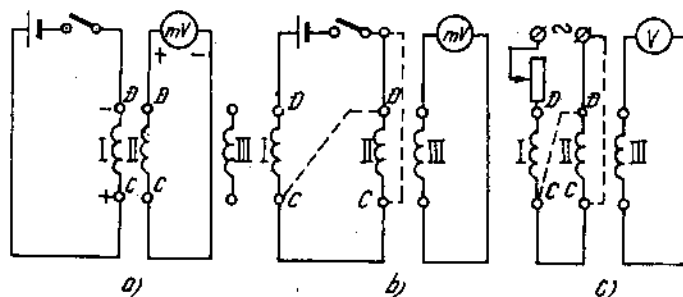
2. Đối với máy điện xoay chiều

Trong nhiều trường hợp chẳng hạn, sau khi lắp xong, sau khi sửa chữa, các động cơ lâu ngày bị mất hợp cực... Chúng ta cần xác định lại tên các đầu dây của các pha. Sự nhầm lẫn có thể ngược một pha, đầu Λ hay Δ , nhầm số mạch nhánh song song... Cách kiểm tra như sau:

1) Kiểm tra đầu dây cuối. Đối với động cơ điện một pha nếu nhầm đầu dây cuối của một trong hai dây quấn động cơ sẽ quay ngược. Ta chỉ cần đảo đầu dây của một pha (bất kì) động cơ sẽ đảo chiều quay. Đối với động cơ không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc nếu một pha bị ngược, chẳng hạn A thành X hệ thống điện áp sẽ bị mất đối xứng, động cơ không mở máy được, động cơ công suất nhỏ có thể mở máy được nhưng không làm việc được (không mang tải được). Phương pháp kiểm tra như sau:

- Phương pháp dùng nguồn một chiều (hình 8-5). Dùng một nguồn điện một chiều (ac quy chẳng hạn) cấp cho một trong ba pha, chẳng hạn pha I; các pha còn lại lần lượt được nối với milivôn kế. Milivôn kế được nối sao cho khi đóng công tắc kim của nó lệch sang phải. Khi đó đầu đầu và đầu cuối của các pha I và II sẽ như hình 8-5a.

- Phương pháp dùng nguồn một chiều nhưng đầu nối tiếp hai pha như hình 8-5b. Nếu khi đóng công tắc mà kim milivôn kế không động đây thì tức là ta đã nối hai pha theo đường liền nét (cuối nối với cuối). Nếu khi đóng hoặc ngắt công tắc, kim đồng hồ lệch thì cuối của pha này đấu với đầu của pha kia (đường nét đứt).



Hình 8-5. Cách đấu dây để xác định kí hiệu đầu dây của động cơ không đồng bộ ba pha.

- Phương pháp dùng nguồn xoay chiều. Dem hai pha đầu nối tiếp với nhau rồi đặt lên một điện áp xoay chiều (điện áp thấp). Pha thứ ba đấu với một vôn kế hoặc một bóng đèn. Nếu khi đóng điện mà kim vôn kế chỉ (hoặc bóng đèn sáng) thì tức là ta đã nối hai pha theo đường nét đứt (đầu với cuối); nếu đồng hồ không chỉ hoặc đèn không sáng thì tức là ta đã nối hai pha theo đường nét đậm (cuối với cuối). Một cách tương tự ta kiểm tra được đầu đầu và đầu cuối của pha thứ ba.

2) Nếu có một động cơ không đồng bộ ba pha không rõ dấu Λ hay Δ ta có thể xác định như sau: cho động cơ chạy ở chế độ dấu Λ , đo dòng điện không tải. Nếu dòng không tải quá nhỏ so với thông thường thì đấu lại cho chạy ở chế độ Δ . Nếu dòng không tải nằm trong phạm vi thông thường thì ta có thể kết luận động cơ đó dấu Δ . Trường hợp này cần phân biệt với sự nhầm lẫn về số mạch nhánh song song vì rất có thể chẳng hạn đáng lẽ số mạch $a = 2$ thì đấu thành $a = 1$. Gặp trường hợp này cần kết hợp với tính toán để phân biệt.

8-4. ĐO CÁC THÔNG SỐ KỸ THUẬT SAU SỬA CHỮA

1. Đo dòng điện không tải của động cơ không đồng bộ

Dòng điện không tải của động cơ không đồng bộ nằm trong phạm vi sau:

- Đối với máy $2p = 2$ dòng không tải khoảng $(25 \div 30)\% I_{dm}$.
- Đối với máy $2p = 4$ dòng không tải khoảng $(30 \div 35)\% I_{dm}$.
- Đối với máy $2p = 6 \div 8$ dòng không tải khoảng $(40 \div 60)\% I_{dm}$.
- Đối với máy $2p = 10 \div 12$ dòng không tải khoảng $(60 \div 80)\% I_{dm}$.

Dòng không tải còn phụ thuộc công suất, đối với các động cơ công suất trên 20kW dòng không tải giảm so với các trị số trên khoảng 5%.

Dòng không tải thường đo bằng ampe kế kiểu kim để tránh đo cả dòng khởi động của động cơ.

Trị số dòng không tải phản ánh việc quấn đúng số vòng dây, đấu đúng số mạch nhánh song song, đấu đúng phối hợp các pha với nhau (Λ hay Δ), đấu đúng ký hiệu đầu, đầu cuối. Trị số dòng không tải các pha nói chung phải bằng nhau, tuy nhiên cũng có trường hợp không bằng nhau do nhiều nguyên nhân trong đó có nguyên nhân do lưới không đối xứng về điện áp và tổng trở. Trong trường hợp đó cần đảo pha lưới rồi cho chạy lại. Nếu pha nào đó có trị số dòng không tải lớn bấy giờ lại có dòng bé thì sự mất đối xứng là do lưới.

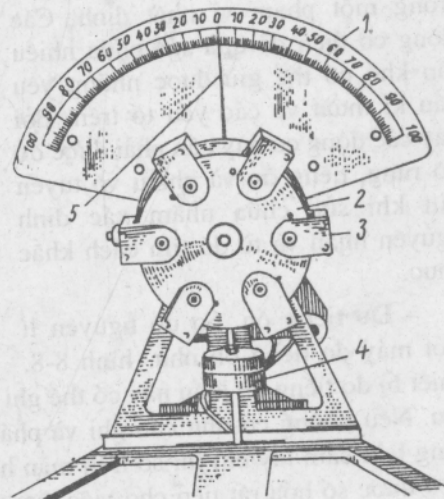
2. Thí nghiệm kéo tải trực tiếp

Đối với động cơ không đồng bộ rất ít khi thí nghiệm kéo tải sau sửa chữa vì không cần thiết. Thí nghiệm kéo tải thường áp dụng cho máy điện một chiều, mục đích là để kiểm tra mức độ tia lửa dưới chổi than, kiểm tra độ bền cơ của dây quấn, trên cơ sở đó kiểm tra xem việc hàn nối các đầu dây của dây quấn vào cổ góp có đúng hay không.

Đối với máy phát điện nói chung công suất dưới 100kW ta có thể dùng tải nước hoặc tải bằng dây điện trở. Đối với máy phát điện công suất lớn hơn phải dùng tải điện trở.

Đối với động cơ điện một chiều công suất dưới 10kW ta có thể dùng phanh hãm điện từ hoặc chuyển sang thử ở chế độ máy phát điện. Dùng phanh hãm điện từ ta có thể kết hợp đo mômen của động cơ. Hình 8-6 trình bày một số kiểu phanh hãm điện từ dùng để thí nghiệm kéo tải động cơ điện.

Phanh hãm điện từ làm việc trên nguyên tắc cảm ứng



Hình 8-6. Phanh hãm điện từ để thử tải động cơ điện:

- 1- bảng chia độ; 2- đĩa thép; 3- cực từ; 4- đối trọng; 5- kim quay.

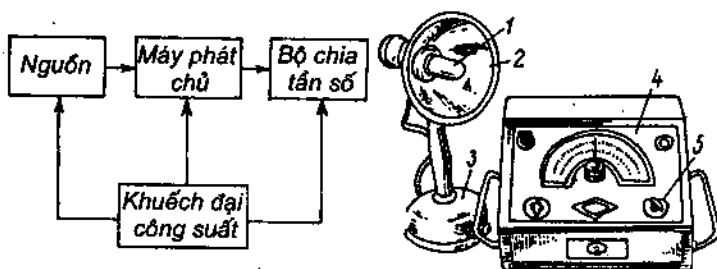
sức điện động trong một đĩa thép liên khối khi quay trong một từ trường không đổi nhờ các nam châm điện một chiều tạo ra. Công suất tiêu hao và mômen cản do dòng điện xoáy (phúcô) tạo ra. Đo công suất tiêu thụ của động cơ bằng woat kế còn mômen thì đọc trực tiếp trên bảng chia độ gắn trên phần tinh của phanh hãm.

Đối với công suất không lớn lắm ta có thể tạo tải bằng phanh hãm ma sát ép lên đầu trục hoặc puli nối trục.

Đối với động cơ điện một chiều làm việc ở chế độ khởi động trực tiếp và đổi chiều quay liên tục, đặc biệt trong các thiết bị quan trọng, sau khi quán lại cần được thử nghiệm nhiều lần giống như ở chế độ làm việc thật.

3. Đo tốc độ động cơ điện

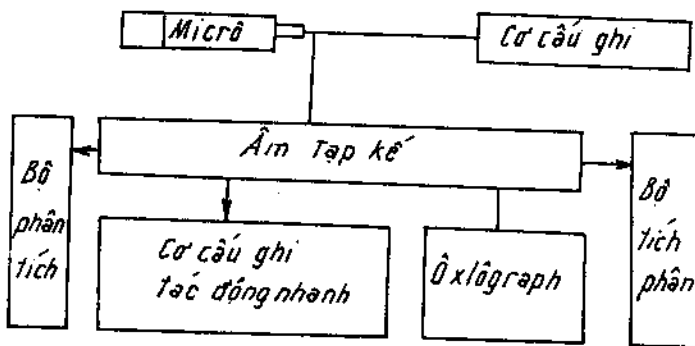
Ta có thể kiểm tra tốc độ động cơ bằng thiết bị đo kiểu cơ khí (dùng tốc độ kế ấn vào đầu trục động cơ để đo). Phương pháp này có ưu điểm là đơn giản vốn đầu tư thấp tuy nhiên nhược điểm là không đo được tốc độ các máy điện công suất nhỏ, tín hiệu tốc độ khó chuyển vào bộ xử lý để đưa vào máy vi tính. Ngày nay người ta đã chế được những thiết bị đo tốc độ kiểu xung, kiểu ánh sáng... cho phép đo gián tiếp tốc độ các trục bé, đạt độ chính xác tới $0,01 \div 0,00001\%$ nếu dùng bộ cảm biến (đattric) quang hoặc tần số kế (hình 8-7).



Hình 8-7. Thiết bị đo tốc độ hiện đại:
1- bóng đèn; 2- pha đèn; 3- đế đèn;
4- bảng chia; 5- nút chỉnh tần số.

4. Đo mức độ tiếng ồn, dao động và nhiễu vô tuyến

Trong một số thiết bị quan trọng động cơ điện cần được khống chế mức độ rung, tiếng ồn và nhiễu vô tuyến trong một phạm vi nhất định. Các động cơ điện đã qua sửa chữa nhiều lần khó có thể giữ được những yêu cầu kỹ thuật về các yếu tố trên. Bởi vậy các động cơ này cần phải được đo độ rung, tiếng ồn và nhiễu vô tuyến sau khi sửa chữa nhằm xác định nguyên nhân và từ đó tìm cách khắc phục.

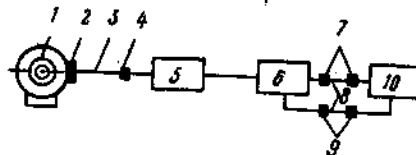


Hình 8-8. Sơ đồ nguyên lý máy đo độ ồn.

- Đo tiếng ồn. Sơ đồ nguyên lý một máy đo tiếng ồn như hình 8-8.

Thiết bị đo tiếng ồn kiểu này có thể ghi và phát lại để nghiên cứu. Nếu không có nhu cầu ghi và phát lại người ta thường dùng loại cầm tay chỉ thị số trên màn hình tinh thể lỏng, tín hiệu được số hóa rất tiện cho việc đưa vào xử lý trên máy vi tính.

- Đo dao động. Thiết bị để đo dao động hay độ rung của máy điện gồm có (hình 8-9): 1- động cơ thí nghiệm; 2- đattric đo; 3- cáp dẫn; 4- các đầu cực; 5- tiền khuếch đại;



Hình 8-9. Sơ đồ nguyên lý đo độ dao động của máy điện.

6- tạp âm kể; 7,9-các đầu cực; 8- cáp dẫn; 10- cơ cấu ghi. Khi thử nghiệm động cơ được cố định trên nền cứng hoặc đàn hồi, bộ cảm biến (đattric) được đặt trên nắp máy theo ba hướng XYZ khác nhau.

- Đo nhiễu radio. Các máy điện một chiều hoặc các máy điện xoay chiều có cổ góp khi làm việc đều phát nhiễu vô tuyến do có sự đánh lửa dưới chổi than. Trong một số thiết bị (rada chẳng hạn) sự phát nhiễu của động cơ một chiều dù ít cũng không chấp nhận được. Bởi vậy mặc dù không nhìn thấy tia lửa dưới chổi than nhưng cường độ phát nhiễu đã quá mức độ cho phép. Trong trường hợp đó cần phải có thiết bị đo nhiễu vô tuyến sau khi sửa chữa máy điện để khẳng định mức độ nhiễu trước khi xuất xưởng.

Việc đo nhiễu vô tuyến được tiến hành trong phạm vi tần số $0,15 \div 30$ MHz. Đơn vị của nó được chọn là đêxiben so với $1 \mu V$:

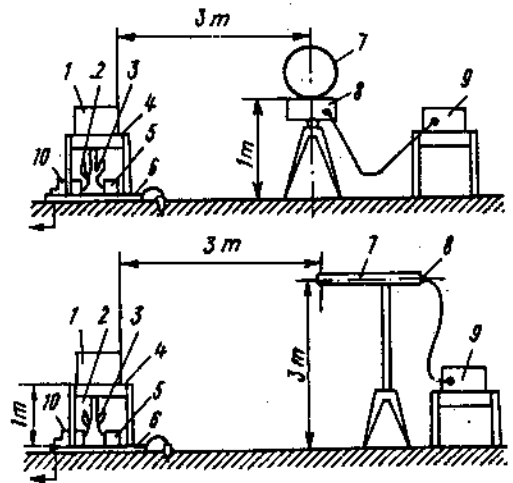
$$1db = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}$$

trong đó: U_1 - điện áp của nhiễu (μV) đo được ở một tần số bất kì trong khoảng trên; $U_2 = 1 \mu V$ là trị số cơ sở.

Thiết bị để đo cường độ nhiễu bao gồm một anten và một microvôn kế. Việc bố trí thiết bị để đo như hình 8-10.

Trên sơ đồ ta có: 1- động cơ thí nghiệm; 2- cáp dẫn; 3- cáp ra; 4-mâm quay; 5- tải; 6- tấm kim loại; 7- anten; 8- giắc cắm anten; 9- cơ cấu đo nhiễu.

Hiện nay một số cơ sở sửa chữa yêu cầu chất lượng cao đã bắt đầu đầu tư để tăng cường công tác kiểm tra và thử nghiệm máy điện sau sửa chữa bằng việc đưa máy vi tính vào để chỉ thị, xử lí và quản lí kết quả thử nghiệm.



Hình 8-10. Sơ đồ bố trí thiết bị để đo cường độ phát nhiễu vô tuyến của máy điện.

CHƯƠNG 9

ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY BIẾN ÁP VÀ CÔNG TÁC SỬ CHỮA MÁY BIẾN ÁP

9-1. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CƠ BẢN VÀ KẾT CẤU CỦA MÁY BIẾN ÁP

I. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CƠ BẢN CỦA MÁY BIẾN ÁP

Như ta đã biết máy biến áp là một thiết bị điện từ tĩnh, làm việc trên nguyên lý cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi một hệ thống dòng điện có điện áp này thành một hệ thống dòng điện có điện áp khác với tần số không đổi.

Ta có thể hình dung một máy biến áp đơn giản như hình 9-1. Máy biến áp gồm có một mạch từ, trên đó quấn hai dây quấn sơ cấp W_1 và thứ cấp W_2 . Nếu đặt điện áp xoay chiều U_1 vào dây quấn sơ cấp W_1 trong nó sẽ có dòng điện I_1 . Dòng điện này sinh ra trong mạch từ một từ thông Φ , móc

vòng với cả hai dây quấn và cảm ứng trong chúng các sức điện động E_1 và E_2 . Nếu trên đầu ra của mạch thứ cấp có tổng trở tải Z_t thì trong nó sẽ có dòng điện I_2 chạy. Trên các cực của tải sẽ có điện áp U_2 . Nếu không kể điện áp rơi trên các dây quấn thì có thể coi gần đúng $U_2 \approx E_2$; $U_1 \approx E_1$.

Nếu dòng điện trong dây quấn sơ cấp biến đổi hình sin với tần số f_1 thì dòng điện và điện áp trong dây quấn thứ cấp cũng biến đổi hình sin với cùng tần số đó. Từ thông do các dòng điện sinh ra cũng có dạng hình sin.

Tỉ số biến đổi điện áp giữa các dây quấn k được tính như sau:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

Máy biến áp có các đại lượng định mức sau:

- Dung lượng hay công suất định mức S_{dm} là công suất biểu kiến của máy biến áp đưa ra trên dây quấn thứ cấp của nó, được tính bằng kVA hoặc VA.
- Điện áp định mức của máy biến áp là điện áp dây trên các dây quấn khi không tải, tính bằng kV hoặc V.
- Dòng điện định mức là dòng điện chảy trong các dây quấn khi có tải ứng với công suất và điện áp định mức, tính bằng kA hoặc A.
- Tần số định mức f_{dm} tính bằng Hz, trong lưới điện của ta $f_{dm} = 50$ Hz.

Hiện nay trong lưới điện có rất nhiều máy biến áp đang hoạt động, tựu trung có các loại chính sau:

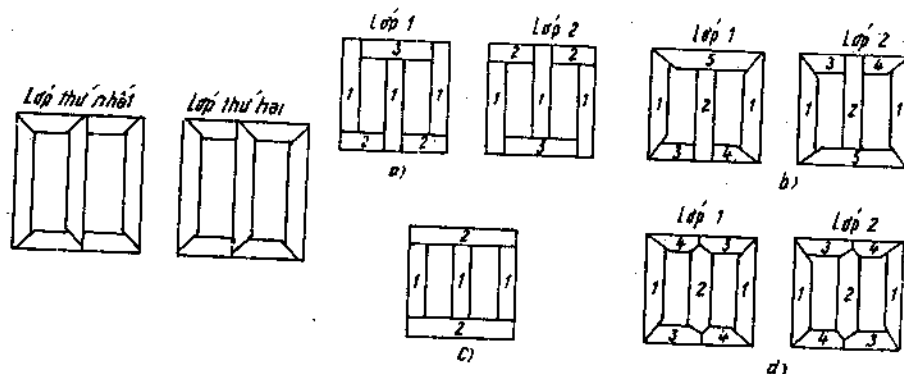
- Máy biến áp điện lực dùng để truyền tải và phân phối điện năng.
- Máy biến áp đặc biệt dùng để chỉnh lưu cho các thiết bị mạ, điện phân... lò điện; các máy biến áp dùng trong đo lường, điều khiển, thí nghiệm...

II. KẾT CẤU MÁY BIẾN ÁP

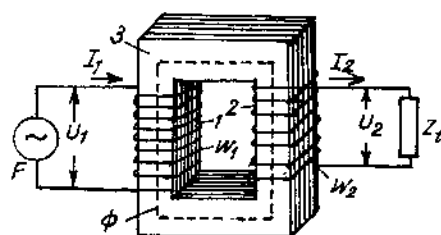
1. Mạch từ của máy biến áp

Mạch từ của máy biến áp được ghép từ các lá tôn kỹ thuật điện được cách điện với nhau. Tôn để dùng làm mạch từ của máy biến áp có thể là tôn cán nóng hoặc cũng có thể là tôn cán nguội nhưng có chất lượng cao (độ từ thẩm cao, suất tổn hao thấp).

Có rất nhiều kiểu ghép mạch từ. Hình 9-2 trình bày một số kiểu ghép điển hình: hình 9-2a là các cách ghép mạch từ phẳng.

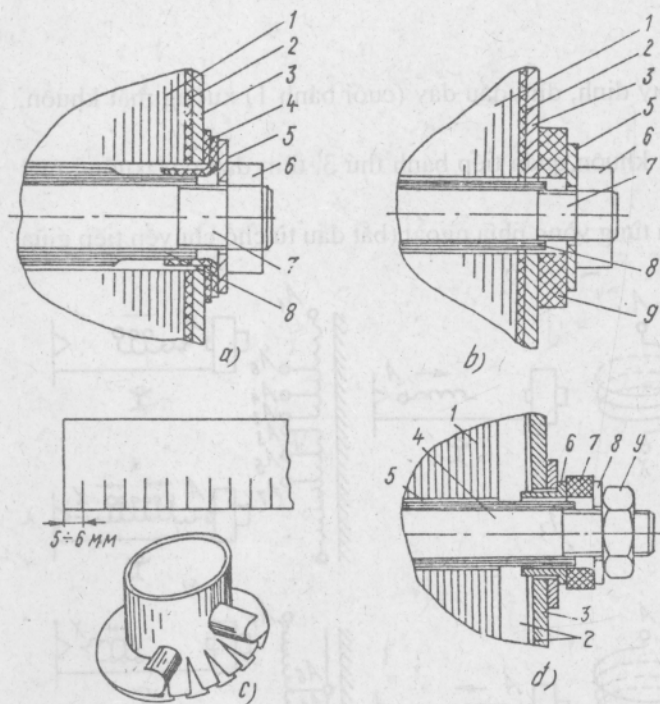


Hình 9-2. Các phương pháp ghép các lá tôn để tạo thành mạch từ máy biến áp.

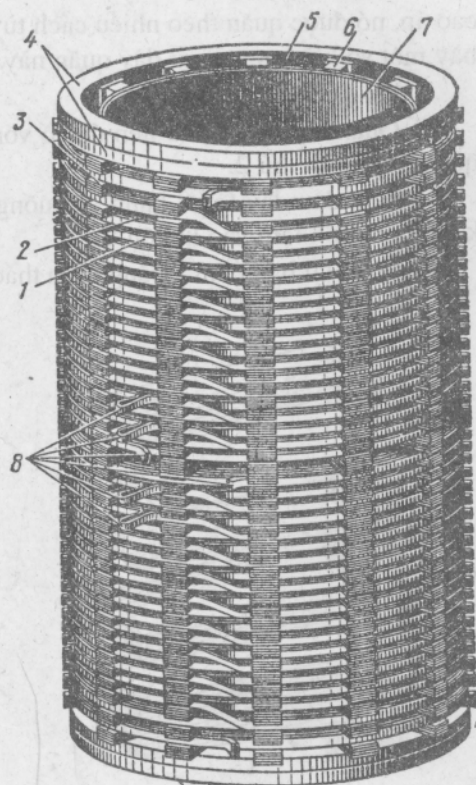


Hình 9-1. Nguyên lý làm việc của máy biến áp:

- 1- dây quấn sơ cấp; 2- dây quấn thứ cấp;
- 3- mạch từ.



Hình 9-3. Ép trụ và gông mạch từ bằng bulông ép:
1- lõi thép; 2- tấm cách điện; 3- xà ép gông; 4- vành đệm cách điện; 5- vành đệm thép; 6- êcu; 7- ty ép; 8- vành đệm cách điện ống; 9- vành đệm cách điện.
a, b, d- một số phương pháp xử lý cách điện giữa bulông ép và mạch từ; c- cách tạo vành cách điện ở đầu lõi xuyên.



Hình 9-4. Dây quấn xoắn ốc liên tục:
1- bánh dây; 2- rãnh thông dầu; 3- tấm cách; 4- vành cách điện chặn; 5- rãnh dầu dọc; 6- thanh khuôn; 7- ống cách điện; 8- các đầu phân nhánh điều chỉnh điện áp.

Phương pháp ghép hiện đại nhất hiện nay là ghép chéo góc cho tổn hao trong mạch từ nhỏ nhất. Kết cấu mạch từ kiểu không gian như trong hình 9-2b rất tiện cho sản xuất hàng loạt và công tác sửa chữa vì rất dễ cơ khí hoá, tự động hóa và dễ tháo dỡ, lắp ráp.

Lõi thép được ép bằng xà ép gông và các bulông ép. Hình 9-3 mô tả một số cách xử lý các mối ghép bulông đối với trụ và gông. Ta thấy đối với mạch từ thế hệ mới hiện nay việc ép và cố định mạch từ không dùng bulông xuyên mà chỉ bắt chặt ở phía ngoài. Các bulông cần phải được cách điện với mạch từ. Trụ được ép chặt bằng phương pháp đai như hình 9-3b.

2. Dây quấn máy biến áp

Máy biến áp có bốn kiểu dây quấn chính. Sau đây ta điểm qua kết cấu và cách quấn các kiểu dây quấn đó.

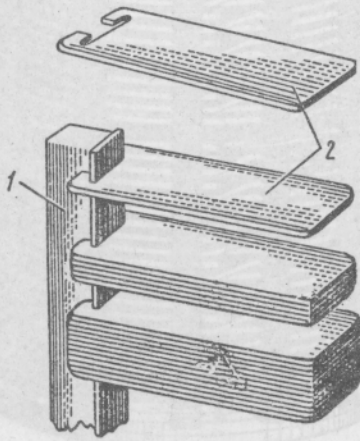
1) Dây quấn xoắn ốc liên tục. Đây là kiểu dây quấn mà các vòng dây của một pha được quấn vừa xoắn ốc vừa liên tục. Nó bao gồm nhiều bánh dây, trong mỗi bánh dây các vòng dây nối tiếp nhau được quấn theo hướng kính (vòng sau chồng lên vòng trước), các bánh dây được quấn liên tục và được cách nhau một khoảng bởi các tấm cách bằng bìa các tông cách điện (hình 9-5). Hình 9-4 là một cuộn dây hoàn chỉnh được quấn theo kiểu xoắn ốc liên tục.

Tùy theo kiểu cấu tạo các cuộn dây xoắn ốc liên tục có thể khác nhau về số lượng bánh dây, số vòng trong một bánh, tiết diện và số sợi chập, cách điện của vòng dây, số tấm cách giữa các bánh dây. Dây quấn xoắn ốc liên tục có thể quấn được nhiều vòng nên thường được dùng làm dây quấn

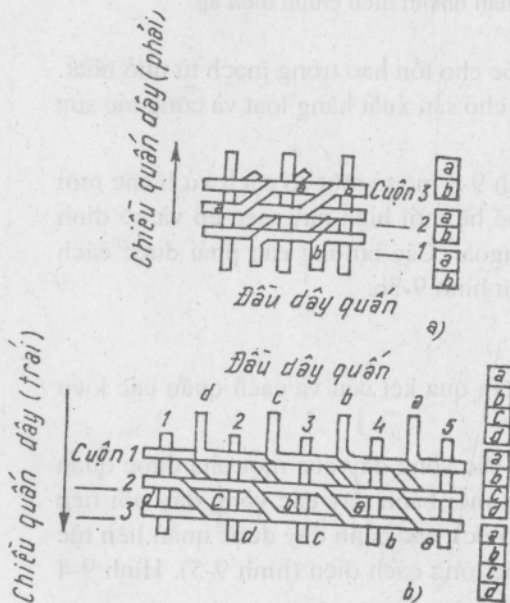
cao áp, nó được quấn theo nhiều cách tùy theo cách lấy đầu ra để điều chỉnh điện áp. Hình 9-6 trình bày một số kiểu quấn loại dây quấn này.

Cách quấn như sau :

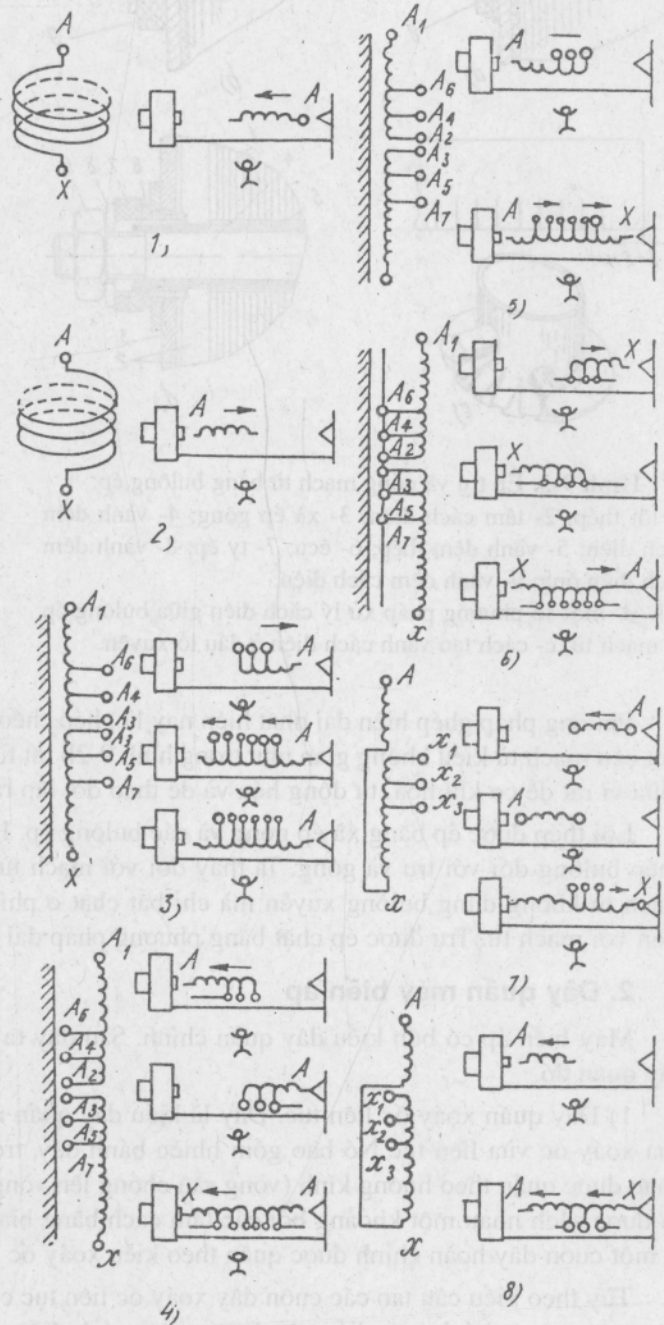
- + Quấn bánh dây đầu tiên đủ số vòng quy định, đim đầu dây (cuối bánh 1) xuống mặt khuôn, quấn tiếp bánh thứ 2.
- + Đim đầu dây (cuối bánh 2) xuống mặt khuôn quấn tiếp bánh thứ 3, đim đầu dây xuống mặt khuôn cố định tạm vào khuôn.
- + Quấn lại bánh thứ 2 bằng cách tháo dần từng vòng phía ngoài (bắt đầu từ chỗ chuyển tiếp giữa



Hình 9-5. Các tấm cách điện để ấn định khoảng cách giữa các bánh dây:
1- thanh khuôn; 2- tấm cách bằng cactong



Hình 9-7. Chuyển tiếp giữa các cuộn dây chập ba:
a,b- hoán vị các sợi dây chập.



Hình 9-6. Quấn dây quấn xoay ốc liên tục bằng các cách khác nhau.

bánh 2 và 3). Kết quả là chỗ chuyển tiếp giữa bánh 1 và 2 ra phía ngoài; chỗ chuyển tiếp giữa bánh 2 và 3 nằm sát mặt khuôn.

Quá trình cứ như vậy cho đến hết tất cả các bánh. Tất cả các bánh số lẻ đều được quấn lại. Cuộn cuối cùng sẽ có chỉ số chẵn. Trước khi quấn một bánh mới cần gạt một số tấm cách (đã quy định) để ấn định khoảng cách giữa các bánh dây. Để quấn được kiểu này ta thấy dây dẫn dùng để quấn luôn phải là dây có tiết diện chữ nhật.

Theo cách quấn này cuộn dây dễ bị sự cố chập vòng nhưng ít có sự cố chập giữa các bánh dây với nhau vì giữa chúng có khoảng cách khá lớn.

Nếu cuộn dây được quấn từ một số sợi chập song song thì các sợi dây dẫn cần phải được hoán vị để chúng có chiều dài bằng nhau và có vị trí như nhau trong từ trường tản. Muốn vậy khi chuyển tiếp giữa các bánh dây cần chuyển các sợi lần lượt trên các khoảng thanh khuôn khác nhau (hình 9-7).

Nếu số vòng dây trong một bánh dây là số nguyên thì chỗ chuyển tiếp của tất cả các bánh dây sẽ nằm thẳng hàng trên đường sinh của cuộn dây (hình 9-8a). Nếu số vòng dây trong một bánh dây là một phân số thì các chỗ chuyển tiếp sẽ không thẳng hàng (hình 9-8b).

Nếu các bánh dây này được quấn chập từ nhiều sợi thì ta lấy sợi giữa để làm căn cứ tính (hình 9-9).

Khi quấn các cuộn dây xoay ốc liên tục cao áp (110-330 kV) người thợ quấn dây cần phải lắp thêm các chi tiết bảo vệ như vòng chắn, vòng điện dung. Các vòng chắn, vòng điện dung, cuộn dây được nối với nhau. Sơ đồ lắp vành chắn như hình 9-10.

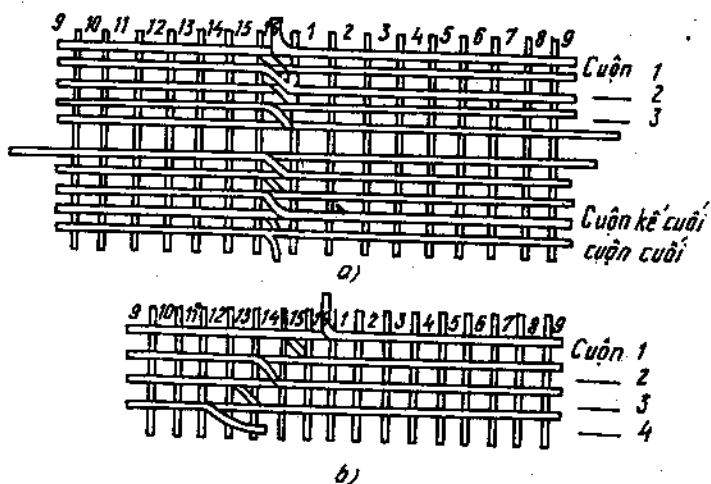
Cuộn dây kiểu đĩa thường có một đến hai bánh dây, các vòng dây được bọc cách điện tăng cường để chịu điện áp cao khi quá điện áp.

Vòng điện dung và vòng chắn bảo vệ nhằm mục đích cân bằng điện trường và hạ thấp điện áp xung ở các đầu dây quấn cao áp và phía ngoài các cuộn dây. Vòng điện dung gồm một vòng các tông hình xuyến trên đó đặt các miếng đồng lá và đầu ra bằng cáp.

Các mảnh đồng lá được quấn xung quanh vòng các tông, các vòng cách nhau $40 \div 50$ mm. Vòng đầu tiên cách vòng cuối cùng $60 \div 70$ mm. Giữa các vòng được nối bằng các miếng đồng lá và được hàn lại với nhau. Cuối cùng người ta bọc cách điện toàn bộ vòng điện dung bằng các tông cách điện mỗi phía $4 \div 5$ mm.

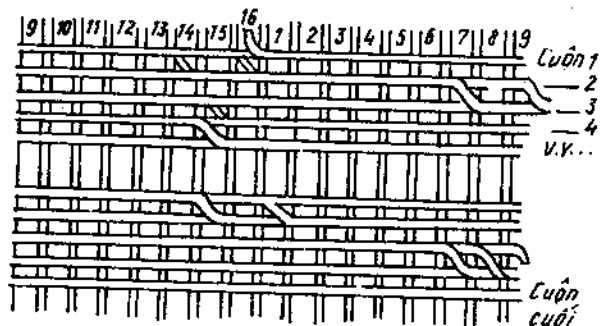
2) Dây quấn hình xoắn. Ta có thể hình dung dây quấn hình xoắn như một chiếc lò xo (hình 9-11).

Các vòng dây của dây quấn được quấn cách nhau một khoảng để tạo ra các rãnh dầu ngang trực,



Hình 9-8. Sơ đồ khai triển của dây quấn xoay ốc liên tục:

- a- số vòng dây trong một bô là một số nguyên;
- b- số vòng dây trong một bánh dây là phân số.

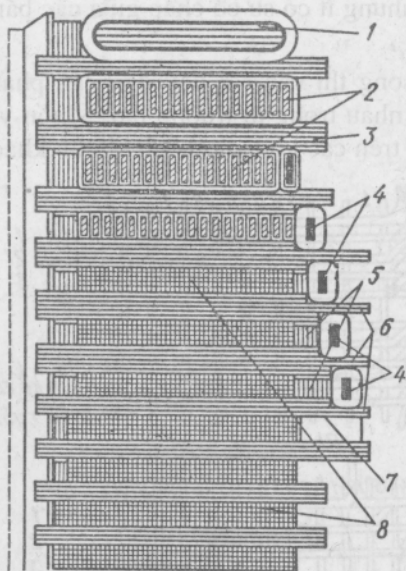


Hình 9-9. Sơ đồ khai triển dây quấn có nhiều sợi chập và số vòng dây trong một bánh là phân số.

khoảng cách này được ấn định nhờ các tấm cách bằng các tông cách điện đặt trên các thanh khuôn khi quấn.

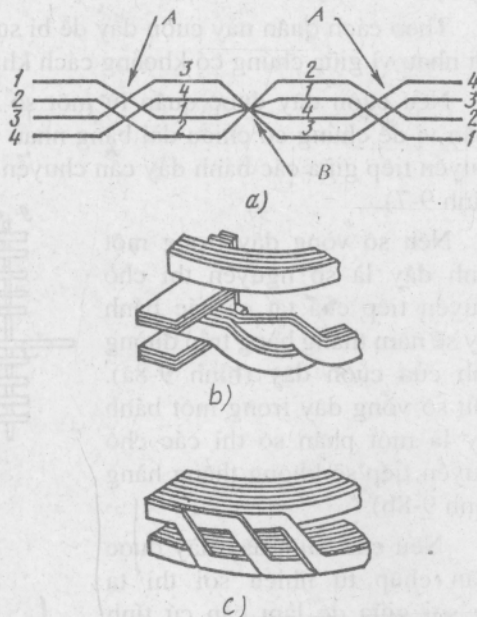
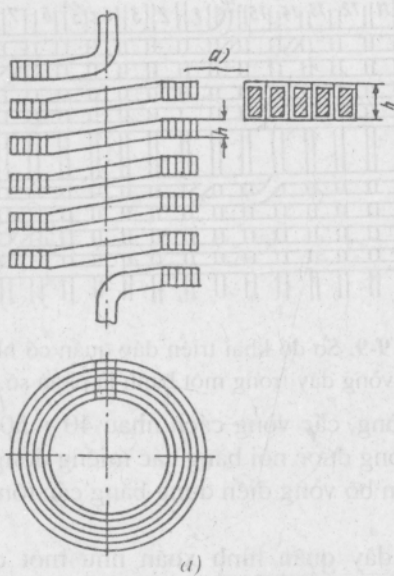
Theo cách quấn này ta thấy dây quấn hình xoắn có các đặc điểm sau:

- Dây quấn hình xoắn có số vòng không thể nhiều vì chỉ quấn được một lớp và do đó nó thường được dùng làm dây quấn hạ áp. Đầu vào và đầu ra của cuộn dây luôn luôn nằm ở hai phía đối diện.



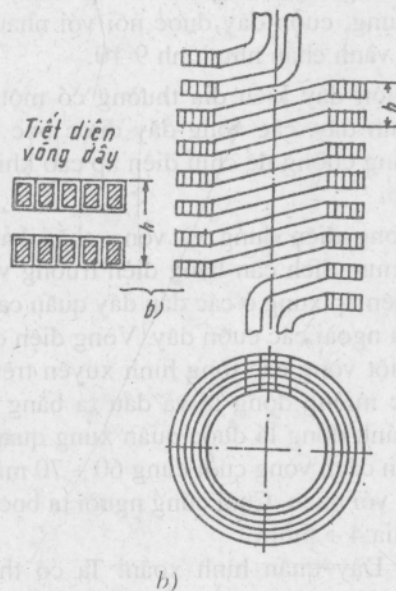
Hình 9-10. Đặt vòng điện dung và vòng chắn đối với cuộn dây cao áp.

1- vòng chắn điện dung; 2- cuộn dây kiểu đĩa có cách điện tăng cường; 3- tấm cách; 4- vành chắn; 5- tấm cách điện; 6- các tấm cách dài; 7- tấm đỡ xecmăng bằng các tông cách điện; 8- dây quấn.



Hình 9-12. Sự hoán vị các sợi dây trong dây quấn hình xoắn:

a- sơ đồ hoán vị (A - hoán vị từng phần; B - hoán vị toàn bộ);
b- hoán vị nhóm (từng phần);
c- hoán vị toàn phần.



Hình 9-11. Dây quấn hình xoắn mạch đơn và dây quấn hình xoắn mạch kép:
a- dây quấn hình xoắn mạch đơn; b- dây quấn hình xoắn mạch kép.

- Dây quấn này rất ít khi bị sự cố chập vòng dây vì khoảng cách giữa các vòng dây rất lớn so với điện áp giữa chúng.

- Dây quấn kiểu này có thể có tiết diện vòng dây lớn bằng cách chập nhiều sợi dây cùng kích thước với nhau.

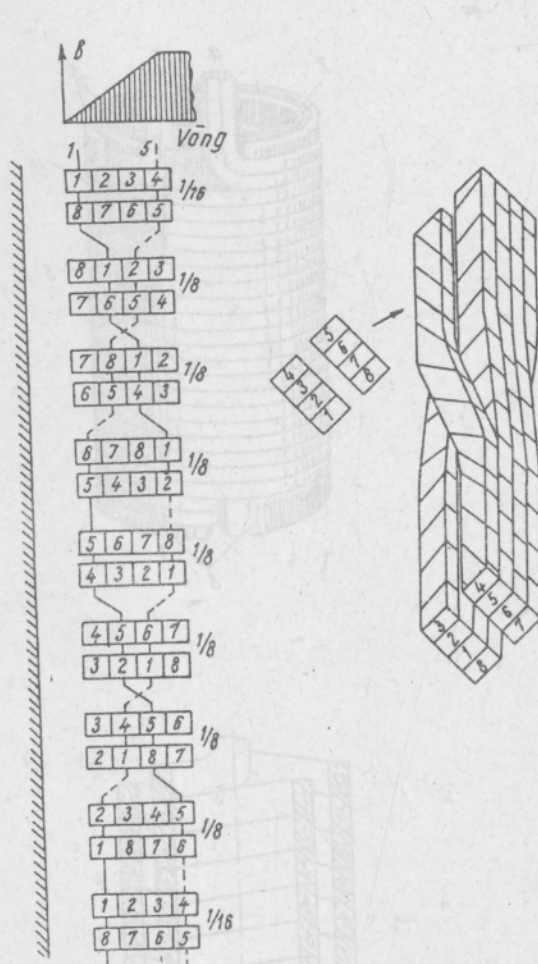
Dây quấn hình xoắn có hai loại: mạch đơn và mạch kép. Dây quấn hình xoắn mạch kép thực chất là hai dây quấn mạch đơn quấn đồng thời và luôn cách nhau một khoảng cách đúng bằng chiều rộng rãnh đầu.

Khi chập nhiều sợi ta thấy vị trí các sợi dây trong từ trường tản khác nhau làm cho điện kháng tản của chúng khác nhau; chiều dài các sợi dây cũng khác nhau làm cho điện trở của chúng khác nhau. Cũng như trong dây quấn hình xoắn ốc liên tục ta phải hoán vị các sợi dây để khắc phục tình trạng trên. Hình 9-12 trình bày cách hoán vị các sợi dây chập trong vòng dây.

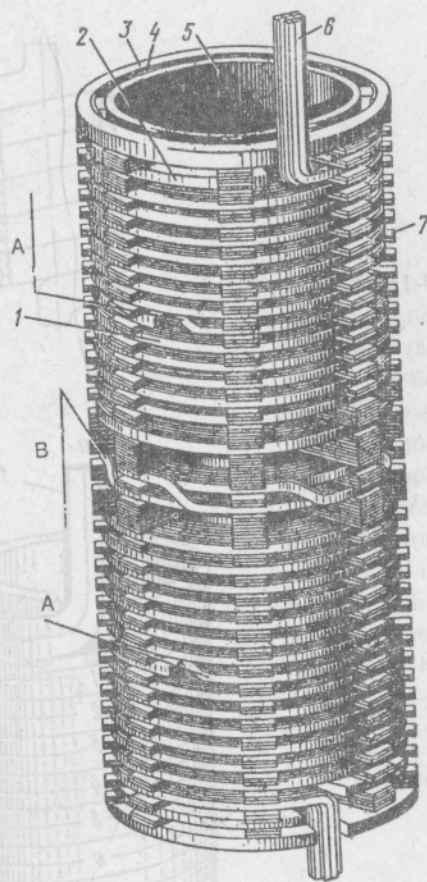
Quấn dây quấn hình xoắn mạch kép người ta quấn đồng thời cả hai mạch nhánh song song. Đến chỗ hoán vị sau khi uốn những đoạn chuyển tiếp và bọc cách điện ta chuyển sợi dây trên của mạch I sang phía trên của mạch II và sợi dây dưới của mạch II sang phía dưới của mạch I. Tiếp tục quấn đến chỗ hoán vị tiếp theo lại làm tương tự như lần trước.

