

PHẦN THỨ NHẤT

LÍ THUYẾT CƠ SỞ

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ THIẾT BỊ ĐIỆN

Thiết bị điện được đề cập ở đây là các loại thiết bị làm các nhiệm vụ: đóng cắt, điều khiển, điều chỉnh, bảo vệ, chuyển đổi, khống chế và kiểm tra mọi sự hoạt động của hệ thống lưới điện và các loại máy điện. Ngoài ra thiết bị điện còn được sử dụng để kiểm tra, điều chỉnh và biến đổi đo lường nhiều quá trình không điện khác.

Thiết bị điện là một loại thiết bị đang được sử dụng rất phổ biến có mặt trong hầu hết các lãnh vực sản xuất của nền kinh tế, từ các nhà máy điện, trạm biến áp, hệ thống truyền tải điện, đến các máy phát và động cơ điện trong các xí nghiệp công nghiệp, nông nghiệp, giao thông,... và trong cả lãnh vực an ninh quốc phòng.

Thiết bị điện sử dụng ở nước ta hiện nay được nhập từ rất nhiều nước, rất nhiều hãng sản xuất khác nhau và đủ các thế hệ. Có cả các thiết bị đã có thời gian sử dụng 40 đến 50 năm, rất lạc hậu và các thiết bị rất hiện đại mới nhập. Chính vì vậy các quy cách không thống nhất, gây khó khăn cho vận hành, bảo dưỡng và sửa chữa. Do quá nhiều chủng loại thiết bị điện với các tiêu chuẩn kỹ thuật rất khác nhau, nên trong sử dụng hiện nay nhiều khi không sử dụng hết tính năng và công suất của thiết bị hoặc sử dụng không đúng gây hư hỏng nhiều, làm thiệt hại không nhỏ cho nền kinh tế. Chính vì vậy việc đào tạo và cập nhập nâng cao kiến thức về thiết bị điện đặc biệt là các thiết bị mới cho các cán bộ kỹ thuật quản lý và vận hành thiết bị điện là một đòi hỏi rất cấp thiết. Giáo trình này nhằm trang bị những lý luận cơ bản, để hiểu nguyên lý làm việc, đặc điểm cấu tạo các loại thiết bị điện thường dùng trong tự động truyền động, trong hệ thống điện và trong các lĩnh vực điều khiển máy điện,... nhằm giúp sinh viên các ngành năng lượng khi ra trường có thể lựa chọn, vận hành, sửa chữa, cải tiến thiết bị điện hoặc một số bộ phận của thiết bị điện, đặc biệt cung cấp những kiến thức làm cơ sở để tiếp cận các thiết bị hiện đại.

1. Phân loại thiết bị điện

Để thuận lợi cho việc nghiên cứu, vận hành sử dụng và sửa chữa thiết bị điện người ta thường phân loại như sau:

a) Phân theo công dụng

- + Thiết bị điện khống chế: dùng để đóng cắt, điều chỉnh tốc độ chiều quay của các máy phát điện, động cơ điện (như cầu dao, áp tô mát, công tắc tơ,...).

- + Thiết bị điện bảo vệ: làm nhiệm vụ bảo vệ các động cơ, máy phát điện, lưới điện khi có quá tải, ngắn mạch, sụt áp,... (như rô le, cầu chì, máy cắt,...).

- + Thiết bị điện tự động điều khiển từ xa: làm nhiệm vụ thu nhận phân tích và khống chế sự hoạt động của các mạch điện như khởi động từ,...

- + Thiết bị điện hạn chế dòng ngắn mạch (như điện trở phụ, cuộn kháng,...).

- + Thiết bị điện làm nhiệm vụ duy trì ổn định các tham số điện (như ổn áp, bộ tự động điều chỉnh điện áp máy phát,...)

- + Thiết bị điện làm nhiệm vụ đo lường (như máy biến dòng điện, biến áp đo lường,...).

b) Phân theo tính chất dòng điện

- + Thiết bị điện dùng trong mạch một chiều.

- + Thiết bị điện dùng trong mạch xoay chiều.

c) Phân theo nguyên lý làm việc

Thiết bị điện loại điện từ, điện động, cảm ứng, có tiếp điểm, không có tiếp điểm,...

d) Phân theo điều kiện làm việc

+ Loại làm việc vùng nhiệt đới khí hậu nóng ẩm, loại ở vùng ôn đới, có loại chống được khí cháy nổ, loại chịu rung động,...

e) Phân theo cấp điện áp có

- + Thiết bị điện hạ áp có điện áp dưới 3kV.
- + Thiết bị điện trung áp có điện áp từ 3kV đến 36 kV.
- + Thiết bị điện cao áp có điện áp từ 36kV đến nhỏ hơn 400 kV.
- + Thiết bị điện siêu cao áp có điện áp từ 400 kV trở lên.

2. Các yêu cầu cơ bản của thiết bị điện

- Phải đảm bảo sử dụng được lâu dài đúng tuổi thọ thiết kế khi làm việc với các thông số kỹ thuật ở định mức.
- Thiết bị điện phải đảm bảo ổn định lực điện động và ổn định nhiệt độ khi làm việc bình thường, đặc biệt khi sự cố trong giới hạn cho phép của dòng điện và điện áp.
- Vật liệu cách điện chịu được quá áp cho phép.
- Thiết bị điện phải đảm bảo làm việc tin cậy, chính xác an toàn, gọn nhẹ, dễ lắp ráp, dễ kiểm tra, sửa chữa.
- Ngoài ra còn yêu cầu phải làm việc ổn định ở điều kiện khí hậu môi trường mà khi thiết kế đã cho phép.

Chương 1.

HỒ QUANG ĐIỆN

1.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ HỒ QUANG ĐIỆN

1. Khái niệm chung

Hồ quang điện thực sự có ích khi được sử dụng trong các lĩnh vực như hàn điện, luyện thép,...những lúc này hồ quang cần được duy trì cháy ổn định.

Nhưng trong các thiết bị điện như cầu chì, cầu dao, máy cắt,...hồ quang lại có hại cần phải nhanh chóng được loại trừ. Khi thiết bị điện đóng, cắt (đặc biệt là khi cắt) hồ quang phát sinh giữa các cặp tiếp điểm của thiết bị điện khiến mạch điện không được ngắt dứt khoát. Hồ quang cháy lâu sau khi thiết bị điện đã đóng cắt sẽ làm hư hại các tiếp điểm và bản thân thiết bị điện. Trong trường hợp này để đảm bảo độ làm việc tin cậy của thiết bị điện yêu cầu phải tiến hành dập tắt hồ quang càng nhanh càng tốt.

Bản chất của hồ quang điện là hiện tượng phóng điện với mật độ dòng điện rất lớn (tối khoảng 10^4 đến 10^5 A/cm²), có nhiệt độ rất cao (tối khoảng $5000 \div 6000^\circ\text{C}$) và điện áp rơi trên cực âm bé (chỉ khoảng $10 \div 20\text{V}$) và thường kèm theo hiện tượng phát sáng. Sự phân bố của điện áp và cường độ điện trường dọc theo chiều dài hồ quang được biểu diễn trên hình 1-1a.

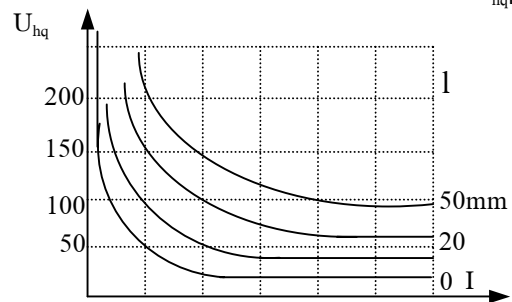
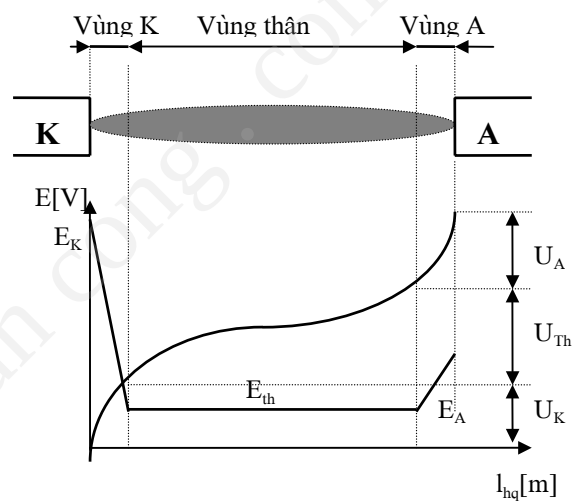
Dọc theo chiều dài hồ quang được chia làm ba vùng là: vùng xung quanh cực âm (cách cực âm khoảng 10^{-4} đến 10^{-5}cm) vùng này tuy điện áp nhỏ chỉ 8 đến 10V nhưng khoảng cách cũng rất bé nên cường độ điện trường rất lớn cỡ 10^5 đến 10^6 V/cm. Còn vùng có chiều dài gần hết hồ quang là vùng thân, vùng này có cường độ điện trường chỉ khoảng 10 đến 50 V/cm. Vùng còn lại còn được gọi là vùng cực dương có cường độ điện trường lớn hơn vùng thân nhưng các yếu tố xảy ra ở đây theo các lý thuyết hiện đại thì ít ảnh hưởng đến quá trình phát sinh và dập hồ quang nên không được đề cập.

Đặc tính $u(i)$ của hồ quang một chiều có thể biểu diễn theo công thức Kapzow có dạng:

$$u_{hq} = a + bl + \frac{c + dl}{i^n}$$

Với: a, b, c, d là các hằng số phụ thuộc vật liệu làm tiếp điểm và các yếu tố bên ngoài (ví dụ tiếp điểm đồng có $a=30$; $b=17$; $c=41$; $d=33$). Có n là số mũ, phụ thuộc vào nhiệt độ vật liệu dương cực, theo thực nghiệm thường lấy $n = 2,62 \cdot T \cdot 10^{-4}$, trong đó T là nhiệt độ của vật liệu dương cực.

Đặc tính $u(i)$ với l là chiều dài hồ quang có dạng hypécbôn như hình 1-1b.



Hình 1-1: a) Hồ quang một chiều; b) Đặc tính

2. Quá trình phát sinh và dập tắt hồ quang

a) Quá trình phát sinh

Hồ quang điện phát sinh là do môi trường giữa các điện cực (hoặc giữa các cặp tiếp điểm) bị ion hóa (xuất hiện các hạt dẫn điện). Ion hóa có thể xảy ra bằng các con đường khác nhau dưới tác dụng của ánh sáng, nhiệt độ, điện trường mạnh,.... Trong thực tế quá trình phát sinh hồ quang điện có những dạng ion hóa sau:

- Quá trình phát xạ điện tử nhiệt; Quá trình tự phát xạ điện tử.
- Quá trình ion hóa do va chạm.
- Quá trình ion hóa do nhiệt.

a.1) Sự phát xạ điện tử nhiệt

Điện cực và tiếp điểm chế tạo từ kim loại, mà trong cấu trúc kim loại luôn tồn tại các điện tử tự do chuyển động về mọi hướng trong quỹ đạo của cấu trúc hạt nhân nguyên tử. Khi tiếp điểm bắt đầu mở ra lực nén vào tiếp điểm giảm dần khiến điện trở tiếp xúc tăng lên chỗ tiếp xúc dòng điện bị thất lại mật độ dòng tăng rất lớn làm nóng các điện cực (nhất là ở cực âm nhiều e). Bị đốt nóng, động năng của các điện tử tăng nhanh đến khi công nhận được lớn hơn công thoát liên kết hạt nhân thì điện tử sẽ thoát ra khỏi bề mặt cực âm trở thành điện tử tự do. Quá trình này được gọi là phát xạ điện tử nhiệt.

a.2) Sự tự phát xạ điện tử

Khi tiếp điểm hay điện cực vừa mở ra lúc đầu khoảng cách còn rất bé dưới tác dụng của điện áp nguồn ngoài thì cường độ điện trường rất lớn, nhất là vùng cực âm có khoảng cách nhỏ có thể tới hàng triệu V/cm. Với cường độ điện trường lớn ở cực âm một số điện tử có liên kết yếu với hạt nhân trong cấu trúc sẽ bị kéo bật ra khỏi bề mặt cao trở thành các điện tử tự do, hiện tượng này gọi là tự phát xạ điện tử. Khi có điện tử tự phát xạ và phát xạ điện tử nhiệt năng lượng được giải phóng rất lớn làm nhiệt độ khu vực hồ quang tăng cao và phát sáng, đặc biệt khi cắt mạch ở điện áp cao và có dòng tải lớn thì hồ quang cháy và phát sáng rất mãnh liệt.

a.3) Ion hóa do va chạm

Sau khi tiếp điểm mở ra, dưới tác dụng của nhiệt độ cao hoặc của điện trường lớn (mà thông thường là cả hai) thì các điện tử tự do sẽ phát sinh chuyển động từ cực dương sang cực âm. Do điện trường rất lớn nên các điện tử chuyển động với tốc độ rất cao. Trên đường đi các điện tử này bắn phá các nguyên tử và phân tử khí sẽ làm bật ra các điện tử và các ion dương. Các phần tử mang điện này lại tiếp tục tham gia chuyển động và bắn phá tiếp làm xuất hiện các phần tử mang điện khác. Do vậy mà số lượng các phần tử mang điện tăng lên không ngừng, làm mật độ điện tích trong khoảng không gian giữa các tiếp điểm rất lớn, đó là quá trình ion hóa do va chạm.

a.4) Ion hóa do nhiệt

Do có các quá trình phát xạ điện tử và ion hóa do va chạm, một lượng lớn năng lượng được giải phóng làm nhiệt độ vùng hồ quang tăng cao và thường kèm theo hiện tượng phát sáng. Nhiệt độ khí càng tăng thì tốc độ chuyển động của các phần tử khí càng tăng và số lần va chạm do đó cũng càng tăng lên. Khi tham gia chuyển động cũng có một số phần tử gặp nhau sẽ kết hợp lại phân li thành các nguyên tử. Các nguyên tử khuếch tán vào môi trường xung quanh, gặp nhiệt độ thấp sẽ kết hợp lại thành phân tử, hiện tượng này gọi là hiện tượng phân li (phản ứng phân li thu nhiệt làm giảm nhiệt độ của hồ quang, tạo điều kiện cho khử ion). Còn lượng các ion hóa tăng lên do va chạm khi nhiệt độ tăng thì gọi đó là lượng ion hóa do nhiệt. Nhiệt độ để có hiện tượng ion hóa do nhiệt cao hơn nhiều so với nhiệt độ có hiện tượng phân li. Ví dụ không khí có nhiệt độ phân li khoảng 4000°K còn nhiệt độ ion hóa khoảng 8000°K .