Trong trường hợp dây quấn mạch kép các sợi dây được hoán vị lẫn vào nhau, không phân biệt thuộc nhánh nào (hình 9-13). Các sợi dây cần cách điện tốt với nhau.

Hình 9-14 trình bày một cuộn dây xoắn mạch đơn hoàn thiện gồm tám sợi chập.



Hình 9-13. Hoán vị các sợi dây khi quấn dây quấn hình xoắn mạch kép.



Hình 9-14. Dây quấn hình xoắn mạch đơn quấn từ 8 sợi chập:

1- vòng dây; 2- các xéc măng; 3- vành chặn; 4- thanh đỡ; 5- ống giấy cách điện; 6- các sợi dây chập; 7- các tấm cách; A- hoán vị từng phần; B- hoán vị toàn bộ.

3) Dây quấn hình ống trụ. Đặc điểm chung của dây quấn hình ống trụ là quấn như quấn dây quấn hình xoắn mạch đơn chỉ khác là các vòng dây được quấn sát nhau (không có rãnh dầu ngang) và do vậy nó có thể được quấn làm nhiều lớp.

Dây quấn hình ống trụ có hai loại: quấn bằng dây dẫn tròn và quấn bằng dây dẫn có tiết diện chữ nhật. Sau đây ta xét đặc điểm, cấu tạo và cách quấn các dây quấn đó.

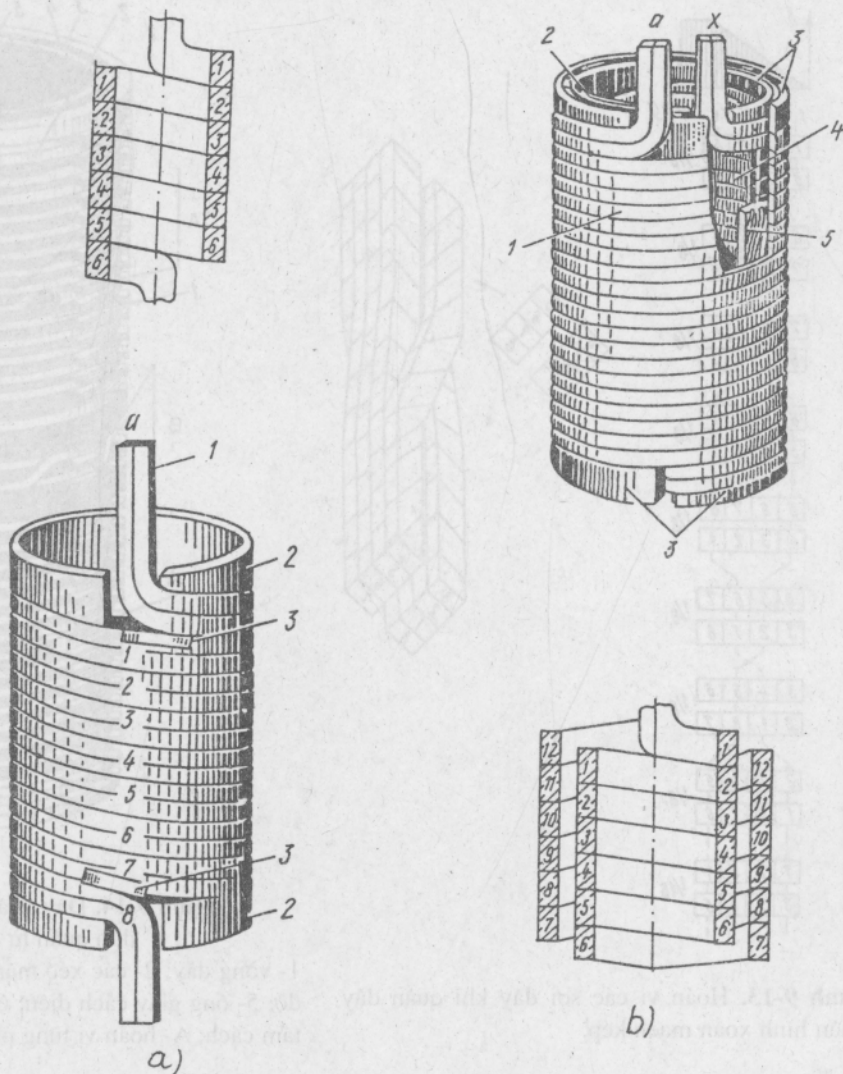
a) Dây quấn hình ống trụ quấn bằng dây chữ nhật. Loại dây quấn này có thể quấn từ sợi đơn hoặc cũng có thể quấn chập từ nhiều sợi. Các sợi chập có thể được quấn theo chiều cạnh bé hoặc theo cạnh lớn sợi dây (hình 9-15), thậm chí có thể chập các sợi có kích thước khác nhau (có tiết diện xấp xỉ nhau) nhưng phải đảm bảo đường bao của tiết diện vòng dây phải là hình chữ nhật. Tất cả những chỗ khuyết ở hai đầu cuộn dây (chỗ chuyển từ vòng 1 sang vòng 2) được điền đầy bằng các tấm cách điện để vòng dây không bị bật ra ngoài.

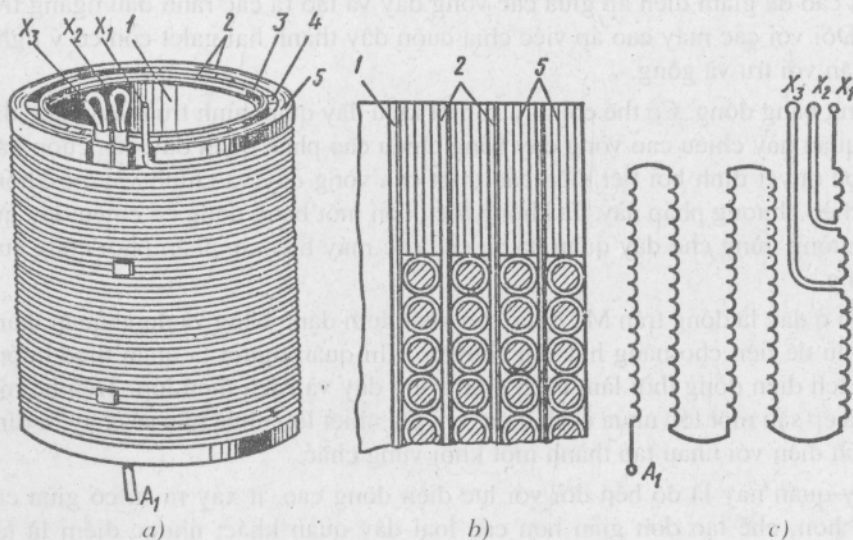
Thông thường dây quấn hình ống trụ quấn bằng dây chữ nhật chỉ được quấn hai lớp, giữa chúng có đặt các thanh phíp (bakêlít, téctôlít...) để tạo rãnh dầu dọc trục. Đây là kiểu dây quấn ít vòng, tiết diện vòng dây lớn, thường dùng để quấn dây quấn hạ áp.

b) Dây quấn hình ống trụ quấn bằng dây dẫn tròn. Đây là kiểu dây quấn có thể quấn được nhiều lớp, dây có tiết diện nhỏ do đó thích hợp cho máy có điện áp cao, dòng điện không lớn. Vì các vòng dây được quấn sát nhau nên phải bố trí rãnh dầu dọc trục sau hai đến ba lớp dây (hình 9-16),

Hình 9-15. Dây quấn hình ống trụ quấn bằng dây dẫn có tiết diện chữ nhật

a- hai sợi chập song song một lớp: 1- dầu ra; 2- đệm cách điện; 3- tấm cách điện gấp.
b- bốn sợi chập song song hai lớp: 1- vòng dây lớp ngoài; 2- ống cách điện (rãnh dầu dọc); 4- lớp dây trong; 5- thanh cách điện.



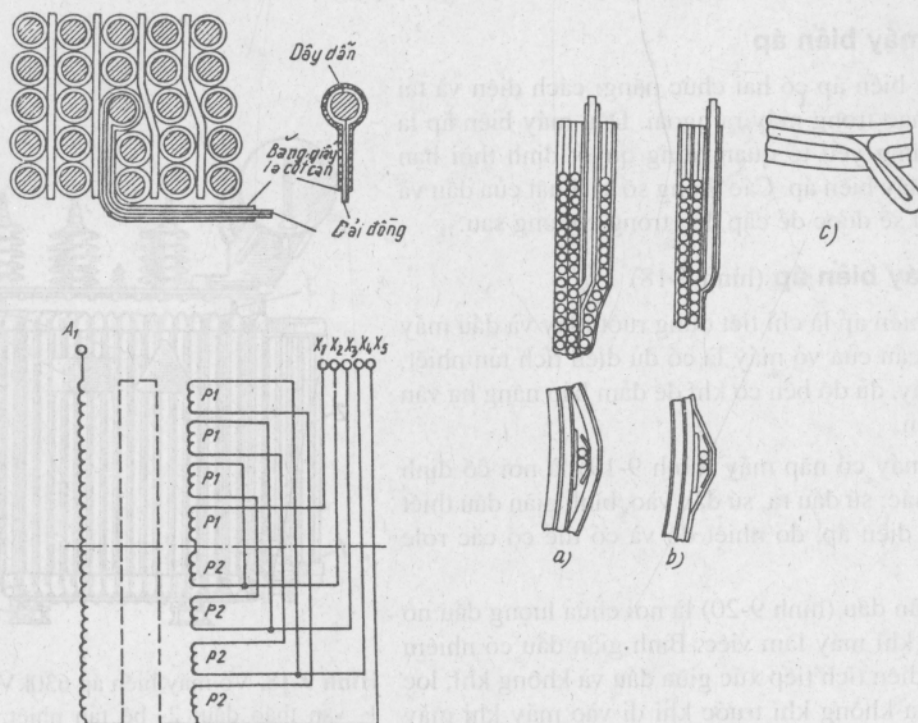


Hình 9-16. Dây quấn hình trụ nhiều lớp dây dẫn tròn:
a- dạng chung;
b- cách điện hai đầu cuộn dây;
c- sơ đồ dây quấn có đầu phân nhánh;
1,2,5- cách điện chặn hai đầu;
3,4- thanh cách điện tạo rãnh đầu dọc.

Khi quấn loại dây quấn này ta không quấn dây ngay từ mép khuôn mà lùi vào một khoảng đúng bằng khoảng cách cách điện cho phép. Hai đầu dây quấn được quấn cách điện có chiều dài đúng bằng đường kính dây có cách điện. Cách điện lớp có chiều dài bằng chiều dài cuộn dây.

Các đầu dây điều chỉnh được bố trí ở lớp ngoài hoặc gần ngoài. Khi lấy đầu ra của đầu dây điều khiển ta dùng đồng lá có tiết diện tương đương quấn xung quanh dây tròn rồi hàn lại, mục đích là để giảm chiều dài cuộn dây ở chỗ đó (hình 9-17).

Nhược điểm của dây quấn kiểu này là điện áp giữa các lớp cao (đặc biệt là đầu của lớp trước và cuối lớp sau). Trong trường hợp máy lớn điện áp cao ta có thể chia cuộn dây thành 2 hoặc 3 đơn



Hình 9-17. Cách lấy đầu ra để điều chỉnh điện áp.

nguyên (galét) theo chiều cao để giảm điện áp giữa các vòng dây và tạo ra các rãnh dầu ngang trực để tăng cường tản nhiệt. Đối với các máy cao áp việc chia cuộn dây thành hai galet còn có ý nghĩa giảm điện áp giữa dây quấn với trụ và gông.

4) Dây quấn bằng băng đồng. Có thể coi đây là một kiểu dây quấn hình trụ quấn bằng dây dẫn chữ nhật. Theo kiểu quấn này chiều cao vòng dây bằng chiều cao phần quấn dây của cuộn dây. Chiều dày băng đồng được quyết định bởi tiết diện cần thiết của vòng dây và chính vậy nó không chế giới hạn có thể quấn theo phương pháp này. Ta không thể quấn một băng đồng có chiều dày quá lớn. Loại dây quấn này thường dùng cho dây quấn hạ áp của các máy biến áp phân phối công suất khoảng 1000kVA trở xuống.

Đồng để làm dây quấn ở đây là đồng trần M1 được sản xuất dưới dạng băng và được quấn thành từng rulo có trọng lượng đủ để tiện cho nâng hạ, vận chuyển. Khi quấn người ta quấn theo hướng kính cùng với một băng cách điện đồng thời làm cách điện vòng dây và cách điện lớp. Trên bề mặt băng cách điện người ta đã ép sẵn một lớp nhựa cách điện, khi gia nhiệt lớp nhựa này sẽ chảy ra dính tất cả các vòng dây và cách điện với nhau tạo thành một khối vững chắc.

Ưu điểm của loại dây quấn này là độ bền đối với lực điện động cao, ít xảy ra sự cố giữa các vòng dây, độ tin cậy cao hơn, chế tạo đơn giản hơn các loại dây quấn khác; nhược điểm là tản nhiệt từ giữa cuộn dây ra khó khăn hơn, dây dẫn dùng để quấn không thông dụng, khó kiểm đúng loại mình cần.

5) Dây quấn hình đĩa. Theo kiểu quấn này cuộn dây được chia làm nhiều cuộn nhỏ, mỗi cuộn nhỏ được coi như một dây quấn hình trụ nhiều lớp quấn bằng dây dẫn tròn, mỗi lớp thường có chiều cao $15 \div 20$ mm. Ưu điểm của loại dây quấn này là điện áp giữa các lớp dây nhỏ (ít sự cố cách điện trong mỗi cuộn), nhiều rãnh thông dầu ngang nên tản nhiệt rất tốt. Đối với máy cao áp (điện áp 35kV và cao hơn) các cuộn dây trên cùng được tăng cường cách điện để chống quá điện áp do sóng sét tràn vào máy. Nhược điểm của loại này là điện áp cao áp nằm ở phía trên cuộn dây nên cách điện với gông trên gặp nhiều khó khăn hơn.

Loại dây quấn này thường gặp trong các máy biến áp phân phối điện áp cuộn dây 35.000V.

3. Dầu máy biến áp

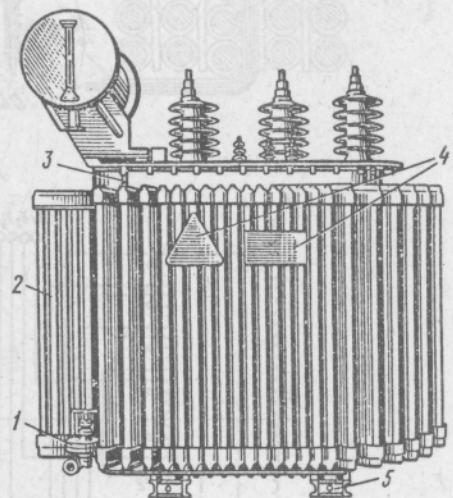
Dầu máy biến áp có hai chức năng: cách điện và tản nhiệt do tổn hao trong máy ra ngoài. Dầu máy biến áp là một trong những yếu tố quan trọng quyết định thời hạn phục vụ của máy biến áp. Các thông số kỹ thuật của dầu và cách xử lý dầu sẽ được đề cập đến trong chương sau.

4. Vỏ máy biến áp (hình 9-18)

Vỏ máy biến áp là chi tiết đựng ruốt máy và dầu máy biến áp. Yêu cầu của vỏ máy là có đủ diện tích tản nhiệt, bảo vệ dầu máy, đủ độ bền cơ khí để đảm bảo nâng hạ vận chuyển an toàn.

Trên vỏ máy có nắp máy (hình 9-19) là nơi cố định các chi tiết khác: sứ dầu ra, sứ dầu vào, bình giãn dầu thiết bị điều chỉnh điện áp, đo nhiệt độ và có thể có các role bảo vệ...

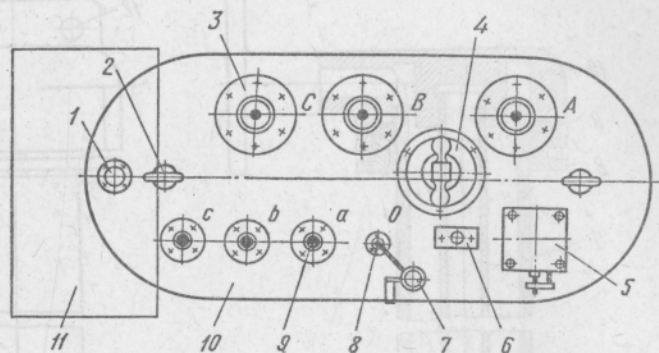
* Bình giãn dầu (hình 9-20) là nơi chứa lượng dầu nở ra do bị nóng khi máy làm việc. Bình giãn dầu có nhiệm vụ là thu nhỏ diện tích tiếp xúc giữa dầu và không khí, lọc hết hơi ẩm của không khí trước khi đi vào máy khi máy nguội, thông qua thước đo dầu trên bình giãn dầu ta biết được lượng dầu trong máy và nhiệt độ của nó. Lượng dầu



Hình 9-18. Vỏ máy biến áp 630kVA; 10kV: 1- van tháo dầu; 2- bộ tản nhiệt; 3- vách thùng; 4- chỗ gắn nhãn máy; 5- xà đỡ có bánh xe.

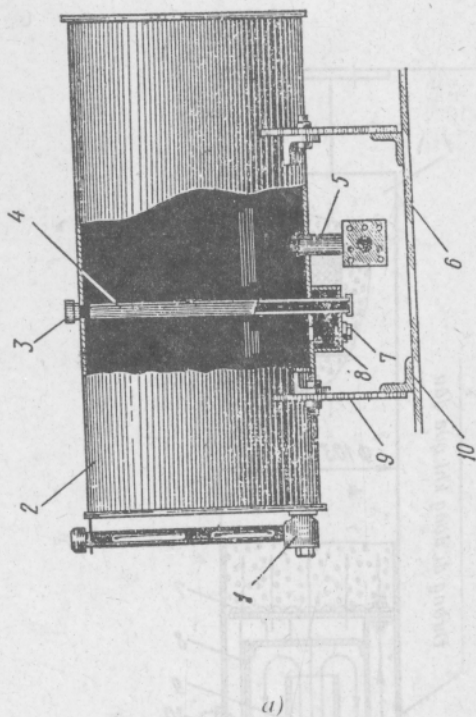
trong bình giãn dầu phải đảm bảo sao cho khi nhiệt độ thấp nhất (khi không tải về mùa đông) và khi nóng nhất (khi đầy tải về mùa hè) mức dầu trong bình giãn dầu vẫn ở trong giới hạn nhìn thấy trên thước đo dầu. Trong nhiều trường hợp trên thước đo mức dầu người ta ghi thang đo nhiệt độ, căn cứ vào hệ số giãn nở của dầu và nhiệt độ trong thùng. Thước đo mức dầu có thể làm theo một trong hai cách như hình 9-21a và b.

- Nếu trường hợp chấp nhận có sự giao lưu giữa không khí bên ngoài và bên trong bình giãn dầu thì không khí vào bình giãn dầu phải được qua một bộ phin lọc để hấp thụ hết hơi ẩm trước (hình 9-22). Phin lọc khí ẩm

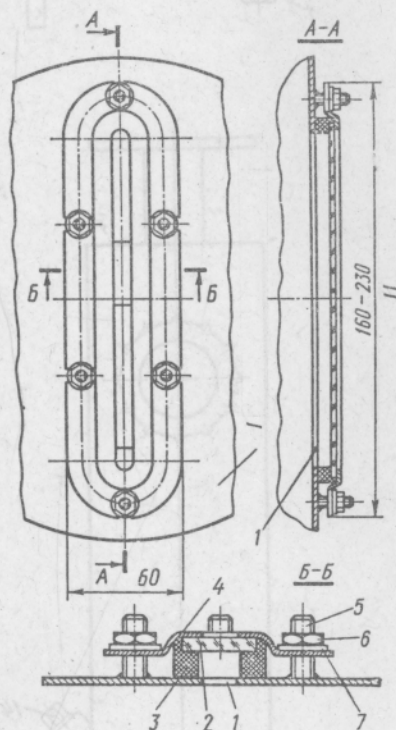


Hình 9-19. Bố trí các chi tiết trên nắp máy biến áp :

1- lỗ lên bình giãn dầu; 2- móc treo ruột máy; 3- đầu vào cao áp; 4- bộ chuyển mạch; 5, 10- nắp; 6- lỗ đo nhiệt độ; 7- chống sét hạ áp; 8- trung tính hạ áp; 9- đầu vào hạ áp; 11- vị trí bình giãn dầu.



a)

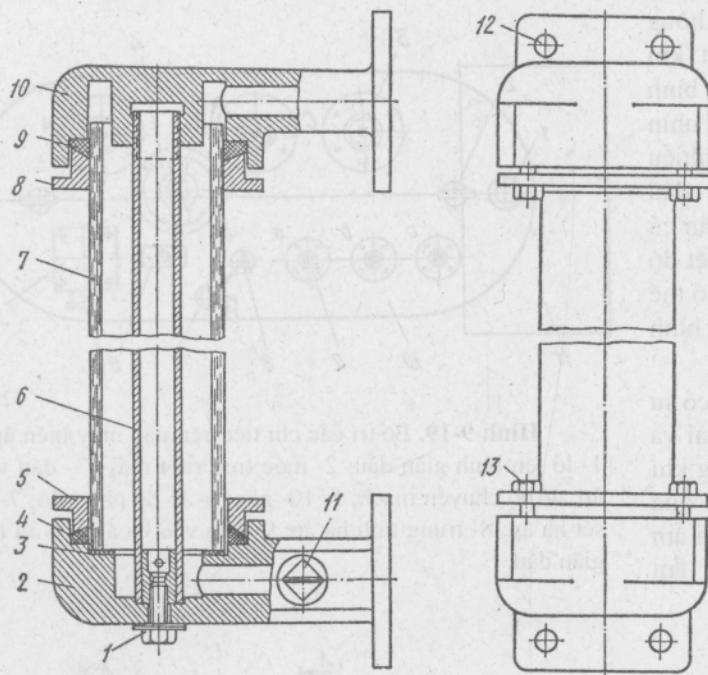


b)

Hình 9-20. Bình giãn dầu của máy biến áp

a: 1- thước đo dầu; 2- vỏ bình giãn dầu; 3- nắp ống thở; 4- ống thở; 5- ống dẫn dầu thông với máy biến áp; 6- nắp máy biến áp; 7- nút tháo; 8- hộp chứa cặn; 9- tấm đỡ bình giãn dầu; 10- thanh sắt góc.

b: 1- cửa sổ trên vách; 2- thủy tinh phẳng; 3- tấm gioăng cao su; 4- tấm ép bằng thép; 5- vít cấy; 6- êcu; 7- vành đệm; I- mặt bên của bình giãn dầu; II - tùy thuộc vào đường kính giãn dầu.



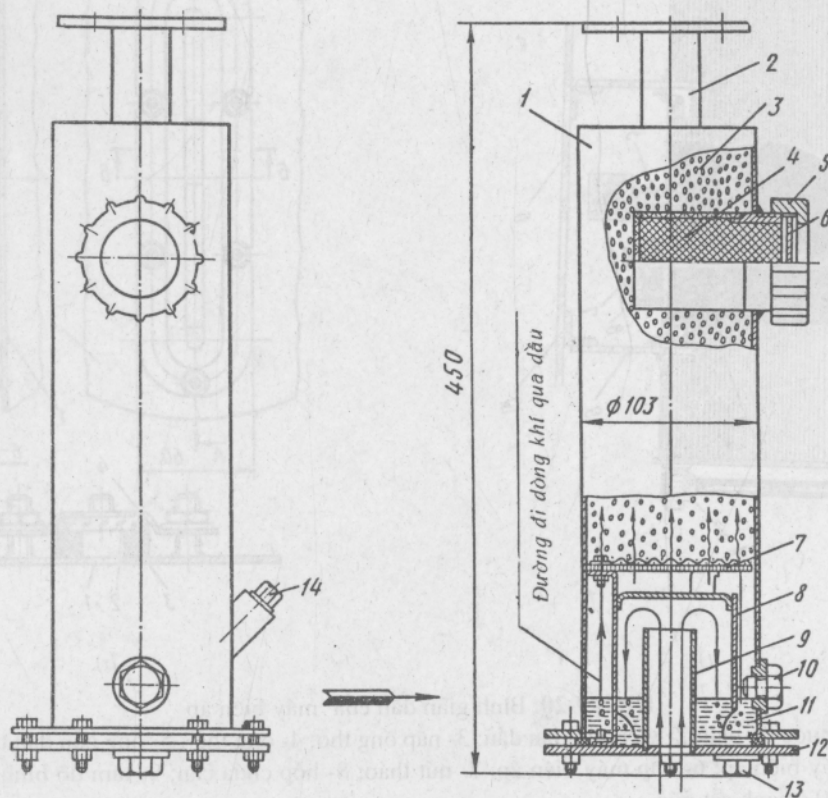
Hình 9-21. Thước đo mức dầu

lắp trên bình giãn dầu:

a- thước đo dầu dùng cho các máy nhỏ;

b- thước đo dầu dùng cho máy lớn;

1- bulông lắp dưới đáy ống chỉ dầu; 2- vành đỡ dưới; 3- vành đệm cactông; 4, 9- đệm cao su; 5 và 8- vành ép; 6- ống thép; 7- ống thủy tinh; 10- vành đỡ trên; 11- van cách ly với bình giãn dầu của máy biến áp; 12- lỗ để cố định với bình giãn dầu; 13- bu lông cố định vành ép tỳ lên đệm cao su.



Hình 9-22. Bộ lọc khí lắp trên bình giãn dầu:

1- vỏ bộ lọc; 2- cổ bộ lọc; 3- hạt hút ẩm; 4- lưới chắn; 5- nắp lỗ quan sát; 6- kính lỗ quan sát; 7- lưới chặn; 8- vách hướng gió; 9- ống thép; 10- bulông; 11- đầu máy biến áp; 12- đế; 13- bulông tháo dầu.

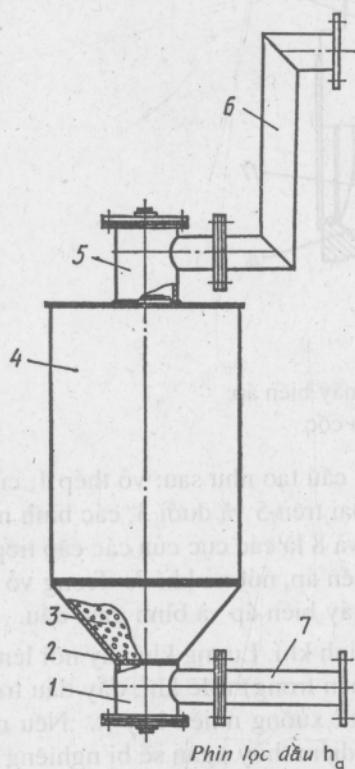
thường là một ống thép, hoặc thủy tinh trong đó đựng chất hút ẩm silicagien. Phin lọc bố trí ở đầu bình giãn dầu, lấy không khí qua hạt hút ẩm rồi đưa vào phía trên bình. Hạt hút ẩm được thay định kì khi thấy chúng ngả sang màu vàng (bình thường chúng có màu trắng).

Hiện nay nhiều nơi trong quá trình vận hành máy biến áp không quan tâm đến việc thay thế các hạt chống ẩm và thực tế cũng rất phiền toái trong việc này. Mặt khác không thể tránh khỏi sự hóa già và quá trình oxy hóa dầu làm đóng cặn dầu trong một số máy người ta lắp bộ lọc dầu trên vách thùng dầu (hình 9-23):

- Bộ lọc dầu đối lưu làm việc trên nguyên tắc lọc hút ẩm và lọc cơ khí lượng dầu qua nó do quá trình đối lưu dầu tự nhiên (tương tự như nguyên tắc đối lưu dầu làm mát qua bộ tản nhiệt). Bộ lọc bao gồm một bình hình trụ bằng thép, trong đó chứa hạt hút ẩm sicagien có hai đầu trên và dưới nối với vách thùng. Dầu nóng đi qua bộ lọc dầu được làm mát và chìm xuống dưới, dầu nóng được hút vào phía trên. Tất cả cặn dầu, hơi ẩm... đi qua đây đều bị giữ lại. Ta cần thay thế định kì chất hút ẩm trong đó khi chúng đã no nước tuy nhiên chu kì dài hơn rất nhiều so với chất hút ẩm trong bình lọc khí ẩm.

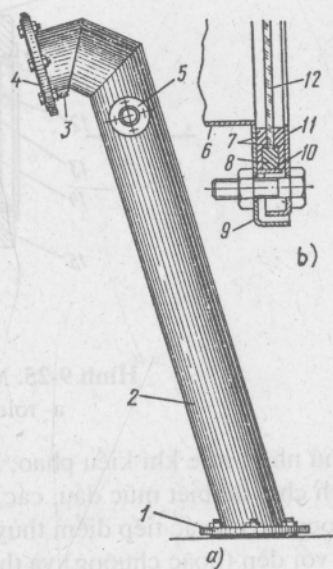
- Đối với máy biến áp có công suất từ 630 kVA trở lên trên nắp thùng còn bố trí ống phòng nổ (hình 9-24). Khi trong máy có sự cố chạm chập sẽ sinh ra hồ quang điện và toả nhiệt làm cho áp suất trong thùng tăng. Nếu áp suất tăng quá mức tấm kính đầu ống phòng nổ sẽ vỡ và giải toả áp suất trong thùng. Ống phòng nổ 2 được chế tạo bằng thép dày 1,5mm, phía trên có các mặt bích 9 và 10 để lắp tấm kính 12.

- Để phân tích sự cố và cắt nhanh máy biến áp ra khỏi lưới khi xảy ra sự cố người ta lắp thêm vào ống dẫn dầu lên bình giãn dầu một role khí. Tùy theo dạng sự cố role khí sẽ có thông báo, phân tích khí trong role ta sẽ biết được tính chất của sự cố đó. Hình 9-25 mô tả một số role khí do Liên xô cũ sản xuất.



Hình 9-23. Bộ lọc dầu theo nguyên tắc đối lưu:

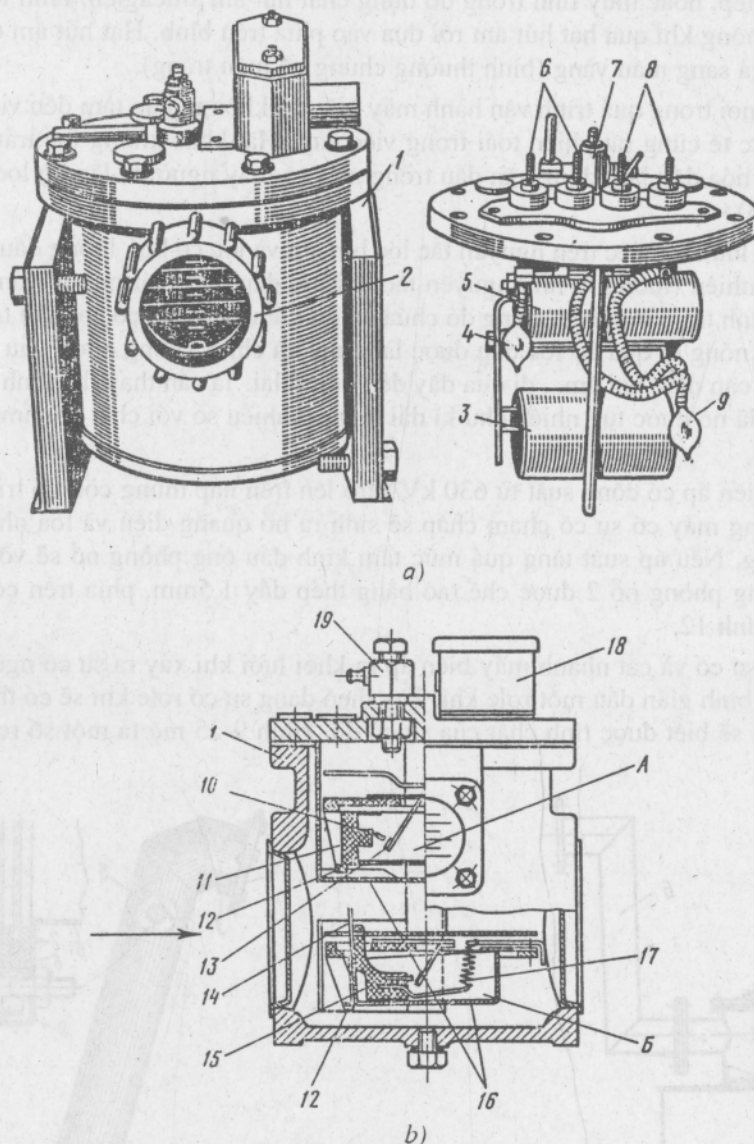
1- cổ dưới; 2- lưới ngăn; 3- hạt chống ẩm; 4- vỏ bình; 5- cổ trên; 6,7- ống dẫn.



Hình 9-24. Ống phòng nổ:

a- dạng ngoài; b- cách lắp tấm thủy tinh trên miệng ống phòng nổ;

1- mặt bích; 2- ống kim loại; 3- bulông mặt bích; 4- tấm thủy tinh; 5- mặt bích để nối với bình giãn dầu; 6- miệng ống phòng nổ; 7,8- các tấm đệm bằng cao su; 9- mặt bích trong; 10- vành đỡ; 11- mặt bích ngoài; 12- tấm thủy tinh.



Hình 9-25. Một số role khí lắp cho máy biến áp:
a- role kiểu phao ; b- role kiểu cốc.

Kiểu thứ nhất: role khí kiểu phao. Role khí kiểu phao có cấu tạo như sau: vỏ thép 1, cửa sổ lắp kính có vạch chia để biết mức dầu, các quả phao bằng kim loại trên 5 và dưới 3, các bình nhỏ bằng thủy tinh trong đó có các tiếp điểm thủy ngân, các cặp cọc 6 và 8 là các cực của các cặp tiếp điểm 4 và 9 để nối với đèn (hoặc chuông) và thiết bị đóng cắt máy biến áp, nút xả khí 7. Trong vỏ của role khí được chứa đầy dầu. Role khí được lắp vào khoảng giữa máy biến áp và bình giãn dầu.

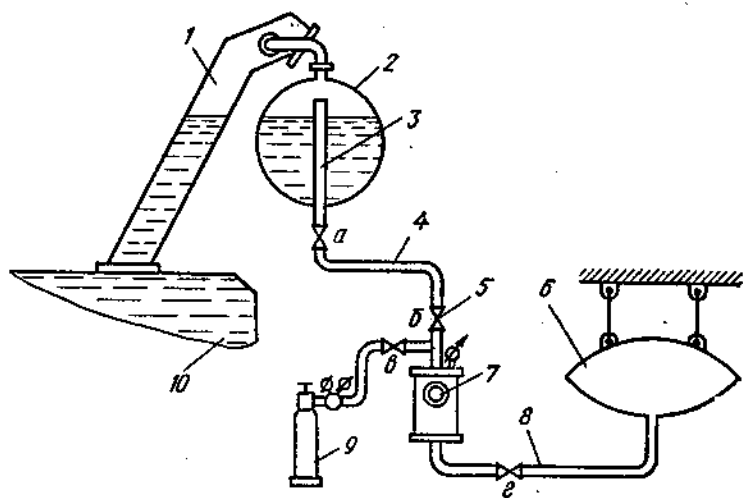
Khi trong máy biến áp có sự cố nhẹ dầu bị phân tích và sinh khí. Lượng khí này nổi lên và theo đường dẫn dầu thoát lên bình giãn dầu rồi đi vào phía trên (bên trong) role khí, đẩy dầu trong role tụt xuống. Tùy theo lượng khí thoát ra mức dầu trong role tụt xuống nhiều hay ít. Nếu mức dầu xuống đến mức nào đó, phao trên và bình thủy tinh chứa tiếp điểm thủy ngân sẽ bị nghiêng đi, thủy ngân sẽ làm đóng tiếp điểm của mạch tín hiệu (còi và đèn)

Khi sự cố xảy ra nghiêm trọng, dòng dầu phụt mạnh lên theo đường dẫn dầu của bình dầu phụ, một khối lượng khí lớn được đưa vào phần trên role, mức dầu trong role giảm mạnh làm cho phao 3 nghiêng, tiếp điểm 9 đóng mạch role bảo vệ cắt máy biến áp ra khỏi lưới.

Kiểu thứ hai: role kiểu cóc. Trong vỏ kim loại 1 người ta bố trí hai chiếc cóc kim loại 16 có thể xoay quanh trục lệch tâm 12. Tương tự như role kiểu phao, khi có sự cố nhẹ lượng khí thoát lên ít mức dầu trong role giảm xuống, cóc trên nghiêng đi một góc làm tiếp điểm động 10 tiếp xúc với tiếp điểm động 13, đóng mạch tín hiệu. Khi có sự cố nặng lượng dầu đi qua ống dẫn lên bình giãn dầu với một tốc độ nào đó sẽ làm cho lá bướm 14 gạt cóc dưới nghiêng đi một góc, đóng tiếp điểm mạch bảo vệ cắt máy biến áp ra khỏi lưới. Quá trình này đồng thời với việc lượng khí thoát ra đi vào phía trên role đẩy dầu trong role tụt xuống làm nghiêng cóc dưới. Lò xo 17 nhằm duy trì cóc dưới nằm ở vị trí thẳng đứng. Các tấm cách điện 11 và 15 dùng để gắn tiếp điểm động, nút xả khí 19 để xả hết khí trong role sau khi đã nạp đầy dầu; hộp cực 18 để nối mạch tín hiệu role đến các thiết bị đóng cắt.

Các role khí thường được lắp trong các máy biến áp trung gian công suất trên 1000kVA. Việc phân tích sự cố thông qua các hiện tượng xảy ra trong role khí được dẫn ra trong chương sau.

- Để bảo vệ dầu tránh tiếp xúc với không khí người ta làm bình giãn dầu kín hoàn toàn, phần không khí trong bình được thay thế bằng một khí trơ nào đó, chẳng hạn nitơ. Bảo vệ nitơ dầu máy biến áp đặc biệt quan trọng đối với các máy biến áp có điện áp 110 kV trở lên.



Hình 9-26. Bảo vệ dầu máy biến áp bằng khí nitơ:

1- ống phòng nổ; 2- bình giãn dầu; 3- ống thở; 4- ống dẫn khí nitơ; 5- van; 6- bình khí nitơ bằng vải cao su; 7- bình lọc khí ẩm; 8- ống dẫn bằng chất dẻo; 9- bình khí nitơ để bổ sung; 10- thùng máy biến áp.

Hình 9-26 trình bày sơ đồ thiết bị bảo vệ ni tơ dầu biến áp. Theo sơ đồ này ta thấy khi mức dầu trong bình giãn dầu lên xuống sẽ đẩy hoặc hút nitơ vào bình vải nhựa cao su đàn hồi 6. Bình thường khi làm việc các van a, b, c mở; van d đóng. Khi áp suất trong hệ thống giảm các van a, b, c đóng, van d mở để bổ sung nitơ vào hệ thống áp suất trong hệ thống đảm bảo không lớn hơn $0,05 \cdot 10^4$ paxcan.

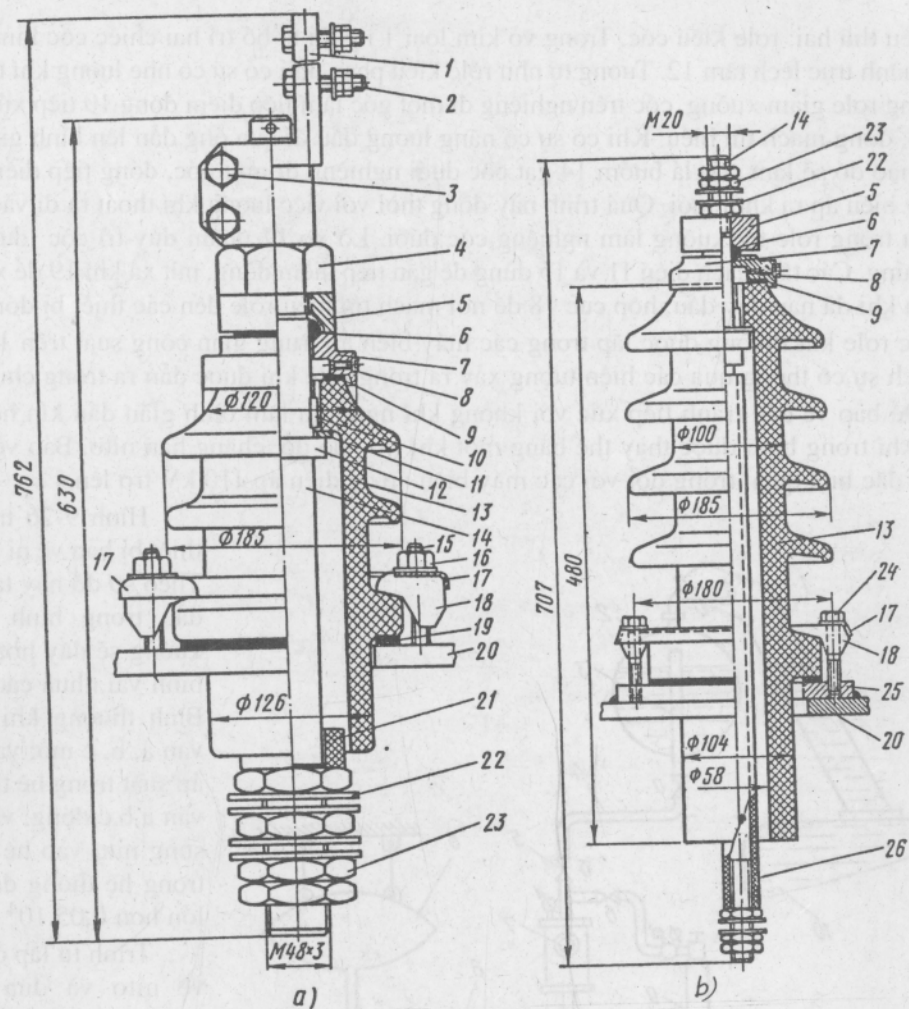
Trình tự lắp đặt thiết bị bảo vệ nitơ và đưa nó vào làm việc được thực hiện như sau: nạp dầu máy biến áp; khử khí dầu máy biến áp; sục khí nitơ dầu máy biến áp cho đến khi bão hòa; nạp đầy khí nitơ cho hệ thống rồi nối hệ thống với máy biến áp.

Khi nạp dầu máy biến áp cần phải hút chân không đến áp suất dư không quá 5mmHg. Dầu được đưa vào máy biến áp phải được đi qua thiết bị khử khí, đảm bảo hàm lượng khí khoảng 0,1% (1 lít/m^3), hàm lượng ẩm không quá 0,001% (10 gam/m^3).

- Trong một số máy biến áp thay cho việc bảo vệ dầu máy biến áp bằng nitơ người ta dùng phương pháp bảo vệ màng. Theo phương pháp này trong bình giãn dầu người ta lót một lớp màng bằng chất dẻo. Khi dầu trong máy biến áp tụt xuống màng chất dẻo sẽ xẹp xuống; khi mức dầu tăng màng này phình ra theo. Dầu máy biến áp không tiếp xúc trực tiếp với không khí nên tránh được hiện tượng nhiễm ẩm và ôxi hóa.

Việc bảo vệ dầu bằng nitơ còn được áp dụng cả trong trường hợp không cần bình giãn dầu. Trong trường hợp này người ta trừ ra một khoảng phía trên thùng máy biến áp để chứa nitơ khi đã rút chân không khoảng hồ này. Việc bổ sung nguồn nitơ cũng được áp dụng tương tự như đối với trường hợp trên.

Ngày nay đối với máy biến áp phân phối công suất không lớn người ta áp dụng biện pháp làm vỏ máy kiểu hình răng cưa, nắp máy hoàn toàn kín, dầu được nạp đầy thùng máy (không có bình



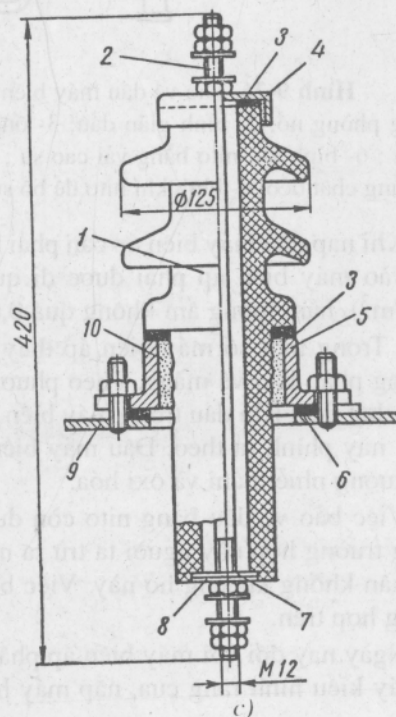
Hình 9-27. Các loại sứ cao áp 10 và 35 kV.

Sứ đầu vào kiểu tháo rời:

a- điện áp $6 \div 10$ kV, 3000 A; b- điện áp 35kV, 600A.
 1- đầu bắt cáp ra; 2- bulông có êcu và vành đệm; 3- bulông ép đầu bắt cáp với ti sứ; 4- êcu đặc biệt; 5- ống bằng đồng vàng; 6- vành cao su quả đào; 7- vành bằng đồng vàng; 8- bulông xả khí (E); 9- vành đệm cao su; 10- vấu của ti sứ; 11- vành đệm bằng cactông; 12- gờ ti sứ; 13- sứ; 14- ti sứ bằng đồng đỏ; 15- ti thép; 16- êcu thép; 17- bích đập; 18- tấm ép; 19- tấm đệm cao su; 20- nắp máy biến áp; 21- ống cách điện hêtynac; 22- êcu đồng đỏ; 23- êcu đồng vàng; 24- bulông thép; 25- mặt bích; 26- ống giấy-bakelit.

c- sứ đầu vào $6 \div 10$ kV, 275A

1- sứ cách điện; 2- thanh dẫn bằng đồng cùng với êcu và vành đệm; 3- vành đệm bằng cao su; 4- chụp bằng thép; 5- mặt bích; 6- tấm đệm; 7- tấm đệm bằng cactông cách điện; 8- vành đệm thép; 9- nắp máy biến áp; 10- keo gắn.

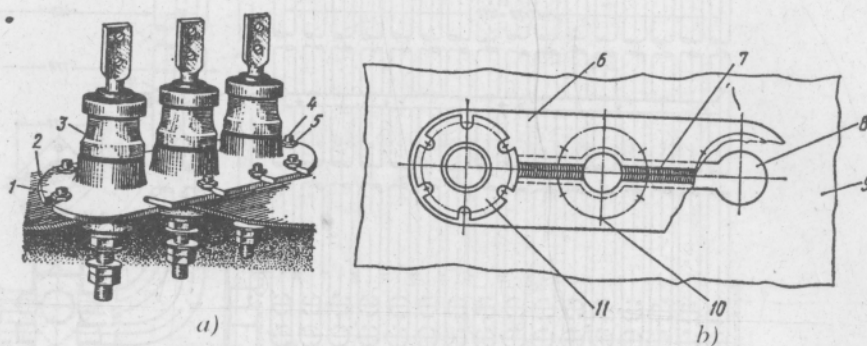


giãn dầu). Khi nhiệt độ trong thùng tăng lên thùng tự động nở ra để chứa lượng dầu giãn nở do nhiệt. Khi nguội thùng tự động co vào do thể tích dầu giảm. Trong trường hợp này dầu hoàn toàn được cách li với môi trường ngoài nên không bị nhiễm ẩm và ôxi hóa

- Để điều chỉnh điện áp trên nắp máy người ta gắn một thiết bị chuyển mạch có thể thay đổi các đầu dây của dây quấn cao áp nối với lưới. Có hai loại điều chỉnh điện áp: khi có tải và khi không tải. Cấu tạo và các dạng hư hỏng của chúng được nghiên cứu kỹ trong chương sau.

- Đầu vào máy biến áp. Sứ máy biến áp là chi tiết để thông qua đó nối các đầu dây quấn với lưới và phụ tải. Tùy theo cấp điện áp và công suất của máy biến áp mà sứ biến áp có kích thước, số bát sứ khác nhau. Hình 9-27 mô tả kết cấu và cách thức liên kết giữa sứ và nắp máy; giữa sứ và bulông xuyên. Trên hình đó ta cũng thấy được cách nối dây quấn và lưới với bulông sứ.

Đầu vào máy biến áp gồm có sứ cách điện 1 (hình 9-27a) để cách điện phân dẫn dòng mang điện áp với vỏ máy biến áp; thanh dẫn dòng 2 có các êcu để nối với đầu dây máy biến áp và lưới điện; mặt bích 5 chất gắn 10 để ghép sứ với vỏ máy; vòng đệm 3, 6 để chống thấm dầu. Đối với trường hợp dòng lớn việc giải quyết vấn đề tiếp xúc được thực hiện bằng cách dùng nhiều đầu vào hoặc nối thêm bản đồng rộng để đồng thời bắt được nhiều bulông (hình 9-27b). Hình 9-27b, c cho ta một giải pháp cố định sứ với vỏ máy, theo cách này đơn giản hơn vì tránh được việc dùng mặt bích công kênh tốn kém. Cấu tạo của sứ cao áp khác với sứ hạ áp chỉ ở chỗ kích thước và số bát sứ. Hình 9-28 là một sứ của các pha bố trí độc lập trên mặt máy, việc chống chảy dầu được thực hiện nhờ các gioăng qua bằng đơn giản.



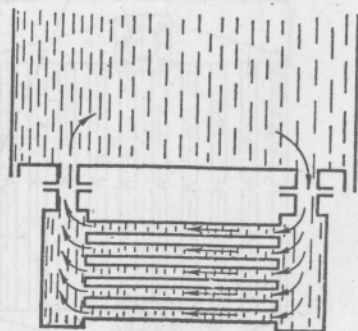
Hình 9-28. Sứ hạ áp của máy biến áp phân phối dòng lớn;

a- đến 690V, 1200A; b- đến $6 \div 10$ kV, 1200A.

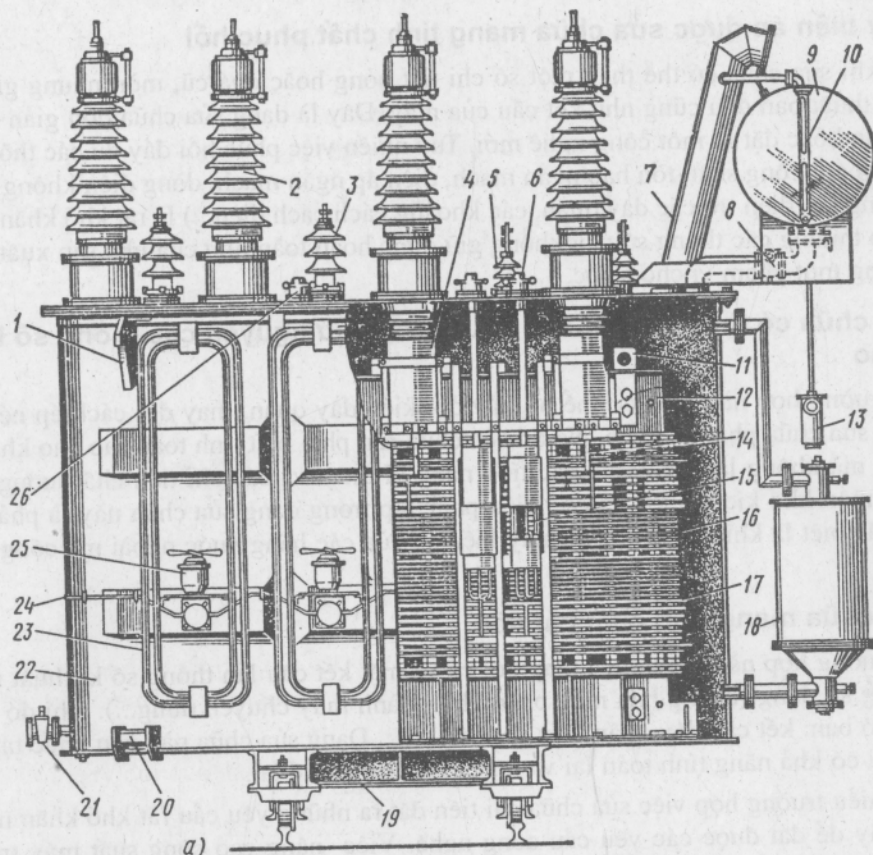
1, 6- tấm thép để gắn sứ; 2, 9- mặt máy; 3- sứ; 4- bulông; 5- đai ốc; 7- kim loại phi từ tính; 8- lỗ trên nắp máy; 10- lỗ trên tấm thép cố định sứ; 11- mặt bích đồng.

- Thân vỏ máy biến áp thường làm bằng thép dày từ 3 mm cuốn rồi hàn lại. Đáy thùng dầu làm bằng thép tấm dày từ 5 đến 10mm. Thép để làm vỏ máy là thép kết cấu CT3 bình thường. Phía trên vỏ thùng có mặt bích để ghép nối với nắp máy. Tiết diện ngang vỏ thùng thường có hình ôvan, cũng có thể hình chữ nhật và nếu là máy biến áp không gian thì thùng có hình tam giác. Máy biến áp một pha thường có dạng hình tròn. Trong một số trường hợp đặc biệt vỏ thùng máy biến áp làm bằng chất dẻo. Vỏ thùng kiểu răng cưa hiện nay được làm từ thép có chiều dày 1,2mm, mục đích là để cho dễ co giãn khi dầu máy biến áp thay đổi thể tích.

- Bộ tản nhiệt máy biến áp. Như đã nói vỏ máy biến áp cần phải có diện tích tản nhiệt đủ lớn để tỏa hết ra môi trường xung quanh lượng nhiệt do tổn hao trong mạch và dây quấn. Đối với các máy công suất khoảng 50 kVA trở xuống chỉ cần diện tích phẳng



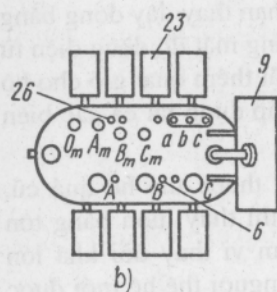
Hình 9-29. Đối lưu tự nhiên dầu máy biến áp qua bộ tản nhiệt.



Hình 9-31. Máy biến áp ngâm dầu ba pha 16000 kVA/110 kV:

a- cấu tạo máy biến áp; b- nhìn từ phía trên máy biến áp.

1- móc vận chuyển; 2- sứ cao áp 110kV; 3- sứ trung áp 38,5 kV; 4- trụ bakelit dầu vào cao áp; 5- sứ hạ áp (10kV); 7- ống phòng nổ; 8- role khí; 9- bình giãn dầu; 10- thước chỉ dầu; 11- móc để nâng ruột máy; 12- xà ép gông; 13- bộ lọc khí; 14- đầu dây ra cao áp; 15- thiết bị chuyển mạch cao áp; 16- dây quấn cao áp; 17- các cuộn dây màn chắn của dây quấn cao áp; 18- bộ phin lọc đối lưu; 19- xà tăng cường độ cứng của đáy để vận chuyển bằng xe gông; 20- chỗ để kích khi cần thiết; 21- van tháo dầu; 22- vỏ thùng; 23- bộ tản nhiệt; 24- cáp cấp điện cho động cơ điện; 25- động cơ quạt gió làm mát bộ tản nhiệt; 26- bộ truyền động chuyển mạch điều chỉnh điện áp.



của vỏ máy là đủ. Đối với các máy công suất lớn hơn cần phải tăng cường diện tích tản nhiệt bằng cách dùng vỏ máy có vách thùng kiểu răng cưa như đã nói ở trên. Đối với máy công suất lớn việc thoát nhiệt bằng con đường bức xạ không thể đủ. Trong trường hợp đó người ta làm các bộ tản nhiệt một mặt tăng cường bề mặt tản nhiệt mặt khác tăng cường đối lưu tự nhiên như hình 9-29.

Cho đến nay người ta đã áp dụng rất nhiều kiểu bộ tản nhiệt mà điển hình là các bộ tản nhiệt được trình bày trên hình 9-30.

Trên vỏ máy còn có một số chi tiết phụ như ống để cắm nhiệt kế đo nhiệt độ trong máy, van nạp dầu, nút tháo dầu, móc treo để rút ruột máy... Tất cả các chi tiết đó nằm ở những vị trí thích hợp của nó mà trong quá trình sửa chữa ta không được tùy tiện thay đổi.

Hình 9-31 trình bày một máy biến áp có hầu hết các chi tiết đã nói ở trên.

9-2. CÁC DẠNG SỬ CHỮA CHÍNH ĐỐI VỚI MÁY BIẾN ÁP

1. Máy biến áp được sửa chữa mang tính chất phục hồi

Trong khi sửa chữa có thể thay một số chi tiết hỏng hoặc quá cũ, mòn nhưng giữ nguyên các thông số kĩ thuật ban đầu cũng như kết cấu của máy. Đây là dạng sửa chữa đơn giản nhất vì không phải tính toán hoặc đặt ra một công nghệ mới. Tuy nhiên việc phục hồi đầy đủ các thông số kĩ thuật của máy biến áp (công suất, tổn hao ngắn mạch, điện áp ngắn mạch, dòng điện không tải, công suất tổn hao không tải, điện trở các dây quấn, các khoảng cách cách điện...) là rất khó khăn. Khi quấn lại máy biến áp thường các thông số này không giữ được hoàn toàn như của nhà sản xuất mà cho phép thay đổi trong một phạm vi cho trước.

2. Sửa chữa có thay đổi kết cấu nhưng vẫn giữ nguyên các thông số kĩ thuật của nhà chế tạo

Trong trường hợp này máy có thể bị thay đổi kiểu dây quấn, thay đổi cách ép nén dây quấn... Đây là dạng sửa chữa phức tạp hơn. Người sửa chữa cần phải biết tính toán sao cho khi thay đổi kết cấu như vậy mà không làm thay đổi các tính năng kĩ thuật và các chỉ tiêu chất lượng đã quy định trong một khuôn khổ kích thước đã có. Điều phức tạp trong dạng sửa chữa này là phải tạo ra công nghệ mới, đặc biệt là khi sửa chữa các máy biến áp của các hãng nước ngoài mà công nghệ của họ ta chưa có.

3. Sửa chữa mang tính chất cải tiến

Trong trường hợp này máy được thay đổi cả về mặt kết cấu lẫn thông số kĩ thuật như cấp điện áp, chức năng sử dụng (chẳng hạn máy phân phối thành máy chuyên dụng...). Khi đó kết cấu máy thay đổi về cơ bản: kết cấu dây quấn, đầu vào, đầu ra... Dạng sửa chữa này còn phức tạp hơn: người sửa chữa phải có khả năng tính toán lại và thực chất là thiết kế lại.

Trong nhiều trường hợp việc sửa chữa cải tiến đặt ra những yêu cầu rất khó khăn như nâng cao công suất máy để đạt được các yêu cầu công nghệ. Việc nâng cao công suất máy trong một thể tích cho trước như vậy chỉ có thể thực hiện được khi áp dụng các điều kiện sau: 1) Dùng loại thép tốt hơn, thực chất là nâng cao từ cảm của máy, giảm số vòng dây, tăng tiết diện dây dẫn từ đó tăng khả năng tải của máy. 2) Dùng loại dây dẫn có điện trở suất nhỏ hơn, chẳng hạn thay dây đồng bằng dây nhôm, thay dây đồng bằng một loại dây đồng tốt hơn, nhằm mục đích tăng mật độ dòng điện từ đó tăng công suất máy. 3) Tăng cường hiệu quả của hệ thống làm mát như đặt thêm quạt gió cho bộ tản nhiệt, thay đổi kết cấu dây quấn để đầu đối lưu tốt hơn... 4) Đồng thời áp dụng tất cả các biện pháp trên.

Việc thay đổi mạch từ có thể xảy ra trong trường hợp loại máy này thuộc thế hệ quá cũ, được làm từ loại tôn chất lượng thấp trước đây, nay nhân thể cải tiến thì thay luôn bằng tôn mới có chất lượng cao... Những trường hợp như vậy có thể đạt được phạm vi thay đổi khá lớn (từ $B = 1,3T$ đối với tôn cán nóng thế hệ cũ đến $B = 1,75 T$ đối với tôn cán nguội thế hệ mới được ghép chéo góc).

Việc thay đổi dây dẫn thường xảy ra đối với các máy trước đây người ta quấn dây nhôm, bây giờ cải tiến thì thay luôn bằng dây đồng. Phạm vi thay đổi ở trường hợp này cũng khá lớn: từ điện trở suất của nhôm 0,028 xuống còn điện trở suất của đồng bằng 0,0178 (1,57 lần). Điều này có nghĩa là cùng kích thước dây nhưng dùng dây đồng khả năng tải tăng 1,57 lần.

Nếu máy biến áp được cải tạo từ điện áp cao xuống điện áp thấp thì còn có khả năng nâng cao công suất bằng cách rút ngắn khoảng cách cách điện giữa các phần mang điện áp khác nhau, có nghĩa là cuộn dây có thể lớn hơn, khoảng cách giữa cuộn cao và hạ thế bé hơn nên có thể tăng tiết diện dây quấn.

Biện pháp cải thiện điều kiện làm mát của máy biến áp cũng cho hiệu quả khá lớn đặc biệt đối với các máy biến áp lò, làm việc ở nơi có nhiệt độ cao. Đặt quạt hoặc bơm dầu làm mát cưỡng bức có thể tăng khả năng tải của máy biến áp lên khoảng 20%.

Nếu máy biến áp có khoảng điều chỉnh điện áp rộng và nếu công nghệ cho phép ta có thể giảm khoảng điều chỉnh và nâng giới hạn dưới lên để nâng cao công suất.

Nếu đồng thời thay đổi được tất cả các yếu tố trên, hiệu quả tăng, công suất sẽ rất cao. Ta có thể dẫn một vài thí dụ để minh họa.

Thí dụ 1: Một máy biến áp lò sản xuất năm 1960 (thế hệ cũ) có các thông số :

- Công suất định mức 4500-3580 kVA.
- Điện áp định mức 10.500/178-149-128-112-89 V.
- Dòng điện định mức 248-196/14.600-17.400. 20.3000-23.200 A.
- Sơ đồ và tổ nối dây $\Delta/\Delta-0$.
- Điện áp ngắn mạch 4,87%.

Do nhu cầu của công nghệ và nhu cầu nâng cao công suất máy, sau khi áp dụng các biện pháp cải tiến qua thử nghiệm thấy kết quả như sau:

- Công suất 8000- 7600- 7230- 6080- 5625kVA.
- Điện áp định mức 10500/384-365-347-292-270V.
- Dòng điện định mức 440- 418- 398- 335- 310/12.000A.
- Sơ đồ và tổ đấu dây $\Delta/\lambda-11$.
- Điện áp ngắn mạch 10,76%.

Ta nhận thấy máy biến áp sau khi cải tạo cho công suất tăng gần gấp đôi do áp dụng hầu hết các biện pháp nâng công suất đã nêu ở trên.

Thí dụ 2: Một máy biến áp trung gian bị loại khỏi lưới đã được cải tạo để làm một máy biến áp lò. Thông số kĩ thuật của máy biến áp trung gian như sau:

- Công suất 7500 kVA.
- Điện áp định mức 38000/6600.
- Dòng điện định mức 107,5-136/655A.
- Sơ đồ và tổ đấu dây $\lambda/\Delta-11$.
- Điện áp ngắn mạch 7,78%.
- Tổn hao không tải 21.300W.
- Tổn hao ngắn mạch 70.900W.

Máy biến áp đã được cải tạo qua các bước sau :

- + Chế tạo và lắp đặt dây quấn mới.
- + Thay toàn bộ cách điện.
- + Thay các đầu ra cao áp và hạ áp.
- + Thay đổi cụm ép cuộn dây theo hướng dọc trục.
- + Thay bộ tản nhiệt cũ bằng bộ tản nhiệt có đối lưu dầu tự nhiên có làm mát bằng nước.
- + Thay chuyển mạch đổi nối mạch điều chỉnh điện áp.
- + Thay bình giãn dầu cũ bằng bình giãn dầu có bộ lọc ẩm không khí.

Máy biến áp sau khi cải tiến đã đạt được các thông số kĩ thuật sau.

- Công suất 7000-4315 kVA.
- Điện áp định mức 6600/142-87,5V.
- Dòng điện định mức 641-396/28400A.
- Sơ đồ và tổ đấu dây $\Delta/\lambda-11$.
- Điện áp ngắn mạch 11,25%.
- Tổn hao không tải 13.000 W.
- Tổn hao ngắn mạch 139100W.

Ta thấy trong trường hợp này máy đã thay đổi cả kết cấu và thông số kĩ thuật.

Các dạng sửa chữa 2 và 3 gắn với công việc của người chế tạo hơn tuy nhiên lại được thực hiện trong điều kiện của xưởng sửa chữa nên người sửa chữa cần phải nắm vững loại công nghệ này.

Ngoài các dạng sửa chữa kể trên trong thực tế còn có một dạng sửa chữa khác đó là sửa chữa mang tính chất bảo dưỡng. Dạng sửa chữa này không tháo ruột máy ra khỏi vỏ máy mà chỉ bảo dưỡng bên ngoài, kiểm tra, thay hoặc lọc lại dầu biến áp định kì, kiểm tra tình trạng làm việc của các chi tiết bên ngoài, sơn lại vỏ máy nếu thấy cần.

9.3. NHỮNG YÊU CẦU CƠ BẢN ĐỐI VỚI MÁY BIẾN ÁP SAU SỬA CHỮA

Khi sửa chữa máy biến áp chúng ta cần phải bám vào các tiêu chuẩn của nhà nước đã ban hành đối với một máy biến áp khi đưa vào hoạt động trong lưới điện quốc gia. Trong mọi trường hợp máy biến áp sau khi sửa chữa cần phải thỏa mãn các yêu cầu sau:

1. Độ bền điện

Theo yêu cầu này bất cứ máy biến áp nào sau khi sửa chữa đều phải có khả năng chịu quá điện áp gấp vài lần điện áp làm việc trong mọi tình huống xảy ra quá điện áp (đóng ngắt máy biến áp, sét đánh, tràn điện áp do lưới khác có điện áp cao hơn...). Để đảm bảo được độ bền điện của máy biến áp khi sửa chữa cần giữ nguyên các biện pháp bảo vệ mà nhà chế tạo đã thực hiện như vòng điện dung, dây quấn màn chắn...

2. Độ bền nhiệt

Vật liệu cách điện trong máy biến áp bị phá hủy nhanh chóng nếu chúng bị nóng thường xuyên ở nhiệt độ trên 100°C . Nhiệt độ dây quấn càng cao thì quá trình già hóa cách điện xảy ra càng nhanh. Bằng thực nghiệm người ta đã xác định được rằng cứ tăng nhiệt độ lên 8°C thì rút ngắn tuổi thọ dầu biến áp đi 2 lần. Thông thường người ta tính toán để tuổi thọ máy biến áp khoảng 20 năm và nếu đạt được điều đó thì máy biến áp có độ bền nhiệt cao.

Một máy biến áp muốn có độ bền nhiệt cao thì cần phải có sự phân bố nhiệt độ đều, không có bất cứ một chỗ nào bị quá nhiệt. Điều này cần đặc biệt quan tâm khi quấn dây và lắp ráp, đảm bảo việc lưu thông dầu trong tất cả các rãnh thông dầu ngang và dọc.

Để đảm bảo máy biến áp không bị quá nhiệt cũng cần phải lưu ý đến nhiệt độ môi trường và hệ thống làm mát của máy.

Độ bền nhiệt của máy biến áp còn được đánh giá bằng khả năng chịu quá tải của máy. Thông thường thời gian ngắn mạch không lâu nên có thể cho phép dây quấn nóng đến 250°C đối với đồng và 200°C đối với dây nhôm. Trong điều kiện đó thời gian ngắn mạch cho phép có thể tính theo công thức $t = 900/k^2$ (nhưng không quá 5 giây) trong đó k là bội số dòng điện ngắn mạch, nghĩa là :

$$k = \frac{I_n}{I_{dm}} = \frac{100}{u_n}$$

Bảng 9-1 cho bội số dòng điện ngắn mạch và thời gian ngắn mạch cho phép tùy thuộc vào u_n .

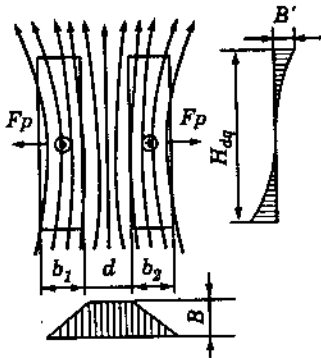
Bảng 9-1. Bội số dòng điện ngắn mạch và thời gian ngắn mạch cho phép của máy biến áp trong quan hệ với u_n

| $u_n, \%$ | k | $t, \text{giây}$ | $u_n, \%$ | k | $t, \text{giây}$ |
|-----------|------|------------------|-----------|------|------------------|
| 4 | 25 | 1,45 | 7 | 14,3 | 4,4 |
| 5 | 20 | 2,25 | 7,5 | 13,3 | 5,1 |
| 5,5 | 18,2 | 2,8 | 8 | 12,5 | 5,7 |
| 6,5 | 15,4 | 3,75 | 10,5 | 9,5 | 10 |

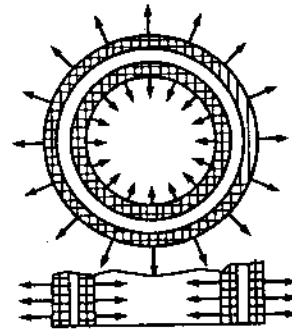
3. Độ bền điện động

Lực cơ học tác động lên dây quấn xuất hiện do sự tác dụng giữa dòng điện chảy trong nó với từ trường tản.

Từ trường tản trong máy biến áp là tổng hợp của hai từ trường dọc và ngang: nó bao gồm các đường sức từ dọc theo trụ và các đường sức từ dọc theo hướng kính (hình 9-32).



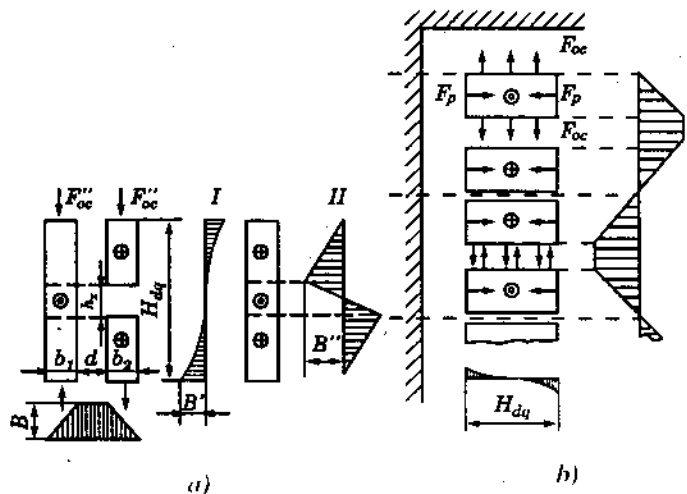
Hình 9-32. Từ trường tản dọc và ngang trong dây quấn kiểu đồng tâm.



Hình 9-33. Các lực trong dây quấn đồng tâm.

Trong dây quấn kiểu đồng tâm sự tác dụng giữa dây quấn và từ trường tản có hướng kéo dây quấn ngoài và ép dây quấn trong theo hướng kính (hình 9-33).

Sự tác dụng tương hỗ của từ trường tản ngang với dòng điện trong dây quấn gây ra lực hướng trục có xu hướng ép cuộn dây. Lực này tương đối nhỏ khi dây quấn đối xứng và khá lớn, có thể đạt đến mức nguy hiểm trong trường hợp các vòng dây phân bố không đều theo chiều cao (hình 9-34).



Hình 9-34. Lực hướng trục khi dây quấn đồng tâm không đối xứng.

Đối với dây quấn xen kẽ sự phân bố các lực dọc trục và hướng kính có khác: các lực hướng trục ở hai đầu dây quấn có xu hướng ép các cuộn dây về phía gông trên và dưới; các lực hướng trục của các bồi dây ở giữa là lực ép bằng lực ép dọc trục như trong dây quấn đồng tâm. Lực điện động hướng kính trong dây quấn xen kẽ không đáng kể nên bỏ qua.

Lực điện động lớn nhất khi bị ngắn mạch và do vậy tiêu chuẩn về độ bền điện động là không có một chỉ tiết nào của dây quấn không chịu được lực điện động (không bị sự cố) khi ngắn mạch trên các cực của dây quấn thứ cấp với bội số dòng điện ngắn mạch bằng 25.

4. Máy biến áp phải có khả năng làm việc song song

Tất cả các máy biến áp truyền tải và phân phối khi sản xuất đều phải đạt tiêu chuẩn nhà nước trong đó có điều kiện làm việc song song.

5. Các yêu cầu đặc biệt đối với một số máy biến áp đặc biệt hoặc làm việc trong điều kiện đặc biệt, chẳng hạn máy biến áp chỉnh lưu, máy biến áp lò...

CHƯƠNG 10

TỔ NỐI DÂY MÁY BIẾN ÁP

10-1. KHÁI NIỆM CHUNG

Trong hệ thống điện các máy biến áp truyền tải và phân phối thường phải làm việc song song. Một trong những điều kiện để chúng có thể làm việc song song được với nhau là chúng phải cùng tổ nối dây. Trong chương này chúng ta cùng tìm hiểu tổ nối dây là gì và trong thực tế phải làm thế nào để các máy biến áp có cùng tổ nối dây.

Các đầu dây của dây quấn máy biến áp được kí hiệu như sau:

- Đầu đầu dây quấn cao áp kí hiệu là A, B, C.
- Đầu cuối của dây quấn cao áp kí hiệu là X, Y, Z.
- Đầu đầu dây quấn hạ áp kí hiệu là a, b, c.
- Đầu cuối dây quấn hạ áp kí hiệu là x, y, z.
- Đầu đầu dây quấn trung áp kí hiệu là A_m, B_m, C_m .
- Đầu cuối của dây quấn trung áp kí hiệu là X_m, Y_m, Z_m .
- Các đầu trung tính phía cao áp, trung áp, hạ áp lần lượt là O, O_m , o hay N, N_m , n

Các dây quấn có thể nối tam giác (Δ); sao (Λ); zikzắc (Z).

Tổ nối dây bao gồm các yếu tố sau:

- Chiều quấn dây;
- Cách kí hiệu đầu dây.

Cách đấu các pha với nhau; có thể làm việc song song với nhau các máy biến áp cần có một số điều kiện cần thiết trong đó có điều kiện cùng tổ nối dây. Vậy tổ nối dây của máy biến áp là gì?

Sau đây ta nghiên cứu các yếu tố cấu thành tổ nối dây, cách tạo thành tổ nối dây trong phối hợp cách đấu bên sơ cấp và thứ cấp.

Thông thường chiều quấn dây được quy định thống nhất và do đó không đưa vào kí hiệu của tổ nối dây. Ba yếu tố còn lại được đưa vào kí hiệu tổ nối dây như sau: chẳng hạn ta có tổ nối dây $\Lambda/\Delta-11$ có nghĩa là dây quấn sơ cấp nối Λ , dây quấn thứ cấp nối Δ , điện áp dây thứ cấp vượt trước điện áp dây sơ cấp 30° .

Để có kí hiệu này ta quy ước như sau: lấy kim phút (trên đồng hồ đo thời gian) tượng trưng cho điện áp dây sơ cấp, tùy theo kí hiệu đầu dây mà vectơ điện áp dây thứ cấp được đặc trưng bởi kim giờ sẽ lần lượt chỉ các số từ 1 đến 12.

Như vậy, giữa các tổ nối dây chẵn hoặc giữa các tổ nối dây lẻ với nhau sẽ cách nhau 60° , các tổ cùng tên chẳng hạn Λ/Λ ; Δ/Δ hoặc Δ/Z sẽ là các tổ chẵn 2, 4, 6, 8, 10, 12, các tổ khác tên chẳng hạn Λ/Δ , Δ/Λ , Λ/Z sẽ là các tổ nối dây lẻ 1, 3, 5, 7, 9, 11.

Bảng 10-1 cho thấy sự hình thành các tổ nối dây từ các tổ nối dây cơ sở 5, 6, 12, 11 bằng cách chuyển dịch kí hiệu các đầu dây trên nắp thùng mà không phải đấu lại bên trong máy.

Trong thực tế người ta không dùng tất cả các tổ nối dây mà chỉ dùng một số tổ nối dây thông dụng nhất (hình 10-1).

Bảng 10-1. Sự hình thành các tổ nối dây từ các tổ nối dây cơ sở 5, 6, 12, 11

| TỔ CHẴN | | | | TỔ LẺ | | | |
|---------|---------------------|--------------|------------------|-------|---------------------|--------------|------------------|
| Tổ | Dịch chuyển góc Sđđ | Đồ thị vectơ | Ký hiệu đầu ra | Tổ | Dịch chuyển góc Sđđ | Đồ thị vectơ | Ký hiệu đầu ra |
| 12 | 0° | | A.B.C.
a.b.c. | ○ | 330° | | A.B.C.
a.b.c. |
| 4 | 120° | | A.B.C.
c.a.b. | 3 | 90° | | A.B.C.
c.a.b. |
| 8 | 240° | | A.B.C.
b.c.a. | 7 | 210° | | A.B.C.
b.c.a. |
| 6 | 180° | | A.B.C.
a.b.c. | ○ | 150° | | A.B.C.
a.b.c. |
| 10 | 300° | | A.B.C.
c.a.b. | 9 | 270° | | A.B.C.
c.a.b. |
| 2 | 60° | | A.B.C.
b.c.a. | 1 | 30° | | A.B.C.
b.c.a. |

Trên các sơ đồ này ta quy ước tất cả các chữ cái kí hiệu đầu dây đều nằm phía trên hoặc đều nằm phía dưới được coi là cùng kí hiệu đầu dây. Các cuộn dây trên cùng một cột được coi là cùng một trụ, tất cả các sơ đồ và các dây quấn được quy ước cùng một thứ tự pha nghĩa là thứ tự các chữ cái phải quay vòng tròn từ trái qua phải khi thay đổi kí hiệu đầu dây. Các cuộn dây trên cùng một trụ sẽ có s.d.đ trùng phương; việc các vectơ đó cùng chiều hay không phụ thuộc vào kí hiệu đầu dây giống nhau hay không.

10-2. XÁC ĐỊNH TỔ NỐI DÂY BẰNG PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

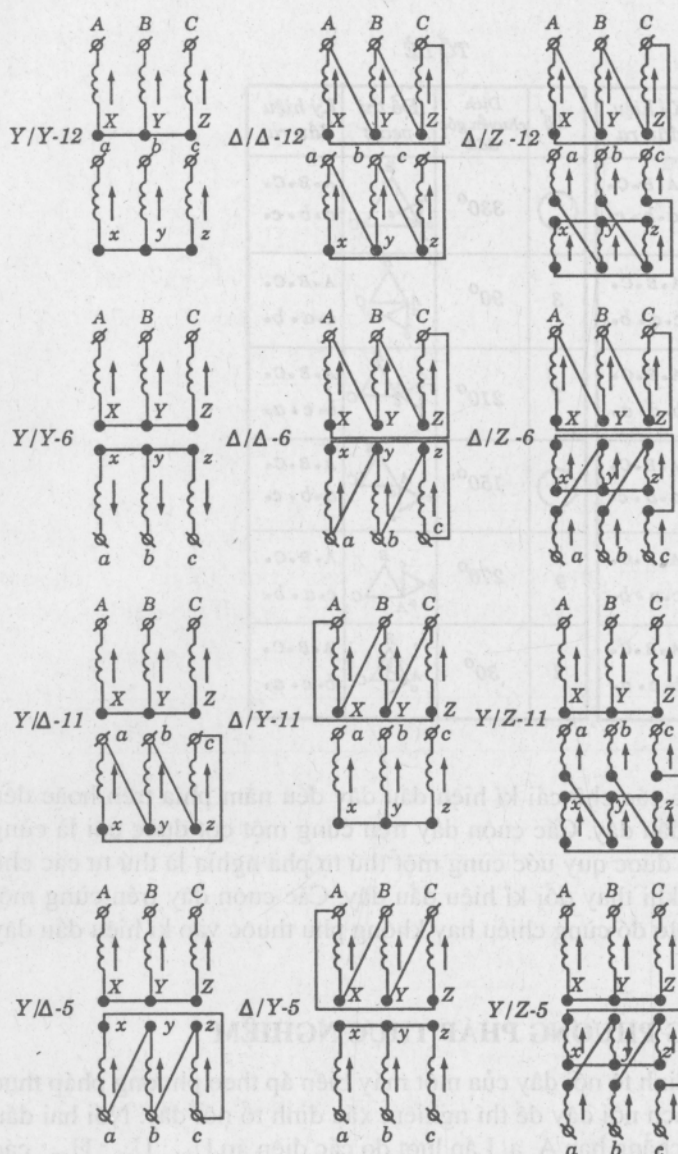
Trong mọi trường hợp ta có thể xác định tổ nối dây của một máy biến áp theo phương pháp thực nghiệm nhờ một vôn kế. Hình 10-2 chỉ cách nối dây để thí nghiệm xác định tổ nối dây. Nối hai đầu cùng tên của hai dây quấn sơ và thứ cấp, chẳng hạn A, a. Lần lượt đo các điện áp U_{Bb} ; U_{Cc} ; U_{Cb} ; các điện áp U_{Bb} ; U_{Cc} phải bằng nhau. Lập bảng 10-2, so sánh điện áp U_{CB} với điện áp U_{bB} và theo bảng này để xác định tổ nối dây. Nếu các kết quả đo không tương ứng với bất cứ trường hợp nào trong bảng thì có thể kết luận là thứ tự pha của sơ cấp và thứ cấp khác nhau.

Trong bảng 10-2, k là tỉ số điện áp dây cao áp và hạ áp. Nếu tỉ số này quá lớn có thể dẫn đến sai số trong việc xác định tổ nối dây. Trong trường hợp đó ta cần dùng một máy biến áp hạ áp có tổ nối dây 12 nối với dây quấn cao áp và thay vì việc đo trên các đầu A, B, C ta đo trên các đầu dây a, b, c của máy biến áp giảm áp. Tổ nối dây cũng có thể xác định bằng các phương pháp khác chẳng hạn bằng thiết bị đo pha, watt met, máy đo cực tính, tuy nhiên phương pháp trên đơn giản và thông dụng nhất.

10-3. ĐẦU CÁC MÁY BIẾN ÁP CÓ TỔ NỐI DÂY KHÁC NHAU VÀO LÀM VIỆC SONG SONG

Muốn cho hai máy biến áp làm việc song song cần hội đủ các điều kiện sau:

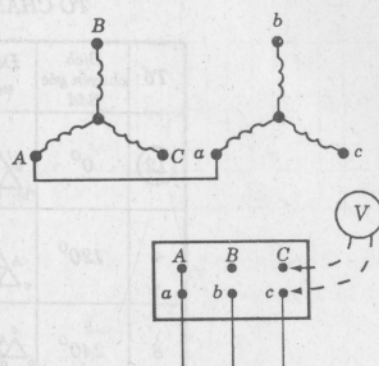
- Có tổ nối dây giống nhau.



Hình 10-1. Sơ đồ một số tổ nối dây chính của máy biến áp ba pha.

Bảng 10-2. Để xác định tổ nối dây bằng phương pháp thực nghiệm

| Tổ nối dây | $U_{bB} = U_{cC}$ | U_{cB} | Tổ nối dây | $U_{bB} = U_{cC}$ | U_{cB} |
|------------|------------------------------|----------|------------|------------------------------|----------|
| 12 | $k-1$ | - | 6 | $k+1$ | - |
| 1 | $\sqrt{k^2 - k\sqrt{3} + 1}$ | > | 7 | $\sqrt{k^2 + k\sqrt{3} + 1}$ | < |
| 2 | $\sqrt{k^2 - k + 1}$ | > | 8 | $\sqrt{k^2 + k + 1}$ | < |
| 3 | $\sqrt{k^2 + 1}$ | > | 9 | $\sqrt{k^2 + 1}$ | < |
| 4 | $\sqrt{k^2 + k + 1}$ | > | 10 | $\sqrt{k^2 - k + 1}$ | < |
| 5 | $\sqrt{k^2 + k\sqrt{3} + 1}$ | = | 11 | $\sqrt{k^2 - k\sqrt{3} + 1}$ | = |



Hình 10- 2. Cách đo để xác định tổ nối dây.

- Có điện áp ngắn mạch bằng nhau.

- Có tỉ số biến đổi và điện áp thứ cấp giống nhau.

Trong các điều kiện trên thì điều kiện cùng tổ nối dây quan trọng nhất vì khi đó điện áp dây hai máy lệch nhau tối thiểu 30° và như vậy điện áp chênh lệch đặt lên mỗi máy sẽ là:

$$\Delta E = 2\sin 15^\circ = 0,518E_2.$$

Dòng điện cân bằng chảy trong hai máy lúc đó bằng:

$$I_{cb} = \frac{\Delta E}{Z_{nI} + Z_{nII}} = 4 \div 6 \text{ lần dòng định mức.}$$

Dòng điện này có thể gây ra lực điện động lớn và nóng làm hỏng máy.

Khi gặp trường hợp cần ghép hai máy biến áp có tổ nối dây khác nhau vào làm việc song song với nhau ta cần phải làm như sau:

Có thể đấu cho làm việc song song các máy biến áp trong bốn trường hợp dưới đây:

1) Khi cùng tổ nối dây.

2) Giữa các tổ nối dây cơ bản và các tổ nối dây hệ quả (có được do thay đổi kí hiệu đầu dây), cụ thể là giữa các tổ 12, 4, 8, 6, 10, 2; 11, 3, 7, 5, 9, 1 bằng cách thay đổi kí hiệu đầu dây của một trong hai máy. Để đấu các máy này làm việc song song cần phải đấu các đầu cực theo thứ tự trong bảng 10-3.

Bảng 10-3. Kí hiệu đầu dây hạ áp so với cao áp của các máy hệ quả so với các máy có tổ nối dây cơ sở

| Tổ nối dây | | | | Dây quấn cao áp | | | Dây quấn hạ áp | | |
|------------|----|----|---|-----------------|---|---|----------------|---|---|
| 12 | 6 | 11 | 5 | A | B | C | a | b | c |
| 4 | 10 | 3 | 9 | A | B | C | c | a | b |
| 8 | 2 | 7 | 1 | A | B | C | b | c | a |

Trong bảng 10-3 các tổ nối dây cơ sở là các tổ 12, 6; 11, 5. Vị trí các chữ cái trong bảng tương ứng với vị trí của chúng trên sơ đồ đầu dây.

3) Giữa các tổ 11, 3, 7, và các tổ tương ứng 5, 9, 1. Bảng 10-4 cho thứ tự đấu các đầu dây đối với trường hợp chuyển từ tổ 5 đến tổ 11.

Bảng 10-4. Vị trí các đầu dây khi chuyển từ tổ 5 đến tổ 11

| Tổ nối dây | Dây quấn cao áp | | | Dây quấn hạ áp | | |
|------------|-----------------|---|---|----------------|---|---|
| 11 | A | B | C | a | b | c |
| 5 | A | C | B | c | b | a |
| | C | B | A | b | a | c |
| | B | A | C | a | c | b |

4) Giữa các tổ nối dây lẻ khi dịch các vectơ điện áp thứ cấp đi 60° một, chẳng hạn giữa các tổ 1 và 11, ta cần phải đảo hai pha (đối với tổ 1) phía cao áp và đảo hai pha phía hạ áp cho nhau.

Không thể cho một máy biến áp có tổ nối dây chẵn làm việc song song với máy biến áp có tổ nối dây lẻ bởi vì việc thay đổi kí hiệu đầu dây không thể làm cho chúng cùng tổ nối dây.

Việc cho các máy biến áp có tổ nối dây 12, 4, 8 làm việc song song với các máy biến áp có tổ nối dây 6, 10, 2 chỉ có thể bằng cách đảo đầu đầu và đầu cuối của một trong hai dây quấn sơ cấp hoặc thứ cấp và như vậy buộc phải rút ruột máy ra ngoài mới thực hiện được.

Việc có thể đấu các máy biến áp có tổ nối dây 11, 3, 7 cho làm việc song song với các máy biến áp có tổ nối dây tương ứng 5, 9, 1 hoặc tổ 1 với tổ 11 được giải thích như sau.

Khi đảo hai pha bất kì của dây quấn sơ cấp chẳng hạn B và C đối với trường hợp đấu Δ/Δ (hình 10-3a và b) cũng như đối với trường hợp đấu Δ/Y (hình 10-3c và d) đồ thị vectơ s.d.đ sơ cấp đã quay đi 180° đối với trục 1-1 (vuông góc với s.d.đ BC) còn đồ thị vectơ s.d.đ thứ cấp đã quay đi 180° so với trục 2-2 (song song với trục 1-1).

Khi đảo hai pha dây quấn sơ cấp vị trí tương đối của đồ thị vectơ s.d.đ của cả hai dây quấn không thay đổi nhưng thứ tự pha của cả hai dây quấn đã thay đổi.

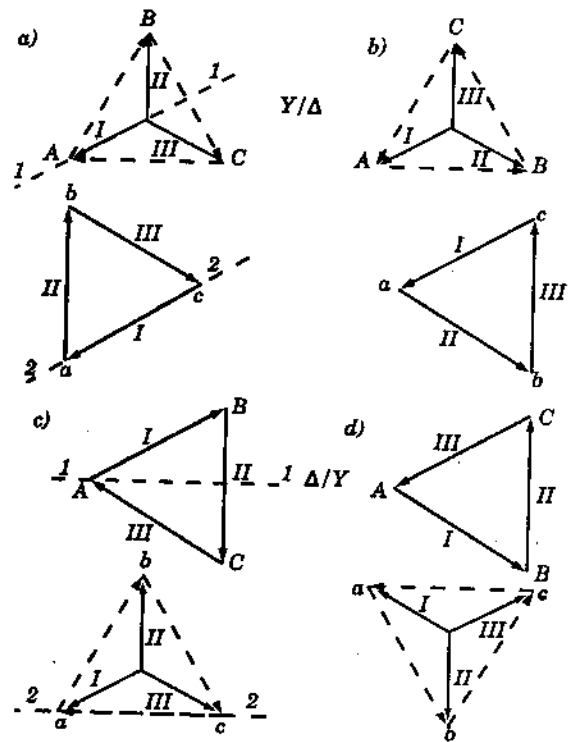
Trong cả hai trường hợp xét ở trên khi đảo hai pha trong dây quấn sơ cấp vectơ điện áp dây thứ cấp (ab) đã xoay theo chiều quay của đồ thị vectơ đi 120° , còn vectơ (bc) quay đi 120° theo chiều ngược lại.

Nếu sau đó ta tiếp tục đảo hai pha thứ cấp, thí dụ với ca thì vectơ điện áp dây bc xoay đi 60° thuận chiều quay vectơ còn vectơ ab xoay đi 60° ngược chiều quay vectơ và như vậy thứ tự pha của đồ thị vectơ s.d.đ thứ cấp trở lại như cũ.