Tóm lại, hồ quang điện phát sinh là do tác dụng của nhiệt độ cao và cường độ điện trường lớn sinh ra hiện tượng phát xạ điện tử nhiệt và tự phát xạ điện tử và tiếp theo là quá trình ion hóa do va chạm và ion hóa do nhiệt. Khi cường độ điện trường càng tăng (khi tăng điện áp nguồn), nhiệt độ càng cao và mật độ dòng càng lớn thì hồ quang cháy càng mãnh liệt. Quá trình có thoát năng lượng hạt nhân nên

thường kèm theo hiện tượng phát sáng chói lòa. Nếu tăng áp lực lên môi trường hồ quang thì sẽ giảm được tốc độ chuyển động của các phần tử và do vậy hiện tượng ion hóa sẽ giảm.

b) Quá trình hồ quang tắt

Hồ quang điện sẽ bị dập tắt khi môi trường giữa các điện cực không còn dẫn điện hay nói cách khác hồ quang điện sẽ tắt khi có quá trình phản ion hóa xảy ra mạnh hơn quá trình ion hóa. Ngoài quá trình phân li đã nói trên, song song với quá trình ion hóa còn có các quá trình phản ion gồm hai hiện tượng sau:

b.1) Hiện tượng tái hợp

Trong quá trình chuyển động các hạt mang điện là ion dương và điện tử gặp được các hạt tích điện khác dầu là điện tử hoặc ion dương để trở thành các hạt trung hòa (hoặc ít dương hơn). Trong lý thuyết đã chứng minh tốc độ tái hợp tỉ lệ nghịch với bình phương đường kính hồ quang, và nếu cho hồ quang tiếp xúc với điện môi hiện tượng tái hợp sẽ tăng lên. Nhiệt độ hồ quang càng thấp tốc độ tái hợp càng tăng.

b.2) Hiện tượng khuếch tán

Hiện tượng các hạt tích điện di chuyển từ vùng có mật độ điện tích cao (vùng hồ quang) ra vùng xung quanh có mật độ điện tích thấp là hiện tượng khuếch tán. Các điện tử và ion dương khuếch tán dọc theo thân hồ quang, điện tử khuếch tán nhanh hơn ion dương. Quá trình khuếch tán đặc trưng bằng tốc độ khuếch tán. Sự khuếch tán càng nhanh hồ quang càng nhanh bị tắt. Để tăng quá trình khuếch tán người ta thường tìm cách kéo dài ngọn lửa hồ quang.

1.2. HỒ QUANG ĐIỆN MỘT CHIỀU

1. Khái niệm chung

Chúng ta khảo sát ở đây một quá trình xuất hiện hồ quang giữa hai điện cực trong một mạch điện một chiều như hình 1-2.

Gọi điện áp nguồn là U_0 , điện trở mạch là R , điện cảm mạch là L và r_{hq} đặc trưng cho điện trở hồ quang với điện áp trên hồ quang là u_{hq} . Theo định luật Kiéc khốp II, ta có phương trình cân bằng điện áp trong mạch khi mở tiếp điểm và hồ quang bắt đầu cháy như sau:

$$U_0 = i.R + u_{hq} + L \frac{di}{dt} \quad (1.1)$$

Khi hồ quang cháy ổn định thì dòng điện không đổi $i=I$ và có $\frac{di}{dt} = 0$ phương trình cân bằng áp sẽ là :

$$U_0 = u_R + u_{hq} = I.R + I.r_{hq} \quad (1.2)$$

Các thành phần điện áp trong phương trình (1.1) được thể hiện trên hình 1-2. Với: đường 1-là điện áp nguồn; đường 2- là điện áp rơi trên điện trở R và đường 3- là đặc tính $u(i)$ của hồ quang.

Theo đồ thị các đường đặc tính 2 và 3 giao nhau ở hai điểm A và B. Tại A và B phương trình (1.2) được thỏa mãn, các điểm A, B được gọi là hai điểm cháy của hồ quang.

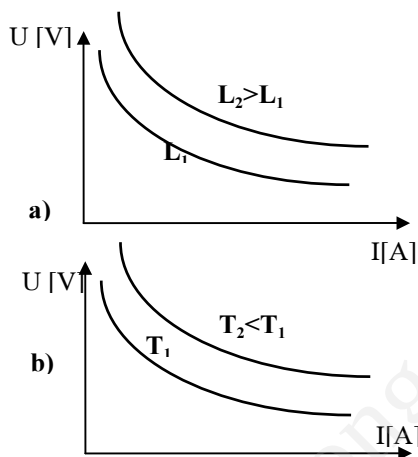
-*Xét tại B*: Hồ quang đang cháy nếu vì một lý do nào đó làm dòng điện i tăng lớn hơn I_B thì theo đồ thị ta nhận thấy sức điện động tự cảm trên L là $L \frac{di}{dt} < 0$ (ngược chiều dòng tăng) sẽ làm dòng điện i giảm xuống lại I_B . Còn ngược lại nếu i giảm nhỏ hơn I_B thì $L \frac{di}{dt} > 0$ sẽ làm i tăng trở lại giá trị I_B , do vậy điểm B được gọi là điểm hồ quang cháy ổn định.

-*Nếu cũng tương tự ta xét tại điểm A*, khi hồ quang đang cháy ổn định với $i = I_A$ nếu vì một lý do nào đó i giảm nhỏ hơn I_A thì $L \frac{di}{dt} < 0$ nên dòng tiếp tục giảm đến 0 và hồ quang tắt. Còn nếu i tăng lớn hơn I_A thì

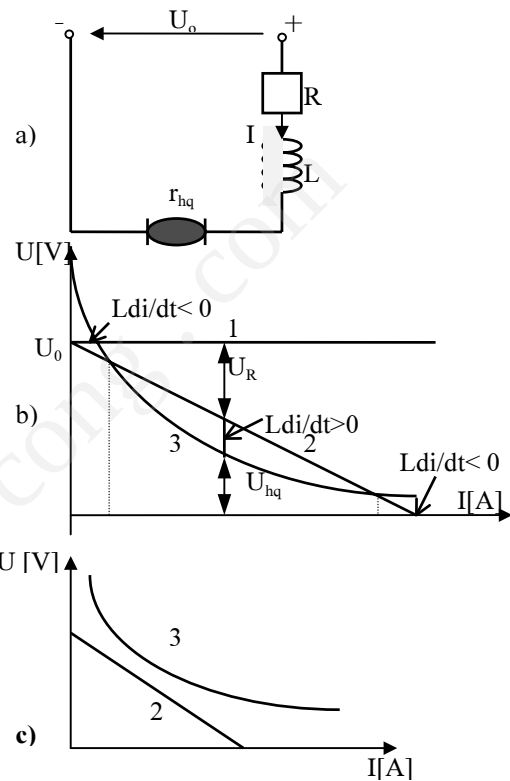
trên đặc tính ta thấy $L \frac{di}{dt} > 0$ nên dòng tiếp tục tăng đến I_B và hồ quang cháy ổn định tại điểm B, vậy điểm A gọi là điểm hồ quang cháy không ổn định.

2. Điều kiện để dập tắt hồ quang điện một chiều

Để có thể dập tắt được hồ quang điện một chiều cần loại bỏ được điểm hồ quang cháy ổn định (điểm B). Trên đặc tính ta nhận thấy sẽ không có điểm cháy ổn định khi đường đặc tính 3 (điện áp trên hồ quang) cao hơn đường đặc tính 2 (là đặc tính điện áp rơi trên điện trở R) như hình 1-2b (tức là hồ quang sẽ tắt khi $U_{hq} > U_0 - U_R$). Để nâng cao đường đặc tính 3 thường thực hiện hai biện pháp là tăng độ dài hồ quang (tăng l) và giảm nhiệt độ vùng hồ quang xuống, đặc tính như hình 1-3.



Hình 1-3: Đặc tính khi kéo dài và giảm nhiệt độ hồ quang



Hình 1-2: Đặc tính hồ quang một chiều và điều kiện tắt

3. Quá điện áp trong mạch điện một chiều

Khi cắt mạch điện một chiều thường xảy ra quá điện áp, khi ở mạch có điện cảm lớn nếu tốc độ cắt càng nhanh thì quá điện áp càng lớn.

Nếu tại thời điểm cắt có $I = 0$ thì: $U_0 = L \frac{di}{dt} + u_{hq}$, hay ta có:

$$u_{hq} - U_0 = -L \frac{di}{dt} = \Delta U \quad (1.3)$$

ΔU là trị số quá điện áp xoay chiều. Trong mạch một chiều làm việc với công suất lớn lại có nhiều vòng dây khi dập hồ quang điện quá điện áp sẽ xảy ra rất lớn có thể gây đánh thủng cách điện và hư hỏng thiết bị. Để hạn chế hiện tượng quá điện áp người ta thường dùng thêm một mạch điện phụ mắc song song với phụ tải. Mạch này có thể là điện trở, điện trở và tụ nối tiếp hoặc một chỉnh lưu mắc ngược.

1.2. HỒ QUANG ĐIỆN XOAY CHIỀU

1. Khái niệm chung

Đặc điểm của mạch xoay chiều là trong một chu kỳ biến thiên dòng điện có hai lần qua trị số $i = 0$. Khi có hồ quang thì tại thời điểm khi $i = 0$ quá trình phản ion hóa xảy ra mạnh hơn quá trình ion hóa. Khi $i = 0$ hồ quang không dẫn điện và đây là thời điểm tốt để dập tắt hồ quang điện xoay chiều.

Khi hồ quang điện xoay chiều đang cháy ta đưa dòng điện và điện áp của hồ quang vào dao động kí ta sẽ được dạng sóng của dòng điện và điện áp hồ quang như hình 1-4.

Dòng điện có dạng sóng gần giống sóng hình sin còn điện áp thì trong một nửa chu kỳ có hai đỉnh nhọn tương ứng với hai giá trị điện áp cháy (U_{ch}) và điện áp tắt (U_t) của hồ quang điện. Từ dạng sóng thu được trên màn hình dao động kí ta xây dựng được đặc tính Vôn - Am pe (V-A) của hồ quang điện xoay chiều như hình 1-4.

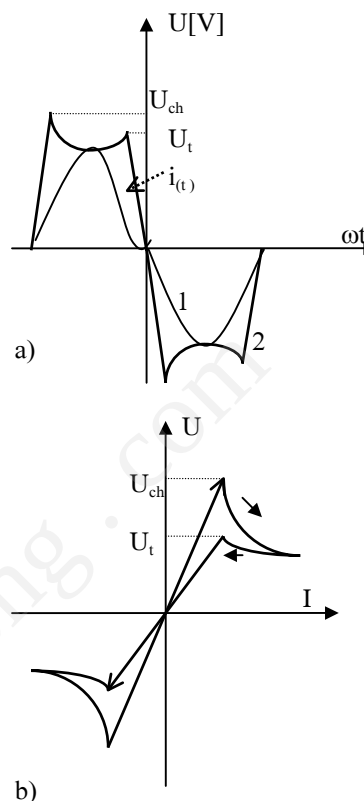
Ta nhận thấy ở thời điểm dòng điện qua trị số 0 nếu điện áp nguồn nhỏ hơn trị số điện áp cháy (U_{ch}) thì hồ quang sẽ tắt. Do vậy quá trình dập hồ quang điện xoay chiều phụ thuộc rất nhiều vào tính chất của phụ tải.

Ta nhận thấy trong mạch có phụ tải điện trở thuần dễ dập hồ quang hơn trong mạch có tải điện cảm, bởi ở mạch thuần trở khi dòng điện qua trị số không (thời gian $i=0$ thực tế kéo dài khoảng $0,1 \mu s$) thì điện áp nguồn cũng bằng không (trùng pha), còn ở mạch thuần cảm khi dòng bằng không thì điện áp nguồn đang có giá trị cực đại (điện áp vượt trước dòng điện một góc 90°).

2. Dập tắt hồ quang điện xoay chiều

Hồ quang điện xoay chiều khi dòng điện qua trị số 0 thì không được cung cấp năng lượng. Môi trường hồ quang mất dần tính dẫn điện và trở thành cách điện. Nếu độ cách điện này đủ lớn và điện áp nguồn không đủ duy trì phóng điện lại thì hồ quang sẽ tắt hẳn. Để đánh giá mức độ cách điện của điện môi vùng hồ quang là lớn hay bé người ta dùng khái niệm điện áp chọc thủng. Điện áp chọc thủng ($U_{ch,t}$) càng lớn thì mức độ cách điện của điện môi càng cao.

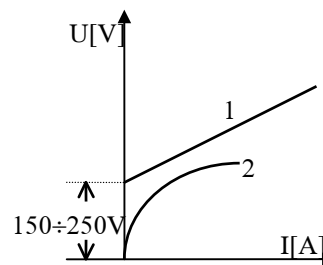
Quá trình dập tắt hồ quang điện xoay chiều không những tùy thuộc vào tương quan giữa độ lớn của điện áp chọc thủng với độ lớn của điện áp hồ quang mà còn phụ thuộc tương quan giữa tốc độ tăng của chúng. Nếu tốc độ tăng điện áp chọc thủng lớn hơn tốc độ phục hồi điện áp nguồn (hình 1-5: đường 1 và đường 2 không giao nhau ở điểm nào) thì hồ quang sẽ tắt hoàn toàn. Trong các thiết bị điện khi tiếp điểm mở ra khoảng cách tăng dần làm cách điện điện môi tăng dần (đường 1), nửa chu kỳ sau càng dốc hơn nửa chu kỳ trước.



Hình 1-4: Đặc tính của hồ quang xoay chiều

Ngược lại, tốc độ phục hồi điện áp mà nhanh hơn tốc độ tăng của điện áp chọc thủng (làm đường 1 và đường 2 giao nhau) thì hồ quang sẽ cháy lại.

Tóm lại : để dập tắt hồ quang điện xoay chiều hoàn toàn thì ta phải làm sao để độ tăng điện áp chọc thủng (đường 1) vượt cao hơn đỉnh của đường biểu diễn điện áp phục hồi hồ quang (đường 2). Khi điện áp nguồn là 1000V thì trong lúc dòng điện qua trị số 0 sau khoảng 0,1 μ s mức độ cách điện khu vực này đạt đến giá trị xuyên thủng tức thời khoảng 150 đến 250V.