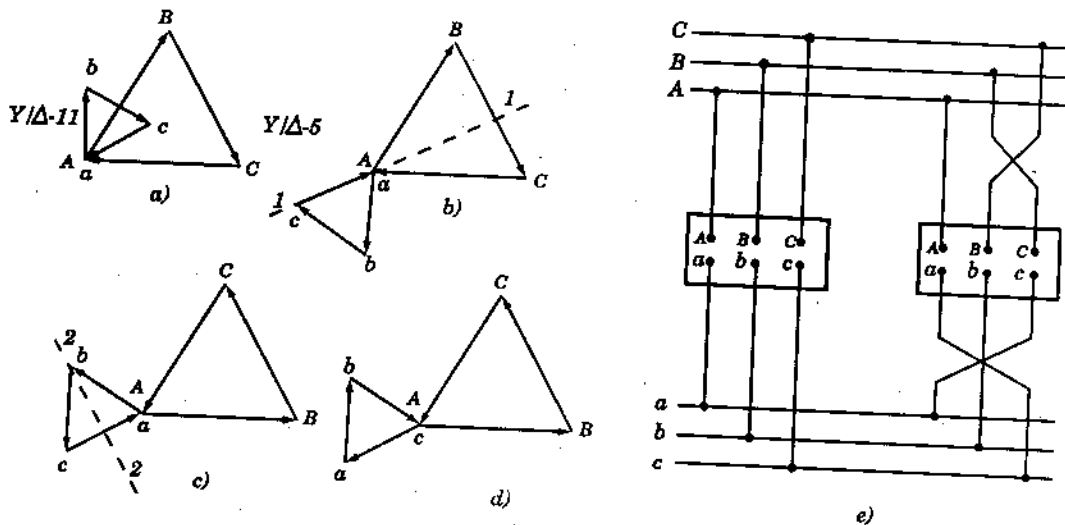
Qua phân tích trên ta thấy bằng cách đảo hai pha trong dây quấn thứ cấp và đảo hai pha trong dây quấn sơ cấp ta có thể thay đổi pha của dây quấn thứ cấp đối với các tổ nối dây là đi $\pm 120^\circ$, $\pm 60^\circ$.

Để làm thí dụ ta hãy xem xét trường hợp đảo pha dây quấn của máy biến áp có tổ nối dây $\Delta/\Delta-5$ để làm việc song song với máy biến áp có tổ nối dây $\Delta/\Delta-11$ (hình 10-4a). Trên hình 10-4 b, c, d mô tả các bước xây dựng đồ thị vectơ khi tiến hành đảo pha: khi đảo pha B và C cho nhau đồ thị vectơ s.d.đ sơ cấp quay đi 180° xung quanh trục 1-1 còn các vectơ s.d.đ thứ cấp quay xung quanh trục ac. Khi đảo hai pha c và a các vectơ s.d.đ thứ cấp quay đi 180° xung quanh trục 2-2.

Qua phân tích trên ta thấy tam giác vectơ thứ cấp trong trường hợp này trùng với tam giác vectơ thứ cấp ứng với tổ nối dây $\Delta/\Delta-11$. Chiều quay của đồ thị vectơ không hề thay đổi. Sơ đồ thực hiện việc đấu nối được trình bày trên hình 10-4 e.



Hình 10-3. Lý giải khả năng đấu các máy biến áp có tổ nối dây lẻ vào làm việc song song.



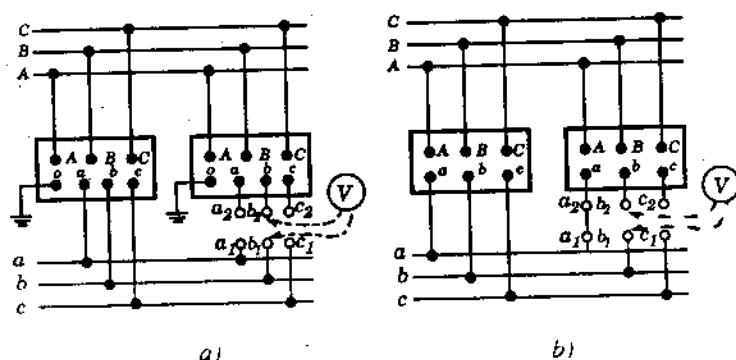
Hình 10-4. Đồ thị vectơ và sơ đồ đấu nối khi cho máy biến áp có tổ nối dây $\Delta/\Delta-5$ làm việc song song với máy biến áp có tổ nối dây $\Delta/\Delta-11$.

10-4. ĐỊNH PHA CHO MÁY BIẾN ÁP

Trong những trường hợp sau khi lắp ráp hoặc sau khi sửa chữa lớn (phải tháo cáp dẫn ra khỏi máy) chúng ta cần xác định lại vị trí pha của các máy biến áp làm việc song song, sao cho khi dây quấn sơ cấp được nối với cùng một lưới thì các pha tương ứng của dây quấn thứ cấp phải trùng pha nhau. Công việc này gọi là định pha máy biến áp.

Trước khi định pha máy biến áp ta cần kiểm tra điện áp nguồn xem có đối xứng hay không. Việc này được thực hiện bằng cách đo điện áp phía thứ cấp (hạ áp) xem có đối xứng không, các cực tính dự kiến được nối với nhau có khác nhau về điện áp không. Ở đây ta chỉ xét trường hợp lưới thứ cấp là hạ áp có điện áp dưới 400V và như vậy là ta đã tiến hành định pha từ phía hạ áp.

Dây quấn hạ áp của các máy biến áp định pha cần phải được nối với nhau bằng hai đầu ra bất kỳ nào đó. Trong trường hợp các máy đều có trung tính nối đất thì không cần nối nữa vì chính đất đã là cầu nối nối trên, việc nối thêm hai đầu dây khác có thể gây ngắn mạch vì rất có thể hai đầu dây khác pha nhau. Sơ đồ nối trong hai trường hợp trên được mô tả trên hình 10-5.



Hình 10-5. Định pha các máy biến áp có trung tính nối đất (a) và trung tính cách điện (b).

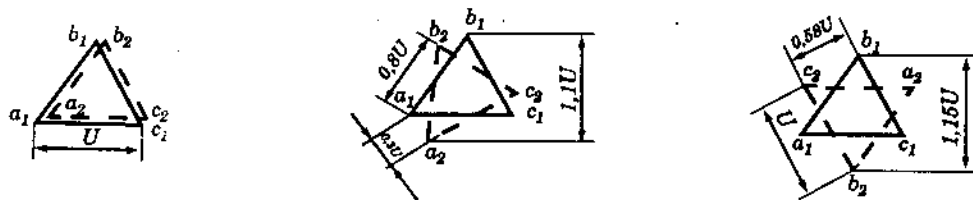
Khi định pha các máy biến áp có trung tính nối đất (hình 10-5a) ta phải đo các điện áp giữa các đầu a_1, b_1 với các đầu a_2, b_2, c_2 .

Khi định pha các máy biến áp không có trung tính nối đất ta cần nối tắt lần lượt các cặp $a_2 - a_1; a_2 - b_1; a_2 - c_1$ và đo điện áp giữa 4 cặp đầu ra khác.

Trên cơ sở các số liệu đo được ta xây dựng đồ thị vectơ và từ đó kết luận về khả năng làm việc song song của chúng.

Trong các bảng 10-5, 10-6 trình bày cách làm và kết quả định pha một số trường hợp.

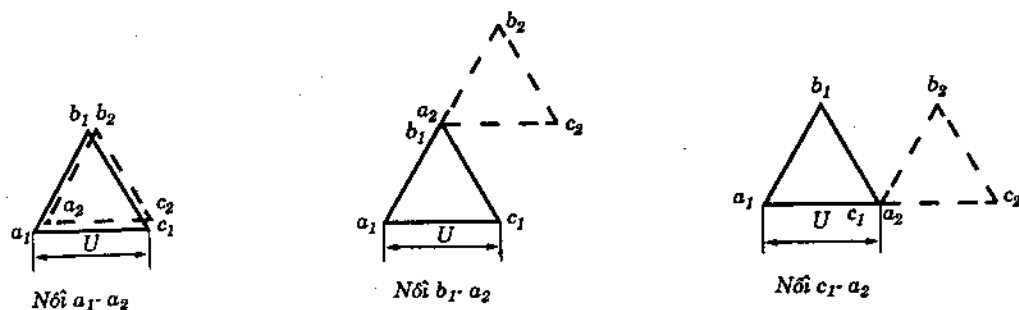
Bảng 10-5. Đồ thị vectơ điện áp khi định pha các máy biến áp có trung tính nối đất



| | | |
|--|--|--|
| $U_{a1a2} = 0$
$U_{a1b2} = U$
$U_{a1c2} = U$
$U_{b1a2} = U$
$U_{b1b2} = U$
$U_{b1c2} = U$ | $U_{a1a2} = 0,3U$
$U_{a1b2} = 0,8U$
$U_{a1c2} = 1,1U$
$U_{b1a2} = 1,1U$
$U_{b1b2} = 0,3U$
$U_{b1c2} = 0,8U$ | $U_{a1a2} = 1,15U$
$U_{a1b2} = 0,58U$
$U_{a1c2} = 0,58U$
$U_{b1a2} = 0,58U$
$U_{b1b2} = 1,15U$
$U_{b1c2} = 0,58U$ |
|--|--|--|

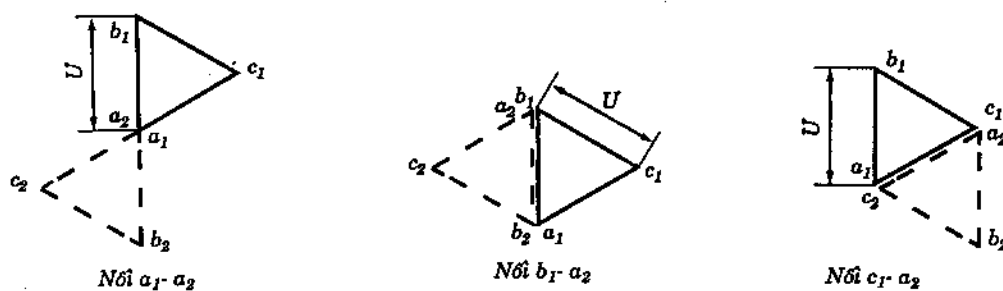
| | | |
|--|--|--|
| Các máy biến áp có tổ nối dây giống nhau; có thể cho làm việc song song khi nối các đầu a_1 và a_2 ; b_1 và b_2 ; c_1 và c_2 . | Không thể làm việc song song; các máy biến áp có tổ nối dây khác nhau (tổ chẵn và tổ lẻ); các vectơ s.d.đ thứ cấp lệch nhau 30° . | Các máy biến áp có tổ nối dây khác nhau; đồ thị vectơ s.d.đ thứ cấp lệch nhau 180° ; có thể đấu cho làm việc song song đối với các tổ lẻ bằng cách đảo pha nguồn đến máy biến áp ở phía cao áp và hạ áp; đối với các tổ chẵn cần phải nối lại dây quấn bên trong máy. |
|--|--|--|

Bảng 10-6. Đồ thị vectơ điện áp khi định pha các máy biến áp có trung tính không nối đất



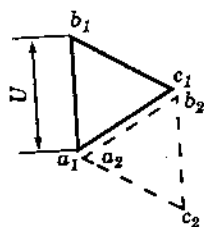
| | | |
|--|---|---|
| $U_{b_1b_2} = 0$
$U_{b_1c_2} = U$
$U_{c_1b_2} = U$
$U_{c_1c_2} = U$ | $U_{a_1b_2} = 2U$
$U_{a_1c_2} = 1,73U$
$U_{c_1b_2} = 1,73U$
$U_{c_1c_2} = U$ | $U_{a_1b_2} = 1,73U$
$U_{a_1c_2} = 2U$
$U_{b_1b_2} = U$
$U_{b_1c_2} = 1,73U$ |
|--|---|---|

Các máy biến áp có cùng tổ nối dây; có thể làm việc song song khi nối các đầu a_1 và a_2 ; b_1 và b_2 ; c_1 và c_2 .

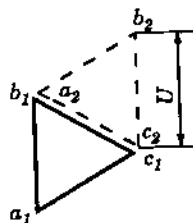


| | | |
|--|--|--|
| $U_{b_1b_2} = 2U$
$U_{b_1c_2} = 1,73U$
$U_{c_1b_2} = 1,73U$
$U_{c_1c_2} = 2U$ | $U_{a_1b_2} = 0$
$U_{a_1c_2} = U$
$U_{c_1b_2} = U$
$U_{c_1c_2} = 1,73U$ | $U_{a_1b_2} = U$
$U_{a_1c_2} = U$
$U_{b_1b_2} = 1,73U$
$U_{b_1c_2} = U$ |
|--|--|--|

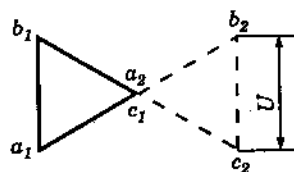
Các máy biến áp có tổ nối dây khác nhau; các vectơ s.d.đ thứ cấp lệch nhau 180^0 ; có thể đấu cho làm việc song song bằng cách đảo pha bên sơ cấp và thứ cấp; đối với các tổ chẵn cần đấu lại bên trong máy.



Nối $a_1 - a_2$



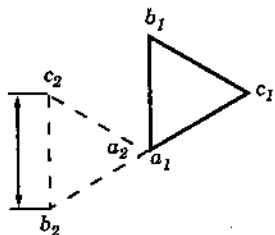
Nối $b_1 - a_2$



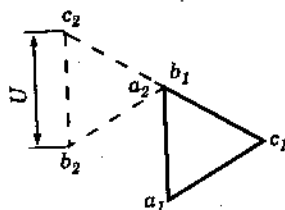
Nối $c_1 - a_2$

| | | |
|--|--|--|
| $U_{b1b2} = U$
$U_{b1c2} = 1,73U$
$U_{c1b2} = 0$
$U_{c1c2} = U$ | $U_{a1b2} = 1,73U$
$U_{a1c2} = U$
$U_{c1b2} = U$
$U_{c1c2} = 0$ | $U_{a1b2} = 2U$
$U_{a1c2} = 1,73U$
$U_{b1b2} = 1,73U$
$U_{b1c2} = 2U$ |
|--|--|--|

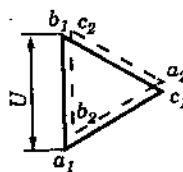
Các máy biến áp có tổ nối dây khác nhau; các vectơ s.d.đ thứ cấp lệch nhau 60^0 ; có thể đấu cho làm việc song song các máy biến áp có tổ dây nối lẻ (ví dụ $\Delta/\Delta - 11$; $\Delta/\Delta - 1$) bằng cách đảo các pha bên sơ cấp và thứ cấp.



Nối $a_1 - a_2$



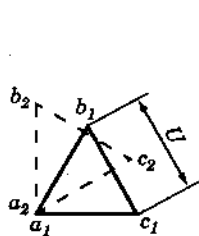
Nối $b_1 - a_2$



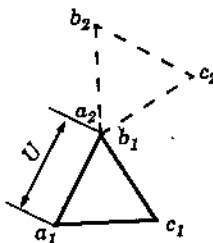
Nối $c_1 - a_2$

| | | |
|---|---|--|
| $U_{b1b2} = 1,73U$
$U_{b1c2} = U$
$U_{c1b2} = 2U$
$U_{c1c2} = 1,73U$ | $U_{a1b2} = U$
$U_{a1c2} = 1,73U$
$U_{c1b2} = 1,73U$
$U_{c1c2} = 2U$ | $U_{a1b2} = 0$
$U_{a1c2} = U$
$U_{b1b2} = U$
$U_{b1c2} = 0$ |
|---|---|--|

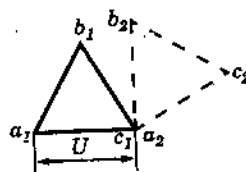
Các máy biến áp có tổ nối dây khác nhau; các vectơ s.d.đ thứ cấp lệch nhau 120^0 ; có thể đấu cho làm việc song song bằng cách đảo các pha bên sơ cấp và thứ cấp.



Nối $a_1 - a_2$



Nối $b_1 - a_2$



Nối $c_1 - a_2$

| | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| $U_{b1b2} = 0,5U$ | $U_{a1b2} = 1,9U$ | $U_{a1b2} = 1,4U$ |
| $U_{b1c2} = 0,5U$ | $U_{a1c2} = 1,9U$ | $U_{a1c2} = 1,9U$ |
| $U_{c1b2} = 1,4U$ | $U_{c1b2} = 1,9U$ | $U_{b1b2} = 0,5U$ |
| $U_{c1c2} = 0,5U$ | $U_{c1c2} = 1,4U$ | $U_{b1c2} = 1,4U$ |

Không thể đấu các máy biến áp làm việc song song; các máy biến áp có tổ nối dây khác nhau (chẵn và lẻ); các vectơ s.d.đ lệch nhau 30° .

Khi đã phải thực hiện việc định pha các máy biến áp trước khi đấu cho làm việc song song thì không cần phải xác định sơ bộ tổ nối dây của chúng nữa vì quá trình định pha đã cho ta biết khả năng làm việc song song và cần phải đấu thế nào để chúng có thể làm việc song song.

CHƯƠNG 11

CÁC DẠNG SỰ CỐ THƯỜNG XẢY RA TRONG MÁY BIẾN ÁP

11-1. MÁY BIẾN ÁP BỊ QUÁ NHIỆT

1. Quá nhiệt do quá tải

Quá tải có thể do công suất đặt của máy không đủ nên gây ra sự quá tải thường xuyên ở mức độ nào đó. Trường hợp này máy bị quá nhiệt trong thời gian dài thường gây ra sự phá hủy cách điện toàn diện (thường gọi máy biến áp bị om) từ trong ra ngoài. Ở phía ngoài do tản nhiệt tốt nên màu sắc cuộn dây có thể vẫn tươi nhưng bên trong cách điện bị ròn, chuyển thành màu sẫm, các thông số về điện trở, cơ, lí, hóa tính đều thay đổi theo xu hướng xấu đi. Các đặc tính của dầu máy biến áp cũng thay đổi: điện áp đánh thủng giảm, hàm lượng axit trong dầu tăng, nhiệt độ chớp cháy giảm, dầu bị đổi màu thành màu sẫm. Mức độ hủy hoại cách điện phụ thuộc vào mức độ quá tải, nếu quá tải ít thì có thể coi là chế độ làm việc bình thường vì máy biến áp nào cũng có một năng lực quá tải nhất định. Tất nhiên điều kiện này còn phụ thuộc vào các điều kiện khác, chẳng hạn nhiệt độ môi trường, điều kiện làm mát của trạm v.v... Để duy trì sự làm việc của máy lâu dài cần tăng cường làm mát cho máy hoặc trạm (đặt thêm quạt gió, mở thêm cửa làm mát, làm thông thoáng trạm, cố gắng phân tải đều cho các pha tránh quá tải cục bộ).

Sự quá tải cũng có thể xảy ra do đồ thị phụ tải biến đổi nhiều theo giờ hoặc theo mùa. Quá tải dạng này thường xảy ra trong thời gian ngắn nhưng biên độ phụ tải có thể vượt xa định mức, thậm chí nhiều trường hợp tràn dầu ra ngoài, gây sự cố nghiêm trọng. Sự quá tải nặng làm cho dây quấn của máy rung và do đó khả năng xảy ra chạm chập tăng. Mặt khác do nhiệt độ tăng, sự dãn nở của dầu trở nên mãnh liệt cuốn theo cả cặn dầu nổi lên làm cho cách điện của dầu bị giảm nhanh, tạo điều kiện cho sự phóng điện xảy ra. Các tiếp điểm của bộ chuyển mạch cũng bị nóng lên quá mức bình thường làm cho tuổi thọ của chúng giảm nhanh, thậm chí có thể xảy ra sự cố. Phương pháp khắc phục là cắt bớt các phụ tải không quan trọng, tăng cường làm mát máy trong thời gian quá

tải, hiệu chỉnh role khí, nếu có thể cắt máy khỏi lưới khi sự quá tải đạt đến trị số được coi là nguy hiểm.

2. Quá nhiệt do nhiệt độ môi trường quá cao

Nhiệt độ môi trường quá cao có thể do máy đặt trong phòng kín, điều kiện thông gió kém (các cửa thông gió lâu ngày bị bụi bám hoặc mạng nhện bám...). Cần tiến hành đo nhiệt độ ở các khu vực cách máy biến áp 1,5 đến 2 mét trên chiều cao lưng chừng máy. Nếu nhiệt độ này cao hơn nhiệt độ môi trường ngoài trạm 8 đến 10°C thì phải có biện pháp thông gió kịp thời. Đối với máy biến áp dưới 1000 kVA có thể đặt quạt thông gió cưỡng bức đối lưu không khí trong và ngoài trạm, đối với máy lớn hơn 1000 kVA cần phải có một hệ thống thông gió đặc biệt. Thường việc thông gió được tính toán sao cho độ tăng nhiệt của không khí giữa đầu vào và đầu ra trạm không quá 15°C (chỉ tiêu này ở các nước phát triển là 9°C). Quá nhiệt độ đối với các máy biến áp ngoài trời thường là do nắng nóng hoặc trạm bị che khuất, không có gió thổi hoặc gần một nguồn nhiệt thải nào đó. Cách khắc phục đối với trường hợp này là đặt thêm quạt gió cho các bộ tản nhiệt của máy.

3. Quá nhiệt do mức dầu quá thấp

Mức dầu trong máy biến áp giảm dần do bị rò rỉ ở đáy thùng mà không biết, do bị trào ra ngoài trong những lần tải quá mức. Khi mức dầu xuống dưới một mức độ nào đó, một phần lõi thép nhô lên trên dầu, sự làm mát sẽ kém đi làm cho máy bị quá nhiệt. Nếu mức dầu xuống dưới miệng ống tản nhiệt, sự làm mát do đối lưu của dầu không còn nữa, máy sẽ bị quá nhiệt. Biện pháp khắc phục duy nhất là đổ thêm dầu cho đến mức quy định.

4. Quá nhiệt do sự đối lưu của dầu kém

Trong cuộn dây của máy biến áp có rãnh dầu ngang và dọc, nếu các rãnh dầu này bị tắc sẽ làm cho quá trình đối lưu của dầu bị hạn chế và máy biến áp lúc đó sẽ bị quá nhiệt. Sự quá nhiệt trong trường hợp này thường xảy ra cục bộ (một galet hoặc một cuộn dây, một pha nào đó). Sự đối lưu của dầu bị hạn chế còn do tắc một phần trong ống hoặc bộ tản nhiệt. Cách khắc phục là kiểm tra tất cả các rãnh thông dầu trên cuộn dây và trong các bộ tản nhiệt.

5. Trong máy biến áp có các mạch vòng ngắn mạch

1) Hỏng cách điện giữa các lá thép mạch từ. Trường hợp này xảy ra làm xấu chất lượng dầu (giảm nhiệt độ chớp cháy, tăng hàm lượng axit), tổn hao trong lõi thép tăng làm cho máy bị nóng. Nguyên nhân làm hỏng cách điện là hơi ẩm ngưng tụ trong lớp dầu phía trên gông tạo thành một lớp nhũ tương (hỗn hợp hơi ẩm và dầu nóng) làm gỉ các lá tôn. Để phát hiện dạng sự cố này cần phải làm các thí nghiệm sau:

a) Kiểm tra mặt ngoài của gông: dùng giẻ trắng, sạch lau lên trên mặt gông nếu gông bị gỉ giẻ sẽ bị bẩn.

b) Thí nghiệm đo tổn hao không tải: nếu lõi thép bị chập tổn hao không tải sẽ tăng.

c) Đo điện áp giữa các thép lá thép: nếu điện áp giữa các thép lá thép bằng không hoặc bị giảm tức là các lá thép đã bị chập.

d) Làm các thí nghiệm phân tích dầu để kiểm tra các thông số kỹ thuật của nó: nếu điện áp đánh thủng của dầu giảm, độ axit tăng thì có thể nghĩ tới hiện tượng chập mạch từ.

e) Kiểm tra cách điện giữa các bulông ép hoặc đai trụ với các lá tôn của mạch từ.

2) Ngắn mạch cục bộ các lá tôn và cháy trong mạch từ. Hiện tượng của dạng sự cố này là xuất hiện khí trong role khí. Nếu bị nặng, lượng khí nhiều role khí sẽ tác động báo tín hiệu. Nhiệt độ chớp cháy của dầu giảm. Dầu bị đổi màu và có mùi đặc biệt do bị phân tích (cracking). Nguyên nhân của sự cố là do một chi tiết kim loại nào đó làm ngắn mạch các lá thép của mạch từ hoặc do các lá thép chạm nhau ở hai điểm. Việc nối đất các lá tôn không đúng cũng có thể làm ngắn mạch chúng và tạo

thành các mạch vòng ngắn mạch. Sự cố dạng này đặc biệt nguy hiểm đối với các máy biến áp cao áp (điện áp giữa các lá tôn cũng cao). Cách kiểm tra tương tự như trường hợp trên.

3) Ngắn mạch vòng dây. Khi ngắn mạch một hoặc một số vòng dây nào đó, các vòng dây ngắn mạch bị nóng lên nhanh chóng. Dầu máy biến áp bị phân tích và tạo khí. Role khí sẽ tác động báo tín hiệu hoặc cắt máy biến áp ra khỏi lưới. Khí trong role là loại khí cháy được, màu xám trắng hoặc xanh. Nhiệt độ máy tăng nhanh nhưng dòng sơ cấp tăng không nhiều nên aptômát bảo vệ không tác động. Điện trở các pha đo bằng đồng một chiều không bằng nhau. Nếu sự cố nặng role dòng điện cực đại và role so lệch có thể tác động.

Nguyên nhân sự cố có thể là:

a) Hỏng cách điện vòng dây do mài mòn tự nhiên hoặc do quá tải kéo dài mà không được làm mát tốt. Khi làm việc do lực điện động các vòng dây chuyển dịch so với nhau và gây ra sự mài mòn cách điện, mặt khác sự mài mòn ở đây còn được hiểu là sự suy giảm khả năng cách điện của chúng do sự già hóa theo thời gian, nhiệt độ và sự tác động về mặt hóa học của dầu máy biến áp.

b) Hỏng cách điện do mức dầu xuống quá thấp. Mức dầu xuống quá thấp gây ra sự quá nhiệt và do đó hủy hoại cách điện với tốc độ rất nhanh.

c) Hỏng cách điện ở những chỗ hoán vị hoặc chuyển tiếp sợi dây do bọc không tốt hoặc ép nén không đúng chế độ công nghệ. Việc ép nén cuộn dây không đúng chế độ công nghệ có thể hiểu theo hai khía cạnh: yếu quá làm cho các vòng dây bị lỏng lẻo so với nhau do đó có thể chuyển dịch tương đối so với nhau hoặc chặt quá có thể làm hỏng cách điện ngay khi ép.

Việc phát hiện sự cố có thể tiến hành theo các bước sau:

- Kiểm tra bên ngoài dây quấn. Quan sát màu sắc bên ngoài cuộn dây xem có chỗ nào bị biến màu không, cấp điện (điện áp từ thấp đến cao) vào cuộn dây trong thời gian ngắn rồi cắt điện và sờ cuộn dây xem có chỗ nào trên cuộn dây có nhiệt độ không bình thường không hoặc khói không.

- Tiến hành thí nghiệm ngắn mạch, so sánh điện áp ngắn mạch, dòng điện ngắn mạch của các pha với nhau. Pha nào có dòng ngắn mạch lớn và điện áp ngắn mạch nhỏ là pha có vòng dây ngắn mạch.

- Đo điện trở các pha bằng đồng điện một chiều, pha nào có điện trở nhỏ hơn là pha có vòng dây ngắn mạch.

- Dùng thiết bị chuyên dùng để phát hiện các vòng dây bị chập.

- Kiểm tra tình trạng làm việc của các thiết bị làm lạnh. Động tác này được thực hiện ngay khi phát hiện thấy máy biến áp bị quá nhiệt mà chưa cần biết vì lý do gì.

4) Ngắn mạch giữa các pha. Trong trường hợp này tất cả các role đều tác động (role dòng, role khí và role sai lệch), dầu máy biến áp sẽ bị phụt ra ngoài theo ống phòng nổ. Nguyên nhân của sự cố này là do cách điện bị hỏng hoặc già hóa, do lực điện động lớn (quá dòng) làm ngắn mạch dầu vào hoặc dầu ra. Cần phải tháo máy, quan sát bên ngoài xem có chỗ nào phóng điện hoặc chạm trực tiếp không, dùng megômmét đo điện trở cách điện giữa các pha.

5) Đánh thủng ra vỏ. Hiện tượng của sự cố này là tất cả các role đều tác động, dầu phụt ra ngoài qua ống phòng nổ. Nguyên nhân của sự cố này là hỏng cách điện chính, giống như trường hợp ngắn mạch giữa các pha. Cách phát hiện là phải tháo máy ra khỏi vỏ, quan sát bề mặt bên ngoài cuộn dây để tìm những chỗ phóng điện, dùng megômmét để kiểm tra cách điện, kiểm tra các khoảng cách cách điện xem đã thích hợp chưa, thí nghiệm dầu để kiểm tra các đặc tính của nó xem có đạt không.

6) Ngắn mạch các sợi chập song song các vòng dây của dây quấn hình xoắn ở chỗ hoán vị. Biểu hiện của dạng sự cố này là tổn hao ngắn mạch tăng. Cách điện các sợi chập song song làm

xuất hiện dòng điện cân bằng chảy trong vòng kín tạo bởi chúng. Cần tiến hành đo tổn hao ngắn mạch từng pha, xem xét kĩ để phát hiện những chỗ hỏng cách điện, đặc biệt những chỗ có màu tối.

7) Ngắn mạch các sợi chập song song trong dây quấn xoáy ốc liên tục ở đầu hoặc đầu cuối dây. Biểu hiện là tổn hao không tải tăng khi dòng điện không tải định mức. Nguyên nhân giống như khi ngắn mạch các vòng dây. Cần tiến hành đo tổn hao và dòng điện không tải, quan sát tỉ mỉ cuộn dây để phát hiện chỗ chập.

8) Nối song song các cuộn dây có số vòng dây khác nhau. Trong trường hợp này dòng điện cân bằng chảy trong các cuộn dây khá lớn làm nóng cuộn dây rất nhanh. Cần kiểm tra bằng các thiết bị chuyên dùng, đo điện áp từng cuộn dây, đo điện áp ở các điểm sẽ được nối với nhau xem có bằng không không, kiểm tra tình trạng cách điện ở những chỗ có màu tối.

11-2. TIẾNG KÊU KHÔNG BÌNH THƯỜNG CỦA MÁY BIẾN ÁP

1. Xà ép gông bị lỏng

Trường hợp này thường xảy ra do sơ suất của nhà chế tạo, sửa chữa và do quá trình làm việc máy bị rung do đó ốc bắt xà ép gông bị lỏng ra. Tiếng kêu trong trường hợp này thường không đều, thỉnh thoảng xen lẫn tiếng có tần số cao. Xiết lại các bulông bắt gông ép đến trị số lực quy định.

2. Các mối ghép giữa trụ và gông bị hở quá mức do lỗi của nhà sản xuất hoặc trong lần sửa chữa trước làm không cẩn thận.

Trường hợp này cũng thường xảy ra đối với các máy biến áp mà lõi thép được ghép rời gông và trụ. Khe hở nói trên có thể do khâu cắt tôn (sai số kích thước hoặc sai số góc lớn) hoặc cũng có thể do khâu ghép tôn không chính xác. Tiếng kêu trong trường hợp này thường không đều, lúc to, lúc nhỏ thậm chí có khi mất hẳn. Cần kiểm tra lại khe hở ghép và lỗi do ghép (thiếu hoặc thừa một thép lá tôn nào đó trong một lớp).

3. Các lá tôn ở mép ngoài bị rung

Trong quá trình ghép mạch từ có thể do không cẩn thận đã để một lá tôn nhô ra ngoài, khi làm việc các lá tôn này bị hút và gây ra tiếng kêu. Tiếng kêu trong trường hợp này có tần số cao, rất ít khi gặp trong máy biến áp dầu.

4. Máy biến áp bị quá tải hoặc bị mất đối xứng nghiêm trọng

Khi bị quá tải nặng từ thông tản tăng hút các chi tiết kết cấu gây rung và kêu. Sự mất đối xứng làm cho từ thông trong mạch từ không được cân bằng cũng gây ra tiếng kêu. Kiểm tra mức độ mất đối xứng của phụ tải hoặc cắt bớt tải ta có thể khẳng định được ngay đúng hay không.

5. Ngắn mạch giữa các pha hoặc giữa các vòng dây

Hiện tượng này tương tự như trường hợp quá tải và mất đối xứng.

6. Điện áp đặt vào máy biến áp tăng quá định mức

Khi điện áp tăng quá định mức mạch từ bị bão hòa, từ thông tản tăng mạnh gây tiếng kêu tần số thấp và giảm nhanh khi ta giảm điện áp.

7. Trong nhiều trường hợp do lỏng bulông nắp máy cũng có thể gây ra tiếng kêu nhưng không đều.

Căn cứ vào đặc điểm của tiếng kêu và qua một vài thí nghiệm, chẳng hạn giảm điện áp bằng cách thay đổi vị trí chuyển mạch, đo điện trở dây quấn, giảm tải... ta có thể đi đến kết luận nguyên nhân gây kêu trong máy và từ đó có giải pháp xử lí thích đáng.

11-3. CÁC SỰ CỐ ĐỨT MẠCH TRONG MÁY BIẾN ÁP

1. Đứt dây nối đất

Trong máy biến áp mạch từ và các chi tiết kết cấu như xà ép gông, bulông... đều được nối đất. Việc nối đất được thông qua vỏ hoặc nắp máy, từ vỏ máy người ta sẽ nối xuống hệ thống tiếp đất của trạm. Dây nối đất bị đứt thường xảy ra khi máy biến áp bị quá điện áp hoặc do khi chế tạo, sửa chữa tiếp đất bất không chặt.

2. Đứt trong dây quấn

Nếu sự đứt xảy ra khi máy biến áp đang làm việc sẽ xuất hiện hồ quang và ròle khí sẽ làm việc, dầu máy biến áp bị phân tích. Sự đứt cũng có thể xảy ra do đầu ra bất không chặt hoặc do lực điện động khi ngắn mạch làm rung và do đó làm nổi lỏng đầu ra so với bulông, hoặc do sự ngắn mạch làm đứt dây dẫn. Có thể kiểm tra để phát hiện đứt dây dẫn theo các phương pháp sau đây:

- 1) Kiểm tra bằng ampe kế mắc trong mạch các pha. Nếu ampe kế nào không có dòng là pha đó bị đứt.
- 2) Kiểm tra bằng megôm-mét khi quấn đầu Δ . Pha nào megôm-mét chỉ điện trở cách điện khác không là pha đó bị đứt.
- 3) Đo điện trở của dây quấn bằng phương pháp dòng một chiều khi dây quấn đầu Δ .

Trong ba lần đo nếu một pha bị đứt hoàn toàn thì sẽ có hai lần kết quả như nhau, còn một lần đo có kết quả gấp đôi. Sự cố đứt xảy ra trong pha nằm giữa hai đầu ra đó (ứng với trị số điện trở lớn nhất). Nếu đứt không hoàn toàn (gần đứt) điện trở đo được giữa hai đầu của nó lớn hơn hai lần đo trước một ít.

3. Đứt một hoặc một số sợi chập song song trong vòng dây

Sự cố dạng này làm tăng tổn hao và điện áp ngắn mạch. Nguyên nhân đứt giống như trường hợp trên; cần kiểm tra máy theo các phương pháp sau:

- 1) Đo điện trở dây quấn bằng phương pháp dòng điện một chiều. Điện trở pha nào lớn pha đó có sợi chập song song bị đứt.
- 2) Đo tổn hao và điện áp ngắn mạch. Tổn hao và điện áp ngắn mạch phải đo riêng từng pha. Pha nào có tổn hao ngắn mạch và điện áp ngắn mạch tăng pha đó có sợi chập song song bị đứt.

11-4. ĐIỆN ÁP THỨ CẤP CỦA MÁY BIẾN ÁP KHÔNG BÌNH THƯỜNG

1. Điện áp sơ cấp như nhau; điện áp thứ cấp khi không tải như nhau nhưng khi có tải thì khác nhau nhiều.

Hiện tượng này có thể do các sự cố sau:

- 1) Tiếp xúc xấu ở sứ đầu vào (đầu ra của dây quấn) của một trong các pha.
- 2) Đứt trong dây quấn sơ cấp của máy biến áp kiểu trụ nối theo sơ đồ tam giác - sao hoặc tam giác - tam giác.

2. Điện áp sơ cấp như nhau; điện áp thứ cấp khác nhau cả khi không tải lẫn khi có tải

- 1) Đã bị ngược một pha (lần đầu đầu và đầu cuối) trong dây quấn thứ cấp đầu sao.
- 2) Đứt trong dây quấn sơ cấp của máy biến áp nối theo sơ đồ sao - sao. Trong trường hợp này ba điện áp dây không bằng không.
- 3) Đứt trong dây quấn thứ cấp của máy biến áp khi nối sao - sao hoặc tam giác - sao. Trong trường hợp này chỉ có một điện áp dây không bằng không còn hai điện áp dây bằng không. Khi nối dây quấn theo sơ đồ tam giác - tam giác sự đứt trong dây quấn thứ cấp chỉ phát hiện được bằng cách

do điện trở dây quấn hoặc căn cứ vào nhiệt độ các pha để kết luận. Để có thể biết được pha nào nóng nhất thì phải cho máy biến áp làm việc với ít nhất 60% phụ tải định mức của nó.

Tất cả các trường hợp sự cố nói trên muốn khắc phục cần phải rút ruột máy ra ngoài mới kiểm tra và xử lý được.

4) Điện áp thứ cấp của hai máy biến áp làm việc song song không bằng nhau do khác tỉ số biến áp. Trường hợp này ít xảy ra, để phát hiện cần đo điện áp của cả hai máy biến áp khi không tải. Nếu tiếp tục cho làm việc, do có dòng cân bằng chảy trong hai máy nên khả năng mang tải hai máy sẽ khác nhau nhiều. Nếu hai máy biến áp làm việc song song có điện áp ngắn mạch khác nhau hai máy này sẽ mang tải không theo tỉ lệ công suất định mức và máy có điện áp ngắn mạch lớn sẽ mang tải ít (so với công suất định mức).

Nếu hai máy biến áp làm việc song song mà một trong hai máy bị nóng khác thường (so với máy kia) thì phải nghĩ đến các tình huống vừa nêu.

11-5. CÁC SỰ CỐ Ở ĐẦU VÀO VÀ ĐẦU RA CỦA MÁY BIẾN ÁP

Các sự cố ở đầu vào và ra của máy biến áp chủ yếu tập trung ở các mối nối chuyển tiếp giữa dây quấn và đầu ra, giữa các đầu ra với các ti sứ (hình 11-1), giữa ti sứ và cáp dẫn (đến và đi). Sự cố cũng có thể trong bản thân sứ.

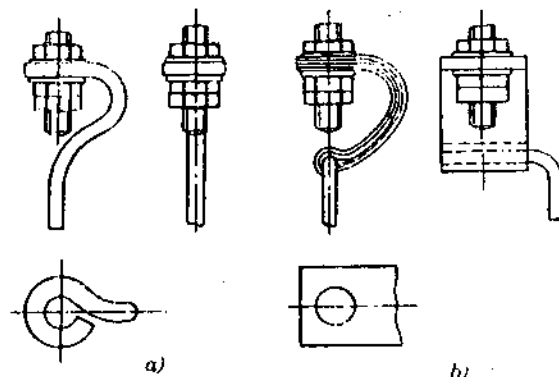
Đối với dây quấn cao áp có kích thước sợi dây nhỏ đầu ra của chúng thường được tăng cường bằng một sợi dây lớn hơn bằng cách hàn nối với dây quấn trước khi đưa ra ngoài. Mối hàn này rất quan trọng đặc biệt là mối nối chuyển tiếp giữa dây đồng và dây nhôm. Sự cố ở chỗ này thường là tiếp xúc xấu hoặc việc hàn nối tạo ra một vùng từ trường biến dạng hoặc một mũi nhọn dễ tạo cơ hội cho sự phóng điện.

Sự cố ở chỗ chuyển tiếp giữa đầu ra và ti sứ thường là tiếp xúc xấu làm nóng đầu ra và từ đó dần dần phá hủy mối nối. Nguyên nhân tiếp xúc xấu có thể là do bắt không chặt các êcu, do tráng thiếc không tốt làm cho bề mặt tiếp xúc không hoàn toàn, cũng có thể do lâu ngày lực điện động dần dần làm cho các êcu bị lỏng ra. Biểu hiện của dạng sự cố này là pha bị sự cố điện áp trên chúng giảm rất nhanh khi có tải, tải càng lớn sụt càng nhiều.

Sự cố ở đầu ra gây cháy đầu ra ngoài thường là do cao su đệm và gioăng bị hỏng kết hợp với việc các êcu bắt cố định sứ bị lỏng.

Sứ thường hỏng dưới dạng nứt vỡ do phóng điện, va chạm, ẩm ướt hoặc bị nhiễm bẩn. Hiện tượng phóng điện trong sứ do bị nứt thường gây ra tiếng kêu "xè xè", sứ bị nóng không bình thường. Để có kết luận chắc chắn cần đưa sứ đi thử cao áp.

Đối với các máy biến áp cao áp (35kV trở lên) thường xảy ra hiện tượng phóng điện ở chân sứ (cả phía trong và phía ngoài). Hiện tượng này thường là do các bulông bắt cố định chân sứ tạo thành các mũi nhọn tạo điều kiện phóng điện giữa chúng và tán sứ dưới cùng.



Hình 11-1. Các cách nối đầu ra dây quấn với ti sứ:
a- đối với dây dẫn tròn; b- đối với đầu ra là bằng đồng.

11-6. CÁC SỰ CỐ Ở VỎ MÁY BIẾN ÁP

1. Vỏ máy biến áp bị chảy dầu

Dầu biến áp thường bị chảy do rò rỉ từ các mối hàn không ngấu hoặc những chỗ chuyển tiếp các lần hàn khác nhau. Những chỗ này có thể không phát hiện được sau khi sản xuất mà chỉ bộc lộ sau

một thời gian vận hành. Biểu hiện của dạng sự cố này là vỏ máy bị sẫm màu ở một chỗ nào đó nhưng không rõ ràng lắm, đặc biệt là ở phía dưới. Nhiều trường hợp máy để ngoài trời dầu bị rò, chảy xuống cát nên không phát hiện được trong quá trình vận hành, chỉ thấy mức dầu giảm mà không rõ nguyên nhân.

2. Dầu bị chảy ra ngoài ở chỗ giữa nắp và vỏ

Sự cố dạng này dễ phát hiện hơn vì khi chảy dầu vết dầu tương đối rõ. Nguyên nhân chủ yếu là do bulông mặt máy bắt không chặt, hoặc do lâu ngày gioăng cao su mặt máy bị già hóa, hết khả năng đàn hồi.

1) Sự cố ở các bộ tản nhiệt. Các bộ tản nhiệt có thể bị thủng hoặc bị tắc. Tôn để làm các bộ tản nhiệt mỏng hơn nên rất có thể bị gỉ mà gây thủng. Công nghệ hàn không hoàn chỉnh cũng có thể gây rò rỉ ở các mối hàn. Sự tắc đường dầu trong các bộ tản nhiệt ít xảy ra hơn nhưng không phải không có. Những máy biến áp làm việc lâu ngày không có chế độ chăm sóc các bộ lọc ảm một cách cẩn thận làm cho dầu bị đóng cặn và các bộ tản nhiệt có thể bị tắc bởi chính lớp cặn này.

2) Các sự cố ở các chân sứ. Biểu hiện của dạng sự cố này là chảy dầu ở các chân sứ. Nguyên nhân chính của sự cố này do lâu ngày cao su đệm chân sứ bị già hóa mất khả năng đàn hồi. Cách khắc phục chủ yếu là thay vành đệm cao su mới.

11-7. CÁC SỰ CỐ ĐỐI VỚI DẦU MÁY BIẾN ÁP

1. Dầu máy biến áp bị nóng quá mức

Dầu máy biến áp bị nóng có thể do máy biến áp bị quá nhiệt do những nguyên nhân như đã nêu trên. Ngoài ra dầu nóng còn có thể do tắc trong bộ tản nhiệt làm cho dầu không đối lưu được, hệ thống quạt gió không làm việc, mức dầu quá thấp.

2. Chất lượng dầu bị suy giảm

Chất lượng dầu bị suy giảm biểu hiện trên các yếu tố sau: cường độ cách điện giảm (điện áp đánh thủng giảm), điện trở cách điện bị giảm, nhiệt độ chớp cháy giảm, tgđ tăng... Nguyên nhân làm cho chất lượng dầu bị suy giảm bao gồm:

1) Trong dầu có bọt khí do rót dầu không đúng quy trình (rót từ trên xuống) làm cho khí bị lẫn vào.

2) Bộ lọc khí lâu ngày không thay, các hạt hút ẩm đã no nước không còn khả năng hút ẩm nên hơi ẩm ngoài không khí có thể xâm nhập vào dầu thông qua bình giãn dầu.

3) Dầu bị già hóa theo thời gian và theo nhiệt độ do đó giảm dần các tính chất cách điện.

4) Dầu bị ôxi hóa do các thiết bị cách li dầu với không khí bị hỏng, lớp khí trơ cách li không khí bị hết.

5) Dầu bị cracking do sự cố các lần (phóng điện). Quá trình này cũng làm cho dầu bị biến chất và giảm các đặc tính cách điện.

6) Sự già hóa các loại cách điện trong máy như vải, giấy... làm cho chúng bị bong ra và khuếch tán vào dầu và do đó làm giảm các đặc tính cách điện của dầu.

Tất cả các phân tử dầu bị hỏng sẽ lắng xuống thành cặn dầu. Nếu có một lần nào đó máy biến áp bị quá tải, dầu bị nóng quá mức và đối lưu mạnh qua bộ tản nhiệt, các cặn dầu sẽ bị cuốn lên theo làm cho các cuộn dây bị bẩn, tạo điều kiện cho sự phóng điện và gây sự cố hỏng máy.

Phương pháp khắc phục là cần phải lọc dầu định kì, thay thường xuyên các bộ lọc dầu hoặc hạt chống ẩm, kiểm tra các thiết bị cách li dầu với không khí, nạp dầu đúng quy trình (nạp dầu từ dưới lên, nạp dầu trong chân không...)

11-8. PHÂN TÍCH SỰ CỐ THÔNG QUA CÁC BIỂU HIỆN CỦA ROLE KHÍ

Role khí là một thiết bị bảo vệ rất nhạy với những sự cố và chế độ làm việc không bình thường của máy biến áp. Như đã biết role khí có hai chế độ bảo vệ: thông báo có sự cố nhẹ bằng tín hiệu, cắt máy biến áp ra khỏi lưới (có thể đồng thời thông báo bằng tín hiệu hoặc không) tùy theo mức độ sinh khí trong máy. Sau đây là một số tình huống đặc trưng.

1. Role khí thông báo tín hiệu sự cố

1) Có thể có sự cố nhẹ trong ruột máy sau đó thì hết nên tạo ra một lượng khí nhỏ làm quay đĩa tín hiệu.

2) Trong quá trình nạp dầu hoặc lọc lại dầu đã để không khí lọt vào máy. Lượng không khí này dần dần nổi lên mặt dầu đi vào role khí làm cho nó tác động, thông báo tín hiệu sự cố.

3) Mức dầu bị giảm do nhiệt độ xuống thấp hoặc do vỏ máy hỏng làm cho dầu bị rò rỉ ra ngoài. Khi máy biến áp làm việc mức dầu tăng sẽ đẩy không khí qua role khí làm nó tác động.

2. Role khí tác động cắt máy biến áp ra khỏi lưới

Hiện tượng này chứng tỏ trong máy có sự cố nặng hoặc các nguyên nhân khác làm cho dầu bị sinh khí nhiều.

1) Có thể có các vòng dây sơ cấp hoặc thứ cấp bị ngắn mạch. Cách điện vòng dây hỏng có thể do quá trình chế tạo không tốt đã tạo ra khuyết tật của cách điện hoặc trong quá trình vận hành lực điện động làm xô dịch vòng dây và làm mòn cách điện. Sự ngắn mạch vòng dây làm tăng dòng điện trong vòng dây và làm vòng dây đó nóng lên rất nhanh nhưng dòng lấy vào dây quấn sơ cấp tăng rất ít nên các thiết bị bảo vệ dòng không tác động. Vòng dây ngắn mạch nóng dữ dội thậm chí gây cháy nổ làm dầu máy biến áp bị phân tích và tạo ra một lượng khí lớn làm role khí tác động, ngắt máy biến áp ra khỏi lưới. Trong trường hợp này nếu không có role khí có thể dầu và khí trong máy sẽ phụt ra ngoài qua ống phòng nổ. Sự ngắn mạch vòng dây ngoài việc gây nóng dầu máy biến áp còn làm tăng dòng điện bên sơ cấp và làm giảm điện trở thuần của pha có vòng dây ngắn mạch.

2) Role khí cũng tác động ngắt máy biến áp khỏi lưới trong trường hợp xảy ra sự phóng điện hoặc ngắn mạch giữa các pha do cách điện bị hỏng. Dòng điện ngắn mạch trong trường hợp này thường rất lớn, lượng khí và dầu nóng cũng rất lớn sẽ làm role khí tác động ngay nhưng dầu vẫn có thể bị phụt ra ngoài qua ống phòng nổ.

3) Do sự cố cách điện các bulông ép gông hoặc trụ mà tạo thành mạch vòng ngắn mạch. Dòng điện trong vòng ngắn mạch này đủ lớn làm cho dầu bị nóng quá mức. Cách điện giữa các bulông ép và xà ép gông hỏng cũng có thể dẫn đến hiện tượng này.

4) Do sự cố cách điện lá tôn gây chập mạch các lá tôn với nhau từ đó làm tăng tổn hao do dòng điện xoáy. Hiện tượng này thường xảy ra đối với các máy biến áp đã quá cũ hoặc máy biến áp sau khi sửa chữa nhưng không sơn cách điện lại lá tôn của lõi thép. Dòng điện không tải trong trường hợp này rất lớn, có thể đạt tới vài chục lần lớn hơn dòng điện không tải bình thường.

5) Do mức dầu giảm quá nên khi làm việc không khí phía trên mặt dầu bị đẩy qua role khí hoặc lượng khí trong dầu thoát ra nhiều do quá trình nạp dầu bằng cách rót dầu từ trên xuống.

Bởi vì sự tác động của role khí do rất nhiều nguyên nhân như đã nêu ở trên nên ta cần phân tích thật tỉ mỉ lượng cũng như thành phần khí ở trong role mới có đủ cơ sở để kết luận về sự cố trong máy.

6) Việc phân tích khí trong role tập trung mấy yếu tố sau:

a) Màu sắc: nếu khí không màu có thể đó là khí thoát ra từ dầu hoặc khí trên mặt dầu do mức dầu thấp; khí màu xám trắng là do sự cố giấy hoặc cactông cách điện; khí có màu vàng là do

gỗ bị cháy; khí có màu đen là dầu bị cháy. Lượng khí sự cố nằm trong role không lâu nên cần xác định ngay sau khi xảy ra sự cố.

b) Thành phần hóa học của khí thoát ra trong role cũng phản ánh khá đầy đủ thông tin về các sự cố trong máy.

c) Lượng khí nhiều hay ít.

d) Tính dễ cháy và nhiệt độ chớp cháy của khí cũng cho ta các thông tin về sự cố trong máy. Nhiệt độ chớp cháy của dầu bị giảm cũng chứng tỏ trong máy có sự cố (do có sự phóng điện).

Ta có thể loại trừ nguyên nhân mức dầu thấp bằng cách đổ đầy dầu đến mức quy định. Lượng khí trong dầu sẽ thoát ra nhanh nếu ta tạo một áp suất thấp trên mặt dầu bằng cách hút chân không từ phía trên bình giãn dầu. Nếu máy có sự cố chạm chập hoặc phóng điện cần có thêm căn cứ bằng các biện pháp thăm dò khác.

11-9. DÙNG PHƯƠNG PHÁP THỬ NGHIỆM ĐỂ PHÁT HIỆN SỰ CỐ VÀ PHƯƠNG PHÁP LOẠI TRỪ CHÚNG

1. Đo điện trở cách điện giữa các pha với nhau và với vỏ.

Có thể xảy ra các khả năng sau:

1) Điện trở cách điện bằng không. Có thể do phóng điện đánh thủng giữa các pha với nhau hoặc với vỏ.

2) Điện trở cách điện giảm so với bình thường (cùng một điều kiện nhiệt độ) lớn hơn 40%. Có thể cách điện bị ẩm. Dùng megômmét 2500V đo tỉ số R_{60}/R_{15} . Đối với các máy có điện áp đến 35kV tỉ số này không được nhỏ hơn 1,3; đối với máy điện áp trên 110kV không được nhỏ hơn 1,5 khi $\theta = 10 \div 30^{\circ}\text{C}$. Kiểm tra độ ẩm bằng dụng cụ chuyên dùng và xác định tỉ số C_2/C_{50} và $\Delta C/C$ khi $\theta = 20^{\circ}\text{C}$. Đối với các máy có điện áp đến 35kV tỉ số C_2/C_{50} không được lớn hơn 1,3; đối với máy điện áp trên 35kV không được lớn hơn 1,2.

3) Điện trở cách điện khác nhau (một trong các pha có điện trở cách điện đối với hai pha kia hoặc với đất giảm). Có thể nghi tới sự cố cách điện đầu vào của các cuộn dây. Đo điện trở cách điện bằng megômmét 2500V giữa mỗi cuộn dây và đầu vào so với vỏ.

2. Đo điện trở cách điện giữa các đầu vào với đất (vỏ hoặc đầu vào trung tính) khi nối Y hoặc giữa các đầu đầu và đầu cuối dây quấn bằng megômmét 1000 hoặc 2500V. Nếu megômmét không chỉ không mà chỉ vỏ cùng hoặc một trị số nào đó thì chứng tỏ có chỗ đứt hoặc tiếp xúc xấu trong mạch dây quấn. Khi đó cần đo điện trở quấn bằng đồng một chiều ứng với tất cả các vị trí của chuyển mạch. Nếu thấy kết quả đo khác nhau đáng kể ở các vị trí khác nhau của chuyển mạch thì có thể nghi tới các khả năng sau:

1) Tiếp xúc xấu trong thiết bị chuyển mạch.

2) Nối không đúng đầu phân nhánh với các thiết bị chuyển mạch. Đối với máy biến áp đang làm việc thì khả năng này không có nhưng cần chú ý khi thử nghiệm sau sửa chữa.

3) Nếu điện trở các pha khác nhau 2 đến 3% thì có thể do:

a) Tiếp xúc xấu ở chỗ nối đầu ra với dây quấn.

b) Đứt trong mạch dây quấn.

c) Ngắn mạch giữa các vòng dây.

Cách phát hiện vị trí sự cố như sau:

- Kiểm tra bằng mắt thường tất cả những chỗ tiếp xúc.

- Đo điện trở các pha khi có nối với đầu vào và khi không nối với đầu vào.

- Tiến hành ba thí nghiệm đặc biệt với điện áp thấp (5 đến 10% định mức): Ngắn mạch pha A, ngắn mạch pha B và ngắn mạch pha C.

Nếu sự cố, vị trí ở pha A thì khi ngắn mạch nó, dòng điện sẽ nhỏ hơn so với khi ngắn mạch hai pha kia. Tiến hành ba thí nghiệm đặc biệt (xem chương 13) nếu thấy có một trong ba thí nghiệm có dòng điện nhỏ hơn đáng kể so với hai thí nghiệm kia thì có thể nghĩ tới ngắn mạch vòng dây trong dây quấn thuộc trường hợp dòng điện nhỏ. Lúc đó cần tiến hành thí nghiệm lặp lại (khí ruột máy ở bên ngoài) và quan sát chỗ bốc khói hoặc bị đốt nóng cục bộ. Chú ý giữ dòng điện đủ để nhận biết chỗ chập mà không để hỏng máy.

3. Thí nghiệm không tải theo sơ đồ hai wattmet ở điện áp định mức

Nếu thấy tổn hao và dòng điện tăng đáng kể thì có thể có hai khả năng.

1) Có mạch vòng kín nào đó do đai và hệ thống ép nén lõi thép hoặc do dây nối đất đặt không đúng. Trong trường hợp dùng đai thép cần kiểm tra cách điện dưới đai, nếu lớp cách điện này hỏng có thể gây chập đai với một số lõi thép. Kiểm tra cách điện các bulông ép đối với xà ép và đối với lõi thép. Về nguyên tắc tấm lá đồng nối đất của mạch từ không được tiếp xúc trực tiếp với các lá tôn mà qua lớp cách điện của nó. Nếu lá đồng có ba via hoặc vì lí do nào đó lớp cách điện này hỏng, các lá tôn bị ngắn mạch với nhau và làm cho tổn hao thép tăng lên.

Nếu dòng điện ba pha lớn và tương đối cân thì có thể nghĩ đến chất lượng cách điện lá tôn kém. Trước khi sửa chữa hiện tượng này có thể không có nhưng sau khi sửa chữa các lá tôn bị bong cách điện một phần (chủ yếu ở phần gông trên) và làm tăng dòng không tải (có thể đến hàng chục lần dòng không tải định mức) và tổn hao không tải.

2) Nếu dòng điện không tải lớn nhưng không cân trong ba pha thì có thể nghĩ ngay đến tình huống chập một hoặc một số vòng dây nào đó. Cách phát hiện và xử lí xem phần trên.

4. Thí nghiệm ngắn mạch

Nếu thấy điện áp ngắn mạch tăng đáng kể cần quan tâm đến các điểm tiếp xúc của đầu ra hoặc của thiết bị chuyển mạch điều chỉnh điện áp. Tiến hành đo điện trở dây quấn bằng phương pháp dòng một chiều ứng với tất cả các vị trí của chuyển mạch khi nối và khi không nối dây quấn với đầu vào.

Nếu thấy tổn hao ngắn mạch tăng đáng kể có thể do đứt một trong các sợi chập song song trong dây quấn; việc hoán vị thực hiện không đúng, tiết diện dây không đủ theo tính toán.

CHƯƠNG 12

SỬA CHỮA MẠCH TỪ MÁY BIẾN ÁP

12-1. YÊU CẦU VÀ ĐỊNH HƯỚNG TRONG CÔNG TÁC SỬA CHỮA MẠCH TỪ

1) Không làm thay đổi các thông số kĩ thuật cũ của nó, cụ thể là suất tổn hao và độ từ thẩm của thép. Nếu làm thay đổi suất tổn hao sẽ làm tăng tổn hao trong thép P_0 và do đó làm cho máy sau khi sửa chữa nóng hơn, hiệu suất của máy bị giảm. Nếu độ từ thẩm của thép giảm dòng điện từ hóa I_0 của máy sẽ tăng và do đó $\cos\phi$ của nó sẽ giảm. P_0 và I_0 là hai thông số quan trọng của máy biến áp đã được tiêu chuẩn hóa do đó khi sửa chữa không được làm thay đổi quá một phạm vi cho trước. Đây là điều khó khăn nhất khi sửa chữa mạch từ mà tất cả những ai làm công tác này đều phải đặc

biệt quan tâm. Nguyên nhân làm cho hai thông số trên thay đổi có rất nhiều: sự thay đổi tính chất cơ lí của thép (kết cấu tinh thể) do tác động cơ học trong quá trình tháo lắp, tẩy rửa và sơn lại cách điện lá tôn, do chất lượng cách điện các lá tôn, do việc lắp ghép không cẩn thận làm tăng khe hở giữa trụ và gông.

2). Không làm tăng kích thước mạch từ vì như vậy sẽ làm thay đổi kích thước của dây quấn và do đó làm thay đổi thông số của dây quấn như điện trở, điện áp ngắn mạch... và làm thay đổi khoảng cách cách điện dẫn đến làm giảm độ tin cậy sau sửa chữa.

Tất cả các máy biến áp đang làm việc hiện nay thường có kết cấu theo kiểu không có bulông xuyên nên ở đây chúng ta chỉ đề cập đến phương pháp sửa chữa loại mạch từ kiểu này. Các máy biến áp có kết cấu mạch từ theo kiểu bulông xuyên thường áp dụng cho loại tôn cán nóng hiện nay còn rất ít và khi sửa chữa thường được thay thế bằng tôn cán nguội.

Cách điện các lá tôn thường là loại sơn chịu nhiệt (các máy biến áp có cách điện lá tôn bằng giấy hiện nay hầu như không còn) do nhà máy luyện kim sơn trong quá trình sản xuất có độ bám rất tốt nên việc tẩy bỏ lớp sơn này để sơn lại rất phức tạp. Bởi vậy cần giữ gìn các lá tôn thật cẩn thận, không để bong lớp sơn này trong quá trình tháo lắp mạch từ. Trường hợp nghi ngờ lớp sơn này bị bong thì phải thí nghiệm để khẳng định trước khi quyết định sơn lại, sơn lại toàn bộ hay sơn lại một phần, sơn lại một mặt hay hai mặt... Việc quyết định dùng giải pháp nào phải căn cứ vào điều kiện cụ thể (về thiết bị công nghệ, trình độ và kinh nghiệm) của cơ sở sửa chữa.

Nếu trường hợp việc sơn lại gặp nhiều khó khăn thì có thể dùng phương án thay một phần lõi sắt và ghép xen kẽ các lá tôn cũ và mới với nhau. Thực tế cho thấy nếu thay một nửa số lá tôn bằng tôn mới ta sẽ giữ được kích thước, I_0 , P_0 không thay đổi. Tuy nhiên việc này gặp nhiều khó khăn trong trường hợp mạch từ của máy được ghép chéo góc vì các cơ sở sửa chữa thường không có điều kiện cắt tôn chéo góc.

Trường hợp mạch từ bị hỏng cục bộ (có thể do ngắn mạch vòng dây trong dây quấn, do đặt tiếp đất trong mạch từ không đúng...) ta có thể sửa chữa cục bộ, tức chỉ sơn lại chỗ bị hỏng cách điện.

Những dấu hiệu mạch từ bị hỏng bao gồm:

- Tình trạng của dầu máy biến áp không tốt: giảm nhiệt độ chớp cháy, tăng nồng độ axit, giảm điện áp đánh thủng.

- Tăng tổn hao và dòng điện không tải.

Để phát hiện chính xác tình trạng cách điện của tôn ta có hai cách: quan sát bằng mắt thường, đo điện trở cách điện lá tôn và làm một số thí nghiệm đặc biệt sẽ trình bày dưới đây.

12-2. CÁC THÍ NGHIỆM ĐẶC BIỆT

Sau khi tháo gông trên và bỏ các cuộn dây ra ngoài ta bắt đầu kiểm tra tình trạng các lá tôn bằng mắt thường. Nếu thấy bề mặt lá tôn sáng đều, không có dấu hiệu bị phóng điện hoặc bong lõ chỗ ta có thể yên tâm là lõi sắt không hỏng. Nếu thấy bề mặt các lá tôn bị chuyển màu sẫm đều hoặc không đều thì ta cần phải kiểm tra cách điện (bằng cách dùng đồng hồ vạn năng). Nếu thấy bề mặt lá tôn xấu, độ bám của sơn kém thì ta phải tiến hành thí nghiệm để khẳng định chất lượng lá tôn và từ đó định dạng việc sửa chữa sao cho an toàn và kinh tế.

1) Thí nghiệm thứ nhất: đo tổn hao không tải P_0 , W .

a) Để làm thí nghiệm này ta phải quấn lên mạch từ của máy biến áp một dây quấn thí nghiệm. Dây quấn thí nghiệm có số vòng dây w_{in} tương ứng với mật độ từ thông gần như theo thiết kế của nhà chế tạo, có tiết diện chịu được dòng không tải thí nghiệm $s_{in} = I_{0m}/\Delta$, với $\Delta = 3$ đến $3,5 \text{ A/mm}^2$. Dòng điện thí nghiệm $I_{0m} = I_0 w/w_{in}$; trong đó $I_0 w$ - s.t.đ không tải của một pha. Dây quấn thí nghiệm được quấn lên một ống cách điện và phân đều theo chiều cao của trụ. Dây quấn thí nghiệm có thể Λ hoặc Δ với điện áp có sẵn nơi thí nghiệm. Số vòng dây quấn lên một pha được tính như sau:

$$W = \frac{U_{fm} 10^4}{222 s_1 B_1} ;$$

trong đó: s_1 và B_1 là tiết diện trụ và mật độ từ thông trong trụ.

Phương pháp đo trong thí nghiệm được trình bày trong phần thí nghiệm sau sửa chữa (sẽ trình bày ở phần sau). Bằng thí nghiệm này ta đo được tổn hao không tải P_{0m} .

b) Dùng một đoạn dây dẫn nối tắt các tấm tôn phía ngoài rồi làm lại thí nghiệm trên ta sẽ đo được tổn hao không tải P'_0 . Nếu P_0 và P'_0 khác nhau không quá $1 \div 2\%$ thì chứng tỏ cách điện lá tôn còn tốt. Nếu sự khác nhau giữa chúng quá lớn thì chứng tỏ cách điện lá tôn đã hỏng.

2) Thí nghiệm thứ hai: đo điện áp giữa các lá tôn biên và giữa các thép lá tôn.

a) Đặt điện áp thí nghiệm lên dây quấn thí nghiệm để mạch từ được kích thích đầy đủ như khi làm việc định mức.

b) Đo điện áp giữa các lá tôn biên ở phía trong và phía ngoài cửa sổ (hình 12-1). Đồng hồ đo dùng loại có thang đo bằng $1,1U_v$. Kết quả đo được phân tích như sau: nếu điện áp đo được giữa các lá tôn biên ở phía ngoài bằng hoặc lớn hơn $0,43U_v$, ở phía trong lớn hơn $0,57U_v$ thì mạch từ còn tốt; nếu điện áp đo được nhỏ hơn giới hạn trên thì chứng tỏ cách điện các lá tôn đã có chỗ hỏng.

c) Đo điện áp từng thép hoặc giữa một vài thép lá tôn trụ. Nếu thép nào không có điện áp thì các lá thép trong thép ấy bị hỏng cách điện.

3) Thí nghiệm thứ ba: đo điện trở cách điện lá tôn của các thép bằng dòng một chiều.

a) Tháo bỏ dây quấn thí nghiệm nhưng không tháo gông trên của mạch từ.

b) Đo điện trở các thép lá tôn bằng phương pháp dòng một chiều theo sơ đồ hình 12-2. Nguồn một chiều ở đây chọn acquy 6 ÷ 12V, dòng điện khoảng 0,25 ÷ 2,5A. Ampe kế chọn loại có thang đo đến 5A, vônmet chọn loại có thang đo đến 25V. Hai điện cực đồng có diện tích 100 ÷ 150mm², dây 3 ÷ 4mm có các mép được mài nhọn ở một phía.

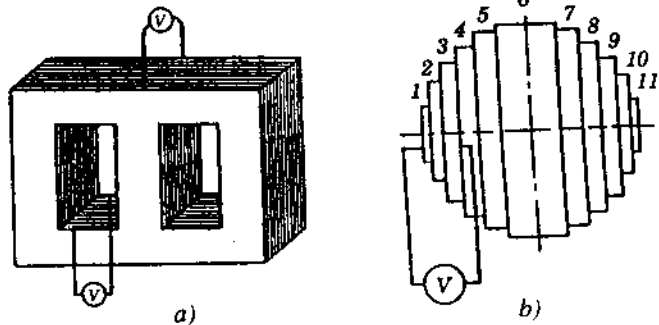
c) Tiến hành đo điện trở các thép lá thép và toàn bộ mạch từ. Dòng điện đo được khống chế bởi biến trở trong khoảng 2 ÷ 2,5A. Theo kết quả đo được xác định điện trở riêng của cách điện giữa các lá tôn theo công thức:

$$P_{cd} = \frac{R_1 F_1}{n} ;$$

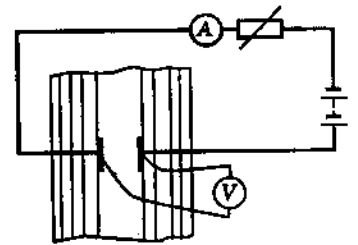
trong đó: n - số lá thép trong một thép; F_1 - diện tích lá tôn, cm²; R_1 - điện trở của một thép, Ω .

d) Kết quả thí nghiệm được đem so sánh với các yêu cầu sau:

- Điện trở toàn phần của mạch từ tính bằng Ω không nhỏ hơn các trị số sau:
 - + 0,8 đối với máy biến áp một pha công suất đến 20.000 kVA...
 - + 1,1 đối với máy biến áp một pha công suất lớn hơn 20.000 kVA...



Hình 12-1. a- sơ đồ thí nghiệm đo điện áp giữa các lá tôn biên. b- đo điện áp giữa các thép lá tôn.



Hình 12-2. Sơ đồ đo điện trở cách điện các thép lá tôn bằng phương pháp dòng một chiều.

+ 1,2 đối với máy biến áp ba pha công suất đến 16.000 kVA ...

+ 1,6 đối với máy biến áp ba pha công suất lớn hơn 16.000 kVA...

- Điện trở cách điện của các thép lá thép đối diện không được khác nhau quá 1,5 lần.
- Tổng điện trở của các thép lá thép không được khác điện trở toàn phần của chúng quá 3%.
- Điện trở đo được giữa hai khung không được khác tổng điện trở toàn phần của chúng quá 3%.
- Điện trở cách điện riêng giữa các lá thép không được nhỏ hơn $50 \div 60 \Omega \cdot \text{cm}^2$.

Các thí nghiệm này được tiến hành trước khi sửa chữa với mục đích kiểm tra mạch từ còn tốt hay không để quyết định phương pháp sửa chữa. Sau khi sửa chữa xong các thí nghiệm này cho phép ta khẳng định được chất lượng và kiểm chứng được giải pháp sửa chữa đúng hay không.

12-3. CÔNG TÁC CHUẨN BỊ SỬA CHỮA MẠCH TỪ

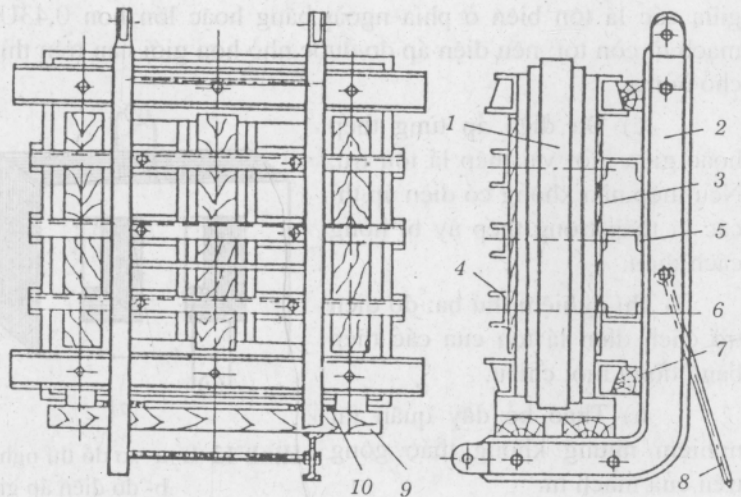
1. Chuẩn bị cho việc nâng hạ, vận chuyển, tháo lắp

Sau khi làm thí nghiệm nếu thấy tổn hao sắt tăng quá mức cho phép và đã khẳng định được là do hồng cách điện lá tôn gây ra thì cần phải tiến hành sơn lại cách điện các lá tôn đó. Việc sơn lại một phần hay toàn bộ lá tôn phụ thuộc vào tình trạng bề mặt của chúng sau khi đã tháo dỡ mạch từ.

Trong sửa chữa máy biến áp việc tháo dỡ và lắp ráp mạch từ có thể tiến hành ở trạng thái thẳng đứng hoặc trạng thái nằm ngang. Trong các nhà máy chuyên sửa chữa máy biến áp người ta chế tạo một thiết bị đặc biệt gọi là giá lật (hình 12-3).

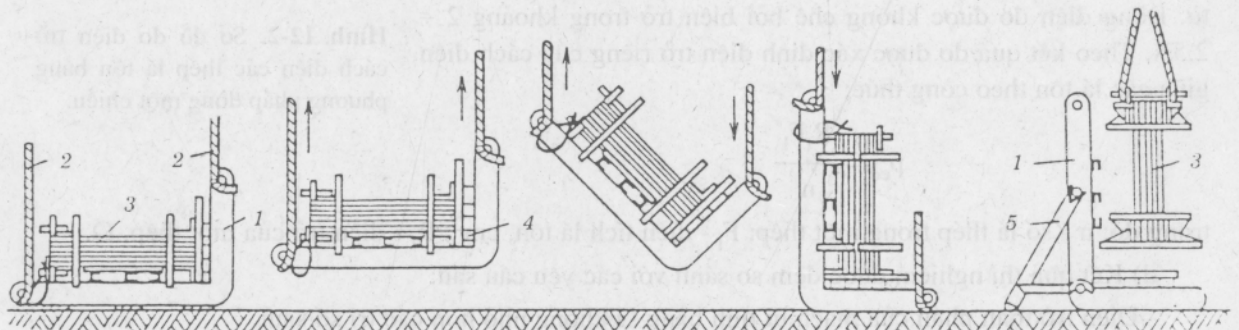
Giá lật cho phép lật trở, xoay, di chuyển mạch từ trong phạm vi phân xưởng một cách an toàn và dễ dàng.

Hình 12- 4 mô tả quá trình lật một mạch từ từ trạng thái nằm ngang sang trạng thái thẳng đứng.



Hình 12-3. Giá lật để tháo lắp mạch từ máy biến áp:

1- mạch từ; 2- tấm trượt; 3- tấm lót bằng gỗ; 4 và 5- xà ép để mạch từ không bị uốn, lật; 6- ti ép; 7- tấm gỗ kê; 8- thanh chống; 9 và 10- đệm gỗ có chia bậc.



Hình 12- 4. Trình tự lật một mạch từ bằng giá lật:

1- giá lật; 2- dây treo; 3- mạch từ; 4- gỗ kê; 5- thanh đỡ.

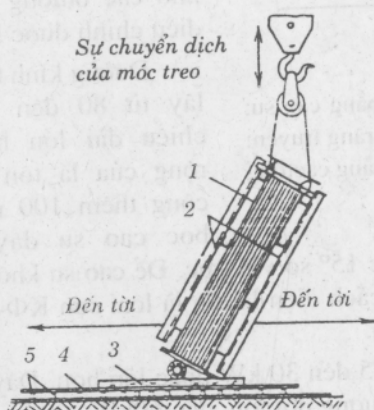
Ta thấy với giá lật này mạch từ không bị một lực nào tác dụng làm biến dạng nó theo tất cả các phương.

Đối với máy biến áp không lớn hoặc trong điều kiện sửa chữa đơn chiếc thường người ta không dùng giá lật vì đầu tư ban đầu lớn và lại rất cồng kềnh khi làm việc. Trong trường hợp này ta dùng các xà ép gông và các ti ép làm cho mạch từ trở nên một khối cứng và sau đó tiến hành lật mạch từ như trình bày trên hình 12-5. Theo phương pháp này mạch từ 1 được để trên một tấm gỗ kê 3 và tấm thép dầy từ 10 đến 16 mm. Toàn bộ hệ thống này có thể chuyển động được trên hệ thống các con lăn 5.

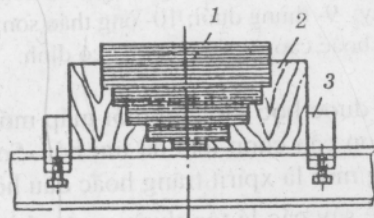
Sau khi lật mạch từ cần kiểm tra lại xem trong quá trình lật có chỗ nào bị biến dạng không.

Trước khi tiến hành tháo dỡ mạch từ cần đo và ghi lại tất cả các kích thước nguyên thủy của nó cũng như sơ đồ ghép trụ và gông kích thước khe hở ở chỗ ghép... Điều này rất quan trọng vì sau này ta sẽ có cơ sở để phân tích kết quả thí nghiệm sau khi sửa chữa.

Để chuẩn bị cho quá trình ghép được chính xác các thép lá tôn ta phải chế tạo một bộ dưỡng bằng gỗ có bậc giống như các bậc trên tiết diện trụ thép (hình 12-6). Các lá tôn của các bậc khác nhau sẽ được định vị so với nhau một cách hoàn toàn chính xác.



Hình 12-5. Sơ đồ lật mạch từ trên tấm thép:
1- mạch từ; 2- gông tạm; 3- tấm gỗ; 4- tấm thép dầy
10 ÷ 15 mm; 5- con lăn.



Hình 12-6. Dưỡng để cố định các thép lá tôn:
1- mạch từ; 2- tấm gỗ kiểu bậc; 3- kẹp chữ U.

2. Chuẩn bị cho việc xử lý cách điện lá tôn

Các lá tôn được sơn lại cách điện sau khi đã được làm sạch lớp sơn cũ trên bề mặt. Để làm sạch lớp sơn cũ người ta phải ngâm chúng trong dung dịch xút 10% hoặc trinitrat photphat 20%. Chuẩn bị công nghệ tẩy cách điện lá tôn như sau:

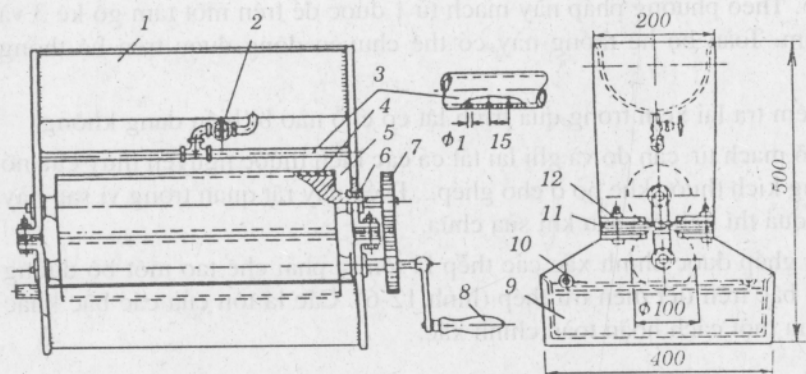
1) Chuẩn bị một thùng bằng kim loại có kích thước: chiều dài không nhỏ hơn 1,5m; chiều rộng không nhỏ hơn một mét; chiều cao lớn hơn chiều rộng lá tôn lớn nhất 500mm. Việc cấp nước và xả hơi được tiến hành từ bên trên nhờ các ống dẫn có van. Các ống này cần nhúng ngập trong nước ít nhất bằng một nửa chiều cao thùng. Đổ dung dịch vào thùng và sục khí nén đã được đốt nóng cho đến khi lá tôn sạch.

2) Sau khi tẩy lá tôn cần được làm sạch bằng nước trong. Như vậy ta cần phải có một thùng khác bố trí cạnh đây để rửa lá tôn. Thùng này cũng được cấp và thải nước bằng hệ thống ống dẫn. Hơi để sục rửa cũng được cấp qua hệ thống ống dẫn hơi có van điều tiết.

3) Việc đưa các tấm tôn và thùng (mỗi lần khoảng 100 đến 200 tấm) được thực hiện bằng palăng điện hoặc quay tay. Nếu không có palăng ta phải chuẩn bị dụng cụ vớt thủ công bằng tay.

4) Ngoài các thiết bị trên cần chuẩn bị thêm: bàn để lau các lá tôn, xô để xách nước, chổi sắt, giẻ để lau chùi, các đồ dùng bảo hộ lao động (quần áo, găng tay...) và một số hóa chất như xút (NaOH), trinitrat photphat (Na_3PO_4).

5) Để sơn và sấy lá tôn người ta dùng máy sơn (hình 12-7) và lò sấy.



Hình 12-7. Máy quét sơn các lá tôn

1- thùng nhỏ trên; 2- van đóng mở; 3- ống có lỗ; 4- tấm bọc bằng cao su; 5- trục bằng thép; 6- bạc bằng đồng thau hoặc đồng đỏ; 7- bánh răng truyền; 8- tay quay; 9- thùng dưới; 10- ống tháo sơn; 11- các tấm đệm bằng caotông cách điện hoặc cao su; 12- bulông cố định.

6 mm và được bọc sao cho mỗi giáp mỗi chéo đi một góc 15° so với trục. Để cao su không nở ra khi gặp sơn cần chọn loại đã lưu hóa. Sơn được dùng để cách điện lá tôn là loại sơn KΦ-965 hoặc 302, dung môi là xpirit trắng hoặc dầu hỏa 20% lượng sơn.

Lò để sấy các lá tôn thường xây dựng với công suất 25 đến 30 kW hoặc lớn hơn. Dây điện trở được đấu Λ đối với lò nhỏ đến 30kW và đấu Δ đối với lò tương đối lớn, đến 60kW.

12-4. CÔNG NGHỆ THÁO DỖ MẠCH TỪ

Việc sửa chữa mạch từ được tiến hành theo hai bước: thoát dầu tháo nửa trên của mạch từ cho đến một nửa của thép giữa. Dem sơn lại cách điện các lá thép của nửa đó rồi ghép lại lên nửa dưới. Cố định bằng các xà ép cho cứng vững rồi lật ngược mạch từ đi 180° . Sau đó tiếp tục tháo nửa trên để sơn rồi ghép lại. Khi tháo nửa trên cần để nửa dưới lọt vào đường cố định các thép lá tôn bằng gỗ (hình 12-6), sau đó lõi được ép lại như cũ.

Các tấm tôn bị dị tật (cháy, cong vênh...) nên bố trí rải đều ở nhiều chỗ khác nhau. Trong quá trình tháo lắp, vận chuyển không được uốn cong quặt đập gõ các lá tôn vì như vậy tổn hao không tải sẽ tăng lên sau khi sửa chữa (có thể đến 20% và hơn nữa).

12-5. CÔNG NGHỆ LÀM SẠCH CÁC LÁ TÔN MẠCH TỪ

1. Việc tẩy rửa các lá tôn được thực hiện bằng cách đun chúng trong dung dịch NaOH 10% hoặc Na_3PO_4 20% trong nước. Nồng độ dung dịch được kiểm tra bằng kinh nghiệm. Nhiệt độ dung dịch khoảng 50°C . Khuấy đều để thành phần dung dịch đồng nhất rồi thả các lá tôn vào thùng. Dùng khí nén có nhiệt độ cao sục vào thùng (dung dịch lúc này sẽ sôi) cho đến khi sạch hết cách điện cũ bám trên lá tôn, sau đó chuyển lá tôn sang thùng rửa. Trong thùng rửa tiếp tục xả nước nóng để làm sạch các hóa chất trên và màng sơn cũ trong khoảng $15 \div 20$ phút. Trong giai đoạn này người công nhân phải tiếp xúc với hóa chất và nhiệt độ cao nên phải đặc biệt chú ý các biện pháp an toàn lao động: đeo găng tay và ủng bằng cao su, đeo kính bảo hộ...

2. Sơn và sấy các lá tôn mạch từ

Sơn KΦ-965 dùng để sơn các lá tôn phải có độ nhớt không nhỏ hơn 18s với phép tiêu chuẩn số 7 ở nhiệt độ 18 đến 20°C. Dung môi của nó là dầu hỏa (keroxin) hoặc xpirit trắng (loại xpirit). Sơn có tính chịu dầu, không tan trong dầu biến thế, chịu nhiệt đến 300 ÷ 600°C trong lò sấy (trong một phút). Sau khi sơn sấy tạo thành một màng sơn có độ bền cao màu nâu sáng đến nâu sẫm.

Trước khi sơn hàng loạt nên sơn thí nghiệm một số tấm, đem sấy và đo, kiểm tra độ dày, chất lượng sơn. Kiểm tra và phân loại tất cả các tấm tôn sau khi sơn, lá nào hỏng để riêng một chỗ, sau này phân đều làm nhiều vị trí, tránh ghép tập trung chúng một chỗ.

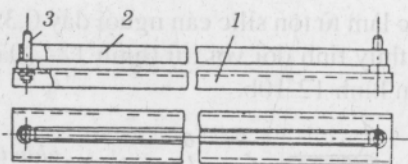
Công tác sơn sấy phải đảm bảo an toàn lao động. Tất cả các thiết bị đều phải nối đất, không hút thuốc trong xưởng sơn.

12-6. KIỂM TRA CÁC LÁ TÔN SAU KHI SỬA CHỮA

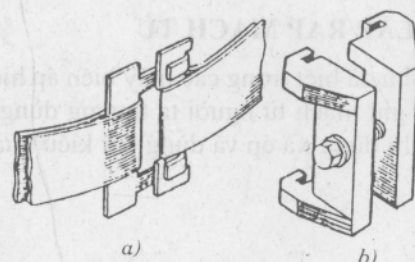
Các lá tôn sau khi sơn sấy được đưa đến bàn kiểm tra. Màng sơn trên các lá tôn không được rỗ, khuyết, nổi đường rãnh và phải khô đều, đồng nhất màu nâu sẫm (hoặc nâu bóng), bám chắc với thép. Chiều dày màng sơn tính cả hai phía không nhỏ hơn 0,02mm, nếu tính một phía không nhỏ hơn 0,01mm. Kiểm tra chiều dày lá tôn bằng cách chập khoảng 30 lá tôn thành một thép rồi đo chiều dày tổng, nếu đạt xấp xỉ 11mm đối với tôn 0,35mm là được. Chất lượng cách điện được kiểm tra bằng cách đo điện trở của một thép 30 lá như trình bày trong mục 12-2.

12-7. TÍNH TOÁN ĐAI THỦY TINH (SỢI THỦY TINH)

Trong các máy biến áp lớn mạch từ thường làm bằng tôn cán nguội và được đai bằng thủy tinh theo phương pháp đặc biệt (hình 12- 8 và 12- 9).



Hình 12 -8. Phương pháp quấn đai bằng băng thủy tinh:
1- để ép chữ U; 2- đai bằng băng thủy tinh; 3- chốt giữ.



Hình 12- 9. Phương pháp khóa đai (a) và dụng cụ để khóa đai (b).

Chiều dày đai thủy tinh khoảng $a = 0,2\text{mm}$, chiều rộng $b = 20\text{mm}$, diện tích tiết diện băng 4mm^2 .

Độ bền đứt của đai $\sigma = 6,4.10\text{Pa}$; (65kG/mm^2).

Khi tính toán lấy lực kéo của băng $N = 1000$ Niuton (100kG), áp suất riêng trong các thép giữa các trụ $P = 29 \div 30).10^4\text{Pa}$; ($3 \div 4\text{kG/cm}^2$).

Nếu gọi D - đường kính trụ, B - bước cắt đai (cm) thường lấy bằng 24cm, số vòng đai trong đai là $n = n_v.n_l$, trong đó n_v là số vòng trong một lớp, lấy bằng 2 đến 4; n_l là số lớp. Khi cho trước số vòng trong một lớp ta xác định được:

$$n_o = \frac{P.D.B}{2n_v.N}$$

Từ bảng 12-1 theo giá trị n_o ta xác định được số lớp đai cần thiết. Cần phải tính đến sự giảm khả năng chịu kéo do quá trình pôlime hóa ở nhiệt độ 90 ÷ 100°C trong thời gian sấy ruột máy. Do

đó cần đưa vào một hệ số: $k = \frac{N_0}{N_1} = \frac{N_t}{N_1}$ (N_t - lực kéo kinh tế), từ đó suy ra $N_1 = kN$.

$$\text{Lực tác dụng lên một bulông } N_b = \frac{N_0}{2}$$

Thí dụ: Tính đai thủy tinh và bulông kéo khóa:

$D = 40\text{cm}$; $n_v = 3$; $P = 39.10^4\text{Pa}$ (4kg/cm^2); $B = 24\text{cm}$; $N = 1000\text{Pa}$ (100kG).

Khi đó $n_0 = \frac{PDB}{2.N} = \frac{4.40.24}{23.100} = 6,4$; theo bảng 12-2 xác định được số lớp $N_1 = 11$. Do đó

$$k = \frac{6,4}{11} = 0,58 \text{ và } N_1 = kN = 0,58.1000 = 580 \text{ Niuton hoặc } 58\text{kG}.$$

Số vòng trong một đai $n = n_v.n_1 = 11 \times 3 = 33$.

Lực tác dụng lên đai $N_0 = N_1 n = 580 \times 33 = 19100$ Niuton. Lực tác dụng lên một bulông

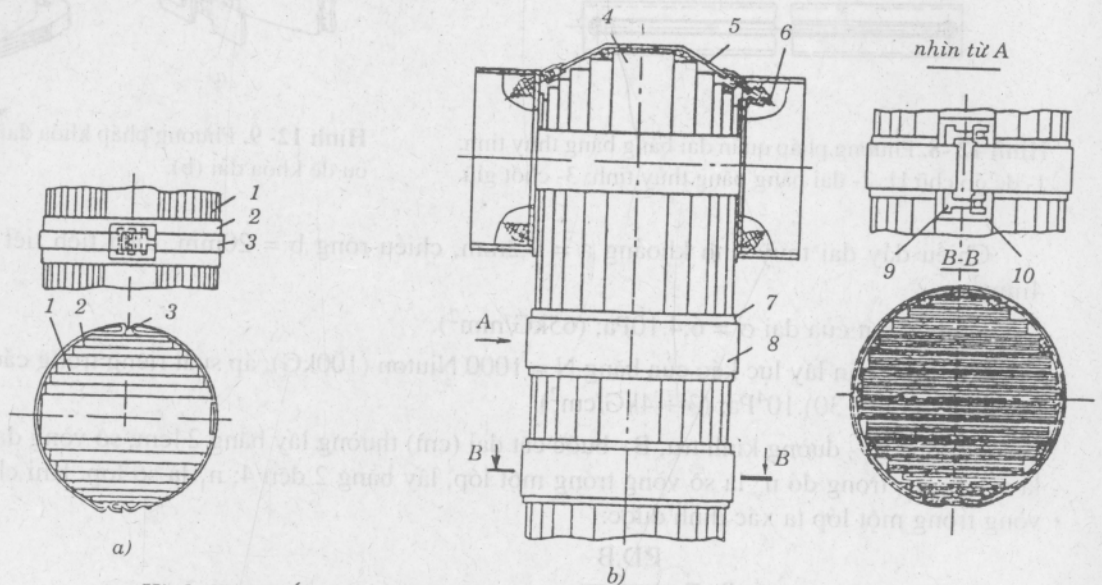
$$N_b = \frac{N_0}{2} = 9550 \text{ Niuton. Chọn bulông M10 có lực cho phép } N_b = 9700 \text{ Niuton.}$$

Bảng 12-1. Số lớp đai trong đai khi biết số vòng một lớp

| N_0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|----|
| N_1 | 1,50 | 1,75 | 4,25 | 6,0 | 8,0 | 10,0 | 13,5 | 18,5 | 28,5 | 41 |

12-8. LẮP RÁP MẠCH TỪ

Như đã biết trong các máy biến áp hiện đại mạch từ được làm từ tôn silic cán nguội dày 0,35mm. Để ép giữ mạch từ người ta thường dùng đai thép hoặc đai thủy tinh đối với trụ (hình 12- 10a) còn gông thì dùng xà ép và dùng đai kiểu nửa đai như mô tả trên hình 12-10b.