Hình 1-5: Điều kiện tắt hồ quang xoay chiều

1.4. QUÁ TRÌNH PHỤC HỒI ĐIỆN ÁP CỦA HỒ QUANG ĐIỆN

1. Khái niệm

Giá trị tức thời của điện áp nguồn xuất hiện giữa các tiếp điểm sau khi đã ngắt mạch trong quá trình quá độ được gọi là điện áp phục hồi.

a) Trong mạch điện một chiều

Tùy thuộc tính chất của tải là điện trở, điện cảm hay điện dung mà điện áp phục hồi cũng khác nhau. Thực tế tồn tại điện dung giữa các dây dẫn khác nhau, dây dẫn với đất hay giữa các bố dây với nhau. Trong mạch khi có cả R, L, C thì điện áp phục hồi tùy theo giá trị điện trở R mà có thể dao động tuần hoàn hay không. Khi mạch R, L, C mà có mắc thêm tụ điện song song với hồ quang thì trước khi dòng điện triệt tiêu tụ đã được nạp và phóng điện trở lại, điện áp phục hồi sẽ dao động tuần hoàn khi R nhỏ.

Nhưng nếu trị số điện trở R lớn sẽ không thể có dao động tuần hoàn được.

b) Trong mạch điện xoay chiều

Nếu hồ quang được dập tắt vĩnh viễn thì quá trình phục hồi điện áp có dạng biến thiên với tần số nhỏ dần về bằng 0. Nếu hồ quang xuất hiện lại thì quá trình phục hồi bị ngắt và điện áp giảm nhanh từ giá trị U_{ch} đến giá trị bé nhất ứng với điện áp rơi trên hồ quang.

Nếu mạch điện có điện trở đủ lớn thì điện áp phục hồi trên tiếp điểm khi có hồ quang sẽ không còn xuất hiện lại (có dạng không tuần hoàn). Ở mạch điện xoay chiều thì tần số điện áp nguồn $f_{nguồn}$ thông thường rất thấp so với tần số dao động riêng của mạch có L và C.

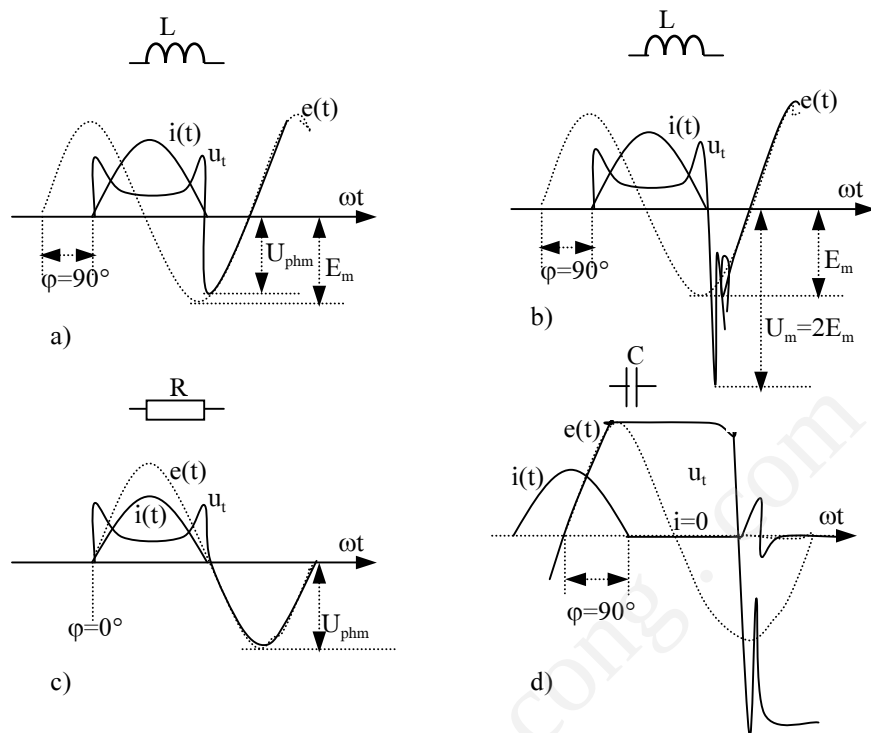
$$f_{nguồn} \ll \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = (100 \div 10.000) [Hz] \quad (1.4)$$

Giá trị bé nhất phù hợp với lưới có điện áp cao. Quá trình phục hồi điện áp xảy ra ở hai trường hợp giới hạn sau :

- + Ngắt mạch cảm ứng lớn ($\varphi \approx 90^\circ$) thường xảy ra khi ngắn mạch.
- + Ngắt mạch thuần điện trở ($\varphi \approx 0^\circ$).

Trên hình 1-6a biểu diễn trường hợp phụ tải thuần điện cảm ($\varphi \approx 90^\circ$) điện áp phục hồi không tuần hoàn, kết quả là : $U_{ph \max} \leq E_{\max}$. Hình 1-6b điện áp phục hồi dao động (tuần hoàn) và trên thực tế $U_{ph \max} \leq 2.E_{\max}$. Trên hình 1-6c là trường hợp phụ tải điện trở ($\varphi \approx 0^\circ$), khi đó dòng điện và sức điện động nguồn $e_{(t)}$ trùng pha nhau, chúng đồng thời qua giá trị 0, điện áp phục hồi sẽ bằng 0.

Kết quả là mạch thuần điện trở, hồ quang dễ bị dập tắt vĩnh viễn hơn là mạch điện cảm. Từ đó giải thích khi thử nghiệm thiết bị điện đóng mở mạch dòng xoay chiều cần phải thực hiện trong mạch có hệ số công suất $\cos\varphi$ thấp ($\cos\varphi \leq 0.2$).



Hình 1-6: Các đường đặc tính điện áp phục hồi sau khi cắt mạch trong các trường hợp: a, b) phụ tải điện cảm, c) phụ tải điện trở, d) phụ tải dung

Trên hình 1-6d biểu diễn điện áp phục hồi khi ngắt mạch đường dây không tải.

2. Năng lượng hồ quang

a) Dòng một chiều

Đặc tính dập tắt hồ quang phụ thuộc vào năng lượng hồ quang. Năng lượng hồ quang dòng một chiều tính theo :

$$W_{hq} = L \frac{I^2}{2} + \int_0^t (U - R.i).i.dt \quad (1.5)$$

Từ phương trình thấy rằng toàn bộ năng lượng $\frac{L.I^2}{2}$ đã tích lũy trong mạch trước lúc ngắt cộng với năng lượng nguồn sau khi đã bớt phần năng lượng tổn hao trên điện trở R nằm trong mạch chính là năng lượng hồ quang (W_{hq}).

Do vậy ở mạch một chiều, điện cảm của mạch càng lớn thì năng lượng hồ quang sẽ càng lớn, khi đó hồ quang sẽ khó dập tắt.

b) Dòng điện xoay chiều

Hồ quang xoay chiều dập tắt lúc $i = 0$, do đó năng lượng điện từ xem như bằng 0 và ta có :

$$W_{hq} = \int_0^{\frac{n\pi}{\omega}} (u - R.i).i.dt \quad (1.6)$$

Với n là số lượng bán chu kì trong khoảng thời gian cháy của hồ quang. Kết quả là ở dòng xoay chiều thì năng lượng hồ quang là năng lượng nguồn trừ bớt đi phần tổn hao tác dụng. Khác với dòng một chiều toàn bộ năng lượng được đưa trở về nguồn. Nếu dòng điện được ngắt trước lúc đi qua trị số 0 thì một phần của năng lượng từ sẽ không đưa về nguồn mà cung cấp cho hồ quang. Do đó đứng trên quan

điểm năng lượng mà xét thì ngắt mạch dòng xoay chiều dễ dàng hơn ngắt mạch dòng một chiều cùng một công suất.

Đồng thời ta còn thấy muốn giảm năng lượng hồ quang (một chiều và xoay chiều) thì phải cần giảm thời gian đốt cháy của hồ quang.

3. Công thức qui ước về công suất ngắt

Để đặc trưng cho khả năng ngắt lớn nhất của thiết bị đóng mở mạch, người ta đưa vào khái niệm công suất ngắt ($S_{ngắt}$) được xác định theo qui ước theo công thức sau :

$$S_{ngắt} = C.I_{ngắt\ dm} (MVA) \quad (1.7)$$

Trong đó: $C = m.U_{dm} = 3.U_{dmfa} = \sqrt{3}.U_{dmdây}$: đặc trưng cho ba pha .

U_{dmfa} là điện áp định mức pha (giá trị hiệu dụng).

$U_{dmdây}$ là điện áp định mức dây (giá trị hiệu dụng).

$I_{ngắt\ dm}$ là giá trị hiệu dụng dòng điện ngắt định mức của thiết bị đóng mở mạch, [kA].

$I_{ngắt\ dm}$ là dòng điện lớn nhất ứng với lúc đầu tiên các tiếp điểm rời xa nhau ở điện áp định mức của thiết bị đóng mở mạch.

Trong các công thức trên xét trị số của các thông số cơ bản để khi ngắt ở giá trị đó thiết bị điện không bị xảy ra hư hỏng.

1.5. BIỆN PHÁP VÀ TRANG BỊ DẬP HỒ QUANG TRONG THIẾT BỊ ĐIỆN

1. Các biện pháp và trang bị để dập hồ quang trong thiết bị điện cần phải đảm bảo yêu cầu

- Trong thời gian ngắn phải dập tắt được hồ quang, hạn chế phạm vi cháy hồ quang là nhỏ nhất.
- Tốc độ đóng mở tiếp điểm phải lớn.
- Năng lượng hồ quang sinh ra phải bé, điện trở hồ quang phải tăng nhanh.
- Tránh hiện tượng quá điện áp khi dập hồ quang.

2. Các nguyên tắc cơ bản để dập hồ quang điện

- Kéo dài ngọn lửa hồ quang.
- Dùng năng lượng hồ quang sinh ra để tự dập.
- Dùng năng lượng nguồn ngoài để dập.
- Chia hồ quang thành nhiều phần ngắn để dập.
- Mắc thêm điện trở song song để dập.

3. Trong thiết bị điện hạ áp thường dùng các biện pháp và trang bị sau

a) Kéo dài hồ quang điện bằng cơ khí

Đây là biện pháp đơn giản thường dùng ở cầu dao công suất nhỏ hoặc ở rôle. Kéo dài hồ quang làm cho đường kính hồ quang giảm, điện trở hồ quang sẽ tăng dẫn đến tăng quá trình phản ion để dập hồ quang. Tuy nhiên biện pháp này chỉ thường được dùng ở mạng hạ áp có điện áp nhỏ hơn hoặc bằng 220V và dòng điện tới 150 A.

b) Dùng cuộn dây thối từ kết hợp buồng dập hồ quang

Người ta dùng một cuộn dây mắc nối tiếp với tiếp điểm chính tạo ra một từ trường tác dụng lên hồ quang để sinh ra một lực điện từ kéo dài hồ quang. Thông thường biện pháp này kết hợp với trang bị thêm buồng dập bằng amiăng. Lực điện từ của cuộn thối từ sẽ thổi hồ quang vào tiếp giáp amiăng làm tăng quá trình phản ion.

c) Dùng buồng dập hồ quang có khe hở quanh co

Buồng được dùng bằng amiăng có hai nửa lõi lõm và ghép lại hợp thành những khe hở quanh co (khi đường kính hồ quang lớn hơn bề rộng khe thì gọi là khe hẹp).

Khi cắt tiếp điểm lực điện động sinh ra sẽ đẩy hồ quang vào khe quanh co sẽ làm kéo dài và giảm nhiệt độ hồ quang.

d) Phân chia hồ quang ra làm nhiều đoạn ngắn

Trong buồng hồ quang ở phía trên người ta người ta đặt thêm nhiều tấm thép non. Khi hồ quang xuất hiện, do lực điện động hồ quang bị đẩy vào giữa các tấm thép và bị chia ra làm nhiều đoạn ngắn. Loại này thường được dùng ở lưới một chiều dưới 220 V và xoay chiều dưới 500 V.

e) Tăng tốc độ chuyển động của tiếp điểm động

Người ta bố trí các lá dao động, có một lá chính và một lá phụ (thường là ổ cầu dao) hai lá này nối với nhau bằng một lò xo, lá dao phụ cắt nhanh do lò xo đàn hồi (lò xo sẽ làm tăng tốc độ cắt dao phụ) khi kéo dao chính ra trước.

f) Kết cấu tiếp điểm kiểu bậc cầu

Một điểm cắt được chia ra làm hai tiếp điểm song song nhau, khi cắt mạch hồ quang được phân chia làm hai đoạn và đồng thời do lực điện động ngọn lửa hồ quang sẽ bị kéo dài ra làm tăng hiệu quả dập.

4. Các biện pháp và trang bị dập hồ quang ở thiết bị điện trung và cao áp

a) Dập hồ quang trong dầu biến áp kết hợp phân chia hồ quang

Ở các máy cắt trung áp các tiếp điểm cắt được ngâm trong dầu biến áp, khi cắt hồ quang xuất hiện sẽ đốt cháy dầu sinh ra hỗn hợp khí (chủ yếu là H₂) làm tăng áp suất vùng hồ quang, đồng thời giảm nhiệt độ hồ quang. Các máy cắt điện áp cao mỗi pha thường được phân ra làm nhiều chỗ ngắt.

b) Dập hồ quang bằng khí nén

Dùng khí nén trong bình có sẵn hoặc hệ thống ống dẫn khí nén để khi hồ quang xuất hiện (tiếp điểm khi mở) sẽ làm mở van của bình khí nén, khí nén sẽ thổi dọc hoặc ngang thân hồ quang làm giảm nhiệt độ và kéo dài hồ quang.

c) Dập hồ quang bằng cách dùng vật liệu tự sinh khí

Thường dùng trong cầu chì trung áp, khi hồ quang xuất hiện sẽ đốt cháy một phần vật liệu sinh khí (như thủy tinh hữu cơ,...) sinh ra hỗn hợp khí làm tăng áp suất vùng hồ quang.

d) Dập hồ quang trong chân không

Người ta đặt tiếp điểm cắt trong môi trường áp suất chỉ khoảng 10^{-6} đến 10^{-8} N/cm².

Ở môi trường này thì độ bền điện cao hơn rất nhiều độ bền điện của không khí nên hồ quang nhanh chóng bị dập tắt.

e) Dập hồ quang trong khí áp suất cao

Khí được nén ở áp suất tối khoảng 200 N/cm² hoặc cao hơn sẽ tăng độ bền điện gấp nhiều lần không khí. Trong các máy cắt điện áp cao và siêu cao áp hiện nay thường sử dụng khí SF₆ được nén trong các bình khí nén để dập hồ quang. Hồ quang dập trong môi trường SF₆ rất đảm bảo (bởi vì ngay cả ở điều kiện áp suất thường hồ quang cũng đã tắt nhanh trong môi trường khí SF₆).