Hình 12-10. Ép trụ và gông trong máy biến áp hiện đại:

a- đai thép có khóa; b- đai thủy tinh trụ và đai ép gông

1 và 4- phần lõi sắt (phần tác dụng); 2 và 7- lớp lót trong bằng cactông cách điện dày 2mm;
3- đai thép có khóa; 5- đai gông; 6- bulông; 8- đai thủy tinh; 10- cách điện khóa.

Mạch từ cần được phục hồi lại như cũ cả về chất lượng lẫn kích thước. Khi sắp xếp các lá tôn cần chú ý khe hở ở chỗ nối trụ và gông không được vượt quá 1,5mm. Sau khi xếp được khoảng 12mm theo chiều dày thì dùng búa đồng hoặc búa gỗ vỗ qua tấm lót (cũng bằng gỗ) cho phẳng các mặt. Việc sắp xếp các lá tôn phải theo đúng sơ đồ cũ.

Sau khi xếp xong dùng các kẹp, kẹp chặt ở những chỗ sẽ đặt đai trụ (hình 12-11). Khi xiết các gugiông kẹp phải xiết đều, không làm xô dịch các lá tôn so với nhau.

Gông được ép sơ bộ bằng các gugiông xuyên qua xà ép gông ở các lỗ nằm ngoài lõi. Đặt các đai và xiết đều các bulông cho đến khi lõi thép cứng vững. Chú ý khi đai trụ và gông thì trên và dưới phải đồng đều, không để mạch từ bị phồng lên ở chỗ không có đai. Lực xiết đai khoảng $(10 \div 11) \cdot 10^2$ Niuton, tức $100 \div 110$ kG.

Kiểm tra lại toàn bộ kích thước của mạch từ theo sai số trong bảng 12- 2.

Bảng 12- 2. Sai lệch cho phép của mạch từ khi lắp ráp

| Kích thước, mm | Độ lệch cho phép khi đường kính trụ, mm | |
|--|---|-----------|
| | Đến 340 | 340 ÷ 750 |
| Khe hở lớn nhất ở chỗ nối | 1,5 | 1,5 |
| Chiều dày trụ | - 2 | - 3 |
| Đường kính trụ | + 3 | + 4 |
| Chiều dày của thép giữa trụ | + 2 | + 3 |
| Sai lệch trụ theo phương đứng | 1,5 | 1,5 |
| Khoảng cách giữa các khoá đai | ± 8 | ± 8 |
| Khoảng cách từ trục của trụ đến khoá đai | ± 5 | ± 8 |

Cần chú ý một điều là sự khác nhau về chiều cao của xà ép gông có ảnh hưởng đến kích thước mạch từ sau khi lắp; ở nhà máy chế tạo biến áp sai lệch này được quy định không quá 3 mm đối với máy biến áp đến 6,3MVA; 5 mm đối với máy lớn hơn 6,3 đến 63MVA; 8mm đối với máy 63MVA.

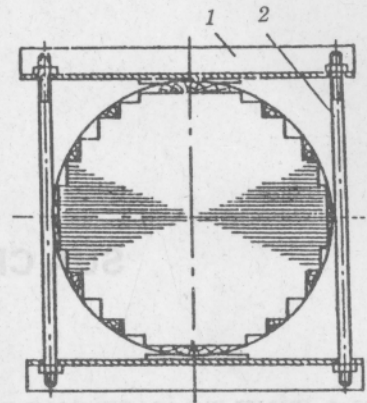
12-9. THỬ NGHIỆM MẠCH TỪ SAU KHI SỬA CHỮA

Thử nghiệm mạch từ sau khi thay thế cách điện và ghép lại đối với các máy biến áp trung bình và lớn theo cùng một phương pháp. Cũng tương tự như thí nghiệm trước khi sửa chữa người ta quấn vào mạch từ dây quấn thử nghiệm rồi tiến hành thí nghiệm không tải, đo dòng điện và tổn hao không tải rồi so sánh với trị số cho phép của nó.

Đặt điện áp vào dây quấn thử nghiệm trong thời gian 1 đến 6 giờ; đo nhiệt độ ở những vị trí khác nhau của mạch từ. Nếu phát hiện thấy nóng cục bộ ở một chỗ nào đó trên mạch từ là không đạt yêu cầu.

Đo điện trở cách điện của đai và ép gông so với lõi thép tác dụng bằng megômét 2500V. Điện trở đó không được nhỏ hơn $2M\Omega$.

Nếu kết quả thí nghiệm tốt thì tháo dây quấn thí nghiệm, gông trên và tiến hành tổng lắp ráp phần tác dụng.



Hình 12-11. Dùng kẹp để ép chỗ đặt đai:

1- xà ép; 2- ti ép.

CHƯƠNG 13

SỬA CHỮA DÂY QUẤN MÁY BIẾN ÁP

13-1. TÍNH TOÁN TRONG SỬA CHỮA MÁY BIẾN ÁP

1. Nội dung, khối lượng và phương pháp tính toán

Trong công tác sửa chữa máy biến áp không tránh khỏi việc phải tính toán lại một số các thông số kỹ thuật của dây quấn. Nội dung và khối lượng tính toán trong sửa chữa rất khác nhau tùy theo từng dạng sửa chữa, nhà máy sửa chữa, máy do nhà máy nào sản xuất, có hồ sơ kỹ thuật chi tiết không, v.v... Việc tính toán trong sửa chữa chủ yếu về dây quấn và đặc biệt trên cơ sở mạch từ, vỏ máy, nắp máy... có sẵn.

Trong sửa chữa phục hồi nếu máy có đủ hồ sơ kỹ thuật của nhà chế tạo (trường hợp do chính nhà máy chế tạo sửa chữa), sử dụng lại dây dẫn cũ hoặc dùng dây dẫn mới nhưng kích thước bằng dây cũ thì hầu như không phải tính toán gì. Trong trường hợp này chỉ cần thợ sửa chữa không để sai sót và làm thay đổi khoảng cách cách điện cũ là được.

Nếu kích thước dây dẫn dùng làm dây quấn khi sửa chữa có thay đổi thì căn cứ vào kích thước cửa sổ mạch từ, các khoảng cách điện cho phép để tính toán lại kích thước dây, số vòng dây trong một lớp, số lớp, chiều dày và số lớp cách điện... thậm chí có khi phải thay đổi cả kiểu dây quấn. Khi đã có những thay đổi như vậy thì còn cần phải tính lại các tham số khác của máy biến áp như tổn hao, hiệu suất, điện áp ngắn mạch, dòng điện không tải... bởi vì rất có thể mật độ từ thông, mật độ dòng điện đã thay đổi.

Để làm cơ sở cho việc tính toán cần phải lấy các số liệu thực tế như các kích thước của mạch từ, khoảng cách điện, kích thước vỏ máy... thật tỉ mỉ.

Đối với dạng sửa chữa mang tính cải tiến thì việc tính toán gần như là việc thiết kế lại nhưng vẫn giữ nguyên kích thước vỏ, mạch từ, khoảng cách cách điện và đặc biệt cần phải giữ nguyên mật độ từ thông, độ tăng nhiệt, độ bền điện, nhiệt cùng với những tham số theo yêu cầu kỹ thuật.

Để minh họa sau đây chúng ta sẽ khảo sát một số tính toán mẫu của một số hãng lớn thường xuyên làm công tác sửa chữa máy biến áp.

2. Lập phiếu tính toán

Tất cả các tính toán sửa chữa được ghi vào một bản tính gọi là phiếu tính toán sửa chữa. Cơ sở để lập các phiếu tính toán này là các số liệu kỹ thuật của nhà chế tạo, các số liệu đo đếm lấy được từ thực tế trên các máy cụ thể, các yêu cầu kỹ thuật mới nếu là máy cần cải tiến. Phiếu tính toán sửa chữa gồm hai phần: phần thứ nhất ghi các số liệu kỹ thuật chính và các yêu cầu kỹ thuật đặc biệt của máy biến áp; phần thứ hai ghi các thông số kỹ thuật và công nghệ của dây quấn để người thợ quấn dây thực hiện.

Các thông số chính của máy biến áp được mô tả trong các phiếu kỹ thuật (bảng 13-1), gồm các phiếu sau:

Phiếu 1: ghi các thông số: (để dễ hiểu ở đây dẫn ra thông số của một máy biến áp cụ thể do Liên Xô cũ sản xuất).

1) Các thông số cơ bản bao gồm: kiểu máy (TM-10000/35); công suất định mức, kVA (10000), tần số Hz(50); sơ đồ và tổ nối dây (Y_0/Δ -11), điện áp, V ($35.000 \pm 2 \times 2,5\%/6.600$), chỗ làm việc (ngoài trời). Các tham số này có thể lấy ngay trên nhãn máy. Các tham số kỹ thuật khác như dòng điện không tải, điện áp ngắn mạch... sẽ được tính toán lại và sau đó ghi vào một phiếu khác.

Bảng 13-1. Các phiếu kỹ thuật của máy biến áp

| Tên nhà máy sửa chữa
.....
..... | Các tham số chính
của máy biến áp | | Kiểu máy
(TM - 10.000/35) | | | Máy biến áp | | | | | | |
|--|--------------------------------------|-----------------------------------|---|------|--------------------|--------------|------------|-------|--|--|--|--|
| | | | | | | Năm
19... | Tờ số
1 | Số tờ | | | | |
| Khách hàng
..... | | | Đơn đặt hàng số | | | | | | | | | |
| Công suất, kVA, 10.000, tần số 50Hz
Y_0/Δ - 11 | | | Thiết bị: <u>ngoài trời</u>
<u>trong nhà</u> | | | | | | | | | |
| Điện áp, V: $35.000 \pm 2 \times 2,5/6600$ | | | | | | | | | | | | |
| Dây quấn | Cao áp | Trung áp | Hạ áp | | | | | | | | | |
| Thử nghiệm
cách điện | Điện áp thử
85kV | Điện áp,
kV | Điện áp,
25kV | | | | | | | | | |
| Đầu ra | -6; 95mm ² | | Pha: 4,4 x 25; dây: 5 x 40 | | | | | | | | | |
| Đầu vào | 35kV
174A | | 6,6kV;
875A | | | | | | | | | |
| Chuyển mạch | 35kV,
174A, 6 nắp | | | | | | | | | | | |
| Trụ ghép xen kẽ, thép đã sơn cách điện, dây 0,5mm | | | | | | | | | | | | |
| Đường kính trụ,
mm | Chiều cao
cửa sổ, mm | Tiết diện trụ,
cm ² | Từ cảm,
T | W/kg | Trọng lượng,
kg | | | | | | | |
| 470 | 1200 | Trụ: 1368 | 1,449 | 3,12 | Trụ: 3743 | | | | | | | |
| MO, 780 | - | Gông: 1473 | 1,380 | 2,86 | Gông: 4367 | | | | | | | |
| Lực cơ học trên một trụ
Thùng: 2500x1150 mm
Cao: 2650 mm | | | Bộ tản nhiệt hàn ống: 9 bộ, 2285 mm
Bình giãn dầu - đường kính 610x2220 mm | | | | | | | | | |
| | | | Quạt gió:
Lưu lượng khí: m ³ /ph, mm;
H ₂ O | | | | | | | | | |
| | | | Động cơ quạt: kiểu
..... kW..... V..... v/ph | | | | | | | | | |

(tiếp bảng 13-1)

| | |
|--|---|
| Dầu, kg
Thép - 8110
Đồng - 2260 | Dầu: m ³ /ph, kg/m ³
Nước: m ³ /ph, kg/m ³ |
| Phần tác dụng: 11500
Thùng - 2552
Tản nhiệt - 4104 | Kích thước, mm
Cao
- đến nắp
- đến đầu ra đến ống chống nổ |
| Thùng: 7400
Dầu: 7600 | Chất lượng dầu:
Thùng:
Tản nhiệt:
Bình giãn dầu: |
| Trọng lượng tổng 26500 kg | Làm việc song song |

| | | | | | | | | | |
|---|--|-----|----|----------------|---|-----------------|------------------|------------|-------|
| Tên nhà máy sửa chữa
.....
..... | Tính toán máy biến áp | | | | Kiểu máy
(TM -10.000/35) | | Máy biến áp | | |
| | | | | | | | Năm
19.... | Tờ số
2 | Số tờ |
| Dây quấn: cao áp 35kV; Công suất, 10.000kVA
hạ áp 6,6 kV | | | | | | | | | |
| V/vòng = 44 | $\frac{36750}{21200}$; $\frac{35870}{20720}$; $\frac{35000}{20210}$; $\frac{34130}{19700}$;
$\frac{33200}{19200}$ V | | | | 6600V | | | | |
| Dòng điện, A | 157; 161; 165; 169; 174 | | | | 875 (505) | | | | |
| Số vòng dây | 482; 741; 460; 448; 436 | | | | 150 | | | | |
| Các tấm đệm | 12 theo chu vi 40 x 62mm | | | | 12 theo chu vi
40 x 60 mm | | | | |
| Số cuộn trên trụ (64) | 4A | 52B | 4C | 4D | (tổng bộ 52) | 10k | 42L | | |
| Số vòng trong cuộn | 5 | 8 | 6 | $5\frac{1}{2}$ | | $2\frac{9}{12}$ | $2\frac{11}{12}$ | | |
| Kích thước dây | $\frac{12,5 \cdot 2,83}{13,85 \cdot 4,18}$ (2 sợi song song)
Còn lại: $\frac{9,3 \cdot 2,1}{9,8 \cdot 2,6}$ (2 sợi song song) | | | | $\frac{12,5 \cdot 3,05}{13 \cdot 3,55}$ (4 sợi song song) | | | | |
| Tiết diện, mm ² | 35,1 x 2 = 70,2; 19,2 x 2 = 38,4 | | | | 37,8 x 4 = 151,2 | | | | |
| Mật độ dòng điện,
A/mm ² | 2,35; 4,29 | | | | 3,34 | | | | |

(tiếp bảng 13-1)

| | | |
|--------------------------------------|---|--|
| Chiều dài trung bình một vòng dây, m | $3,14 \times 0,703 = 2,21$ | $3,14 \times 0,554 = 1,74$ |
| Chiều dài toàn bộ, m (tất cả 3 pha) | $3203 = 133 + 3070$ | $784 = 1,74 \cdot 3 \cdot 150$ |
| Điện trở (pha), Ω | $0,0135 + 0,57 = 0,5835$ | $0,0213 \frac{261,3}{151,2} = 0,037$ |
| Trọng lượng đồng, kg | $\frac{84}{90} + \frac{1050}{1085} = \frac{1134}{1175}$ | $\frac{1060}{1085} \quad \Sigma = \frac{2194}{2260}$ |

Kết cấu dây quấn:CA: A - $1,03[4,23 (2.5)] = 44 + 1 = 45$;B - $1,03[2,6 (2.8)] = 43 + 1 = 44$;C và D - $1,03[2,6 (2.6)] = 32 + 10 + 1 = 43$;**Kết cấu hướng trục**

$$4A - 13,94 = 56$$

60 còn lại dây dẫn

$$\frac{9,8.60}{614} = \frac{588}{614}$$

Vùng điều chỉnh chiều caoĐồng: $9,8 \times 8 = 79$ } Nêm rãnh $28 \times 1 = 28$ Khoảng trống: $28.1 = 28$ } $(416) 8 \times 8 = 64$ Rãnh thông đầu: $\frac{6.7}{149} = \frac{42}{149}$ } $\frac{6.54}{1060} = \frac{324}{1060}$

Ép xuống: (-23)

Dây quấn: 1037

Đến gông: 163

Đến cửa sổ: 1200

HA:

kích thước hướng kính

 $1,03[3,55 (4.3)] = 44 + 1 = 45$

kích thước hướng trục

 $13 \times 52 = 675$ - dây dẫn $24 \times 5 = 120$ } 373 $5,5 \times 46 = 253$ } rãnh

1049

(tiếp bảng 13-1)

| Tên nhà máy sửa chữa
.....
..... | Tinh toán máy biến áp | Kiểu máy
(TM - 10.000/35) | Máy biến áp | | |
|--|-----------------------|------------------------------|--------------|------------|-------|
| | | | Năm
19... | Tờ số
3 | Số tờ |
| Dây quấn cao áp | Công suất kVA | Kết cấu theo hướng kính, mm | | | |
| Điện áp, V | | Bán kính trụ: 235 | | | |
| Dòng, A | | +5 nẽm | | | |
| Vòng dây an toàn phần | | 240 | | | |
| Tấm đệm | | +4 hình trụ | | | |
| Số cuộn dây trên một trụ | | 244 | | | |
| Kích thước dây: | | +11 thanh cách điện | | | |
| Tiết diện mm ² | | 255 | | | |
| | | +44 hạ áp | | | |

(tiếp bảng 13-1)

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|------------------------|------|
| Chiều dài trung bình một vòng | | | | | | 299 | } 31 |
| Chiều dài toàn phần | | | | | | +1 | |
| | | | | | | 300 | |
| | | | | | | +13 rãnh | |
| Điện trở | | | | | | 313 | |
| Khối lượng đồng (đối với dây quấn cao áp) | | | | | | +5 hình trụ | |
| | | | | | | 318 | |
| | | | | | | +12 thanh cách điện | |
| | | | | | | 330 | |
| | | | | | | +43 cao áp | |
| | | | | | | 373 | |
| | | | | | | +1 | |
| | | | | | | Đường kính cao áp: 748 | |
| | | | | | | 32 - giữa các pha | |
| | | | | | | MO - 780 | |
| Kết cấu dây quấn: | | | | | | | |
| Thành phần phản kháng của điện áp ngắn mạch U_{nx} | | | | | | Hình trụ, mm: | |
| | | | | | | 480/488 x 1145 - 3 | |
| | | | | | | 626/636 x 1145 - 3 | |
| | | | | | | Các vòng đệm góc, mm. | |

$$U_{nx} = 24,8 \cdot \frac{505 \cdot 150 \cdot 188,6 \cdot 0,964}{10^4 \cdot 44 \cdot 103,7} = 7,5\%$$

Khoảng cách đến thùng:

$$2500 - (1560 + 748) = 192 \text{ mm}$$

$$1150 - 748 = 402 \text{ mm}$$

Trong đó:

$$\Sigma RD = \frac{4,4 \cdot 27,7}{3} + \frac{4,3 \cdot 35,15}{3} + 3,1 \cdot 31,45 = 188,6 \text{ cm}$$

$$k_r = 0,984$$

$$U'_{nx} = 2,75\%, U_{nx_0} = 7,5 \cdot 1,0275 = 7,7\%$$

$$\frac{1037}{44 + 43 + 31} = \frac{1037}{118} = 8,8; \quad k_r = 0,964$$

$$U_{nx} = 2,75\%; \quad U_{nx_0} = 7,5 \cdot 1,0275 = 7,7\%$$

(tiếp bảng 13-1)

| Tên nhà máy sửa chữa
..... | Tính toán máy biến áp | Kiểu máy
(TM - 10.000/35) | | | | | Máy biến áp | | |
|-------------------------------|-----------------------|------------------------------|----|----|----|--|--------------|------------|-------|
| | | | | | | | Năm
19... | Tờ số
4 | Số tờ |
| Tổn hao, W | 75°C | °C | °C | °C | °C | | Đặc tính | | |
| Nổi | $\frac{35000}{6600}$ | | | | | | $U_{nr}\%$ | CA-TA | |

(tiếp bảng 13-1)

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------|-------|-------|--|--|--|--|------------------------------------|------|
| CA | $ml_c^2 R_c$ | 45500 | | | | | | CA-HA | 8,14 |
| | Dòng xoáy 1,52% | 690 | | | | | | TA-HA | — |
| TA | $ml_t^2 R_t$ | - | | | | | | CA-TA | — |
| | Dòng xoáy % | | | | | | | CA-HA | 7,22 |
| HA | $ml_H^2 R_H$ | 28300 | | | | | | CA-HA | — |
| | Dòng xoáy 4,6% | 1300 | | | | | | Dòng điện từ hóa
% $i_0 = 2,68$ | |
| Trong các đầu ra | | | 500 | Dòng điện kích thích | | | | | |
| Do từ tản | | | 5100 | Dòng điện từ hóa | | | | | |
| Toàn bộ trong dây đồng cuốn | | | 81390 | $33,35 \times 3743 = 125000 \text{ VA}$ | | | | | |
| Trong thép mạch từ | | | 26620 | $23,60 \times 4357 = 103000 \text{ VA}$
$2,950 \times 1368.10 = 40400 \text{ VA}$
<u>268400 VA</u> | | | | | |
| Bề mặt làm mát, m^2 : | | | | $\frac{40 \cdot 400}{268 \cdot 400} \cdot 100 = 15\%$ | | | | | |
| Thùng: 18,38 m^2 | | | | | | | | | |
| Bộ tản nhiệt: 185,4 m^2 | | | | $\frac{268 \cdot 400}{10 \cdot 10000} = 2,68\%$ | | | | | |
| Toàn phần: 203,78 m^2 | | | | | | | | | |

| | | | | |
|--|-----|--------|---------------------|-----|
| $q_v, W/m^2$ | 528 | Dầu | Dầu | 1/4 |
| $q_t, W/m^2$ | - | 47,5°C | 39,6 + 35 = 74,6°C | |
| $q_{max}, W/m^2$ | - | - | - | 2/4 |
| $q_{dq}, W/m^2$ | - | 66,6°C | 66,6 + 35 = 101,6°C | 3/4 |
| $q_{CA} = 21,4 \cdot \frac{165 \cdot 8 \cdot 4,29 \cdot 1,0152}{0,782 \cdot 102,8} = 1540$ | | | | |
| TA | | °C | °C | 4/4 |
| | | | | 5/4 |
| $q_{HA} = 21,4 \cdot \frac{595 \cdot 3 \cdot 3,34 \cdot 1,046}{0,724 \cdot 111,2} = 1420$ | | 69,4°C | 69,4 + 35 = 104,4°C | 6/4 |

Tổn hao xoáy; tản và lực cơ học:

$$P_{XCA} = \frac{3,8 (50 \cdot 16 \cdot 64 \cdot 2,1 \cdot 19,2)^2}{10^7 \cdot 1037} = 1,52\%$$

$$P_{XHA} = \frac{3,8}{10^7} \cdot \frac{(50 \cdot 12 \cdot 52 \cdot 3,05 \cdot 37,8)^2}{1037} = 4,6\%$$

Tổn hao trong thép kết cấu:

$$P_{KC} = \frac{2,2 \cdot 7,2^2 \cdot 14400^2 \cdot 1368^2 \cdot 10^{-12}}{6300 [1037 + 2(525,5 - 314)]^2} = 5100W$$

Kiểm tra số vòng dây

2) Điện áp thí nghiệm, kV, cao áp: 85; hạ áp: 25 (lấy theo cấp cách điện (bảng 13-2) và trên cơ sở đó để kiểm tra và xác định các khoảng cách điện cũng như các kích thước của cách điện.

Trong bảng này cho mẫu thống kê đầy đủ, nếu máy biến áp nào không có tham số nào thì ta cứ bỏ trống. Tất cả các kích thước dù nhỏ, đặc biệt là các khoảng cách cách điện đều phải được ghi chép một cách tỉ mỉ để sau khi sửa chữa xong chúng ta sẽ kiểm tra lại.

Điều đặc biệt quan tâm ở đây là việc sửa chữa không được làm thay đổi khoảng cách cách điện, kích thước dây dẫn, kích thước dây quấn và điện trở của chúng (trường hợp sửa chữa mang tính phục hồi).

Nếu trong trường hợp sửa chữa mang tính cải tiến thì việc thay đổi kết cấu dây quấn, cấp điện áp, tính năng của máy... cũng không được làm sai lệch khoảng cách cách điện so với cũ hoặc tính toán (theo điện áp thử). Trong nhiều trường hợp nếu cấp điện áp thay đổi quá nhiều so với cũ thì phải chấp nhận giảm công suất (giảm kích thước dây) để thoả mãn điều kiện về khoảng cách cách điện.

Bảng 13-2. Điện áp thử nghiệm tần số công nghiệp (50Hz) đối với cách điện chính của các máy biến áp dầu thông dụng

| Cấp điện áp của dây quấn, kV | Điện áp làm việc cực đại | Điện áp thử trong một phút (kV) | |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------|
| | | Với vỏ và dây quấn khác | Giữa các pha |
| 3 | 3,6 | 18 | — |
| 6 | 7,2 | 25 | — |
| 10 | 12,0 | 35 | — |
| 15 | 17,5 | 45 | — |
| 20 | 24,0 | 55 | — |
| 35 | 40,5 | 85 | 200 |
| 110 | 126,0 | 200 | 275 |
| 150 | 172,0 | 230 | 400 |
| 220 | 252,0 | 325 | |

3) Các số liệu kĩ thuật về đầu vào, đầu ra: đầu vào cao áp (cáp 95mm²), hạ áp (trong pha dùng thanh cái 4,4 x 25; trong dây dùng thanh cái 5x40mm); các đầu vào cao áp (4 đầu), 35kV, 174A; các đầu hạ áp tương ứng (3 đầu), 6,6 kV, 875A; thiết bị chuyển mạch cao áp 35kV, 6 nấc, 174A. Việc chọn dây dẫn cho đầu ra (dây tròn, thanh cái, dây có cách điện hoặc cáp, kích thước và loại cách điện...) được căn cứ vào điện áp, dòng điện và mức độ phức tạp của sơ đồ. Dây tròn được dùng làm đầu ra cho các máy công suất trung bình có đường kính không quá 12mm và không dưới 4mm. Đối với các máy lớn dây tròn dùng làm đầu ra không nhỏ dưới 12mm. Để chọn cách điện và khoảng cách cách điện ta có thể tham khảo bảng 13-3.

Bảng 13-3a. Khoảng cách cách điện tối thiểu đối với dây quấn trong (HA) của máy biến áp dầu

| Điện áp của dây quấn, kV | | Cách điện với trụ | | Cách điện với gối | |
|--------------------------|------------|-------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Làm việc | Thử nghiệm | Khoảng cách, mm | Dạng cách điện | Khoảng cách, mm | Dạng cách điện |
| Đến 1,0 | 5,0 | 5,0 | Dầu | Lấy bằng khoảng | Cách điện |
| 3 ÷ 6 | 18 | 12 | | cách từ dây quấn | đỡ bằng |
| | và 25 | | | cao áp đến gối | cactông |
| 10 | 35 | 18 | Cách điện dầu - | | cách điện |
| 15 | 45 | 20 | giấy có nệm | | |
| 20 | 55 | 25 | bakelit dày | | |
| 35 | 85 | 30 | 3 ÷ 6mm | | |

Bảng 13-3b. Khoảng cách cách điện tối thiểu đối với dây quấn ngoài (CA) của máy biến áp dầu (dây quấn đồng tâm)

| Điện áp dây quấn, kV | | Cách điện giữa các dây quấn | | Cách điện với gối | |
|----------------------|------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Làm việc | Thử nghiệm | Khoảng cách, mm | Dạng cách điện | Khoảng cách, mm | Dạng cách điện |
| 6 | 25 | 8,5 | Cách điện dầu - | 20 | Cách điện |
| 10 | 35 | 12 | giấy có nệm | 30 | đỡ bằng |
| 20 | 55 | - | bakelit dày | - | cactông |
| 35 | 85 | 27 | 3 ÷ 6 mm | 75 | cách điện |

(tiếp bảng 13-3b)

| Điện áp dây quấn, kV | | Cách điện giữa các pha | | Cách điện với thành phẳng của thùng | |
|----------------------|------------|------------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------|
| Làm việc | Thử nghiệm | Khoảng cách, mm | Dạng cách điện | Khoảng cách, mm | Dạng cách điện |
| 6 | 25 | 10 | Cách điện dầu - | 25 | Khoảng cách |
| 10 | 35 | 14 | giấy với lớp | 30 | trong dầu |
| 20 | 55 | - | phủ bề mặt đáy | - | |
| 35 | 85 | 30 | 2 ÷ 6 mm | 75 | |

(tiếp bảng 13-3b)

| Điện áp làm việc tổng của 2 lớp, kV | Số lớp giấy cáp | Phân cách điện nhỏ ra khỏi dây tính cho mỗi phía, mm |
|-------------------------------------|-----------------|--|
| đến 1 | 2 | 10 |
| 1,0 ÷ 2 | 3 | 16 |
| 2,0 ÷ 3 | 4 | 16 |
| 3,0 ÷ 3,5 | 5 | 16 |
| 3,5 ÷ 4,0 | 6 | 22 |
| 4,0 ÷ 4,5 | 7 | 22 |
| 4,5 ÷ 5,0 | 8 | 22 |
| 5,0 ÷ 5,5 | 9 | 22 |

Tiếp bảng 13-3b. Phân nhô ra khỏi dây quấn của ống cách điện hình trụ

| Cấp cách điện, kV | Chiều cao phần nhô ra khỏi dây quấn, mm | Cấp cách điện, kV | Chiều cao phần nhô ra khỏi dây quấn, mm |
|-------------------|---|-------------------|---|
| 6 | 10 | 20 | 30 |
| 10 | 16 | 35 | 35 |
| 15 | 22 | | |

Chú ý: Khoảng cách giữa các vùng dây quấn điều chỉnh:

Cấp điện áp 6kV - $8 \div 12$ mm

Cấp điện áp 10kV - $10 \div 18$ mm

Cấp điện áp 35kV - $12 \div 25$ mm.

4) Các tham số của mạch từ: kiểu mạch từ, mức tôn, tôn được cách điện bằng gì, chiều dày lá tôn, mm (0,5), đường kính trụ, mm (470), chiều cao cửa sổ, mm (1200); khoảng cách giữa các trụ của các trụ, mm (780); tiết diện trụ, mm² (1368), tiết diện gông, mm² (1437); từ cảm trong trụ, T (1,449), từ cảm trong gông, T (1,38); tổn hao riêng của thép, W/kg: trong trụ (3,12), trong gông (2,86); trọng lượng tôn, kg: trụ (3743), gông (4367), toàn bộ (8110). Nói chung trong sửa chữa máy biến áp mạch từ được giữ không đổi cả về kích thước lẫn chủng loại vật liệu. Những trường hợp đặc biệt cần phải thay một bộ phận tôn (trong trường hợp lõi thép bị phóng điện hồ quang từ dây quấn vào hoặc cách điện lá tôn bị hỏng hóc mà không có điều kiện sơn lại) thì vẫn phải giữ kích thước mạch từ không thay đổi, khi đó cần tính lại mật độ từ thông và tổn hao trong lõi thép.

5) Lực cơ học tác dụng lên thanh dẫn, thường nhà máy chế tạo không cho biết nên khi tính toán lại ta cần phải xác định lực này sau khi đã xây dựng xong kết cấu dây quấn.

6) Các thông số kỹ thuật về vỏ máy, bộ tản nhiệt, bình giữ dầu... cần thiết cho quá trình tính toán kiểm tra sau này.

Phiếu 2 và 3: trong các phiếu này ghi các thông số kỹ thuật và công nghệ phục vụ cho việc chế tạo dây quấn.

1) Các tham số dây quấn cụ thể là: công suất mỗi dây quấn (sở dĩ ghi công suất mỗi dây quấn là vì có thể có máy biến áp ba dây quấn ở đó công suất mỗi dây quấn có thể khác nhau), kVA: cao áp 10.000, hạ áp 10.000; điện áp một vòng dây (44); điện áp dây, điện áp pha của mỗi cấp điều chỉnh; dòng điện dây, dòng điện pha của mỗi cấp điều chỉnh; số vòng dây của mỗi pha, của mỗi cấp điều chỉnh.

2) Cấu tạo và kích thước của các dây quấn: kiểu dây quấn, số bánh dây số vòng dây một bánh hoặc một lớp, kích thước các cuộn dây, kích thước các chi tiết cách điện, các khoảng cách điện, kích thước rãnh dầu ngang và dọc... Căn cứ các kích thước đo được trên thực tế tiến hành tính toán kiểm tra các kích thước và tuân theo các công thức sẽ dẫn ra dưới đây.

Phiếu số 4: trong phiếu này ta ghi các tham số sau:

- 1) Các tổn hao phụ và tổn hao chính trong dây quấn, trong mạch từ và trong các chi tiết kết cấu.
- 2) Tổng diện tích làm mát của vỏ thùng và các bộ tản nhiệt.
- 3) Tải nhiệt riêng của vỏ máy và dây quấn.
- 4) Độ tăng nhiệt của máy đối với môi trường xung quanh.
- 5) Độ thay đổi điện áp và điện áp ngắn mạch.
- 6) Dòng điện từ không tải và tổn hao không tải.

Tất cả các kết quả trong phiếu này được tính toán theo các công thức ở mục 3.

3. Các công thức dùng để tính toán trong công tác sửa chữa máy biến áp

Các đại lượng và các quan hệ cơ bản về điện.

1) Công suất định mức của máy biến áp.

- Máy biến áp động lực ba pha, một pha thông dụng:

$$P_{dm} = P_2 = \sqrt{3} U_{d2} I_{d2} \cdot 10^{-3} = 3 U_{f2} I_{f2} \cdot 10^{-3} \approx P_1 \quad (13-1)$$

- Máy biến áp động lực một pha thông dụng:

$$P_{dm} = P_2 = U_2 I_2 \cdot 10^{-3} \approx P_1 = U_1 I_1 \cdot 10^{-3} \quad (13-2)$$

- Máy biến áp ba pha ba dây quấn thông dụng:

$$P_{dm} = P_1 = \sqrt{3} U_{d1} I_{d1} \cdot 10^{-3} = 3 U_{f1} I_{f1} \cdot 10^{-3} \quad (13-3)$$

- Máy biến áp biến đổi:

$$P_{dm} = P_1 = \sqrt{3} U_{d1} I_{d1} \cdot 10^{-3} = 3 U_{f1} I_{f1} \cdot 10^{-3} \quad (13-4)$$

2) Công thức tính toán của máy biến áp.

Công suất tính toán theo định nghĩa là công suất dùng để tính toán vật liệu tác dụng (vật liệu dẫn điện và dẫn từ) của máy biến áp.

- Máy biến áp động lực thông dụng và máy biến áp lò:

$$P_{tt} = k_{dc} P_{dm} \quad (13-5)$$

- Máy biến áp biến đổi:

$$P_{tt} = 0,5(P_1 + P_2) \quad (13-6)$$

- Máy biến áp tự ngẫu:

- Máy biến áp một pha (hình 13-1a và b).

+ Công suất truyền (kVA):

$$P_t = U_2 I_2 \cdot 10^{-3} = U_1 I_1 \cdot 10^{-3} \quad (13-7)$$

+ Công suất tính toán, kVA, $U_2 > U_1$ (hình 13-1a):

$$P_{tt} = P_t \left(1 - \frac{U_1}{U_2}\right) = P_t (1 - k) \quad (13-8)$$

+ Hệ số biến áp $k = \frac{U_1}{U_2}$

+ Công suất tính toán, kVA, $U_1 > U_2$

(hình 13-1b):

$$P_{tt} = P_t \left(1 - \frac{U_2}{U_1}\right) = P_{tt} \left(1 - \frac{1}{k}\right) \quad (13-9)$$

+ Hệ số biến áp: $k = \frac{U_1}{U_2}$

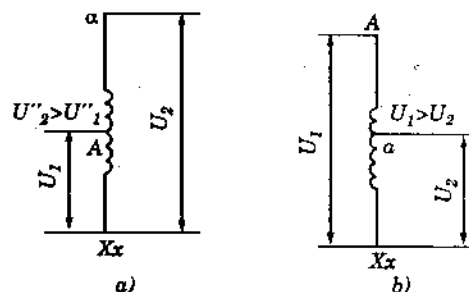
- Máy biến áp ba pha nối Δ (hình 13-2a và b):

+ Công suất tính toán:

$$P_{tt} = P_t \left(1 - \frac{1}{k}\right) \quad (13-10)$$

- Hệ số biến áp:

$$k = \frac{U_{f1}}{U_{f2}} = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{AX}{ax} = \frac{AB}{ab} = \frac{W_1}{W_2} \quad (13-11)$$



Hình 13-1. Sơ đồ máy biến áp tự ngẫu:

a- máy biến áp tăng áp; b- máy biến áp hạ áp.

- Máy biến áp ba pha nối Δ : (hình 13-3a và b).

$$P_{II} = \frac{P_I(k-1)\sqrt{3}}{k\sqrt{k^2-3k+3}}; \quad (13-12)$$

$$k_f = \frac{AB}{ab} \frac{W_1}{W_2}; \quad (13-13)$$

$$k_d = \frac{AB}{ab} = \sqrt{k^2-3k+3}. \quad (13-14)$$

3) Các dòng điện pha I_f và các dòng điện dây I_d , A.

• Trường hợp nối Λ hoặc nối Z.

$$I_f = I_d = \frac{P_{dm} 10^3}{\sqrt{3}U_d} = \frac{P_{dm} 10^3}{\sqrt{3}U_f} \quad (13-15)$$

• Trường hợp nối Δ :

$$I_f = \frac{I_d}{\sqrt{3}} \quad (13-16)$$

$$I_d = \frac{P_{dm} 10^3}{\sqrt{3}U_d} = \frac{P_{dm} 10^3}{3U_f} \quad (13-17)$$

4) Các điện áp pha U_f và điện áp dây U_d .

• Trường hợp nối Λ hoặc Z:

$$U_f = \frac{U_d}{\sqrt{3}} \quad (13-18)$$

$$U_d = \frac{P_{dm} 10^3}{\sqrt{3} I_d} = \frac{P_{dm} 10^3}{3 I_f} \quad (13-19)$$

• Nối thành hình Δ :

$$U_f = U_d = \frac{P_{dm} 10^3}{\sqrt{3} I_d} = \frac{P_{dm} 10^3}{3 I_f} \quad (13-20)$$

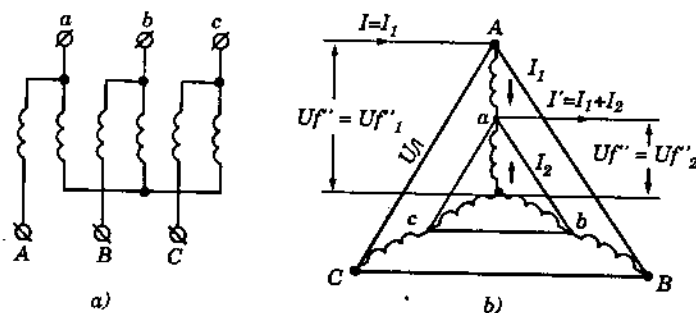
5) Điện áp của một vòng dây, V.

• Trường hợp nối Λ :

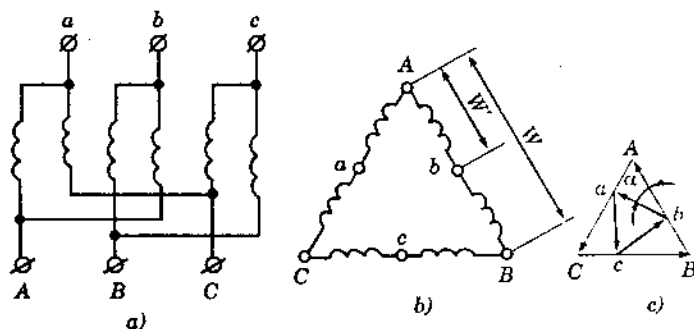
$$u_v = \frac{U_f}{W_f} = \frac{U_d}{\sqrt{3} W_f} \quad (13-21)$$

• Trường hợp nối Δ :

$$u_v = \frac{U_f}{W_f} = \frac{U_d}{W_f} \quad (13-22)$$



Hình 13-2. Sơ đồ máy biến áp ba pha nối Y
a- sơ đồ nối; b- sơ đồ nguyên lý.



Hình 13-3. Máy biến áp tự ngẫu ba pha nối Δ :
a- sơ đồ nối; b- sơ đồ nguyên lý; c- đồ thị vectơ.

- Trường hợp nối ziczắc

$$u_v = \frac{U_d}{3W_{1/2f}} ; \quad (13-23)$$

trong đó $W_{1/2f}$ - số vòng dây quấn của một pha trên một trụ (tức một nửa số vòng dây của một pha trong trường hợp quấn chia đều trên hai trụ).

• Máy biến áp biến đổi. Đối với máy biến áp biến đổi các quan hệ giữa các đại lượng có thể lấy theo bảng 13- 4.

Bảng 13- 4. Xác định các tham số của máy biến áp biến đổi đối với các sơ đồ khác nhau

| Các thông số kĩ thuật | Sơ đồ cầu | Sơ đồ sao - ziczắc kép | Sơ đồ sao - hai sao ngược có cuộn san bằng | Công thức |
|--|-----------------|------------------------|--|-----------|
| • Điện áp chỉnh lưu không tải U_{co} , V | $2,34U_{2f}$ | $1,35U_{2f}$ | $1,17U_{2f}$ | 13-24 |
| • Trị số hiệu dụng của dòng điện thứ cấp I_2 , A | $0,817I_c$ | - | $0,289I_c$ | 13-25 |
| - Dòng điện thứ cấp trong phần dây quấn nối trực tiếp với hình Y, I_2' , A | - | $0,41I_c$ | - | 13- 26 |
| - Dòng điện thứ cấp trong phần dây quấn nối với điểm trung tính, I_2'' , A | - | $0,58I_c$ | - | 13-27 |
| • Công suất của dây quấn thứ cấp P_2 , VA | $1,05U_{co}I_c$ | $1,31U_{co}I_c$ | $1,49U_{co}I_c$ | 13-28 |
| - Công suất định mức của máy biến áp P_1 , W | $1,05U_{co}I_c$ | $1,05U_{co}I_c$ | $1,05U_{co}I_c$ | 13-29 |
| - Công suất danh định: P, W | $1,05U_{co}I_c$ | $1,43U_{co}I_c$ | $1,27U_{co}I_c$ | 13-30 |
| - Hệ số sử dụng: $K_{sd} = \frac{U_{co}I_c}{P}$ | $1/1,05 = 0,95$ | $1/1,43 = 0,7$ | $1/1,27 = 0,788$ | 13-31 |

4. Các tham số của mạch từ

1) Tiết diện tác dụng của mạch từ (tiết diện trụ S_t và gông S_g , cm^2)

a) Tiết diện tác dụng của trụ:

$$S_t = S.k_{c1}.k_{c2} \quad (13-32)$$

b) Diện tích hình tròn ngoại tiếp trụ:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} ; \quad \text{trong đó: } D - \text{đường kính trụ.} \quad (13-33)$$

c) Tổng diện tích các bậc trụ thép:

$$S_{\Sigma} = S.k_c \quad (13-34)$$

trong đó: k_{c1} là hệ số diện dây hình tròn là tỉ số giữa tổng diện tích các bậc trụ thép với diện tích hình tròn ngoại tiếp trụ và có thể lấy theo bảng 13-5.

Hệ số ép chặt lõi thép k_{c2} kể đến cách điện giữa các lá tôn và khe hở giữa chúng, có thể tra bảng 13-6.