Hình 1-7: Các biện pháp nhân tạo dập tắt hồ quang thường dùng
a) chia hồ quang thành nhiều đoạn; b) dập hồ quang trong khe hẹp buồng dập;
c,d) di chuyển hồ quang trong từ trường; e) dập hồ quang trong dầu

Chương 2.

TIẾP XÚC ĐIỆN

2.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ TIẾP XÚC ĐIỆN

1. Khái niệm

Chỗ tiếp giáp giữa hai vật dẫn điện để cho dòng điện chạy từ vật dẫn này sang vật dẫn kia gọi là tiếp xúc điện. Bề mặt chỗ tiếp giáp của các vật dẫn điện gọi là bề mặt tiếp xúc điện.

Tiếp xúc điện chia ra làm ba dạng chính:

- Tiếp xúc cố định*: là hai vật dẫn tiếp xúc liên kết chặt cứng bằng bulông, đinh vít, đinh rivê,...
- Tiếp xúc đóng mở*: là tiếp xúc mà có thể làm cho dòng điện chạy hoặc ngừng chạy từ vật này sang vật khác (như các tiếp điểm trong thiết bị đóng cắt).
- Tiếp xúc trượt*: là vật dẫn điện này có thể trượt trên bề mặt của vật dẫn điện kia (ví dụ như chổi than trượt trên vành góp máy điện).

Tiếp xúc đóng mở và tiếp xúc trượt đều có hai phần, phần động (gọi là tiếp điểm động) và phần tĩnh (gọi là tiếp điểm tĩnh).

Ba dạng tiếp xúc trên đều có thể tiến hành tiếp xúc dưới ba hình thức:

- Tiếp xúc điểm*: là hai vật tiếp xúc với nhau chỉ ở một điểm hoặc trên bề mặt diện tích với đường kính rất nhỏ (như tiếp xúc hai hình cầu với nhau, hình cầu với mặt phẳng, hình nón với mặt phẳng,...)
- Tiếp xúc đường*: là hai vật dẫn tiếp xúc với nhau theo một đường thẳng hoặc trên bề mặt rất hẹp (như tiếp xúc hình trụ với mặt phẳng, hình trụ với trụ,...)
- Tiếp xúc mặt*: là hai vật dẫn điện tiếp xúc với nhau trên bề mặt rộng (ví dụ tiếp xúc mặt phẳng với mặt phẳng,...).

Các yêu cầu đối với tiếp xúc điện tùy thuộc ở công dụng, điều kiện làm việc, tuổi thọ yêu cầu của thiết bị và các yếu tố khác. Một yếu tố chủ yếu ảnh hưởng tới độ tin cậy làm việc và nhiệt độ phát nóng của tiếp xúc điện là điện trở tiếp xúc R_{tx} .

2. Điện trở tiếp xúc

Xét khi đặt hai vật dẫn tiếp xúc nhau (hình 2-1), ta sẽ có diện tích bề mặt tiếp xúc :

$$S_{bk} = a \cdot l.$$

Nhưng trên thực tế diện tích bề mặt tiếp xúc thực nhỏ hơn nhiều $a.l$ vì giữa hai bề mặt tiếp xúc dù gia công thế nào thì vẫn có độ nhấp nhô, khi cho tiếp xúc hai vật với nhau thì chỉ có một số điểm trên tiếp giáp tiếp xúc. Do đó diện tích tiếp xúc thực nhỏ hơn nhiều diện tích tiếp xúc biểu kiến $S_{bk} = a.l$.

Diện tích tiếp xúc còn phụ thuộc vào lực ép lên trên tiếp điểm và vật liệu làm tiếp điểm, lực ép càng lớn thì diện tích tiếp xúc càng lớn.

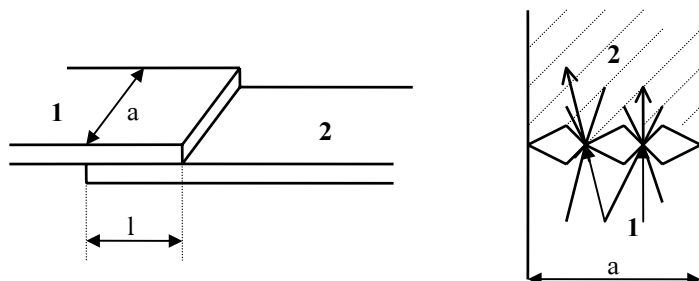
Diện tích tiếp xúc thực ở một điểm (như mặt cầu tiếp xúc với mặt phẳng) xác định bởi:

$$S = \frac{F}{\delta_d} \quad (2.1)$$

Trong đó:

F là lực ép vào tiếp điểm [kg].

δ_d là ứng suất chống



Hình 2-1: Tiếp xúc của hai vật dẫn

đập nát của vật liệu làm tiếp điểm [kg/cm²].

Bảng 2.1: Ứng suất chống đập nát của một số kim loại thông dụng

Kim loại	Ứng suất δ_d [N/cm ²]	Kim loại	Ứng suất δ_d [N/cm ²]
bạc	30.400	đồng cứng (hợp kim)	51.000
đồng mềm	38.200	nhôm	88.300

Nếu tiếp xúc ở n điểm thì diện tích sẽ lớn lên n lần so với biểu thức (2.1).

Dòng điện chạy từ vật này sang vật khác chỉ qua những điểm tiếp xúc, như vậy dòng điện ở các chỗ tiếp xúc đó sẽ bị thắt hẹp lại, dẫn tới điện trở ở những chỗ này tăng lên.

Điện trở tiếp xúc của tiếp điểm kiểu bất kì tính theo công thức:

$$R_{tx} = \frac{K}{F^m} \quad [\Omega] \quad (2.2)$$

K: hệ số phụ thuộc vật liệu và tình trạng bề mặt tiếp điểm (theo bảng tra).

m: hệ số phụ thuộc số điểm tiếp xúc và kiểu tiếp xúc với:

+Tiếp xúc mặt m = 1

+Tiếp xúc đường m = 0,7

+Tiếp xúc điểm m = 0,5

Bảng 2.2: Tra trị số K trong công thức (2.2)

Kim loại tiếp xúc	Trị số K [$\Omega \cdot N$]	Kim loại tiếp xúc	Trị số K [$\Omega \cdot N$]
đồng - đồng	(0,08 đến 0,14).10 ⁻²	sắt - đồng	(3,1).10 ⁻²
bạc - bạc	(0,06).10 ⁻²	nhôm - đồng	(0,38).10 ⁻²
nhôm - nhôm	(0,127).10 ⁻²		

Ngoài công thức (2.2) là công thức kinh nghiệm, người ta còn dùng phương pháp giải tích để dẫn giải rút ra công thức tính điện trở tiếp xúc điểm:

$$R_{tx} = \frac{\rho}{2 \sqrt{\frac{F \cdot n}{\delta_d \cdot \pi}}} \quad (2.3)$$

ρ : điện trở suất của vật dẫn [$\Omega \cdot cm$].

n: số điểm tiếp xúc.

F: lực nén [kg].

Do vậy rõ ràng điện trở tiếp xúc của tiếp điểm ảnh hưởng đến chất lượng của thiết bị điện, điện trở tiếp xúc lớn làm cho tiếp điểm phát nóng. Nếu phát nóng quá mức cho phép thì tiếp điểm sẽ bị nóng chảy, thậm chí bị hàn dính. Trong các tiếp điểm thiết bị điện mong muốn điện trở tiếp xúc có giá trị càng nhỏ càng tốt, nhưng do thực tế có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến R_{tx} nên không thể giảm R_{tx} cực nhỏ được như mong muốn.

3. Các yếu tố ảnh hưởng đến điện trở tiếp xúc (R_{tx})

Điện trở tiếp xúc bị ảnh hưởng của nhiều yếu tố với mức độ khác nhau, ta xét ở đây một số yếu tố chủ yếu sau:

a) *Vật liệu làm tiếp điểm*

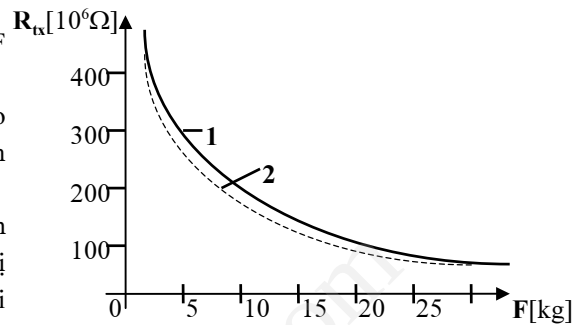
Từ (2.3) ta thấy hệ số chống dập nát δ_d bé thì R_{tx} bé. Vì vậy đúng về mặt yêu cầu có điện trở tiếp xúc bé nên dùng các vật liệu mềm để làm tiếp điểm. Nhưng thực tế cần phải kết hợp các yếu tố khác (như độ bền cơ) nên vật liệu thường dùng là đồng, đồng thau mạ thiếc, thép mạ thiếc,...

b) *Lực ép lên tiếp điểm*

Cũng từ công thức (2.2) và (2.3) lực F càng lớn thì R_{tx} càng nhỏ (hình 2-2)

Đường 1 biểu diễn điện trở tiếp xúc giảm theo chiều lực tăng, nếu giảm lực nén lên tiếp điểm điện trở tiếp xúc R_{tx} thay đổi theo đường 2.

Ta có thể giải thích là vì khi tăng lực nén bề mặt tiếp xúc thì không những bề mặt tiếp xúc bị biến dạng đàn hồi mà còn bị phá hủy cục bộ. Khi ta giảm lực ép thì một số điểm tiếp xúc vẫn còn giữ nguyên như khi lực ép lớn tác dụng. Tăng lực ép chỉ có tác dụng giảm R_{tx} ở giai đoạn đầu điện trở lớn và trung bình. Khi lực ép đủ lớn thì dù có tăng lực ép lên nữa thì điện trở tiếp xúc vẫn không thay đổi.



Hình 2-2: Điện trở tiếp xúc khi lực nén tăng

c) *Hình dạng của tiếp điểm*

Hình dạng của tiếp điểm cũng ảnh hưởng đến R_{tx} . Cùng một lực nhưng kiểu tiếp xúc khác nhau thì R_{tx} cũng khác nhau. Từ các công thức trên ta thấy R_{tx} của tiếp xúc mặt nhỏ nhất vì có hệ số m lớn nhất (tra từ công thức 2.2).

d) *Nhiệt độ của tiếp điểm*

Nhiệt độ của tiếp điểm thay đổi sẽ làm R_{tx} thay đổi theo kết quả thí nghiệm với nhiệt độ nhỏ hơn 200°C có thể tính R_{tx} qua công thức:

$$R_{tx(\theta)} = R_{tx(0)} \left(1 + \frac{2}{3} \alpha \theta \right) \quad [\Omega] \quad (2.4)$$

Trong đó: $R_{tx(0)}$: điện trở tiếp xúc ở 0°C , α : hệ số nhiệt điện trở [$1/^{\circ}\text{C}$].

θ : Nhiệt độ của tiếp điểm [$^{\circ}\text{C}$].

e) *Tình trạng bề mặt tiếp xúc*

Bề mặt tiếp xúc khi bị bẩn hoặc khi bị oxy hóa có R_{tx} lớn hơn nhiều R_{tx} của tiếp điểm sạch (do có nhiều điểm không được tiếp xúc trực tiếp bằng vật liệu làm tiếp điểm). Khi bị oxy hóa càng nhiều thì nhiệt độ phát nóng trên bề mặt tiếp xúc càng cao. Tiếp điểm bị oxy hóa có điện trở tiếp xúc tăng hàng chục lần (vì oxy của phần lớn kim loại dẫn điện kém hơn nhiều kim loại nguyên chất).

f) *Mật độ dòng điện*

Diện tích tiếp xúc được xác định tùy theo mật độ dòng điện cho phép. Theo kinh nghiệm đối với thanh dẫn bằng đồng cho tiếp xúc nhau khi nguồn ở tần số 50 Hz thì mật độ dòng điện cho phép là:

$$J_{cp} = \frac{I}{S} \approx [(0,31 - 1,05 \cdot 10^{-4} (I-200))] \quad [\text{A}/\text{mm}^2] \quad (2.5)$$

Trong đó: I là giá trị dòng hiệu dụng; $S=S_{bk}$ diện tích tiếp xúc biểu kiến.

Biểu thức (2.5) trên chỉ đúng khi dòng điện biến thiên trong khoảng từ 200 đến 2000A. Nếu ngoài trị số đó thì có thể lấy:

$$I < 200 \text{ A lấy } J_{cp} = 0,31 \quad [\text{A}/\text{mm}^2]$$

$$I > 2000 \text{ A lấy } J_{cp} = 0.12 \quad [A/mm^2].$$

Khi vật dẫn tiếp xúc không phải là đồng thì mật độ dòng cho phép đối với vật liệu ấy có thể lấy theo công thức sau:

$$J_{cp \text{ vật liệu x}} = J_{cp, \text{đồng}} \sqrt{\frac{R_{tx}(\rho)_{\text{đồng}}}{R(\rho)_{\text{vật liệu x}}}} \quad (2.6)$$

2.2. TIẾP ĐIỂM THIẾT BỊ ĐIỆN

1. Vật liệu làm tiếp điểm

Để thỏa mãn tốt các điều kiện làm việc khác nhau của tiếp điểm thiết bị điện thì vật liệu làm tiếp điểm phải có được những yêu cầu cơ bản sau:

- Có độ dẫn điện cao (giảm R_{tx} và chính điện trở của tiếp điểm).
- Dẫn nhiệt tốt (giảm phát nóng cục bộ của những điểm tiếp xúc).
- Không bị oxy hóa (giảm R_{tx} để tăng độ ổn định của tiếp điểm).
- Có độ kết tinh và nóng chảy cao (giảm độ mài mòn về điện và giảm sự nóng chảy hàn dính tiếp điểm đồng thời tăng tuổi thọ tiếp điểm).
- Có độ bền cơ cao (giảm độ mài mòn cơ khí giữ nguyên dạng bề mặt tiếp xúc và tăng tuổi thọ của tiếp điểm).
- Có đủ độ dẻo (để giảm điện trở tiếp xúc).
- Dễ gia công khi chế tạo và giá thành rẻ.

Thực tế ít vật liệu nào đáp ứng được đầy đủ các yêu cầu trên. Trong thiết kế sử dụng tùy từng điều kiện cụ thể mà trọng nhiều đến yêu cầu này hay yêu cầu khác. Những vật liệu thường dùng gồm:

- a) *Đồng kỹ thuật điện*: đồng nguyên chất thu được bằng điện phân. Nó đáp ứng hầu hết các yêu cầu trên. Nhược điểm chính của đồng kỹ thuật điện là rất dễ bị oxy hóa.
- b) *Đồng cadimi*: đồng kỹ thuật điện pha thêm cadimi có tính chất cơ cao chống mài mòn tốt, khả năng chịu được hồ quang tốt hơn đồng kỹ thuật điện thông thường.
- c) *Bạc*: là vật liệu làm tiếp điểm rất tốt do có độ dẫn điện cao và có điện trở tiếp xúc ổn định. Nhược điểm chủ yếu là chịu hồ quang kém nên sử dụng bị hạn chế.
- d) *Đồng thau*: hợp kim đồng với kẽm được sử dụng làm tiếp điểm dập hồ quang.
- e) *Các hợp kim đồng khác*: hợp kim đồng với nhôm, đồng với mangan, đồng với niken, đồng với silic và các hợp kim đồng khác được sử dụng làm tiếp điểm, đồng thời làm lò xo ép (ví dụ tiếp điểm tĩnh của cầu chì). Những tiếp điểm như vậy khi bị đốt nóng dễ bị mất tính đàn hồi.
- f) *Thép có điện trở suất lớn*: thép thường bị oxy hóa cao nhưng là vật liệu rẻ nên vẫn được sử dụng làm tiếp xúc cố định để dẫn dòng điện lớn, trong các thiết bị thép thường được mạ.
- g) *Nhôm*: có độ dẫn điện cao, rẻ nhưng rất dễ bị oxy hóa làm tăng điện trở suất. Nhược điểm nữa là hàn nhôm rất phức tạp, độ bền cơ lại kém.
- h) *Vonfram và hợp kim vonfram*: có độ mài mòn về điện tốt và chịu được hồ quang tốt nhưng có điện trở tiếp xúc rất lớn. Hợp kim vonfram với vàng sử dụng cho tiếp điểm có dòng nhỏ. Hợp kim với molipden dùng làm tiếp điểm cho những thiết bị điện thường xuyên đóng mở, khi dòng điện lớn thì vonfram và hợp kim vonfram sử dụng để làm tiếp điểm dập hồ quang.
- i) *Vàng và platin*: không bị oxy hóa do đó có điện trở tiếp xúc nhỏ và ổn định, được sử dụng làm tiếp điểm trong thiết bị điện hạ áp có dòng điện bé và quan trọng. Vàng nguyên chất và platin nguyên chất có độ bền cơ thấp nên thường được sử dụng dạng hợp kim với molipden hoặc với iridi để tăng độ bền cơ.
- j) *Than và graphit*: có điện trở tiếp xúc và điện trở suất lớn nhưng chịu được hồ quang rất tốt.

Thường dùng làm các tiếp điểm mà khi làm việc phải chịu tia lửa điện, đôi khi làm tiếp điểm dập hồ quang.

k) *Hợp kim gốm*: hỗn hợp về mặt cơ học của hai vật liệu không nấu chảy mà thu được bằng phương pháp thiêu kết hỗn hợp bột hoặc bằng cách tẩm vật liệu này lên vật liệu kia. Thường vật liệu thứ nhất có tính chất kỹ thuật điện tốt, điện trở suất và điện trở tiếp xúc nhỏ, ít bị oxy hóa. Vật liệu thứ hai có tính chất cơ học cao và chịu được hồ quang. Như vậy, chất lượng kim loại gốm là do tính chất của hỗn hợp quyết định. Kim loại gốm sử dụng rộng rãi nhất thường có gốc bạc như: bạc-niken, bạc-oxit cadimi, bạc-vonfram, bạc-môlipden. Ngoài ra đôi khi người ta sử dụng kim loại gốm có gốc đồng như: đồng-vonfram, đồng-môlipden, đồng cadimi làm tiếp điểm chính và tiếp điểm dập hồ quang.

Chú ý

+Với tiếp xúc cố định thường dùng vật liệu là đồng, nhôm, thép.

+Với tiếp xúc đóng/mở tùy theo dòng dẫn, nếu:

-Dòng điện bé dùng bạc, đồng, platin, vonfram, đôi khi vàng, môlipden, niken.

-Dòng vừa đến lớn dùng đồng thau, kim loại hoặc hợp kim ít nóng chảy như vonfram, molipden,...

-Dòng điện lớn thì thường dùng hợp kim gốm (sản phẩm hai kim loại ở dạng bột ép lại ở áp lực lớn, nhiệt độ cao. Hợp kim gốm rất cứng chịu được dòng lớn, khuyết điểm là độ dẫn điện kém, nên thường được chế tạo dạng tấm mỏng hàn trên bề mặt tiếp điểm của thiết bị).

2. Một số kết cấu tiếp điểm

a) *Phân ra làm các loại theo cấu tạo*

Tiếp xúc cố định có các dạng

-Nối hai thanh tiết diện chữ nhật.

-Nối hai thanh tiết diện tròn (thanh tròn nối với nhau thường trong các thiết bị điện như máy ngắt điện, máy biến dòng,...).

Loại tiếp xúc đóng mở và tiếp xúc trượt phân theo dòng điện

-Dòng bé: $I \leq 10$ [mA].

-Dòng vừa: $I \leq 100$ [A].

-Dòng lớn: $I > 100$ [A].

b) *Tiếp điểm role*

Thường dùng bạc, platin tán hàn gá vào tiếp điểm, kích thước tiếp điểm do dòng điện cho phép quyết định (theo bảng có trong các sổ tay thiết kế).

c) *Tiếp điểm thiết bị điện không chế*

Các thiết bị như công tắc tơ, aptômát và thiết bị cao áp thường có dòng điện lớn. Thì những tiếp điểm chính mắc song song với tiếp điểm hồ quang khi tiếp điểm ở vị trí đóng dòng điện sẽ qua tiếp điểm chính (tiếp điểm) làm việc, khi mở hoặc bắt đầu đóng tiếp điểm hồ quang sẽ chịu hồ quang. Do đó bảo vệ được tiếp điểm làm việc.

Ta thường thấy tiếp điểm có các dạng như hình 2-3.

+*Hình ngón*: dùng trong công tắc tơ, tiếp điểm động vừa trượt vừa lăn trên tiếp điểm tĩnh do vậy có thể tự làm bóc lớp oxit trên bề mặt tiếp xúc.

+*Tiếp điểm bắc cầu*: dùng trong rôle và công tắc tơ.

+*Tiếp điểm đối diện*: dùng ở máy ngắt điện áp cao.

+*Tiếp điểm hoa huệ*: gồm một cánh hình thang giống cánh hoa huệ hay chữ Z, tiếp điểm động là một thanh dẫn tròn.

+*Tiếp điểm vuốt má*: tiếp điểm động kiểu sóng dao có thể trượt giữa hai vuốt tròn (làm tiếp điểm tĩnh) lò xo và dây được nối chặt với vuốt.

+*Tiếp điểm chổi*: tiếp điểm động hình chổi gồm những lá đồng mỏng $0,1 \div 0,2$ mm xếp lại trượt lên sống dao tiếp điểm tĩnh. Để tăng lực ép trên tiếp điểm hình chổi thì thường có thêm bản đàn hồi. Loại này khi chổi bị cháy sẽ làm điện trở tăng nhanh do đó ít dùng làm tiếp điểm hồ quang.

Hình 2-3: Dạng một số tiếp xúc đóng mở: a) Tiếp điểm ngón, b) Tiếp điểm bắc cầu, c) Tiếp điểm kiểu cắm, d) Tiếp điểm kiểu đối diện, e) Tiếp điểm kiểu lưỡi, h) Tiếp điểm kiểu thủy ngân, g) Tiếp điểm kiểu vuốt má

+*Tiếp điểm cắm*: thường được dùng ở cầu dao, cầu chì, dao cách li,... áp lực lên tiếp điểm động khoảng $P = (0,3 \div 0,6) \text{ kg/cm}^2$.

3. Nguyên nhân hư hỏng tiếp xúc và biện pháp khắc phục

a) Nguyên nhân hư hỏng

Nguyên nhân hư hỏng tiếp xúc có rất nhiều, ta xét một số nguyên nhân chính sau:

a.1) Ăn mòn kim loại

Trong thực tế chế tạo dù gia công thế nào thì bề mặt tiếp xúc tiếp điểm vẫn còn những lỗ nhỏ li ti. Trong vận hành hơi nước và các chất có hoạt tính hóa học cao thấm vào và đọng lại trong những lỗ nhỏ đó sẽ gây ra các phản ứng hóa học tạo ra một lớp màng mỏng rất giòn. Khi va chạm trong quá trình đóng cắt lớp màng này dễ bị bong ra. Do đó bề mặt tiếp xúc sẽ bị mòn dần, hiện tượng này gọi là hiện tượng ăn mòn kim loại.

a.2) Oxy hóa

Môi trường xung quanh làm bề mặt tiếp xúc bị oxy hóa tạo thành lớp oxit mỏng trên bề mặt tiếp xúc, điện trở suất của lớp oxit rất lớn nên làm tăng R_{tx} dẫn đến gây phát nóng tiếp điểm. Mức độ gia tăng R_{tx} do bề mặt tiếp xúc bị oxy hóa còn tùy nhiệt độ. Ở $20-30^\circ\text{C}$ có lớp oxit dày khoảng 25.10^{-6}mm . Theo thí nghiệm tiếp điểm đồng để ngoài trời sau một tháng R_{tx} tăng lên khoảng 10%. Ở nhiệt độ lớn hơn 70°C sự oxy hóa rất nhanh. Theo thí nghiệm ở 100°C sau chỉ một giờ R_{tx} của tiếp điểm đồng tăng khoảng 50 lần. Ngoài ra việc luân phiên bị đốt nóng và làm nguội cũng tăng quá trình ôxy hóa.

a.3) Điện thế hóa học của vật liệu tiếp điểm

Mỗi chất có một điện thế hóa học nhất định. Lấy H làm gốc có điện thế âm (-) thì ta có bảng một số kim loại có điện thế hóa học như bảng sau:

Bảng 2.3: Điện thế hóa học của một số kim loại

Kim loại	Ag	Cu	H	Sn	Ni	Co	Fe	Al
Điện thế hóa học [V].	+0.8	+0.345	0	-0.14	- 0.2	-0.255	-0.44	- 1.34

Hai kim loại có điện thế hóa học khác nhau khi tiếp xúc sẽ tạo nên một cặp hiệu điện thế hóa học, giữa chúng có một hiệu điện thế. Nếu bề mặt tiếp xúc có nước xâm nhập sẽ có dòng điện chạy qua, và kim loại có điện thế học âm hơn sẽ bị ăn mòn trước làm nhanh hỏng tiếp điểm.

a.4) Hư hỏng do điện

Thiết bị điện vận hành lâu ngày hoặc không được bảo quản tốt lò xo tiếp điểm bị hoen rỉ yếu đi sẽ không đủ lực ép vào tiếp điểm. Khi có dòng điện chạy qua, tiếp điểm dễ bị phát nóng gây nóng chảy, thậm chí hàn dính vào nhau. Nếu lực ép tiếp điểm quá yếu có thể phát sinh tia lửa làm cháy tiếp điểm. Ngoài ra, tiếp điểm bị bắn, rỉ sẽ tăng điện trở tiếp xúc, gây phát nóng dẫn đến hao mòn nhanh tiếp điểm.

b) Các biện pháp khắc phục

Để bảo vệ tiếp điểm khỏi bị rỉ và để làm giảm nhỏ điện trở tiếp xúc có thể thực hiện các biện pháp sau:

- b.1) *Đối với những tiếp xúc cố định* nên bôi một lớp mỡ chống rỉ hoặc quét sơn chống ẩm.
- b.2) *Khi thiết kế ta nên chọn những vật liệu* có điện thế hóa học giống nhau hoặc gần bằng nhau cho từng cặp.
- b.3) *Nên sử dụng các vật liệu không bị oxy hóa làm tiếp điểm.*
- b.4) *Mạ điện các tiếp điểm:* với tiếp điểm đồng, đồng thau thường được mạ thiếc, mạ bạc, mạ kẽm còn tiếp điểm thép thường được mạ cadini, niken, kẽm,...
- b.5) *Thay lò xo tiếp điểm:* những lò xo đã rỉ, đã yếu làm giảm lực ép sẽ làm tăng điện trở tiếp xúc, cần lau sạch tiếp điểm bằng vải mềm và thay thế lò xo nén khi lực nén còn quá yếu.
- b.6) *Kiểm tra sửa chữa cải tiến:* cải tiến thiết bị dập hồ quang để rút ngắn thời gian dập hồ quang nếu điều kiện cho phép.

4. Tình trạng làm việc của tiếp điểm khi ngắn mạch

Khi có ngắn mạch, nhiệt độ chỗ tiếp xúc tăng cao làm giảm tính đàn hồi và cường độ cơ khí của tiếp điểm. Nhiệt độ cho phép khi ngắn mạch quy định:

-Với đồng, đồng thau: $[\theta] = (200 \div 300)^{\circ}\text{C}$

-Nhôm: $[\theta] = (150 \div 200)^{\circ}\text{C}$

Tùy thời gian ngắn mạch có mật độ dòng điện cho phép khác nhau như bảng 2-4.

Bảng 2.4: Mật độ dòng điện cho phép

Vật liệu tiếp xúc	Mật độ dòng điện cho phép j_{cp} [A/mm ²]		
Thời gian ngắn mạch [s]	1s	5s	10s
Đồng	152	67	48
Đồng thau	75	38	27
Nhôm	89	40	28

Ngoài ra còn tùy tình trạng làm việc của tiếp điểm khi ngắn mạch xảy ra như:

-*Tiếp điểm ở vị trí đóng khi ngắn mạch*

$$\text{Theo công thức kinh nghiệm Butkêvich: } I_m = K \cdot \sqrt{F} \quad (2.7)$$

Với: I_m : dòng điện biên độ làm tiếp điểm nóng chảy hàn dính.

K: hệ số tùy vật liệu làm tiếp điểm và số điểm tiếp xúc.

F: lực nén lên tiếp điểm, $F = (20 \div 50)$ kg.

Hệ số K trong một số trường hợp cụ thể sau:

+ Tiếp điểm chổi đồng, đồng thau: $K = 3000$ đến 4000

+ Tiếp điểm hình ngón bằng đồng: $K = 4100$.

+ Tiếp điểm kiểu cắm đồng, đồng thau: $K = 6000$.