Bảng 13-5. Tiết diện tác dụng của thép trụ và gông của mạch từ máy biến áp

| Đường
kính trụ
D, mm | Số | | Hệ số
k_{c1} | Trụ | | | | Gông | | | |
|----------------------------|-----|------|-------------------|---|---------------------------|---------|---------|---|---------------------------|---------|---------|
| | Bậc | Rãnh | | Diện
tích hình
bậc $S_{T\bar{E}}$ | S_{Σ} khi k_{c2} | | | Diện tích
hình bậc
$S_{G\bar{E}}$ | S_{Σ} khi k_{c2} | | |
| | | | | | 0,94 | 0,95 | 0,96 | | 0,94 | 0,95 | 0,96 |
| 280 | 8 | — | 0,927 | 570,90 | — | — | 548,06 | 591,10 | — | — | 567,45 |
| 300 | 8 | — | 0,920 | 657,20 | — | — | 630,91 | 675,20 | — | — | 648,19 |
| 320 | 9 | — | 0,927 | 746,20 | — | — | 716,35 | 762,40 | — | — | 731,90 |
| 340 | 9 | — | 0,930 | 844,80 | — | — | 811,00 | 860,80 | — | — | 826,36 |
| 360 | 9 | 1 | 0,912 | 929,80 | — | — | 892,03 | 944,80 | — | — | 907,00 |
| 380 | 9 | 1 | 0,913 | 1035,80 | — | — | 994,36 | 1063,40 | — | — | 1020,86 |
| 400 | 11 | 1 | 0,919 | 1155,64 | — | — | 1109,41 | 1167,64 | — | — | 1120,93 |
| 420 | 11 | 1 | 0,926 | 1282,92 | — | — | 1231,60 | 1315,02 | — | — | 1262,41 |
| 450 | 14 | 1 | 0,921 | 1470,18 | — | — | 1420,01 | 1500,18 | — | — | 1440,17 |
| 480 | 14 | 1 | 0,933 | 1688,86 | — | — | 1621,37 | 1718,66 | — | — | 1649,91 |
| 500 | 14 | 2 | 0,925 | 1816,40 | — | — | 1743,74 | 1843,90 | — | — | 1770,14 |
| 530 | 15 | 2 | 0,926 | 2044,78 | — | — | 1962,98 | 2077,78 | — | — | 1994,66 |
| 560 | 15 | 2 | 0,928 | 2286,18 | 2149,00 | 2171,87 | 2194,73 | 2316,68 | 2177,67 | 2200,84 | 2224,01 |
| 600 | 16 | 2 | 0,933 | 2639,42 | 2481,05 | 2507,44 | 2533,84 | 2690,92 | 2529,46 | 2556,37 | 2563,28 |
| 630 | 16 | 3 | 0,927 | 2892,50 | 2781,95 | 2747 | 2776,80 | 2958,30 | 2780,80 | 2810,38 | 2839,96 |
| 670 | 16 | 3 | 0,928 | 3273,90 | 3077,46 | 3110,20 | 3142,94 | 3357,70 | 3156,23 | 3189,81 | 3223,39 |
| 710 | 16 | 3 | 0,931 | 2688,00 | 3466,72 | 3503,60 | 3540,48 | 3797,80 | 3569,93 | 3607,91 | 3645,38 |
| 750 | 16 | 3 | 0,931 | 4115,70 | 3868,15 | 3969,91 | 3951,07 | 4251,80 | 3996,69 | 4039,21 | 4081,72 |

Bảng 13- 6. Hệ số ép chặt k_{c2} của lõi thép máy biến áp

| Kiểu cách điện lá tôn | Hệ số
ép chặt K_{c2} | Số lá thép trên 100 mm chiều dày thép lá
tôn có chiều dày danh nghĩa 0,35mm | |
|---|---------------------------|--|-----|
| - Sơn cách điện chịu nhiệt | $0,96 \pm 0,01$ | 274 | 300 |
| - Như trên nhưng cách một lá có một lá
được sơn tăng cường | $0,95 \pm 0,01$ | 272 | 298 |
| - Một lớp sơn tăng cường không phủ lớp
chịu nhiệt | $0,94 \pm 0,01$ | 270 | 294 |
| - Hai lớp sơn tăng cường không phủ lớp
chịu nhiệt | $0,92 \pm 0,01$ | 264 | 288 |

d) Khi gông có tiết diện hình chữ nhật thì tiết diện của nó được tính như sau:

$$S_g = h_g \cdot b_g \cdot k_{c2} \quad (13-35)$$

e) Tiết diện tác dụng của trụ:

$$S_t = S_{\Sigma} \cdot k_{c2} \quad (13-36)$$

f) Tiết diện tác dụng của gông hai bên trong máy biến áp ba pha năm trụ:

$$S'_g = \frac{S_g}{2} \quad (13-37)$$

2) Từ cảm trong trụ và gông, T

a) Từ cảm trong trụ B_T :

$$B_T = \frac{U_r \cdot 10^4}{4,44fW_r S_t} = \frac{u_v \cdot 10^4}{4,44fS_t} \quad (13-38)$$

b) Từ cảm trong gông S_g , T:

$$B_g = \frac{B_T S_t}{S_g} \quad (13-39)$$

c) Từ cảm trong trụ ở tần số 50Hz:

$$B_T = \frac{u_v \cdot 10^4}{222S_t} \quad (13-40)$$

3) Khối lượng thép của trụ G_T và gông G_g , kg

a) Khối lượng thép trụ G_T :

$$G_T = \rho_t \cdot V_T \quad (13-41)$$

b) Thể tích trụ, m^3 :

$$V_T = n_t \cdot h_t \cdot S_T \quad (n_t - \text{số trụ; } h_t - \text{chiều cao trụ}). \quad (13-42)$$

c) Trọng lượng riêng của tôn silic cán nóng là 7550 kg/m³, của tôn cán nguội là 7650 kg/m³.

d) Khối lượng thép gông:

$$G_g = \rho_g \cdot V_g \quad (13-43)$$

e) Thể tích thép gông, m^3 :

$$V_g = 2l_g S_g \cdot 10^{-6} \quad (13-44)$$

4) Tổn hao không tải

$$P_o = k_f(P_t + P_g) \quad , \quad W. \quad (13-45)$$

Bảng 13-7. Tổn hao riêng trong tôn biến áp (p_o , W/kg)

| Từ cảm B, T | Tôn cán nóng | | | Tôn cán nguội | | | |
|-------------|--------------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| | 1511 | 1512 | 1513 | 3411 | 3412 | 3413 | 3414 |
| 0,90 | 1,08 | 0,962 | 0,836 | 0,662 | 0,582 | 0,503 | 0,404 |
| 0,92 | 1,13 | 1,040 | 0,875 | 0,690 | 0,606 | 0,522 | 0,422 |
| 0,94 | 1,19 | 1,060 | 0,920 | 0,717 | 0,629 | 0,542 | 0,440 |
| 0,96 | 1,24 | 1,110 | 0,960 | 0,745 | 0,653 | 0,561 | 0,460 |
| 0,98 | 1,29 | 1,160 | 1,010 | 0,772 | 0,676 | 0,581 | 0,480 |
| 1,00 | 1,35 | 1,200 | 1,050 | 0,800 | 0,700 | 0,600 | 0,500 |

(tiếp bảng 13-7)

| | | | | | | | |
|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1,02 | 1,40 | 1,26 | 1,10 | 0,830 | 0,725 | 0,622 | 0,520 |
| 1,04 | 1,46 | 1,31 | 1,14 | 0,860 | 0,750 | 0,644 | 0,536 |
| 1,06 | 1,52 | 1,36 | 1,19 | 0,890 | 0,775 | 0,666 | 0,558 |
| 1,08 | 1,57 | 1,41 | 1,24 | 0,920 | 0,800 | 0,688 | 0,575 |
| 1,10 | 1,63 | 1,46 | 1,29 | 0,950 | 0,825 | 0,710 | 0,596 |
| 1,12 | 1,69 | 1,52 | 1,34 | 0,984 | 0,834 | 0,734 | 0,618 |
| 1,14 | 1,75 | 1,58 | 1,39 | 1,02 | 0,883 | 0,758 | 0,640 |
| 1,16 | 1,81 | 1,64 | 1,45 | 1,05 | 0,912 | 0,782 | 0,660 |
| 1,18 | 1,88 | 1,70 | 1,50 | 1,09 | 0,941 | 0,800 | 0,680 |
| 1,20 | 1,94 | 1,76 | 1,56 | 1,12 | 0,970 | 0,830 | 0,703 |
| 1,22 | 2,01 | 1,83 | 1,61 | 1,16 | 1,00 | 0,858 | 0,725 |
| 1,24 | 2,08 | 1,89 | 1,67 | 1,20 | 1,03 | 0,886 | 0,750 |
| 1,26 | 2,15 | 1,95 | 1,73 | 1,23 | 1,06 | 0,914 | 0,770 |
| 1,28 | 2,21 | 2,02 | 1,79 | 1,27 | 1,09 | 0,942 | 0,795 |
| 1,30 | 2,29 | 2,09 | 1,85 | 1,31 | 1,13 | 0,970 | 0,820 |
| 1,32 | 2,36 | 2,16 | 1,91 | 1,35 | 1,16 | 1,00 | 0,842 |
| 1,34 | 2,43 | 2,23 | 1,93 | 1,39 | 1,19 | 1,03 | 0,868 |
| 1,36 | 2,50 | 2,30 | 2,04 | 1,44 | 1,22 | 1,07 | 0,894 |
| 1,38 | 2,57 | 2,37 | 2,10 | 1,48 | 1,26 | 1,10 | 0,920 |
| 1,40 | 2,64 | 2,45 | 2,17 | 1,52 | 1,29 | 1,13 | 0,945 |
| 1,42 | 2,72 | 2,52 | 2,23 | 1,57 | 1,33 | 1,16 | 0,975 |
| 1,44 | 2,79 | 2,59 | 2,30 | 1,61 | 1,37 | 1,20 | 1,00 |
| 1,46 | 2,86 | 2,66 | 2,37 | 1,66 | 1,42 | 1,23 | 1,03 |
| 1,48 | 2,93 | 2,73 | 2,43 | 1,70 | 1,46 | 1,27 | 1,07 |
| 1,50 | 3,00 | 2,80 | 2,50 | 1,75 | 1,50 | 1,30 | 1,10 |
| 1,52 | - | - | - | 1,81 | 1,56 | 1,35 | 1,14 |
| 1,54 | - | - | - | 1,88 | 1,62 | 1,40 | 1,18 |
| 1,56 | - | - | - | 1,94 | 1,67 | 1,45 | 1,22 |
| 1,58 | - | - | - | 2,01 | 1,73 | 1,50 | 1,27 |
| 1,60 | - | - | - | 2,07 | 1,79 | 1,56 | 1,32 |
| 1,62 | - | - | - | 2,16 | 1,87 | 1,62 | 1,38 |
| 1,64 | - | - | - | 2,24 | 1,95 | 1,69 | 1,43 |
| 1,66 | - | - | - | 2,33 | 2,04 | 1,76 | 1,49 |
| 1,68 | - | - | - | 2,41 | 2,12 | 1,83 | 1,54 |
| 1,70 | - | - | - | 2,50 | 2,20 | 1,90 | 1,60 |
| 1,72 | - | - | - | 2,60 | 2,30 | 2,00 | 1,67 |
| 1,74 | - | - | - | 2,70 | 2,41 | 2,09 | 1,75 |
| 1,76 | - | - | - | 2,80 | 2,51 | 2,19 | 1,83 |
| 1,78 | - | - | - | 2,90 | 2,62 | 2,28 | 1,91 |
| 1,80 | - | - | - | 3,00 | 2,72 | 2,38 | 2,00 |

Hệ số tổn hao phụ k_f tính đến sự tăng tổn hao do sự phân bố không đồng đều của từ thông trong lõi thép, sự tăng tổn hao do tăng mật độ từ thông ở các mối ghép không kín, sự tăng tổn hao do tác dụng cơ học lên tôn silic trong quá trình tháo lắp mạch từ khi sửa chữa. Thường hệ số này lấy không dưới 1,1.

Bảng 13-8. Công suất từ hóa riêng của mạch từ

| Từ cảm B, T | Tôn cán nóng | | Tôn cán nguội | |
|-------------|--------------|------------------------------|---------------|------------------------------|
| | Thép (VA/kg) | Khe hở (VA/cm ²) | Thép (VA/kg) | Khe hở (VA/cm ²) |
| 0,9 | 3,50 | 0,303 | 1,26 | 0,060 |
| 0,98 | 4,36 | 0,449 | 1,67 | 0,108 |
| 1,00 | 4,60 | 0,491 | 1,80 | 0,122 |
| 1,06 | 5,62 | 0,652 | 2,25 | 0,180 |
| 1,10 | 6,50 | 0,776 | 2,60 | 0,220 |
| 1,14 | 7,70 | 0,924 | 3,15 | 0,286 |
| 1,20 | 10,0 | 1,176 | 3,35 | 0,466 |
| 1,22 | 11,0 | 1,278 | 4,15 | 0,528 |
| 1,30 | 15,70 | 1,722 | 5,60 | 0,853 |
| 1,38 | 23,48 | 2,299 | 7,70 | 1,255 |
| 1,40 | 25,80 | 2,457 | 8,30 | 1,370 |
| 1,46 | 35,10 | 3,012 | 10,50 | 1,720 |
| 1,48 | 39,30 | 3,216 | 11,40 | 1,870 |
| 1,50 | 43,50 | 3,420 | 12,45 | 1,980 |
| 1,54 | — | — | 14,85 | 2,260 |
| 1,60 | — | — | 19,50 | 2,740 |
| 1,62 | — | — | 21,60 | 2,920 |
| 1,70 | — | — | 32,50 | 3,720 |

5) Dòng điện không tải

a) Dòng điện không tải, A:

$$I_0 = \frac{P_\mu}{U_1} \quad (13-46)$$

b) Công suất từ hóa, VA:

$$P_\mu = p_{\mu T} G_T + p_{\mu G} G_G + n_k p_{\mu k} s_k \quad (13-47)$$

c) Công suất từ hóa riêng trong trụ $p_{\mu T}$ và gông $p_{\mu G}$ phụ thuộc vào từ cảm trong trụ và gông. Công suất từ hóa riêng trong khe hở của chỗ nối phụ thuộc vào từ cảm trong trụ và loại tôn silic. Các lượng này có thể tra trong bảng 13-8.

d) Dòng điện không tải, %:

$$I = \frac{P_\mu}{10P_{dm}} \quad (13-48)$$

5. Tính toán dây quấn

1) Số vòng dây của một pha W_f theo công thức 13-38:

$$W_f = \frac{U_f \cdot 10^4}{4,44 f B_T S_T} \quad (13-49)$$

Tiết diện dây dẫn, mm²:

$$s = \frac{I_f}{\Delta n_n n_s} \quad (13-50)$$

trong đó: n_n - số nhóm song song; n_s - số sợi chập song song.

2) Mật độ dòng điện Δ , A/mm² trong các máy biến áp trung bình và lớn làm mát bằng dầu có thể chọn như sau:

- đối với dây đồng: $3,5 \div 4,5$;

- đối với dây nhôm: $2,3 \div 3$.

3) Các kích thước hướng trục và hướng kính như sau:

a) Dây quấn hình trụ nhiều lớp:

$$H_{dq} = 1,03(W_l + 1)a_d n_s \quad (13-51)$$

$$b_{dq} = n_l b_d + (n_l - 1)\delta_l \quad (13-52)$$

Trong công thức trên n_l - số vòng dây của một lớp; a_d - kích thước hướng trục của sợi dây; b_d - kích thước hướng kính của sợi dây (đã có cách điện); δ_l - chiều dày cách điện lớp, mm.

b) Dây quấn xoắn ốc liên tục:

$$H_{dq} = n_c \cdot h_c + (n_c - 1)\delta_c \quad (13-53)$$

$$b_{dq} = b_c = 1,03n_l b_d n_s \quad (13-54)$$

trong đó: n_c - số cuộn dây trong dây quấn; δ_c - chiều cao hướng trục khoảng cách giữa các cuộn dây, mm; n_l - số lớp trong cuộn dây. Chiều cao cuộn dây:

$$h_c = a_d, \text{ mm} \quad (13-55)$$

c) Dây quấn hình xoắn mạch đơn:

$$H_{dq} = (W_{dq} + 4)a_d + (W_{dq} + 3)\delta_c \quad (13-56)$$

trong đó: δ_c - chiều cao hướng trục rãnh thông dầu giữa các vòng dây.

$$b_{dq} = 1,03n_s d_d \quad (13-57)$$

d) Dây quấn hình xoắn mạch kép có hoán vị toàn bộ:

$$H_{dq} = 2a_d(W_{dq} + 1) + (2W_{dq} + 1)\delta_c \quad (13-58)$$

$$b_{dq} = 1,03 \frac{n_s}{2} b_d \quad (13-59)$$

Hệ số 1,3 trong các công thức trên là tính đến yếu tố quấn không chặt. Thực ra chúng ta không thể tính toán và thực hiện một cách chính xác các tính toán đã đưa ra nên thông thường trong thực tế người ta nhân thêm hệ số 1,1 vào các kích thước cách điện theo cả hai hướng dọc trụ và hướng kính. Trong dây quấn hình trụ và dây quấn hình xoắn kép vì phải tính đến vòng đầu tiên và vòng cuối cùng nên trong các công thức tính chiều cao dây quấn người ta phải cộng thêm 1; riêng dây quấn hình xoắn mạch đơn vì có thêm ba chỗ hoán vị nên cần phải tăng thêm 3 trong công thức tính chiều cao của nó.

4) Khối lượng kim loại của dây quấn và dầu ra

a) Khối lượng kim loại dây quấn, kg:

$$G_{dq} = m \pi D_{lb} W_{dq} n_s d_n \rho \cdot 10^{-9}; \quad (13-60)$$

trong đó: m - số pha; D_{tb} - đường kính trung bình của các dây quấn, mm; trọng lượng riêng của đồng là $\rho_{Cu} = 8900 \text{ kg/m}^3$, của nhôm là $\rho_{Al} = 2700 \text{ kg/m}^3$.

b) Khối lượng kim loại đầu dây ra:

$$G_{dr} = l_{dr} s_{dr} \rho \cdot 10^{-9} \quad (13-61)$$

trong đó: l_{dr} , s_{dr} - chiều dài và tiết diện của dây dẫn ra tính bằng mm và mm^2 . Khối lượng kim loại dây quấn và đầu ra được tính riêng cho từng dây quấn rồi sau đó cộng lại.

6. Các tham số thí nghiệm ngắn mạch

1) Tổn hao ngắn mạch P_n , W:

$$P_n = P_{dq} + P_{dr} + P_{ck} \quad (13-62)$$

a) Tổn hao trong dây dẫn của dây quấn, W:

$$P_{dq} = P'_{dq} + P''_{dq} \quad (13-63)$$

b) Tổn hao chính trong dây quấn đối với đồng và nhôm:

$$P'_{dq} = 2,4 \Delta^2 G_{Cu}; \quad (13-64)$$

$$P'_{dq} = 13,2 \Delta^2 G_{Al}; \quad (13-65)$$

c) Tổn hao phụ trong dây quấn:

$$P''_{dq} = \frac{k_f}{100} P_{dq} \quad (13-66)$$

Hệ số tổn hao phụ k_f phụ thuộc vào kích thước quy đổi sợi dây β theo hướng vuông góc với đường từ thông và số sợi chập trong vòng dây và có thể tra theo đồ thị trên hình 13-4 đối với hai giá trị trung bình và cực đại.

- Kích thước quy đổi của dây dẫn, cm:

$$\beta = \frac{b}{1,03} \sqrt{\frac{m_{ss} a k_r}{H_{dq}}} \quad (13-67)$$

trong đó: b - kích thước của dây trần theo hướng vuông góc với đường từ thông tản, cm; a - kích thước của sợi dây trần theo hướng song song với đường từ thông tản, cm; m_{ss} - số sợi dây song song với đường từ thông tản; H_{dq} - chiều cao hướng trục song song với từ thông tản, cm; k_r - hệ số Rôgôpski.

- Số sợi dây vuông góc với đường từ thông n_{vv} :

+ Đối với dây quấn hình trụ: $n_{vv} = n_l$ - số lớp trong dây quấn.

+ Đối với dây quấn hình đĩa và xoáy ốc liên tục:

$$n_{vv} = W_c; \quad n_{vv} = n_s W_c \quad (13-68)$$

+ Đối với dây quấn hình xoắn mạch đơn có một chỗ hoán vị toàn bộ và hai chỗ hoán vị nhóm:

$$n_{vv} = 1; \quad \beta = \frac{b}{1,03} \sqrt{\frac{m_{ss} a k_r}{H_{dq}}} \cdot \left(\frac{n_s}{16} - 1 \right) \quad (13-69)$$

+ Đối với dây quấn hình xoắn mạch kép có chỗ hoán vị toàn bộ:

$$n_{vv} = \frac{n_s}{2} \quad (13-70)$$

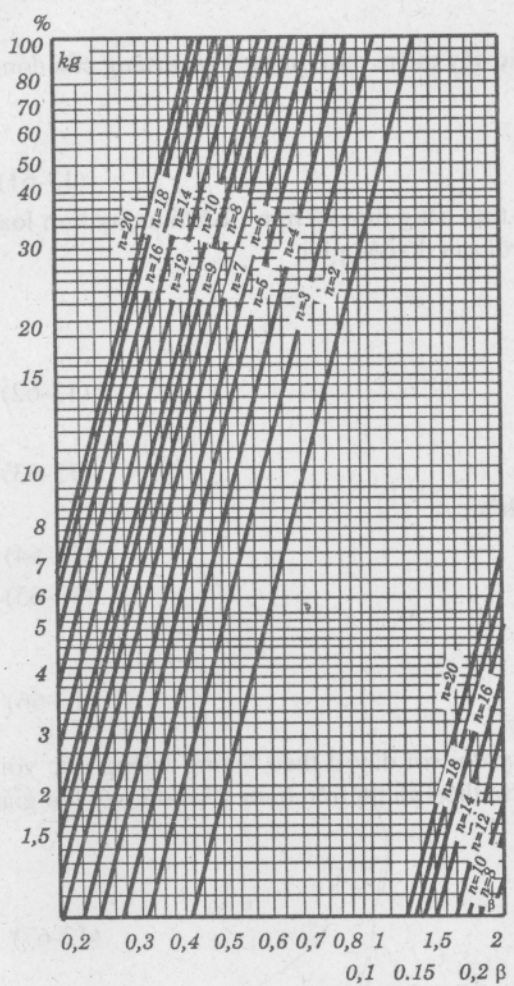
Tổn hao chính và phụ trong kim loại dây quấn được tính riêng cho từng dây quấn rồi cộng lại.

- Hệ số Rôgôpski đối với các kiểu dây quấn khác nhau:

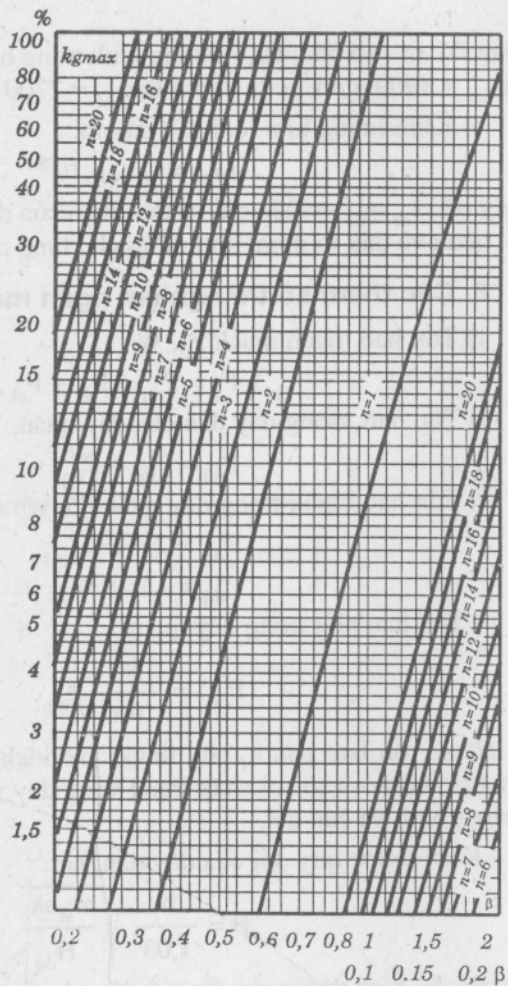
+ Dây quấn đồng tâm, (hình 13-5):

$$k_r = 1 - \frac{\lambda}{\pi H_{dq}}; \quad (13-71)$$

$$\lambda = b_{dq1} + b_{dq2} + a_{l2}, \text{ cm.}$$



với n từ 8 đến 20



với n từ 8 đến 20

Hình 13-4. Đồ thị tìm tổn hao phụ trong dây quấn máy biến áp:
a- tổn hao trung bình; b- tổn hao cực đại.

Các trị số k_r đối với dây quấn đồng tâm phụ thuộc vào tỉ số H_{dq}/λ cho trong bảng 13-9.

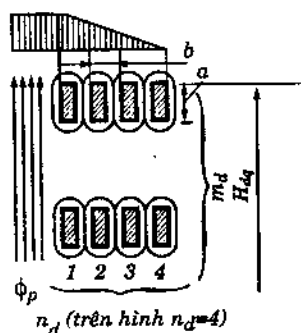
+ Đối với dây quấn xen kẽ (hình 13-6) hệ số Rôgôpski được xác định theo công thức:

$$k_r = \left[\frac{(1-e)h_0}{\pi b_c} \right]^{\pi b_c/h_0} \times \left[1 - \left(\frac{e}{2} \right)^{-2\pi x_c/h_0} \times \left(1 - e^{-\pi b_c/h_0} \right) \right] \quad (13-72)$$

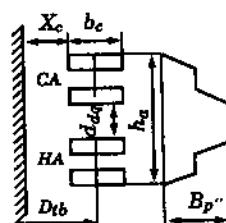
trong đó: b_c - kích thước hướng kính của dây quấn, trong trường hợp dây quấn xen kẽ bằng kích thước hướng kính của cuộn dây, cm; x_c - khoảng cách từ dây quấn đến trụ, cm; h_0 - chiều cao của một nhóm bố trí dây mà từ thông tản lặp lại một chu kì (hình 13-6). Trị số k_r khi quấn xen kẽ phụ thuộc vào x_c/h_0 và b_c/h_0 và có thể tìm thấy trong bảng 13-10.

Bảng 13-9. Giá trị của hệ số k_r đối với dây quấn kiểu đồng tâm

| | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| H_{dq}/λ | 30 | 20 | 10 | 8 | 6 | 5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 |
| k_r | 0,99 | 0,98 | 0,97 | 0,96 | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,91 | 0,89 | 0,87 |
| H_{dq}/λ | 2 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,6 | — | — |
| k_r | 0,84 | 0,82 | 0,80 | 0,77 | 0,74 | 0,69 | 0,64 | 0,55 | — | — |



Hình 13-5. Tính kích thước quy đổi của dây dẫn trong dây quấn đồng tâm.



Hình 13-6. Tính kích thước quy đổi của dây dẫn trong dây quấn xen kẽ.

Bảng 13-10. Xác định hệ số k_r đối với kiểu dây quấn xen kẽ

| b_c/h_0 | x_c/h_0 | | | | | |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | 0 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | từ 0,4 ÷ ∞ |
| 0,02 | 0,060 | 0,050 | 0,045 | 0,038 | 0,033 | 0,029 |
| 0,04 | 0,115 | 0,098 | 0,087 | 0,075 | 0,064 | 0,060 |
| 0,06 | 0,168 | 0,144 | 0,130 | 0,112 | 0,097 | 0,088 |
| 0,08 | 0,216 | 0,190 | 0,170 | 0,147 | 0,124 | 0,115 |
| 0,10 | 0,262 | 0,230 | 0,205 | 0,180 | 0,153 | 0,142 |
| 0,12 | 0,288 | 0,265 | 0,238 | 0,208 | 0,182 | 0,168 |
| 0,14 | 0,333 | 0,298 | 0,268 | 0,238 | 0,208 | 0,191 |
| 0,16 | 0,367 | 0,330 | 0,298 | 0,260 | 0,231 | 0,213 |
| 0,18 | 0,400 | 0,362 | 0,328 | 0,287 | 0,254 | 0,238 |
| 0,20 | 0,430 | 0,390 | 0,355 | 0,310 | 0,277 | 0,260 |
| 0,22 | 0,472 | 0,416 | 0,380 | 0,332 | 0,298 | 0,280 |
| 0,24 | 0,483 | 0,438 | 0,400 | 0,352 | 0,315 | 0,300 |
| 0,26 | 0,508 | 0,460 | 0,422 | 0,372 | 0,336 | 0,320 |
| 0,28 | 0,532 | 0,480 | 0,442 | 0,391 | 0,355 | 0,340 |
| 0,3 | 0,551 | 0,498 | 0,450 | 0,408 | 0,372 | 0,355 |
| 0,4 | 0,638 | 0,580 | 0,540 | 0,490 | 0,450 | 0,430 |
| 0,6 | 0,740 | 0,690 | 0,650 | 0,607 | 0,568 | 0,550 |
| 0,8 | 0,804 | 0,760 | 0,726 | 0,683 | 0,650 | 0,636 |
| 1,0 | 0,845 | 0,805 | 0,778 | 0,740 | 0,710 | 0,700 |
| 1,2 | 0,868 | 0,837 | 0,810 | 0,780 | 0,756 | 0,743 |
| 1,4 | 0,888 | 0,859 | 0,836 | 0,810 | 0,789 | 0,779 |
| 1,6 | 0,903 | 0,876 | 0,854 | 0,832 | 0,812 | 0,802 |
| 1,8 | 0,912 | 0,890 | 0,870 | 0,848 | 0,832 | 0,822 |
| 2,0 | 0,920 | 0,902 | 0,882 | 0,865 | 0,850 | 0,843 |
| 2,2 | 0,928 | 0,911 | 0,893 | 0,878 | 0,864 | 0,859 |
| 2,4 | 0,934 | 0,917 | 0,903 | 0,890 | 0,876 | 0,870 |
| 2,6 | 0,940 | 0,922 | 0,911 | 0,899 | 0,886 | 0,880 |

Để tính hệ số tổn hao phụ k_f chúng ta có thể dùng công thức kinh nghiệm sau:

$$k_f = 3,8 \cdot 10^{-7} \left(\frac{f n_{vv} m_{ss} b s_d}{h_{dq}} \right)^2, \% \quad (13-73)$$

Các đại lượng trong công thức trên có thể tìm thấy trên hình 13-5.

- Tổn hao trong đầu dây ra, W :

$$P_{dr} = P'_{dr} + P''_{dr} \quad (13-74)$$

- Tổn hao chính trong đầu dây ra:

$$P'_{drCu} = 2,4 \Delta_{dr}^2 G_{drCu}; \quad P'_{drAl} = 13,2 \Delta_{dr}^2 G_{drAl} \quad (13-75)$$

Mật độ dòng điện cho phép đối với đầu ra máy biến áp chọn theo điều kiện phát nóng và được chọn theo bảng 13-11. Mật độ dòng điện trong dây nhôm có thể lấy bằng 0,55 đến 0,65 so với trong dây đồng.

Bảng 13-11a. Đầu ra trong dầu làm bằng thanh cái đồng

| Kích thước
thanh cái
axb, mm | Tiết diện
thanh cái
mm ² | Tổn hao phụ
% | Dòng điện cho phép (A) khi cạnh lớn bố trí | | | |
|------------------------------------|---|------------------|--|------|-----------|------|
| | | | Thẳng đứng | | Nằm ngang | |
| | | | Độ tăng nhiệt của thanh cái so với dầu | | | |
| | | | 25 | 20 | 25 | 20 |
| 2,83x30 | 83,2 | — | 400 | | 400 | |
| 4,4x25 | 109,1 | — | 525 | | 525 | |
| 4,4x30 | 131,1 | — | 630 | | 630 | |
| 4,5X40 | 179,1 | 1,8 | 860 | | 860 | |
| 5X40 | 199,1 | 2,0 | 955 | | 955 | |
| 5X50 | 249,1 | 3,0 | 1200 | | 1200 | 1180 |
| 4,5X60 | 269,1 | 3,3 | 1290 | | 1290 | 1290 |
| 5X60 | 299,1 | 3,6 | 1440 | | 1440 | 1400 |
| 6X60 | 359,1 | 4,5 | 1720 | | 1720 | 1530 |
| 5X80 | 399,1 | 4,5 | 1920 | | 1920 | 1840 |
| 6X80 | 479,1 | 5,4 | 2300 | | 2300 | 2020 |
| 5X100 | 499,1 | 5,0 | 2400 | | 2400 | 2270 |
| 7X80 | 559,1 | 6,3 | 2680 | | 2500 | 2170 |
| 8X80 | 639,1 | 7,2 | 3070 | | 2680 | 2330 |
| 8X100 | 799,1 | 8,0 | 3840 | | 3320 | 2880 |
| 10X100 | 999,1 | 10,0 | 4800 | 4600 | 3700 | 3230 |
| 12,5X100 | 1249,1 | 12,5 | 5900 | 5150 | 4150 | 3600 |

+ Tổn hao phụ trong đầu ra:

$$P''_{dr} = k_{fdr} P'_{dr} \quad (13-76)$$

Tổn hao phụ trong đầu ra của máy biến áp động lực thông dụng và trong đầu ra cao áp của máy biến áp lò không đáng kể và thường chiếm không quá 5% tổn hao chính trong chúng.

Tổn hao phụ trong dầu ra hạ áp của máy biến áp lò phụ thuộc vào vị trí tương đối của chúng so với nhau và có thể tính theo công thức sau:

$$k_{\text{fdr}} = \frac{\delta_t^4 \cdot \beta}{200} ; \quad (13-77)$$

$$\beta = \left(\frac{l_t}{l_t + 0,6\delta_t} \right)^2 . \quad (13-78)$$

Các kí hiệu trong công thức được chỉ ra trên hình 13-7.

Bảng 13- IIb. Dầu ra trong dầu khi dùng dây dẫn tròn có cách điện

| Đường kính
dây,
mm | Tiết diện
dây,
mm ² | Dây dẫn trong ống giấy | | | Dây bọc
giấy | Dây bọc giấy dây 4,25mm
đặt trong ống bakelit | |
|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----|-----------------|--|---|
| | | Đường kính
ống giấy,
mm | Dòng cho phép
khi chiều dây, mm | | | Dòng điện
cho phép,
A | Đường kính
ống
d ¹ /d ⁿ |
| | | | 2 | 4 | | | |
| 2,44 | 4,68 | — | — | — | 22,5 | — | — |
| 3,05 | 7,3 | 6 | 35 | 35 | 35 | 10/14 | 35 |
| 4,1 | 13,2 | 6 | 63 | 63 | 63 | 10/14 | 63 |
| 4,8 | 18,1 | 6 | 87 | 87 | 87 | 12/16 | 87 |
| 5,2 | 21,2 | — | — | — | 102 | 12/16 | 102 |
| 5,5 | 23,8 | 8 | 115 | 115 | — | — | — |
| 6,5 | 33,2 | 8 | 167 | 149 | | — | — |
| 8,0 | 50,3 | 10 | 217 | 194 | | — | — |
| 10,0 | 78,5 | 12 | 295 | 261 | | — | — |
| 12,0 | 113,1 | 14 | 380 | 333 | | — | — |

Bảng 13-IIc. Dầu ra trong dầu khi dùng dây đồng mềm có cách điện

| Tiết diện dây, mm ² | Đường kính dây trần, mm | Đường kính ngoài của dây có cách điện khi chiều dây cách điện mỗi phía, mm | | | Dòng cho phép khi chiều dây cách điện khác nhau và độ tăng nhiệt so với dầu, °C | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|--|------|------|---|------|-------|-----|-------|-----|
| | | | | | Δ = 3 | | Δ = 6 | | Δ = 8 | |
| | | 3 | 6 | 8 | 25 | 20 | 25 | 20 | 25 | 20 |
| 16 | 5,8 | 13,4 | — | — | 80 | 80 | — | — | — | — |
| 25 | 7,7 | 15,3 | 21,3 | 25,3 | 125 | 125 | 125 | 125 | 125 | 118 |
| 50 | 10,2 | 17,8 | 23,8 | 27,8 | 250 | 236 | 220 | 195 | 207 | 184 |
| 95 | 14,3 | 21,9 | 27,9 | 31,9 | 410 | 364 | 336 | 298 | 304 | 270 |
| 150 | 18,1 | 25,7 | 31,7 | 35,7 | 568 | 505 | 460 | 409 | 430 | 382 |
| 240 | 23,0 | 30,6 | 36,6 | 40,6 | 793 | 705 | 637 | 566 | 596 | 530 |
| 300 | 26,2 | 33,8 | 39,8 | — | 931 | 827 | 745 | 661 | — | — |
| 400 | 29,8 | 37,4 | — | — | 1153 | 1025 | — | — | — | — |

d) Tổn hao trong các chi tiết kết cấu (trong thành thùng, bulông, xà ép gông...). Tổn hao này gây ra do dòng điện xoáy cảm ứng bởi từ thông tản móc vòng với các chi tiết trên. Tổn hao này tính chính xác rất khó nên thường được tính gần đúng theo công thức kinh nghiệm sau:

- Máy biến áp động lực thông dụng:

$$P_{kc} \approx \frac{k_t u_t^2 B_t^2 S_t^2 H_{dq}^3 \cdot 10^{-12}}{\Pi_t [H_{dq} + 2(R_t - R_{dq})]^2} ; \quad (13-79)$$

trong đó: R_t - bán kính của thùng, mm;

+ Đối với máy biến áp ba pha:

$$R_t = \frac{A_t + B_t - MO}{4} \quad (13-80)$$

+ Đối với máy biến áp một pha:

$$R_t = \frac{A_t + B_t - MO}{2} ; \quad (13-81)$$

trong đó: u_t - cường độ từ tản, %; Π_t - chu vi thùng, mm; R_{dq} - bán kính trung bình của dây quấn, mm; A_t - chiều dài thùng, mm; B_t - chiều rộng thùng, mm; k_t - hệ số lấy từ bảng 13-12.

Bảng 13-12. Giá trị của hệ số k_t

| Tham số | Máy biến áp một pha | | Máy biến áp ba pha | |
|----------|---------------------|---------|--------------------|---------|
| U_{nx} | < 10,5% | > 10,5% | < 10,5% | > 10,5% |
| k_t | 1,0 | 0,7 | 2,2 | 1,5 |

- Máy biến áp lò:

$$P_{kc} \approx \frac{k_{kc}(P_{dq} + P_{dr})}{100} \quad (13-82)$$

Hệ số kết cấu k_{kc} lấy theo bảng 13-13 trong quan hệ hàm với đại lượng M .

- Đối với máy biến áp một pha (hình 13- 8):

$$M = \frac{P_{dm} \cdot 10^3}{n_{dv}^2 U_{dv}^2} \quad (13-83)$$

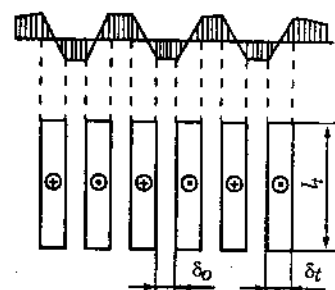
trong đó: U_{dv} - điện áp giữa các đầu vào.

- Đối với máy biến áp ba pha có các điểm đấu Y hoặc đấu Δ bên trong máy (mỗi dây quấn chỉ có ba đầu vào trên nắp) (hình 13- 9):

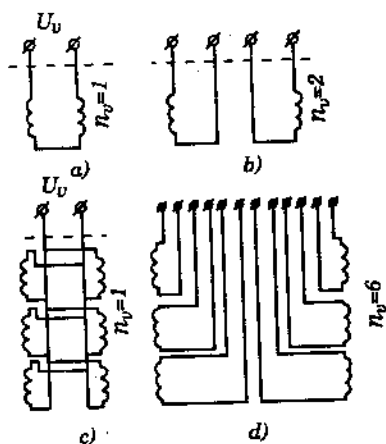
$$M = \frac{P_{dm} \cdot 10^3}{2U_{dv}^2} \quad (13-84)$$

- Đối với máy biến áp ba pha mà tất cả các đầu vào dây quấn đều được đưa ra ngoài (hình 13-10):

$$M = \frac{P_{dm} \cdot 10^3}{3n_{dv}^2 U_{dv}^2} \quad (13-85)$$

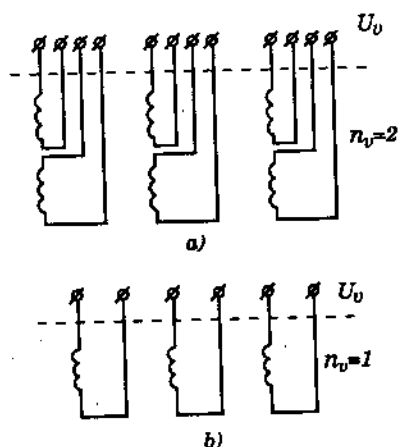


Hình 13-7. Sự phân bố tương đối của thanh cái hạ áp của máy biến áp lò.



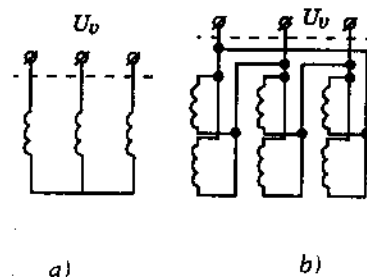
Hình 13-8. Đầu ra dây quấn trên nắp máy biến áp một pha khi điểm đầu chung bên trong vỏ:

a- hệ số đầu vào $n_v = 1$; b- $n_v = 2$;
c- $n_v = 1$; d- $n_v = 6$.



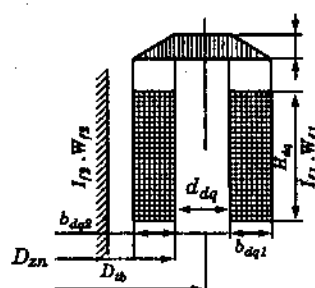
Hình 13-10. Đầu ra máy biến áp ba pha khi đưa tất cả ra ngoài vỏ:

a- hệ số đầu vào $n_v = 2$; b- $n_v = 1$.



Hình 13-9. Đầu ra máy biến áp ba pha khi đầu đầu nối nằm trong máy:

a- khi nối Δ ; b- khi nối Δ .



Hình 13-11. Tính cường độ từ tản theo công thức 13-87 đến 13-89 đối với dây quấn đồng tâm.

2) Điện áp ngắn mạch u_n , %

$$u_n = \sqrt{u_{nr}^2 + u_{nx}^2} \quad (13-86)$$

a) Cường độ từ tản u_t , %

- Đối với máy biến áp mạch từ kiểu trụ, dây quấn kiểu đồng tâm (hình 13-11).

$$u_t = \frac{I_f W_f D_{tb} \delta_d k_r}{796 u_v H_{dq}} \quad (13-87)$$

trong đó:

$$D_{tb} = D_{nHA} + a_{22} \quad (13-88)$$

$$\delta_d = a_{22} + \frac{b_{dq1} + b_{dq2}}{3} \text{ , cm.} \quad (13-89)$$

Hệ số Rôgôpski lấy theo bảng 13-12.

Việc tính toán cường độ từ tản đối với dây quấn đồng tâm được tiến hành theo công thức sau:

$$u_l = \frac{24,8 I_f W_f \Sigma R D k_r}{10^4 H_{dq} u_v}; \quad (13-90)$$

trong đó: $\Sigma R D = \frac{R_{tb1}}{3} + \frac{R_{tb2} b_2}{3} + d_d R_{tb1-2}$, cm (13-91)

R_{tb} là bán kính trung bình của các dây quấn và giữa các dây quấn.

b) Sụt áp do từ tản phụ u_{tf} :

- Trường hợp một trong hai dây quấn ngắn hơn, (hình 13-12):

$$u_{nx}^* = \frac{h_{dq}}{2} \left(1 + k_l \cdot \frac{\pi \cdot H_{dq} \cdot h_{dq}}{\lambda \cdot 100} \right); \quad (13-92)$$

trong đó: $k_l = \frac{(1 + \Sigma^2)}{(1 + \Sigma)^2}$ (13-93)

$$\Sigma = \frac{H_2}{H_1}$$

$k_l = 0,5$ khi $\Sigma = 1$; $k_l = 0,625$ khi $\Sigma = 0,5$ (hình 13-12);

h_{dq} - sự khác nhau về chiều cao giữa hai dây quấn so với dây quấn cao áp, %

- Trường hợp kích thước hướng trục của vòng dây lớn hơn:

$$u_{nx}'' = \frac{h_v}{2} \left(1 + \frac{2}{3} \frac{\pi H_{dq} \cdot h_v}{100 \lambda} \right); \quad (13-94)$$

trong đó: h_v - chiều cao vòng dây so với chiều cao dây quấn, %

c) Sụt áp trên điện kháng toàn phần:

$$u_{nx0} = u_{nx} \left(1 + \frac{u_{nxf}}{100} \right) , \quad \% \quad (13-95)$$

Điện áp ngắn mạch trong trường hợp này được tính như sau:

$$u_n = \sqrt{u_{nr}^2 + u_{nx0}^2}; \quad (13-96)$$

trong đó: u_{nr} - sụt áp tác dụng, %;

$$u_{nr} = \frac{P_n}{10 S_{dm}} \quad (13-97)$$

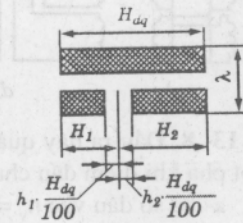
(P_n tính bằng W, S_{dm} tính bằng kW).

3) Đối với dây quấn xen kẽ

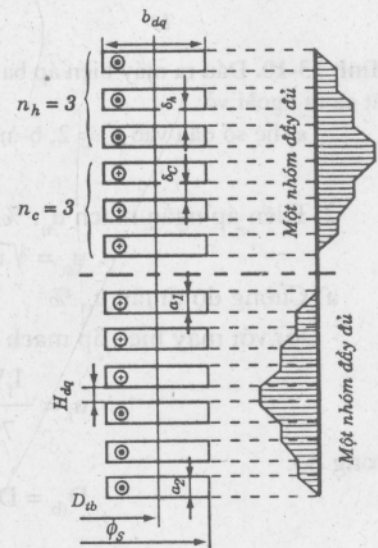
$$u_{nx} = \frac{I_f W_f D_{tb} \delta_d k_r}{796 n_s u_v b_{dq}}; \quad (13-98)$$

trong đó: n_s - số nhóm đối xứng nối song song; b_{dq} - kích thước hướng kính của dây quấn (chiều dây cuộn dây); δ_d - kích thước hướng trục của rãnh thông dầu ngang, cm (hình 13-13).

a) Đối với trường hợp dây quấn xen kẽ đối xứng (các nhóm sơ cấp, thứ cấp đối xứng và cân bằng về sức từ động, khoảng cách giữa các cuộn dây trong nhóm đều):



Hình 13-12. Tính điện áp ngắn mạch do từ tản phụ.



Hình 13-13. Tính điện áp ngắn mạch theo công thức (13-98) đến (13-103).

$$\delta_{dl} = a_{12} + \frac{l_c + l_h}{3} + k_1 \delta_c + k_2 \delta_h; \quad (13-99)$$

trong đó:

$$l_c = n_c a_1; \quad l_h = n_h a_2, \quad \text{cm}; \quad (13-100)$$

$$k_1 = \frac{(n_c - 1)(2n_c - 1)}{6n_c}; \quad (13-101)$$

$$k_2 = \frac{(n_h - 1)(2n_h - 1)}{6n_h}; \quad (13-102)$$

Giá trị của k_1 và k_2 tra theo bảng 13-13.