-*Tiếp điểm trong quá trình đóng bị ngắn mạch*

Lúc này sinh lực điện động kéo dài tiếp điểm, tiếp điểm động có tốc độ lớn dễ sinh hiện tượng hàn dính vì có chấn động.

Khi dòng chạy trong vật dẫn từ tiết diện lớn sang tiết diện nhỏ thường bị uốn cong sinh lực điện động theo công thức:

$$F = 1,02 \cdot 10^{-8} \cdot i^2 \ln \frac{D}{d} \quad (2.8)$$

D, d: đường kính tiết diện lớn và nhỏ [cm].

-*Tiếp điểm trong quá trình ngắt bị ngắn mạch*

Phát sinh hồ quang có thể làm cháy tiếp điểm. Tùy kim loại có trị cực tiểu áp và cực tiểu dòng có thể phát sinh hồ quang.

Bảng 2.5: Trị số dòng, áp cực tiểu

Kim loại tiếp điểm	W	Ag	Cu	Al	Fe
$I_{\min}$ [A]	0,8	0,75	0,42	0,5	0,55
$U_{\min}$ [V]	11,5	12	14	12,5	12,5

+*Khi cắt dòng bé*

Nếu $I < I_{\min}$, $U > U_{\min}$: Giữa hai tiếp điểm hình thành một cầu kim loại nóng chảy, cầu bị đứt kim loại sẽ chảy từ anốt sang catốt. Vì vậy tiếp điểm là anốt bị mòn.

Nếu $I \geq I_{\min}$, $U > U_{\min}$: Hình thành các ion đến bắn phá phía catốt, kim loại sẽ chuyển từ catốt sang anốt.

+*Trường hợp cắt dòng trung bình và dòng điện lớn*

Hồ quang lớn cả catốt và anốt đều bị mòn. Cần chú ý tiếp điểm động khi đóng có khi bị hao mòn nhiều hơn khi mở.

Sự hao mòn tỉ lệ với dòng điện, số lần đóng mở và lượng điện tích qua tiếp điểm và thời gian cháy của hồ quang, đó là các hao mòn về điện (do dòng điện gây ra). Ngoài ra còn hao mòn về cơ, thông thường hao mòn về cơ bằng $(1 \div 3)\%$ hao mòn điện.

Chương 3.

PHÁT NÓNG

3.1. ĐẠI CƯƠNG

1. Khái niệm chung

Nhiệt lượng sinh ra do dòng điện chạy qua trong cuộn dây hay vật dẫn điện khi thiết bị điện làm việc sẽ gây phát nóng. Ngoài ra trong thiết bị điện xoay chiều còn do tổn hao dòng xoáy và từ trễ trong lõi sắt từ cũng sinh ra nhiệt. Nếu nhiệt độ phát nóng của thiết bị điện vượt quá trị số cho phép thì thiết bị điện sẽ nhanh bị hư hỏng, vật liệu cách điện nhanh bị già hóa, độ bền cơ khí của kim loại bị giảm sút. Nhiệt độ cho phép của các bộ phận của thiết bị điện tham khảo theo bảng cho sẵn.

Trong tính toán phát nóng thiết bị điện thường dùng khái niệm độ chênh nhiệt τ là hiệu số giữa nhiệt độ phát nóng θ và nhiệt độ môi trường xung quanh thiết bị điện θ_0 . Ở vùng ôn đới cho phép $\tau = 35^\circ\text{C}$, vùng nhiệt đới $\tau = 50^\circ\text{C}$. Sự phát nóng thiết bị điện còn tùy thuộc vào chế độ làm việc. Thiết bị điện có ba chế độ làm việc: dài hạn, ngắn hạn và ngắn hạn lặp lại.

2. Các nguồn nhiệt trong thiết bị điện-Các phương pháp truyền nhiệt

Trong thiết bị điện một chiều sự phát nóng chủ yếu là do tổn hao đồng. Đối với thiết bị điện xoay chiều, sự phát nóng sinh ra chủ yếu là do tổn hao đồng trong dây quấn và tổn hao sắt từ trong lõi thép, ngoài ra còn tổn hao do hiệu ứng bề mặt.

Song song với quá trình phát nóng có quá trình tỏa nhiệt gồm: dẫn nhiệt, bức xạ nhiệt và đối lưu nhiệt.

Quá trình dẫn nhiệt, nhiệt lượng dẫn tính theo công thức

$$dQ = - \lambda \cdot \frac{\partial Q}{\partial X} \cdot dS \cdot dt$$

Trong đó: dQ : nhiệt lượng được dẫn theo phương x.

$$\frac{\partial Q}{\partial X} \text{ : gradient nhiệt lưu theo phương x; } dS \text{ : diện tích nhiệt lưu đi qua, } dt \text{ : thời gian; } \lambda \text{ : hệ$$

số dẫn nhiệt [$\text{W}/^\circ\text{C} \cdot \text{cm}$].

Bức xạ nhiệt: phụ thuộc bề mặt tỏa nhiệt

Đối lưu nhiệt: phân làm đối lưu tự nhiên và đối lưu cưỡng bức, đối lưu phụ thuộc vào vị trí phân bố của vật thể, kích thước bề mặt, tính chất môi trường xung quanh vật và nhiệt độ môi trường.

Nếu xét cả đồng thời ba hình thức trên thì có công thức Niuton sau:

$$P = \alpha \cdot S \cdot \tau \text{ hay } \tau = \frac{P}{S\alpha}$$

Trong đó: P: nhiệt lượng tỏa ra; S: diện tích tỏa nhiệt.

τ : độ chênh nhiệt của vật dẫn với môi trường.

α : hệ số tỏa nhiệt [$\text{N}/^\circ\text{C} \cdot \text{cm}^2$].

Dùng công thức trên rất tiện nhưng sai số cỡ $(15 \div 25)\%$

Hệ số α tra trong tài liệu thiết kế:

+Với cuộn dây truyền nhiệt tốt trong phạm vi nhiệt độ $75^\circ\text{C} \div 120^\circ\text{C}$ hệ số α là:

$$\alpha = 11 \cdot 10^{-4} \text{ đến } 12,98 \cdot 10^{-4} [\text{W}/^\circ\text{C} \cdot \text{cm}^2]$$

+Với cuộn dây truyền nhiệt kém: $\alpha = 9,84 \cdot 10^{-4} \text{ đến } 11,52 \cdot 10^{-4} [\text{W}/^\circ\text{C} \cdot \text{cm}^2]$.

3. Nhiệt độ phát nóng và cấp cách điện

Nhiệt độ môi trường xung quanh quy định cho các nước ở vùng ôn đới $\theta_0 = 35^\circ\text{C}$, nước ở vùng nhiệt đới $\theta_0 = 40^\circ\text{C}$. Nhiệt độ phát nóng chênh lệch $\tau = \theta - \theta_0$ quy định vùng ôn đới thì: $\tau = 35^\circ\text{C}$, vùng nhiệt đới $\tau = 50^\circ\text{C}$.

Cấp cách điện: căn cứ vào khả năng chịu nhiệt độ phát nóng lớn nhất của vật liệu cách điện mà không làm phá hủy tính chất cơ của nó, người ta chia vật liệu cách điện ra các cấp cách điện gồm cấp:

$$A : [T^0] = (90 \div 105)^\circ\text{C}$$

$$E : [T^0] = (105 \div 120)^\circ\text{C}$$

$$B : [T^0] = (120 \div 140)^\circ\text{C}$$

Các bộ phận thiết bị điện quy định

+ Vật liệu không bọc cách điện để xa vật cách điện $[T^0] = 110$.

+ Dây nối tiếp xúc cố định $[T^0] = 75^\circ\text{C}$

+ Tiếp xúc mạ bạc $[T^0] = 120^\circ\text{C}$

+ Vật liệu dẫn điện có bọc cách điện thì:

$$\text{-Cấp O: } [T^0] \leq 80^\circ\text{C}$$

$$\text{-Cấp A: } [T^0] \leq 95^\circ\text{C}$$

$$\text{-Cấp B: } [T^0] \leq 110^\circ\text{C}$$

+ Vật liệu không dẫn điện không bọc cách điện $[T] \leq 110^\circ\text{C}$

Ngoài ra chế độ làm việc khác nhau có nhiệt độ lớn nhất cho phép khác nhau.

3.2. CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC DÀI HẠN CỦA VẬT THỂ ĐỒNG NHẤT

Thiết bị điện làm việc dài hạn tức là thiết bị điện có thể làm việc liên tục lâu dài nhưng thời gian làm việc phải không nhỏ hơn thời gian cần thiết để thiết bị phát nóng đến nhiệt độ ổn định.

Khi có dòng điện I chạy trong vật dẫn sẽ gây ra tổn hao một công suất P và trong thời gian dt sẽ gây ra một nhiệt lượng:

$$P \cdot dt = RI^2 dt \quad (3.1)$$

Nhiệt lượng hao tổn này bao gồm hai phần:

-Đốt nóng vật dẫn $G \cdot C \cdot d\tau$

-Tỏa ra môi trường xung quanh $S \alpha \cdot \tau \cdot dt$.

Ta có phương trình cân bằng nhiệt của quá trình phát nóng:

$$P \cdot dt = G \cdot C \cdot d\tau + S \alpha \cdot \tau \cdot dt \quad (3.2)$$

Trong đó: G là khối lượng vật dẫn $[g]$

C là tỉ nhiệt vật dẫn tỏa nhiệt $[J/g]$.

τ là độ chênh nhiệt $[^\circ\text{C}]$.

α là hệ số tỏa nhiệt $[W/cm^2]$.

Từ (3.2) ta có phương trình :

$$\frac{P}{G \cdot C} = \frac{d\tau}{dt} + \frac{S \cdot \alpha}{G \cdot C} \cdot \tau \quad (3.3)$$

Giải phương trình vi phân (3.3) với điều kiện tại $t = 0$ thì độ chênh nhiệt ban đầu là τ_0 , ta được:

$$\tau = \frac{P}{S \cdot \alpha} \left(1 - e^{-\frac{\alpha S}{GC} t} \right) + \tau_0 e^{-\frac{\alpha S}{GC} t} \quad (3.4)$$

Đặt $T = \frac{G.C}{S.\alpha}$ là hằng số thời gian phát nóng.

$\frac{P}{S.\alpha} = \tau_{\text{od}}$: độ chênh nhiệt ổn định. Ta có:

$$\tau = \tau_{\text{od}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}} \quad (3.5)$$

Khi $t = 0$ mà $\tau_0 = 0$ thì:

$$\tau = \tau_{\text{od}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad (3.6)$$

Khi ngắt dòng điện ($I = 0$), quá trình phát nóng chấm dứt và quá trình nguội lạnh bắt đầu xảy ra, nghĩa là $P.d\tau = 0$, ta có phương trình nguội lạnh:

$$I^2 R.d\tau = 0 \quad (3.7)$$

Và: $G.C.d\tau + S.\alpha + \tau d\tau = 0$ nên có:

$$\frac{d\tau}{d\tau} + \frac{G.C}{S.\alpha} \tau = 0 \quad (3.8)$$

Với điều kiện khi ngắt dòng điện độ chênh lệch nhiệt bằng độ chênh lệch nhiệt ổn định. Giải phương trình vi phân (3.8) ta được biểu thức thể hiện quá trình nguội lạnh:

$$\tau = \tau_{\text{od}} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

Hằng số thời gian phát nóng T là khoảng thời gian cần thiết để đốt nóng vật lên tới độ chênh nhiệt ổn định nếu không có sự tỏa nhiệt ra môi trường xung quanh.

Xác định hằng số T bằng giải tích, ta có: $P d\tau = G.C.d\tau$

$$\frac{d\tau}{d\tau} = \frac{P}{G.C} \text{ thì } \tau = \frac{P}{G.C} \cdot t + \tau_0$$

$$\text{Nếu } \tau_0 = 0 \text{ thì: } \tau = \frac{P}{G.C} \cdot t$$

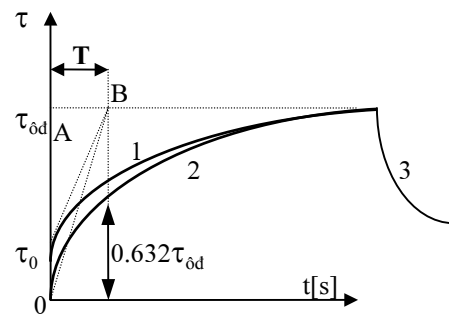
$$\text{Khi } \tau_0 = \tau_{\text{od}} \text{ thì } t = T. \text{ Từ } \tau_{\text{od}} = \frac{P}{G.C} \cdot T \text{ và theo công thức Niuton } \tau_{\text{od}} = \frac{P}{\alpha.S}.$$

$$\text{Ta có: } T = \frac{G.C}{S.\alpha} \quad (3.9)$$

Dùng phương pháp vẽ cũng có thể xác định được giá trị T . Từ gốc tọa độ gốc ta vẽ đường tiếp tuyến với đường cong 1 và đường cong 2. Ta nhận được $\overline{AB} = T$.

$$\left| \frac{d\tau}{d\tau} \right|_{t=0} = \frac{\tau_{\text{od}}}{T} = \text{tg } \alpha = \frac{BC}{AB}$$

Trong đó $BC = \tau_{\text{od}}$ vậy $\overline{AB} = T$. Quá trình phát nóng có tỏa nhiệt ra môi trường xung quanh thì sau thời gian T độ chênh lệch nhiệt chỉ đạt tới giá trị $0,632 \tau_{\text{od}}$.



Hình 3-1: Phát nóng dài hạn

3.4. CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC NGẮN HẠN CỦA VẬT THỂ ĐỒNG NHẤT

Ở chế độ làm việc ngắn hạn độ chênh lệch nhiệt của thiết bị điện sau thời gian làm việc chưa đạt tới trị số ổn định thì thiết bị điện đã ngừng làm việc. Nhiệt độ phát nóng ở chế độ này là nhỏ nhất. Khi ngừng làm việc ($I = 0$) thì quá trình nguội lạnh lại bắt đầu.

Giả sử làm việc dài hạn đường cong phát nóng là đường 1 trong hình 3-2.