Bảng 13-13. Giá trị các hệ số k_1 và k_2

| n_c hoặc n_h | 1,0 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10,0 |
|------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 hoặc k_2 | 0 | 0,111 | 0,250 | 0,400 | 0,556 | 0,714 | 0,875 | 1,035 | 1,20 | 1,53 | 1,86 | 2,10 | 2,52 | 2,85 |

b) Các rãnh thông đầu δ_c , δ_h không giống nhau. Trong trường hợp đó:

$$\begin{aligned} \delta_d = d_d + \frac{l_c + l_h}{3} + \frac{1}{n_c^2} [(n_c - 1)^2 \delta_c' + (n_c - 2)^2 \delta_c'' + \dots] + \\ + \frac{1}{n_h^2} [(n_h - 1)^2 \delta_h' + (n_h - 2)^2 \delta_h'' + \dots]. \end{aligned} \quad (13-103)$$

7. Lực cơ khí trong dây quấn

1) Dây quấn đồng tâm

a) Lực hướng tâm có xu hướng kéo dây quấn cao áp và nén dây quấn hạ áp, N (hình 13-10):

$$F_R = \frac{64 (I_{mt} W)^2 \pi D_{th} k_r 11^{-8}}{H_{dq}} \quad (13-104)$$

Giá trị tức thời cực đại của dòng điện ngắn mạch, A:

$$I_{mt} = \sqrt{2} k_M I_n. \quad (13-105)$$

Giá trị dòng điện ngắn mạch xác lập, A:

$$I_n = I_{dm} \cdot \frac{100}{u_n}. \quad (13-106)$$

Hệ số:

$$k_M = 1 + e^{-\pi u_m / u_n}. \quad (13-107)$$

b) Lực hướng trục có xu hướng nén dây quấn theo hướng trục:

$$F_t = \frac{F_R \lambda}{2H_{dq}}; \quad (13-108)$$

trong đó: $\lambda = b_{dq1} + b_{dq2} + a_{12}$ (hình 13-12).

c) Lực hướng trục gây bởi từ trường tản ngang do thiếu các vòng dây điều chỉnh trên chiều cao h_c :

$$F_t'' = \frac{F_R h_x}{x_\sigma k_s k_r}; \quad (13-109)$$

x_σ - khoảng cách từ mặt trong thùng đến trụ thép, cm.

$$x_\sigma = B_\sigma - D_c; \quad (13-110)$$

k_r - hệ số Rôgôpski; k_x - hệ số phụ thuộc vào vị trí tương đối của hai dây quấn theo chiều cao.

d) Lực kéo đối với dây quấn:

$$F_k = \frac{F_R}{2\pi} \quad (13-111)$$

Lực này được coi là tĩnh.

e) Ứng suất kéo đứt dây dẫn, (Pascan):

$$\sigma_d = \frac{F_k}{W_{s_v}} \cdot 10^4; \quad (13-112)$$

trong đó: s_v - tiết diện vòng dây, cm^2 .

Đối với dây đồng: $\sigma_d \leq (5 + 6)10^7 \text{ Pa}$; ($500 + 600 \text{ kG/cm}^2$).

Đối với dây nhôm: $\sigma_d \leq (1,8 + 2)10^7 \text{ Pa}$; (225 kG/cm^2).

f) Ứng suất nén lên các tấm đỡ:

$$\sigma_n = \frac{F_n \cdot 10^4}{n_l \cdot b_l \cdot b_{dq}} \leq (1,8 + 2) \cdot 10^7 \text{ Pa}; (180 + 200 \text{ kG/cm}^2) \quad (13-113)$$

trong đó: n_l - số tấm đỡ cách điện đặt xung quanh chủ vi vòng dây; b_l - chiều rộng tấm đỡ, cm ; b_{dq} - kích thước hướng kính của dây quấn, cm .

2) Dây quấn xen kẽ

a) Lực hướng trục tác dụng lên một nhóm dây quấn:

$$F_n = \frac{64 \cdot I_m \cdot W_{dq}^2 \cdot l_w \cdot k_r}{n_n \cdot b_{dq}}; \quad (13-114)$$

trong đó: l_w - chiều dài trung bình của một vòng dây: $l_w = \pi D_{th}$, cm ; k_r - hệ số Rôgôpski; n_n - số nhóm gáét dây đủ.

b) Lực uốn tác dụng lên đoạn dây dẫn giữa hai tấm đỡ:

$$F_u = \frac{F_n (2n_c - 1)}{n_c^2 \cdot n_l}; \quad (13-115)$$

trong đó: n_c - số cuộn (hoặc số vòng dây trong dây quấn hình xoắn) trong một nhóm dây đủ.

c) Mômen uốn cực đại:

$$M_{\max} = \frac{F_u \cdot l_d}{12}; \quad (13-116)$$

trong đó: l_d - khoảng cách giữa hai tấm đỡ.

d) Ứng suất uốn cực đại đối với dây đồng:

$$\sigma_u = \frac{M_{\max}}{W_c} \leq 5,5 \cdot 10^7; (550 \text{ kG/cm}^2). \quad (13-117)$$

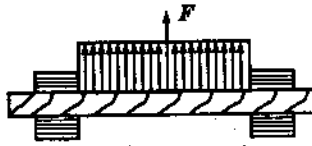
Ứng suất mômen, m^3 :

$$W_c = \frac{n_d a^2 b \cdot 10^6}{6} \quad (13-118)$$

8. Tính toán kiểm tra chế độ nhiệt

1) Nhiệt tải riêng q , W/m^2

a) Đối với dây quấn xoáy ốc liên tục, dây quấn kiểu đĩa và dây quấn hình xoắn:



Hình 13-14. Tính lực tác dụng lên dây quấn theo công thức 13-111.

- Đối với dây đồng:

$$q_{Cu} = \frac{21,4 I_c W_c \Delta k_f k_{cd}}{k_k Q_c} \quad (13-119)$$

- Đối với dây nhôm:

$$q_{Al} = \frac{35,6 I_c W_c \Delta k_f k_{cd}}{k_k Q_c} \quad (13-120)$$

b) Đối với dây quấn hình trụ:

- Đối với dây đồng:

$$q_{Cu} = \frac{21,4 I_c W_c \Delta k_f k_{cd}}{k_k H_{dq} n_m} \quad (13-121)$$

- Đối với dây nhôm:

$$q_{Al} = \frac{35,6 I_c W_c \Delta k_f k_{cd}}{k_k H_{dq} n_m} \quad (13-122)$$

trong đó: $k_k = 1 - n_l b_f / (\pi D_{tb})$ - hệ số che phủ bởi các tấm cách điện đệm (tấm cách); Q_c - chu vi cuộn dây, mm; I_c - dòng điện chạy trong cuộn dây, A; W_c - số vòng dây trong một cuộn dây (galét); Δ - mật độ dòng điện, A/mm²; k_f - hệ số tính đến tổn hao phụ; n_m - số bề mặt tản nhiệt; k_{cd} - hệ số tính đến chiều dài dây cách điện sợi dây.

$$k_{cd} = [1 + 0,364(\delta_{cd} - 0,45)]. \quad (13-123)$$

2) Độ chênh nhiệt giữa dây quấn và dầu, $\Delta\theta_{dq/d}$, °C

a) Làm lạnh tự nhiên bằng dầu:

- Dây quấn hình trụ dây chữ nhật

$$\Delta\theta_{dq/d} = 0,159 k q^{0,7}, \text{ °C.} \quad (13-124)$$

- Dây quấn liên tục, kiểu đĩa và dây quấn hình xoắn bên trong

$$\Delta\theta_{dq/d} = 0,41 k q^{0,6}, \text{ °C.} \quad (13-125)$$

- Dây quấn liên tục, kiểu đĩa và dây quấn hình xoắn bên ngoài

$$\Delta\theta_{dq/d} = 0,358 k q^{0,6}, \text{ °C.} \quad (13-126)$$

Hệ số k phụ thuộc tỉ số giữa chiều cao h_f và chiều sâu b_f rãnh thông dầu, lấy theo bảng 13-14.

Bảng 13-14. Hệ số k

| h_f/b_f | 0,07 ÷ 0,08 | 0,08 ÷ 0,09 | 0,09 ÷ 0,11 | 0,11 ÷ 0,13 | 0,13 ÷ 0,15 | 0,15 ÷ 0,2 | Cao hơn |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|---------|
| k_k | 1,10 | 1,05 | 1,00 | 0,96 | 0,93 | 0,90 | 0,85 |

b) Làm lạnh bằng dầu đối lưu tự nhiên có gió thổi làm mát cưỡng bức:

$$\Delta\theta_{dq/d} = 0,159 k q^{0,7}, \text{ °C.} \quad (13-127)$$

c) Làm lạnh bằng dầu - nước có bơm dầu đối lưu cưỡng bức

$$\Delta\theta_{dq/d} = 0,113q^{0,7}, ^\circ\text{C}; \quad (13-128)$$

hoặc theo đường cong hình 13-16.

d) Làm lạnh bằng dầu đối lưu cưỡng bức và thổi gió

$$\Delta\theta_{dq/d} = 0,113q^{0,7}, ^\circ\text{C}; \quad (13-129)$$

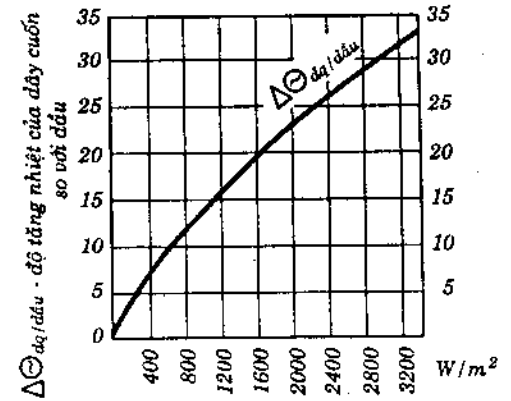
hoặc theo đường cong hình 13-16.

Trục tung là độ tăng nhiệt của dây quấn so với dầu $\Delta\theta_{dq/d\text{dầu}}$. Trục hoành là mật độ dòng nhiệt q_0 (W/m^2).

Trong hai công thức trên q - nhiệt tải riêng có tính đến các rãnh thông dầu, nghĩa là $q \pm \Delta q$ trong đó Δq lấy theo bảng 13-15 và 13-16.

e) Làm lạnh bằng dầu nước đối lưu tự nhiên:

$$\Delta\theta_{dq/d} = 0,113q^{0,7}, ^\circ\text{C}. \quad (13-130)$$



Hình 13-16. Độ tăng nhiệt trung bình của dây quấn.

Bảng 13-15. Lượng hiệu chỉnh nhiệt tải riêng do có rãnh thông dầu đối với dây quấn kiểu đĩa, W/m^2

| Chiều cao rãnh thông dầu h_r , mm | Δq khi kích thước hướng kính cuộn dây b_c , mm | | | | |
|-------------------------------------|--|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 60 ÷ 80 | 81 ÷ 105 | 106 ÷ 130 | 131 ÷ 155 | 156 ÷ 185 |
| 6 | +400 | +500 | +550 | +650 | +750 |
| 8 | +120 | +240 | +300 | +390 | +470 |
| 10 | -20 | +100 | +150 | +260 | +330 |
| 12 | -90 | +30 | +80 | +190 | +250 |
| 14 | -170 | -50 | 0 | +120 | +190 |
| 16 | -230 | -120 | -60 | +60 | +120 |

Bảng 13-16. Lượng hiệu chỉnh nhiệt tải riêng do có rãnh dầu đối với dây quấn hình xoắn, W/m^2

| Chiều cao rãnh thông dầu h_r , mm | Δq khi kích thước hướng kính của cuộn dây b_c , mm | | | | |
|-------------------------------------|--|---------|---------|---------|---------|
| | đến 20 | 21 ÷ 30 | 31 ÷ 40 | 41 ÷ 60 | 61 ÷ 80 |
| 5 | +300 | +370 | +420 | +470 | +520 |
| 6 | +150 | +220 | +230 | +330 | +380 |
| 8 | +60 | +120 | +150 | +420 | +300 |
| 10 | -60 | 0 | +60 | +120 | +180 |

3) Độ tăng nhiệt trung bình của dầu so với môi trường xung quanh

a) Làm lạnh bằng dầu đối lưu tự nhiên:

$$\Delta\theta_{d/kk} = 0,262q_v^{0,8}, ^\circ\text{C}. \quad (13-131)$$

b) Làm lạnh bằng dầu đối lưu tự nhiên có thổi gió cưỡng bức:

$$\Delta\theta_{d/kk} = 0,191q_v^{0,8}, ^\circ\text{C}. \quad (13-132)$$

4) Nhiệt tải riêng của vỏ thùng q_v

$$q_v = \frac{\Sigma p}{\Sigma F_{in}} \text{ , W/m}^2. \quad (13-133)$$

5) Tổng diện tích bề mặt tản nhiệt

a) Thùng phẳng: $\Sigma F_{in} = F_t + F_n \cdot 0,75. \quad (13-134)$

b) Thùng có ống: $\Sigma F_{in} = k_t \cdot k_n (F_t + F_o) + 0,75 F_n. \quad (13-135)$

c) Thùng có bộ tản nhiệt:

$$\Sigma F_{in} = F_t + k_t k_n F_b n_b + 0,75 F_n. \quad (13-136)$$

Các hệ số k_t, k_n phụ thuộc vào số dây ống và có thể theo bảng 13-17.

Bảng 13-17. Giá trị các hệ số k_t, k_n

| Số dây ống | Hệ số | | Chú thích |
|------------|-------|-------|--|
| | k_t | k_n | |
| 1 | 0.90 | 1.00 | 1. Giá trị các hệ số đối với đường kính ngoài ống đến 51 mm; bước ống đến 75 mm.
2. Thường $d_o \approx 40 \div 50\text{mm}$ và $h_o \approx (1.5 \div 2)d_o$ |
| 2 | 0.80 | 0.96 | |
| 3 | 0.75 | 0.94 | |
| 4 | 0.66 | 0.91 | |

d) Diện tích bề mặt các kiểu thùng khác nhau:

- Thùng phẳng chữ nhật:

$$F_t = 2(A + B)h_t \cdot 10^{-6} \text{ , m}^2; \quad (13-137)$$

(A, B, h lần lượt là chiều dài, chiều rộng, chiều cao thùng).

- Thùng phẳng oval:

$$F_{ov} = [2(A - B) + \pi B]h_t \cdot 10^{-6}. \quad (13-138)$$

- Diện tích bề mặt ống tản nhiệt tròn:

$$F_o = \pi d_o (m_1 l_1 + m_2 l_2 + \dots + m_n l_n) \cdot 10^{-6}; \quad (13-139)$$

trong đó: d_o - đường kính ống; $m_1 \dots m_n$ - số ống trong dây tương ứng; $l_1 \dots l_n$ - chiều dài khai triển của ống.

- Diện tích tản nhiệt của bộ tản nhiệt đơn:

$$F' = \pi d_o m_o (l_1 + l_2 + \dots + l_n) \cdot 10^{-6} \text{ , m}^2. \quad (13-140)$$

- Diện tích bề mặt bộ tản nhiệt kép:

$$F_b = F'_b. \quad (13-141)$$

6) Độ tăng nhiệt giữa lớp dầu trên cùng với môi trường xung quanh

$$\Delta \theta_{d/kk}^* = 1,2 \Delta \theta_{d/kk} + \Delta \theta_d^*; \quad (13-142)$$

trong đó: $\Delta \theta_d^* = \frac{h - 0,48}{0,03}$; h - tỉ số giữa chiều cao tâm tổn hao (phần tác dụng) và tâm làm mát của thùng.

7) Độ tăng nhiệt trung bình của dây quấn đối với môi trường xung quanh

$$\Delta \theta_{dq/kk} = \Delta \theta_{dq/d} + \Delta \theta_{d/kk}. \quad (13-143)$$

9. Các công thức để tính vật liệu

1) Dây dẫn dùng làm dây quấn

a) Trọng lượng riêng các loại dây dẫn như sau:

- Dây đồng trần: $\rho = 8900 \text{ kg/m}^3$; dây bọc giấy: $\rho = 9300 \text{ kg/m}^3$; dây bọc sợi thủy tinh: $\rho = 9200 \text{ kg/m}^3$.

- Dây nhôm trần: $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$; dây nhôm bọc giấy $\rho = 3100 \text{ kg/m}^3$; dây nhôm bọc sợi thủy tinh $\rho = 3000 \text{ kg/m}^3$.

b) Công thức tính:

Trọng lượng dây đã bọc cách điện: $G_d = 1,1k_1G_{Cu}$

trong đó: k_1 - hệ số tính đến sự tăng khối lượng do cách điện; $k_1 = 0,45 + 1,27$ khi chiều dây cách điện bằng $0,5 + 0,3 \text{ mm}$; G_{Cu} - khối lượng dây đồng trần.

2) Cactông cách điện

- Dạng tấm: $G = 1,1b\delta n \cdot 10^{-6} \text{ , kg}$.

- Cactông dạng thanh: $G = 1,1H\delta bn \cdot 10^{-6} \text{ , kg}$.

- Cactông cách điện dạng thanh tròn hoặc lục giác:

$$G = AB\delta N \cdot 10^{-6} ; N = \frac{n}{n_1} ; n_1 = \frac{AB}{D_n}$$

- Hectinac tấm (1400 kg/m^3): $G = 1,541b\delta n \cdot 10^{-6} \text{ , kg}$.

- Hectinac dạng thanh tròn hoặc lục giác: $G = 1,4AB\delta n \cdot 10^{-6}$.

3) Giấy điện thoại hoặc giấy cáp để cách điện dây dẫn

- Trọng lượng riêng: giấy điện thoại 800 kg/m^3 ; giấy cáp: 700 kg/m^3 .

- Trọng lượng cần thiết: $G = \frac{0,1G_{Cu}}{sQkn\delta}$.

4) Ống giấy bakelit

- Trọng lượng riêng: 1400 kg/m^3 .

- Công thức tính: $G = 4,851D_{tb}\delta n \cdot 10^{-6}$.

5) Lượng gỗ để cố định dây quấn và đầu ra

$$V = 1,5 \cdot lb\delta n \cdot 10^{-9};$$

$$V = 1,8d^3l \cdot n \cdot 10^{-9};$$

trong các công thức trên: G_{Cu} - trọng lượng dây đồng trần, lấy trong phiếu công nghệ; ρ - trọng lượng riêng, kg/m^3 ; l - chiều dài, mm ; s - tiết diện, mm^2 ; b - chiều rộng, mm ; D - đường kính, mm ; δ - chiều dày, mm ; m - số sợi chập (tấm chập) song song; D_{tb} - đường kính trung bình, mm ; B - chiều rộng, mm ; N - số tấm; n_1 - số chỉ tiết trong một tấm; Q - chu vi, mm ; k - hệ số che phủ bởi cách điện; V - thể tích, m^3 .

6) Vải sơn hoặc băng vải dùng để cách điện hoặc cố định đầu dây ra

$$L = \frac{1,1 \cdot lQknN}{b}$$

Băng vải dùng để bọc các đầu phân nhánh hoặc chỗ chuyển tiếp:

$$L = \frac{0,165 \cdot lQknN}{b}$$

7) Thiếc hàn: (9300 kg/m^3), kg ; que hàn đồng - photpho (8500 kg/m^3)

$$G = 0,34(a+b)N;$$

$$G = 0,54dN;$$

$$G = 0,81(bn + am)N;$$

$$G = 0,81d(n + m)N;$$

$$G = 10,2\delta lbN \cdot 10^{-6};$$

trong các công thức trên: a - chiều dài dây dẫn, mm; b - chiều rộng dây dẫn, mm; n - số sợi chập song song theo chiều rộng; N - số mối hàn; l - chiều dài mối hàn, mm; δ - chiều dày lớp chất hàn, mm; D - đường kính dây dẫn, mm.

8) Que hàn đồng - bạc để hàn nối dây trong khi quấn

Các loại que hàn đồng - bạc phổ biến ở nước ta có trọng lượng riêng 9300kg/m^3 . Trọng lượng que hàn cần thiết:

$$G = \frac{\alpha}{9800} \rho N;$$

trong đó: $\alpha = 0,247\text{g}$ khi tiết diện dây dẫn $2 \div 5\text{ mm}^2$,
 $\alpha = 0,427\text{g}$ khi tiết diện dây dẫn $5 \div 10\text{ mm}^2$,
 $\alpha = 0,85\text{g}$ khi tiết diện dây dẫn $10 \div 25\text{ mm}^2$,
 $\alpha = 1,71\text{g}$ khi tiết diện dây dẫn $25 \div 50\text{ mm}^2$,
 $\alpha = 2,94\text{g}$ khi tiết diện dây dẫn $50 \div 75\text{ mm}^2$,
 $\alpha = 3,81\text{g}$ khi tiết diện dây dẫn $75 \div 100\text{ mm}^2$.

9) Cao su chịu dầu để làm nắp máy và bích (1200kg/m^3)

$$G = 1,32Qb\delta \cdot 10^{-3};$$

$$G = 4,154 \cdot 15D_{tb}b\delta N \cdot 10^{-3};$$

trong đó: Q - chu vi thùng, mm; b - chiều rộng gioăng, mm; δ - chiều dày gioăng, mm; N - số mặt bích; D_{tb} - đường kính trung bình của mặt bích.

10) Sơn để tẩm dây quấn

$$G = kG_d;$$

trong đó: G_d - trọng lượng dây đồng; k - hệ số, bằng 0,07 đối với máy biến áp đến 1000kVA và bằng 0,05 đối với máy biến áp cao hơn 1000kVA .

11) Sơn để sơn lại các lá tôn của mạch từ

$$G = k_1 k_2 G_t;$$

trong đó: G_t - trọng lượng tôn của mạch từ cần sơn lại, kg; $k_1 = 1$ nếu sơn một lớp; 1,06 khi sơn hai lớp và bằng 1,09 khi sơn ba lớp; $k_2 = 0,018$ khi tôn dày $0,35\text{mm}$ và bằng 0,0135 khi tôn dày $0,5\text{mm}$.

13-2. CHẾ TẠO DÂY QUẤN TRONG SỬA CHỮA MÁY BIẾN ÁP

Trong công tác sửa chữa máy biến áp việc phải quấn lại một phần hoặc toàn bộ dây quấn là ít tránh khỏi. Đây là một khâu quan trọng, nó quyết định độ tin cậy, tuổi thọ của máy sau sửa chữa và các thông số kỹ thuật của chúng. Cái khó trong khâu này là trong điều kiện của một xưởng sửa chữa kém hiện đại, thiếu đồng bộ... mà vẫn phải đảm bảo các chỉ tiêu, thông số kỹ thuật như đối với một sản phẩm mới của nhà máy chế tạo (có hạ thấp yêu cầu chút ít). Điều này chỉ có thể thực hiện được khi có một đội ngũ thợ sửa chữa có kinh nghiệm và những thiết bị vạn năng có độ chính xác cao, không kém so với thiết bị của các nhà máy sản xuất hiện đại.

Trong mục này chúng ta khảo sát một số thiết bị phục vụ cho công tác quấn lại hoặc chế tạo mới dây quấn của máy biến áp điện lực ngâm dầu.

Máy quấn cuộn dây máy biến áp

1) Yên cầu đối với máy quân dây

- Máy quân dây cần phải có tính vạn năng cao, quân được nhiều kích thước cuộn dây, sợi dây. Khi thiết kế phân xưởng cần có định hướng phạm vi công suất máy cần sửa chữa. Trên cơ sở đó ta có thể thiết kế máy quân dây có kích thước thích hợp. Các kích thước (cao, rộng, dài) của máy quân có thể thay đổi, hiệu chỉnh được.

- Máy quán cân có độ chính xác cao, trục của nó không bị đảo, nằm ngang hoàn toàn.

- Máy có thể khởi động một cách nhẹ nhàng, không bị giật, khi dừng lại khuôn quần không bị quay ngược làm xô dây.

- Tốt nhất, việc thay đổi tốc độ quân có thể thực hiện được liên tục, càng trơn càng tốt.

2) Cấu tạo máy quân dây

Để đạt được yêu cầu trên máy phải có một hộp số cơ khí, một bộ côn để khởi động không giật và động cơ điện điều tốc trơn. Cu thể máy quân dây có các chỉ tiêu chính sau:

- Giá thép để lắp đặt máy quán dây và các cuộn dây.

- Động cơ điện cùng với hộp số và hệ thống truyền động (tủ điện đóng cắt, bảo vệ, điều chỉnh tốc độ, thiết bị đo...).

- Khuôn quần dầy.

- Pedan điều khiển đóng cắt.

- Các bộ đồ gá để nắn ép và cố định dây dẫn.

- Các dụng cụ để uốn nắn dây dẫn.

- Các cơ cấu để cố định tạm thời các vòng dây trong khi quán.

- Giàn gác để lắp các cuộn dây nguyên liệu.

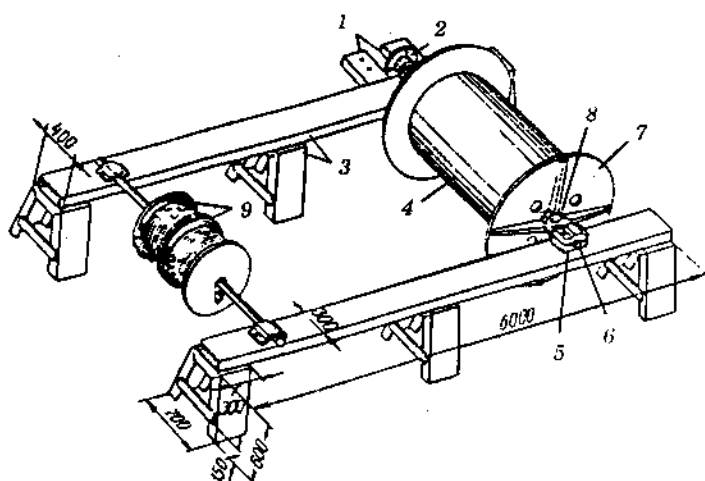
Bây giờ chúng ta sẽ xét tỉ mỉ các chi tiết đó.

a) Giá đỡ thiết bị (hình 13-17):

Giá đỡ thiết bị bao gồm các chân chữ A hàn bằng thép, cao khoảng 0,6m và hai thanh thép chữ U200 hoặc U300, dài không dưới 6m. Giá đỡ phải chắc chắn và phải hoàn toàn nằm ngang so với mặt phẳng nền. Hai thanh chữ U phải song song với nhau và cách nhau một khoảng lớn hơn chiều cao dây quần và bằng chiều dài khuôn. Một trong các chân giá đỡ hàn một tấm thép (dài khoảng nửa mét) để lắp hộp số và động cơ điện.

b) Động cơ điện và hệ thống
yến động bao gồm các chi tiết

- Trên trục I gắn với một trong các chân giả đỡ ta lắp một động cơ điện công suất khoảng 1,5 đến 3kW, tốc độ quay khoảng 1500v/ph. Động cơ được điều khiển nhờ một bộ biến tần nếu là động cơ xoay chiều hoặc bộ chỉnh lưu có điều khiển nếu dùng động cơ một chiều.



Hình 13-17. Máu quần dầy:

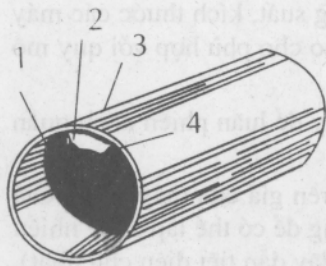
1- tấm đế để hộp sơ và dòng cơ điện; 2- khớp nối; 3- giá đỡ; 4- khuôn quấn dây; 5- gối đỡ; 6- trụ thép; 7- đĩa thép; 8- đai ốc; 9- tang (rulô) để quấn dây dẫn.

- Hộp số cơ khí loại tốc độ ra đầu trục hộp số khoảng 40 đến 80 v/ph. Đường kính cuộn dây càng lớn hoặc kích thước dây càng lớn, tốc độ quán càng nhỏ và ngược lại. Trục của hộp số phía nối với trục cuộn dây vào khoảng $30 \div 40$ mm. Trong hộp số cũng bố trí một bộ côn (kiểu như côn xe máy). Pedan điều khiển máy nối liền động với một cụm phanh (phanh lò xo - ma sắt) để khi dừng máy cả khuôn và cuộn dây được giữ lại ngay, không quay theo quán tính hoặc quay trả làm xoắn các vòng dây.

- Tủ điện trong đó chứa bộ điều khiển động cơ, aptomat, khởi động từ, các thiết bị đo, role điều khiển.

- Trên giá đỡ người ta bố trí hai ổ đỡ sao cho trục của máy quán trùng với trục của hộp số và vuông góc với hai thanh đỡ.

- Trục của máy quán dây có đường kính khoảng $40 \div 60$ mm phụ thuộc vào khối lượng cuộn dây và khoảng cách giữa hai thanh đỡ. Chiều dài của trục bằng chiều cao cuộn dây cộng thêm 0,6m.



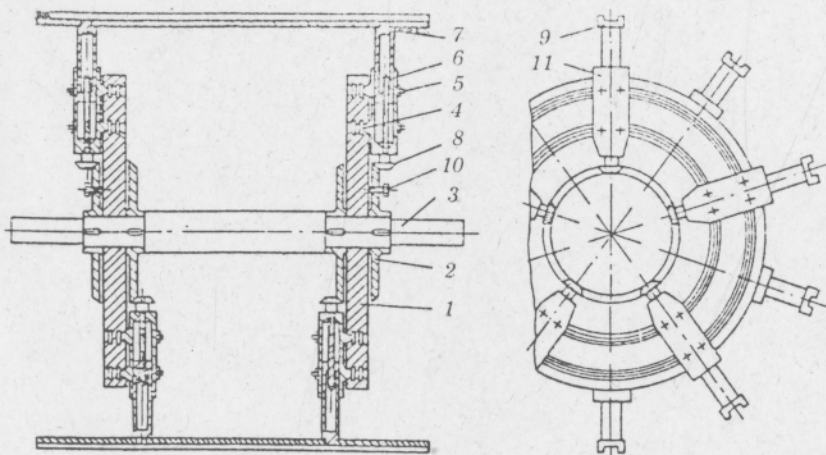
Hình 13-18. Khuôn quán dây

c) Khuôn quán dây (hình 13-18) là một ống thép hình trụ 1 được cuộn từ thép tấm dây 2 ÷ 3mm. Hai mép giáp nối của khuôn người ta hàn thành sắt góc 2 chạy dọc khuôn. Giữa hai thanh sắt góc có thể đệm thêm một thanh gỗ 3 rồi bắt chặt bằng bulông 4. Đường kính của khuôn bằng đường kính trong cuộn dây.

Khuôn được đặt cách đều hai thanh đỡ trên các chạc chữ thập bằng gỗ. Hai phía của khuôn có hai tấm đỡ hình tròn bằng thép tấm dây $10 \div 30$ mm. Để cho nhẹ bớt ta có thể xẻ một rãnh hướng tâm nhưng không được làm chùng yếu. Nếu làm bằng tôn mỏng hơn ta có thể hàn tăng cường bằng một số gân chịu lực để khi ép tấm đỡ không bị biến dạng. Trên tấm đỡ người ta xẻ một số rãnh hướng tâm để đưa đầu dây ra phía ngoài.

Để quán cuộn dây xoắn ốc liên tục trên bề mặt khuôn được bố trí các thanh khuôn chạy dọc theo đường sinh của nó. Số thanh khuôn có thể là 16; 18; 24; 30... tùy theo sơ đồ dây quán quy định. Nếu cuộn dây có kích thước lớn cần thêm các thanh khuôn phụ để hình đa giác nội tiếp đường kính trong cuộn dây gần với hình tròn hơn. Đường kính trong cuộn dây bây giờ sẽ được tính đến đỉnh các thanh khuôn.

Việc cố định khuôn lên trục được thực hiện bằng nhiều cách. Phương pháp cố định khuôn đơn giản nhất là dùng các chạc chữ thập bằng gỗ như đã nói ở trên nhưng theo phương pháp này tính vận năng thấp, mỗi cuộn dây có đường kính khác nhau chúng ta cần phải có một bộ chạc riêng. Để nâng cao tính vận năng của bộ đỡ khuôn chúng ta có thể dùng phương pháp thay đổi đường kính giá đỡ bằng cách dùng các thanh kiểu nan hoa có thể thay đổi góc nghiêng so với trục hoặc có thể làm theo kiểu hình 13-19.



Hình 13-19. Khuôn vận năng để quán cuộn dây máy biến áp:

1- đĩa thép; 2 và 8- bánh răng côn; 4- rãnh chữ T; 5- bulông; 6- đỉnh vít; 7- thanh răng; 9- thanh chữ U; 10- vít hãm; 11- vỏ các thanh hình tia.

Khuôn vạ nặg có cấu tạo làm việc như sau:

Trên trục 3 người ta lắp hai đĩa thép 1 và bốn bánh răng còn 2. Các bánh răng còn này có thể được hãm chặt với đĩa 1 nhờ các vít hãm 10. Trong các hộp 11 bố trí hướng tâm người ta lắp các thanh đỡ hình tia, mà trên đầu có rãnh hình chữ U để ghép với các tấm cách điện bằng bìa cactông khi quấn dây. Các thanh đỡ này chuyển động được nhờ các thanh răng 7 và bánh răng còn 8 khi quay trục 3 cùng với bánh răng còn 2.

Để tạo một khuôn có đường kính nhất định người ta chỉ việc tách đĩa 1 khỏi trục 3 (rút then), cố định các đĩa 1 rồi cho trục quay cùng với các bánh răng 2, các thanh chữ U 9 sẽ chuyển động theo hướng kính để ép chặt vào ống bakelit hoặc ấn định tại một đường kính khuôn nào đó. Các hộp 11 và các thanh chữ U 9 được gắn vào đĩa 1 nhờ các rãnh hình chữ T 4 và các vít 6. Số lượng của chúng tùy theo số thanh khuôn trên sơ đồ dây quấn.

Các khuôn kiểu này có thể thiết kế cho một phạm vi rộng rãi về công suất, kích thước các máy biến áp điện lực hiện có. Kích thước của máy và khuôn được lựa chọn sao cho phù hợp với quy mô sửa chữa của xưởng.

Thông thường các cơ sở sửa chữa phải chuẩn bị vài bộ khuôn như vậy để luân phiên nhau quấn và hoàn thiện (ép, hiệu chỉnh kích thước, tẩm sấy...).

d) Giá lắp các cuộn dây nguyên liệu. Có thể lắp rời hoặc lắp ngay trên giá của máy quấn. Giá này bao gồm khung và các thanh trục nằm theo chiều ngang và thẳng đứng để có thể lắp được nhiều cuộn dây (trong trường hợp quấn cuộn dây hình trụ nhiều sợi chap bằng dây dẫn tiết diện chữ nhật).

e) Trong quá trình quấn dây các sợi dây dẫn cần được ép giữ để tạo độ căng nhất định. Khi quấn dây quấn có nhiều sợi chap cần phải hoán vị các sợi dây, khi đó cần phải thực hiện việc uốn dây.

Công nghệ quấn các cuộn dây của máy biến áp trong sửa chữa, lắp ráp ruột máy, tẩm sấy và thử nghiệm sau khi sửa chữa hoàn toàn tương tự như trong sản xuất mới ở các nhà máy chế tạo, có thể tham khảo trong cuốn "Công nghệ chế tạo máy điện" của cùng tác giả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1 - А. С. КОКОРЕВ, И. Н. НАУМОВ
Справочник молодого обмотчика
Москва "Высшая школа" - 1984.
- 2 - А. Г. МОРОЗОВ
Расчёт электрических машин постоянного тока
Москва "Высшая школа" - 1977.
- 3 - В. И. БОЦАРОВ
Коллекторы электрических машин
Москва "Энергия" - 1979.
- 4 - С. А. ФАРБМАН, А. Ю. БУН
Ремонт и модернизация трансформаторов
"Энергия" Москва - 1980.
- 5 - М. М. КАЦМАН
Электрические машины и трансформаторы
Москва "Высшая школа" - 1976.
- 6 - Е. Л. МАРШАК
Ремонт и модернизация асинхронных двигателей
"Энергия" Москва - 1981.
- 7 - З. И. ХУДЯКОВ
Ремонт трансформаторов
Москва "Высшая школа" - 1977.
- 8 - Nguyễn Đức Sỹ
Công nghệ chế tạo máy điện và máy biến áp
Nhà xuất bản Giáo dục - 1995.

MỤC LỤC

Trang

| | |
|---|----|
| Lời nói đầu | 3 |
| Chương 1. NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG VỀ CÔNG TÁC SỬA CHỮA MÁY ĐIỆN VÀ MÁY BIẾN ÁP | |
| 1-1. Mục đích, ý nghĩa, đặc điểm của công tác sửa chữa máy điện và máy biến áp | 5 |
| 1-2. Hiện trạng ngành công nghiệp sửa chữa thiết bị điện ở Việt Nam | 6 |
| 1-3. Tổ chức phân xưởng sửa chữa máy điện | 6 |
| 1-4. Phương pháp phát hiện sự cố trong máy điện | 7 |
| Chương 2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ KẾT CẤU MÁY ĐIỆN QUAY | |
| 2-1. Nguyên lý làm việc và kết cấu máy điện không đồng bộ | 9 |
| 2-2. Nguyên lý làm việc và kết cấu máy điện đồng bộ | 13 |
| 2-3. Nguyên lý làm việc và kết cấu máy điện xoay chiều có cổ góp | 16 |
| 2-4. Nguyên lý làm việc và cấu tạo máy điện một chiều | 18 |
| Chương 3. QUẤN LẠI MÁY ĐIỆN QUAY THEO THÔNG SỐ CŨ | |
| 3-1. Dây quấn phân ứng của máy điện | 21 |
| 3-2. Cách lấy số liệu dây quấn | 25 |
| 3-3. Công nghệ quấn lại dây quấn phân ứng | 26 |
| 3-4. Quấn lại dây quấn kích thích của máy điện | 38 |
| Chương 4. CÁC DẠNG SỰ CỐ CỦA MÁY ĐIỆN VÀ CÁCH KHẮC PHỤC | |
| 4-1. Sự phát tia lửa dưới chổi than | 39 |
| 4-2. Máy nóng quá mức cho phép | 44 |
| 4-3. Điện áp của máy phát không bình thường | 45 |
| 4-4. Tốc độ quay của động cơ không bình thường | 46 |
| 4-5. Máy điện có tiếng ồn và dao động không bình thường | 47 |
| 4-6. Các sự cố chạm chập và cách khắc phục | 49 |
| Chương 5. TÍNH TOÁN LẠI MÁY ĐIỆN KHI SỬA CHỮA | |
| 5-1. Tính toán kiểm tra stato động cơ điện không đồng bộ | 52 |
| 5-2. Tính toán kiểm tra rôto động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn | 60 |
| 5-3. Tính toán kiểm tra động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc | 61 |
| 5-4. Tính toán xác định các thông số dây quấn (bị mất dây và mất nhãn máy) | 62 |
| 5-5. Tính toán khi thay đổi hệ số dây rãnh | 72 |
| 5-6. Tính toán khi thay đổi điện áp | 74 |
| 5-7. Tính toán khi thay đổi tốc độ quay | 76 |
| 5-8. Tính toán khi thay đổi tần số | 80 |
| 5-9. Tính toán khi thay đổi chất liệu dây dẫn | 80 |
| 5-10. Tính toán khi thay đổi khe hở không khí | 81 |
| 5-11. Tính toán khi thay đổi số pha | 83 |
| Chương 6. ĐẦU LẠI MÁY ĐIỆN TRONG SỬA CHỮA | |
| 6-1. Đầu lại dây quấn để thay đổi điện áp làm việc | 85 |
| 6-2. Đầu lại dây quấn để thay đổi tốc độ quay động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc | 86 |
| 6-3. Đầu lại dây quấn để thay đổi số pha | 87 |

| | |
|---|-----|
| Chương 7. TẮM SẤY TRONG SỬA CHỮA THIẾT BỊ ĐIỆN | |
| 7-1. Mục đích và ý nghĩa của việc tắm sấy dây quấn máy điện | 88 |
| 7-2. Các phương pháp sấy máy điện trong sửa chữa | 89 |
| 7-3. Các phương pháp tắm sơn máy điện trong sửa chữa | 93 |
| Chương 8. KIỂM TRA VÀ THỬ NGHIỆM THIẾT BỊ ĐIỆN | |
| TRONG CÔNG TÁC SỬA CHỮA | |
| 8-1. Mục đích của công tác kiểm tra và thử nghiệm trong sửa chữa thiết bị điện | 94 |
| 8-2. Kiểm tra và thử nghiệm cách điện của thiết bị điện | 94 |
| 8-3. Kiểm tra đầu đúng dây quấn | 97 |
| 8-4. Đo các thông số kỹ thuật sau sửa chữa | 99 |
| Chương 9. ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY BIẾN ÁP VÀ CÔNG TÁC SỬA CHỮA MÁY BIẾN ÁP | |
| 9-1. Nguyên lý làm việc cơ bản và kết cấu của máy biến áp | 101 |
| 9-2. Các dạng sửa chữa chính đối với máy biến áp | 120 |
| 9-3. Những yêu cầu cơ bản đối với máy biến áp sau khi sửa chữa | 122 |
| Chương 10. TỔ NỐI DÂY MÁY BIẾN ÁP | |
| 10-1. Khái niệm chung | 124 |
| 10-2. Xác định tổ nối dây bằng phương pháp thực nghiệm | 125 |
| 10-3. Đầu các máy biến áp có tổ nối dây khác nhau vào làm việc song song | 125 |
| 10-4. Định pha cho máy biến áp | 129 |
| Chương 11. CÁC DẠNG SỰ CỐ THƯỜNG XẢY RA TRONG MÁY BIẾN ÁP | |
| 11-1. Máy biến áp bị quá nhiệt | 132 |
| 11-2. Tiếng kêu không bình thường của máy biến áp | 135 |
| 11-3. Các sự cố đứt mạch trong máy biến áp | 136 |
| 11-4. Điện áp thử cấp của máy biến áp không bình thường | 136 |
| 11-5. Các sự cố ở đầu vào và đầu ra của máy biến áp | 137 |
| 11-6. Các sự cố ở vỏ máy biến áp | 137 |
| 11-7. Các sự cố đối với dầu máy biến áp | 138 |
| 11-8. Phân tích sự cố thông qua các biểu hiện của rơ-le khí | 139 |
| 11-9. Dùng phương pháp thử nghiệm để phát hiện sự cố
và phương pháp loại trừ chúng | 140 |
| Chương 12. SỬA CHỮA MẠCH TỪ MÁY BIẾN ÁP | |
| 12-1. Yêu cầu và định hướng trong công tác sửa chữa mạch từ | 141 |
| 12-2. Các thí nghiệm đặc biệt | 142 |
| 12-3. Công tác chuẩn bị sửa chữa mạch từ | 144 |
| 12-4. Công nghệ tháo dỡ mạch từ | 146 |
| 12-5. Công nghệ làm sạch các lá tôn mạch từ | 146 |
| 12-6. Kiểm tra các lá tôn sau khi sửa chữa | 147 |
| 12-7. Tính toán đại thủy tĩnh (sỏi thủy tĩnh) | 147 |
| 12-8. Lắp ráp mạch từ | 148 |
| 12-9. Thử nghiệm mạch từ sau khi sửa chữa | 149 |
| Chương 13. SỬA CHỮA DÂY QUẤN MÁY BIẾN ÁP | |
| 13-1. Tính toán trong sửa chữa máy biến áp | 150 |
| 13-2. Chế tạo dây quấn trong sửa chữa máy biến áp | 181 |
| Tài liệu tham khảo | 185 |
| Mục lục | 186 |

Chịu trách nhiệm xuất bản :
Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

Biên tập lần đầu và tái bản :

DƯƠNG VĂN BẰNG

Trình bày bìa :

ĐOÀN HỒNG

Sửa bản in :

NGUYỄN MINH THƯ

Chế bản :

HUỲNH MINH TUẤN

SỬA CHỮA MÁY ĐIỆN VÀ MÁY BIẾN ÁP

Mã số: 7B451T6 -DAI

In 1.000 bản, khổ 19,0 x 27,0 cm, tại công ty cổ phần In Phúc Yên

Số xuất bản: 04 - 2006 / CXB / 61 - 1860 GD

In xong và nộp lưu chiểu quý I năm 2006



CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH ĐẠI HỌC - DẠY NGHỀ

HEVOBCO

Địa chỉ : 25 Hàn Thuyên, Hà Nội

TÌM ĐỌC SÁCH THAM KHẢO KỸ THUẬT CỦA NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

- | | |
|--|---------------------|
| 1. Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý - Tập một và tập hai | Phạm Thượng Hàn |
| 2. Sơ đồ số lý thuyết và ứng dụng | Nguyễn Hồng Thái |
| | Vũ Văn Tầm |
| 3. Máy điện trong thiết bị tự động | Nguyễn Phúc Hải |
| | Nguyễn Hồng Thanh |
| 4. Công nghệ chế tạo máy điện và máy biến áp | Nguyễn Đức Sỹ |
| 5. Sửa chữa máy điện và máy biến áp | Nguyễn Đức Sỹ |
| 6. Kỹ thuật điện | Đặng Văn Đào |
| | Lê Văn Doanh |
| 7. Kỹ thuật điện 2 | Trần Minh Sơ |
| 8. Kỹ thuật điện 3 | Hoàng Kim Hải |
| 9. Mạng điện nông nghiệp | Nguyễn Văn Sắc |
| | Nguyễn Ngọc Kinh |
| 10. Trang bị điện - điện tử (Máy công nghiệp dùng chung) | Vũ Quang Hải |
| | Nguyễn Văn Chất |
| | Nguyễn Thị Liên Anh |
| 11. Trang bị điện - điện tử (Máy gia công kim loại) | Nguyễn Mạnh Tiến |
| | Vũ Quang Hải |
| 12. Trang bị điện tử công nghiệp | Vũ Quang Hải |
| 13. Cơ sở tự động hóa - Tập một | Nguyễn Văn Hòa |

Bạn đọc có thể tìm mua tại các Công ty Sách – Thiết bị trường học ở các địa phương hoặc các Cửa hàng sách của Nhà xuất bản Giáo dục:

Tại Hà Nội : 25 Hàn Thuyên, 81 Trần Hưng Đạo, 187B Giảng Võ, 23 Tràng Tiền.

Tại Đà Nẵng : 15 Nguyễn Chí Thanh.

Tại Thành phố Hồ Chí Minh : 104 Mai Thị Lựu, Quận 1.



8 934980 684979

Sửa chữa máy điện và máy



1 006040 300284
23.500 VNĐ



Giá: 23.500đ