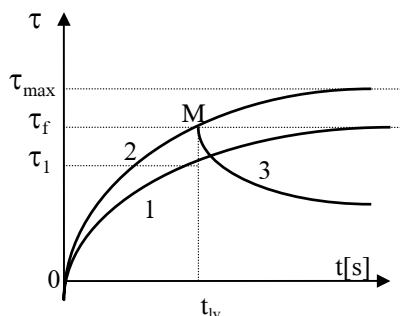
Phụ tải lúc này là P_f :

$$P_f = \alpha S \cdot \tau_f \quad (3.10)$$

Sau thời gian t_{lv} (thời gian làm việc ngắn hạn) độ chênh nhiệt mới đạt tới trị $\tau_1 < \tau_f$ nên thiết bị điện làm việc non tải và chưa lợi dụng hết khả năng chịu nhiệt. Từ đó ta thấy rằng có thể nâng phụ tải lên để sau thời gian làm việc ngắn hạn t_{lv} độ chênh nhiệt vừa đạt tới trị số cho phép τ_f , phụ tải lúc này là P_n :

$$P_n = \alpha S \cdot \tau_{\max} \quad (3.11)$$

Đường cong phát nóng trường hợp này là đường 2. Điểm M trên đường 2 thỏa mãn phương trình độ chênh nhiệt của quá trình phát nóng.



Hình 3-2: Phát nóng khi ngắn hạn

$$\tau_f = \tau_{\max} \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}\right) \quad (3.12)$$

Sau thời gian làm việc t_{lv} dòng điện ngừng chạy vào vật dẫn do đó vật dẫn nguội lạnh theo quy luật như khi làm việc dài hạn (đường 3).

Từ các biểu thức (3.10), (3.11), (3.12) và gọi $K_p = \frac{P_n}{P_f}$ là hệ số quá tải công suất ta rút ra:

$$K_p = \frac{P_n}{P_f} = \frac{\tau_{\max}}{\tau_f} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}} > 1 \quad (3.13)$$

Vì công suất tỉ lệ với bình phương dòng điện nên:

$$K_I = \frac{I_n}{I_f} = \sqrt{K_p} = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}}} \quad (3.14)$$

K_I : hệ số quá tải về dòng điện.

Ví dụ: Một thiết bị điện có $T = 180s$ nếu làm việc dài hạn thì dòng điện cho phép $I_f = 100 A$ nhưng nếu làm việc ngắn hạn trong thời gian $t_{lv} = 5 s$ thì có thể tăng dòng điện lên bao nhiêu ?.

Giải:

$$K_I = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}}} = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-\frac{5}{180}}}} = 6$$

Vậy dòng cho phép lớn nhất là: $I_n = K_I \cdot I_f = 6 \cdot 100 = 600 [A]$.

3.4. CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC NGẮN HẠN LẶP LẠI CỦA VẬT THỂ ĐỒNG NHẤT

Đây là chế độ mà thiết bị điện làm việc trong một thời gian t_{lv} mà nhiệt độ phát nóng chưa đạt tới bão hòa và sau đó nghỉ một thời gian t_{ng} mà nhiệt độ chưa giảm về nhiệt độ ban đầu rồi lại tiếp tục làm việc và nghỉ xen kẽ. Quá trình làm việc và nghỉ cứ lặp lại tuần hoàn như vậy. Để thể hiện mức độ làm việc lặp, người ta dùng khái niệm hệ số làm việc (còn gọi hệ số đóng điện):

$$\text{ĐL}\% = \frac{t_{lv}}{t_{lv} + t_{ng}} \cdot 100\% \quad (3.15)$$

Trong thực tế ĐL% thường bằng 25%, 40%, 60%. Trong chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại, nhiệt độ phát nóng nhỏ hơn chế độ làm việc dài hạn nhưng lớn hơn ở chế độ ngắn hạn. Tổng thời gian làm việc t_{lv} và thời gian nghỉ t_{ng} gọi là thời gian chu kỳ t_{ck} .

$$t_{ck} = t_{lv} + t_{ng}$$

Ta giả thiết tại thời điểm ban đầu độ chênh nhiệt độ của vật dẫn là τ_0 sau thời gian làm việc t_{lv} vật dẫn được đốt nóng đến độ chênh nhiệt độ là:

$$\tau_1 = \tau_{\text{đd}} \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{t_{lv}}{T}} \quad (3.16)$$

Sau thời gian nghỉ t_{ng} vật dẫn nguội xuống nhiệt độ:

$$\tau_2 = \tau_1 e^{-\frac{t_{ng}}{T}} \quad (3.17)$$

Chu kỳ tiếp theo vật dẫn lại bị đốt nóng tới độ chênh nhiệt độ:

$$\tau_3 = \tau_{\text{đd}} \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}\right) + \tau_2 e^{-\frac{t_{lv}}{T}} \quad (3.18)$$

Sau một số chu kỳ nhiệt độ chênh lệch nhiệt độ đạt đến độ chênh nhiệt độ cực đại τ_{max} và độ chênh lệch nhiệt độ cực tiểu τ_{min} không thay đổi, ta gọi là thời kỳ ổn định. Tương tự như trên, ta viết:

$$\text{Quá trình phát nóng } \tau_{\text{max}} = \tau_{\text{đd}} \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}\right) + \tau_{\text{min}} e^{-\frac{t_{lv}}{T}} \quad (3.19)$$

$$\text{Quá trình nguội lạnh: } \tau_{\text{min}} = \tau_{\text{max}} \cdot e^{-\frac{t_{ng}}{T}} \quad (3.20)$$

Giải hai phương trình này ta được:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{\tau_{\text{đd}} \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}\right)}{1 - e^{-\frac{t_{lv} + t_{ng}}{T}}} \quad (3.21)$$

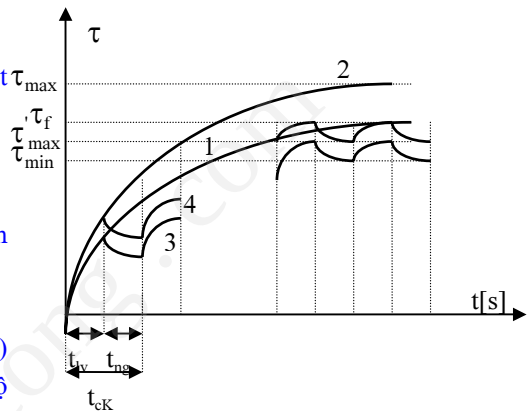
Với: $\tau_{\text{đd}}$: độ chênh nhiệt độ ổn định bằng độ chênh nhiệt cho phép $\tau_f [^{\circ}\text{C}]$.

τ_{max} : độ chênh nhiệt độ lớn nhất khi làm việc ngắn hạn lặp lại $[^{\circ}\text{C}]$.

Có: $\tau_{\text{max}} < \tau_f = \tau_{\text{đd}}$ nên có thể cho tăng tải thêm lên để làm việc như ở đường cong phát nóng 2 (ứng với $\tau_{nl} > \tau_f$) hình 3-3, để sau thời gian làm việc $\tau = \tau_f$.

Ta có:

$$\tau_f = \tau_{nl} \frac{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_{lv} + t_{ng}}{T}}} \quad (3.22)$$



Hình 3-3: Phát nóng khi ngắn hạn lặp lại

$$\text{Hệ số quá tải công suất: } K_p = \frac{\tau_{nl}}{\tau_{cf}} = \frac{1 - e^{-\frac{t_{ck}}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}} \quad (3.23)$$

Hệ số quá tải dòng điện:

$$K_I = \frac{I_{nl}}{I_f} = \sqrt{K_p} = \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t_{ck}}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}}} \quad (3.24)$$

Hình 3-3 so sánh đặc tính phát nóng khi làm việc trong chế độ ngắn hạn lặp lại (đường 3) với đặc tính phát nóng khi làm việc dài hạn (đường 1) ta thấy khi làm việc ngắn hạn lặp lại có thể tăng thêm phụ tải (đường 4).

3.5. SỰ PHÁT NÓNG KHI NGẮN MẠCH

Thời gian xảy ra ngắn mạch rất ngắn nên nhiệt độ cung cấp cho vật thể hoàn toàn dùng để đốt nóng vật dẫn và gần đúng ta coi không có nhiệt lượng tỏa ra môi trường xung quanh. Trong thời gian dt dòng điện ngắn mạch sinh ra nhiệt lượng là:

$$dQ = K_m^2 \cdot I^2 \cdot R \cdot dt = K_m^2 \cdot I^2 \cdot \rho \frac{l}{S} \cdot dt \quad (3.25)$$

Trong đó: $K_m = \frac{I_{nm}}{I}$, với I_{nm} là trị số dòng ngắn mạch qua vật dẫn; I là dòng điện định mức qua vật dẫn; S là tiết diện vật thể.

Toàn bộ nhiệt lượng do dòng điện ngắn mạch sinh ra dùng để đốt nóng vật dẫn lên độ chênh nhiệt độ là $d\tau_{nm}$. Ta có phương trình:

$$dQ = C \cdot G \cdot d\tau_{nm} = C \cdot S \cdot l \cdot \gamma \cdot d\tau_{nm} \quad (3.26)$$

Với γ là khối lượng riêng của vật dẫn. C là nhiệt dung riêng của vật dẫn.

So sánh biểu thức (3.25) và (3.26) ta có: $d\tau_{nm} = \frac{\rho}{\gamma \cdot c} K_m^2 \left(\frac{I}{S} \right)^2 \cdot dt$.

Lấy tích phân ta được:

$$\tau_{nm} = \frac{\rho \cdot K_m^2}{\gamma \cdot c} \cdot \int_0^t \left(\frac{I}{S} \right)^2 \cdot dt \quad (3.27)$$

$$\text{- Khi } I = \text{const thì: } \int_0^t \left(\frac{I}{S} \right)^2 dt = \left(\frac{I}{S} \right)^2 t = J^2 t. \text{ Có: } \tau_{nm} = \frac{\rho \cdot K_m^2}{\gamma \cdot c} J^2 t \quad (3.28)$$

Nếu độ chênh nhiệt lúc bắt đầu ngắn mạch là $\tau_{\text{ôđ}}$ thì khi kết thúc ngắn mạch độ chênh nhiệt sẽ là: $\tau_{nm} = \tau_{\text{ôđ}} + \tau_{nm}$. Trong thực tế ρ , C thay đổi theo nhiệt độ: $C = C_0 [1 + b_0 (\tau_{\text{ôđ}} + \tau_{nm})]$,

$\rho = \rho_0 [1 + \alpha_0 (\tau_{\text{ôđ}} + \tau_{nm})]$. Trong đó: C_0 : nhiệt dung riêng khi $\tau = 0$; b_0 : hệ số nhiệt độ tỉ nhiệt.

ρ_0 : điện trở suất khi $\tau = 0$; α_0 : hệ số nhiệt điện trở. Thay vào (3.28) ta được:

$$\tau_{nm} = \frac{K_m^2}{\gamma} \frac{\rho_0 [1 + \alpha_0 (\tau_{\text{ôđ}} + \tau_{nm})]}{c_0 [1 + b_0 (\tau_{\text{ôđ}} + \tau_{nm})]} \left(\frac{I}{S} \right)^2 \cdot dt \quad (3.29)$$

Chương 4.

LỰC ĐIỆN ĐỘNG

4.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Một vật dẫn đặt trong từ trường, có dòng điện I chạy qua sẽ chịu tác động của một lực. Lực cơ học này có xu hướng làm biến dạng hoặc chuyển dời vật dẫn để từ thông xuyên qua nó là lớn nhất. Lực chuyển dời đó gọi là lực điện động. Chiều của lực điện động được xác định theo quy tắc bàn tay trái.

Ở trạng thái làm việc bình thường, thiết bị điện được chế tạo để lực điện động không làm ảnh hưởng gì đến độ bền vững kết cấu. Khi ngắn mạch dòng tăng lên rất lớn (có lúc tới hàng chục lần I_{dm}) do đó lực điện động sẽ rất lớn. Trong một số trường hợp dòng lớn, lực có thể tới hàng chục tấn. Lực làm biến dạng đôi khi có thể làm phá vỡ kết cấu thiết bị. Do đó cần phải nghiên cứu lực điện động để ngăn ngừa tác hại của nó khi lựa chọn, tính toán và thiết kế thiết bị điện.

Ngoài ra người ta còn nghiên cứu ứng dụng lực điện động để chế tạo các thiết bị điện như rôle điện động, cơ cấu đo điện động,...

4.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN LỰC ĐIỆN ĐỘNG

1. Phương pháp sử dụng định luật Bio-Xavar-Laplax

Theo quan điểm của phương pháp này lực điện động là kết quả tương tác lẫn nhau của dây dẫn l mang dòng điện I và từ trường do dây dẫn khác tạo nên.

- Lực điện động tác dụng lên chiều dài Δl khi có dòng điện I đặt trong từ trường có từ cảm $\vec{B}$ là:

$$\Delta \vec{F} = I \Delta \vec{l} \times \vec{B} \quad \text{hay} \quad |\Delta \vec{F}| = I \cdot B \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha$$

Với góc α là góc hợp bởi $\Delta \vec{l}$ và $\vec{B}$ ($\Delta \vec{l}$ cùng chiều $\vec{I}$).

α là góc xác định theo chiều quay nhỏ nhất.

- Dạng vi phân là $d\vec{F} = I \cdot d\vec{l} \times \vec{B}$

$$|d\vec{F}| = I \cdot B \cdot dl \cdot \sin \alpha \quad (4-1)$$

Có: $d\vec{l}$ trùng chiều dòng điện i .

Từ đó ta có lực điện động:

$$|\vec{F}| = \int_0^l |d\vec{F}| = \int_0^l I \cdot B \cdot dl \sin \alpha = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (4-2)$$

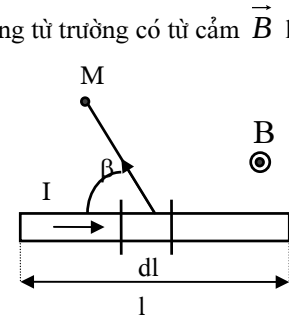
- Nếu hai dây dẫn cùng trong một mặt phẳng $\alpha = 90^\circ$ thì $F = \int_0^l I B dl = I \cdot B \cdot l$.

Muốn xác định được F ta phải tìm được quan hệ $B = B(l)$, cảm ứng từ phụ thuộc kích thước dây dẫn.

- Theo **Bio-Xavar-Laplax** thì cường độ từ cảm tại một điểm $M \in \vec{B}$ có trị số là:

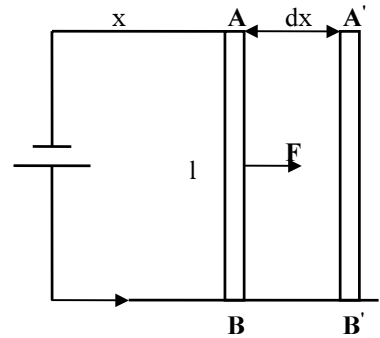
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{d\vec{l} \times \vec{r}_0}{r^2}, \quad \text{hay} \quad |\vec{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{dl \cdot \sin \beta}{r^2} \quad (4-3)$$

Trong đó:



Hình 4-1: Lực điện động

$\vec{r_0}$ là vectơ đơn vị chọn từ dl đến M có $|\vec{r_0}| = 1$
 r : là khoảng cách từ dl đến M.
 β : góc hợp bởi $\vec{dl}$ và $\vec{r_0}$
 $\vec{B}$: véc tơ cảm ứng từ thẳng góc với mặt phẳng
do $\vec{dl}$ và $\vec{r_0}$ tạo lên.



Hình 4-2: Lực tác dụng vào thanh dẫn.

2. Phương pháp cân bằng năng lượng

Xét một dây dẫn có dòng điện chạy qua như hình 4-2. Khi dây dẫn dịch chuyển theo hướng x một đoạn dx thì lực điện động được xác định bởi :

$$dw = F \cdot dx \Rightarrow F = \frac{dw}{dx} \quad (4-4)$$

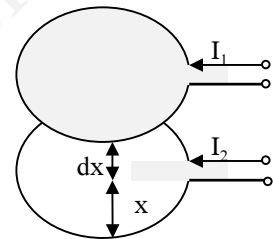
Trong đó:

+ dw : độ biến thiên năng lượng từ trường của vật dẫn mang dòng điện khi di chuyển một đoạn dx.

+ x : phương chuyển dời có thể có của dây dẫn dưới tác dụng của lực F.

+ Chiều $\vec{F}$ trùng với chiều dx.

Ví dụ: xét hệ hai vật dẫn mang hai dòng điện i_1 ; i_2 như hình 4-3 đặt song song cách nhau một khoảng x. Năng lượng từ trường của hệ là:



Hình 4-3: Lực giữa hai vòng dây

$$W_M = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M i_1 i_2 \text{ và lực tác dụng là :}$$

$$F = \frac{dw_M}{dx} = \frac{d\left(\frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M i_1 i_2\right)}{dx}$$

Ta có lực tác dụng riêng rẽ sẽ là :

$$\begin{cases} F_1 = \frac{1}{2} i_1^2 \cdot \frac{dL_1}{dx} [\text{J / cm}] \\ F_2 = \frac{1}{2} i_2^2 \cdot \frac{dL_2}{dx} [\text{J / cm}] \end{cases}$$

Khi vật thể biến dạng hoặc chuyển dời ta giả thiết các dòng điện bằng hằng số. Theo phương pháp này muốn tính lực ta phải biết được biểu thức toán học của hệ số tự cảm L và hồ cảm M theo x. Các phương pháp tính L và M nêu trong giáo trình lí thuyết trường điện từ.

4.3. TÍNH LỰC ĐIỆN ĐỘNG TÁC DỤNG LÊN VẬT DẪN

1. Ứng dụng phương pháp cân bằng năng lượng

Ta xét lực điện động trong một số trường hợp vật dẫn đồng nhất nằm trong từ trường đều. Các trường hợp khác có thể tham khảo tài liệu chuyên ngành chế tạo thiết bị.

a) Lực điện động tác dụng lên một vòng dây có dòng i nằm trong một từ trường

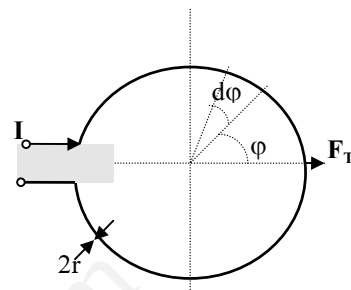
Giả thiết bán kính vòng dây R , bán kính dây dẫn r (hình 4-4). Lực điện động có xu hướng kéo căng vòng dây dẫn bung ra. Giả thiết lực phân bố đều trên chu vi vòng dây. Gọi f_R là lực tác dụng lên một đơn vị dài chu vi theo hướng kính, lực tác dụng tổng: $F = 2\pi.R.f_R = \frac{1}{2}I^2 \cdot \frac{dL}{dR}$ (4-6)

Theo Kiết khớp có: $L = \mu_0 R \left(\ln \frac{8R}{r} - 1,75 \right)$.

Và ta giả thiết $\frac{2r}{R} \ll 1$ thay vào biểu thức (4-6) ta có:

$$F = \frac{1}{2} \mu_0 I^2 \left(\ln \frac{8R}{r} - 0,75 \right) \quad \text{biết } \mu_0 = 0,4 \cdot \pi \cdot 10^{-8} \left[\frac{H}{m} \right]$$

$$\text{Vậy } F = 2,04 \cdot \pi \cdot 10^{-8} \cdot I^2 \left(\ln \frac{8R}{r} - 0,75 \right) \quad [kg] \quad (4-7)$$



Để tính độ bền cơ khí vòng dây, ta phải xác định lực có xu hướng kéo đứt vòng dây theo hướng kính (là tích phân hình chiếu các lực hướng kính tác dụng lên 1/4 vòng dây) là :

$$F_R = \int_0^{\frac{\pi}{2}} f_R \cdot R \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi = f_R \cdot R = 10^{-7} \cdot I^2 \left(\ln \frac{8R}{r} - 0,75 \right) \quad N$$

* Trong trường hợp cuộn dây có W vòng, thay IW cho I , ta có :

$$F_R = 10^{-7} \cdot (WI)^2 \left(\ln \frac{8R}{r} - 0,75 \right) [N] = 1,02 \cdot 10^{-8} \cdot (WI)^2 \left(\ln \frac{8R}{r} - 0,75 \right) [kg]. \quad (4.9)$$

Chú ý: $1[N] = 0,102 [kg]$ và $1[J/cm] = 10,2 [kg]$.

b) Tính lực điện động giữa hai dây dẫn tiết diện tròn đặt song song mang dòng i

Ta sử dụng phương pháp cân bằng năng lượng với giả thiết hai dây dẫn có bán kính r đặt song song cách nhau khoảng a .

Ta biết theo lý thuyết trường đối với dây dẫn như trên thì hệ số tự cảm là :

$$L = \frac{\mu_0 \cdot l}{2\pi} \left(\frac{1}{2} + 2 \cdot \ln \frac{a-r}{r} \right)$$

Với: l là chiều dài của dây dẫn.

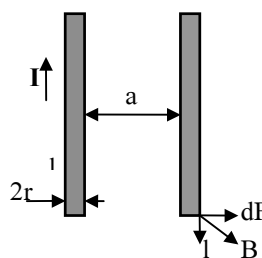
Lực tác dụng vào từng thanh dẫn được tính:

$$F = \frac{dW_M}{da} = \frac{I^2 \cdot dl}{2da} = 0,2 \cdot 10^{-8} \cdot I^2 \cdot \frac{l}{a-r} [J/cm]. \quad (4.10)$$

Nếu có $a \gg r$ thì:

$$F = 2,04 \cdot 10^{-8} \cdot I^2 \cdot \frac{l}{a} [kg] \quad (4.11)$$

Nếu dòng trong hai dây cùng chiều thì hai dây dẫn sẽ hút nhau và ngược chiều thì đẩy nhau.



Hình 4-5: Hai thanh đặt song song

2. Ứng dụng định luật Bio-Xavar-Laplax

a) Lực điện động tác dụng lên hai dây dẫn đặt trong cùng một mặt phẳng

Trên hình 4-6 là hai dây dẫn l_1 và l_2 cùng đặt trong một mặt phẳng. Dây dẫn l_1 mang dòng I_1 dây dẫn l_2 mang dòng I_2 .

Ta tìm sự phân bố lực lên dây dẫn l_2 .

Ta chọn trục tung oy trùng với dây l_1 (chọn hệ trục hình 4-6). Dòng I_1 ở đơn vị dy trong dây l_1 tạo ra ở đoạn dl có cường độ từ cảm là :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I_1 \frac{d\vec{y} \times \vec{r}_0}{r^2} \quad \text{hay:}$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I_1 dy \frac{\sin(\pi - \alpha)}{r^2}$$

Vì có: $\sin(\pi - \alpha) = \sin \alpha$ nên:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I_1 dy \frac{\sin \alpha}{r^2}$$

Lực tác dụng lên đoạn dl_2 do $I_1 dy$ gây ra là:

$$d\vec{F} = I_2 \cdot d\vec{l}_2 \times d\vec{B}$$

Hay:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I_1 I_2 dy \cdot dl_2 \frac{\sin \alpha}{r^2} \cdot \sin 90^\circ$$

Từ hình 4-6 ta có :

$$y = \cot \alpha; dy = \frac{-x}{\sin^2 \alpha} d\alpha; r = \frac{x}{\sin \alpha}$$

Vậy:

$$dF = \frac{\mu_0 \cdot I_1 I_2}{4\pi \cdot x} \cdot dl_2 \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha \quad (4.12)$$

Lực tác dụng lên đoạn dl_2 ở vị trí x trên do dòng I_1 chạy trong l_1 gây ra là :

$$dF_x = -\frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{4\pi \cdot x} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha \cdot d\alpha \quad (4.13)$$

Lực tác dụng lên một đơn vị dài của dây l_2 tại vị trí x_i do $\vec{I}_1$ trong l_1 gây lên là :

$$F_{x_i} = \frac{dF_{x_i}}{dl_2} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{4\pi} \cdot \frac{\cos \alpha_{2i} - \cos \alpha_{1i}}{x_i} \quad (4.14)$$

Chú ý : khi chọn các điểm tính x dọc chiều dài l_2 góc α và độ dài x biến thiên dẫn đến các lực F_x biến thiên không đều dọc chiều dài l_2 của dây 2.

Điểm tác dụng của lực tổng F sẽ qua trọng tâm dây l_2 .

Bằng phương pháp vẽ ta có thể biết sự phân bố của lực dọc chiều dài dây l_2 .

b) *Lực điện động giữa hai dây dẫn đặt song song trong đó một dây dài vô tận*

Hình 4-7, xét khi dây $l_1 = \infty$; dây $l_2 = l$ khoảng cách giữa hai dây $x = a$. Áp dụng biểu thức (4.14)

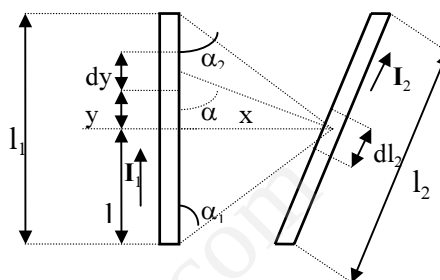
ta thay $\alpha_1 = \pi$; $\alpha_2 = 0$; $x = a$ vào ta có : $F_{xi} = \frac{2\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{4\pi \cdot a} = \text{const}$

Lực điện động tác dụng lên dây dẫn l_2 là :

$$F_2 = \frac{2\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{4\pi} \cdot \frac{l}{a} \quad (4.14)$$

$$\text{và có } F_2 = 0,2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-8} [\text{J/cm}] \text{ hay } F_2 = 2,04 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-8} [\text{kg}].$$

c) *Lực điện động giữa hai dây dẫn song song có chiều dài bằng nhau*



Hình 4-6: Hai thanh trong cùng mặt phẳng

Áp dụng công thức (4.12) ở phần trước và thay $x = a$; $dl_2 = dy$ ta có :

$$dF = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{4\pi \cdot a} \cdot dy (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (4-15)$$

Trên hình 4-7 có : $\cos \alpha_2 = \frac{l-y}{\sqrt{(l-y)^2 + a^2}}$, còn $\cos \alpha_1 = -\cos(\pi - \alpha_1) = -\frac{y}{\sqrt{y^2 + a^2}}$

$$\text{Vậy : } F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{4\pi \cdot a} \left[\int_0^l \frac{(l-y)dy}{\sqrt{(l-y)^2 + a^2}} + \int_0^l \frac{ydy}{\sqrt{y^2 + a^2}} \right] \quad (4-16)$$

Tính từng tích phân riêng rẽ có :

$$A = \int_0^l \frac{ydy}{\sqrt{y^2 + a^2}}$$

Nếu đặt $z^2 = y^2 + a^2 \Rightarrow 2zdz = 2ydy$ và:

+ khi $y = 0$ thì $z = a$

+ khi $y = l$ thì $z = \sqrt{l^2 + a^2}$

đổi cận ta có :

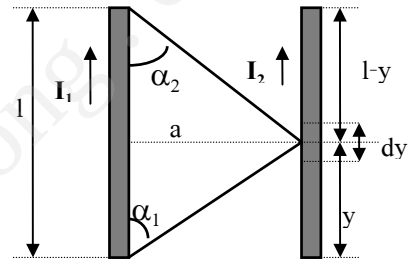
$$A = \int_0^l \frac{ydy}{\sqrt{y^2 + a^2}} = \frac{\sqrt{l^2 + a^2}}{a} \int_a^{\sqrt{l^2 + a^2}} \frac{dz}{z} = \sqrt{a^2 + l^2} - a.$$

$$B = \int_0^l \frac{(l-y)dy}{\sqrt{(l-y)^2 + a^2}} \text{ tương tự đặt } u = l - y;$$

$$du = -dy \Rightarrow \begin{cases} \text{khi } y = 0 \rightarrow u = l \\ \text{khi } y = l \rightarrow u = 0 \end{cases}$$

Đổi cận ta có:

$$\int_0^l \frac{(l-y)dy}{\sqrt{(l-y)^2 + a^2}} = -\int_l^0 \frac{udu}{\sqrt{u^2 + a^2}} = \sqrt{l^2 + a^2} - a$$



Hình 4-7: Hai thanh song song

$$\text{Từ đó thay vào (4.16) ta có : } F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{4\pi \cdot a} \cdot 2 \left(\sqrt{a^2 + l^2} - a \right) = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\sqrt{1 + \frac{a^2}{l^2}} - \frac{a}{l} \right]$$

đặt $\varphi\left(\frac{a}{l}\right) = \sqrt{1 + \frac{a^2}{l^2}} - \frac{a}{l}$ hay còn gọi hàm hiệu chỉnh khi $l \gg a$ thì $\varphi\left(\frac{a}{l}\right) \approx 1$ có:

$$F = 0,2 I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{l}{a} \cdot \varphi\left(\frac{a}{l}\right) \cdot 10^{-8} [J/cm] \text{ hay : } F = 2,04 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{l}{a} \cdot \varphi\left(\frac{a}{l}\right) \cdot 10^{-8} [kg]$$

Khi hai thanh dẫn có tiết diện chữ nhật với kích thước rộng b , cao h và dài l

+ Nếu có $b \leq h$, $b \leq a$ thì :

$$F = 0,2 I_1 I_2 l \cdot \frac{1}{h^2} \left[\frac{2h}{a} \arctg \frac{h}{a} - \ln \left(1 + \frac{h^2}{a^2} \right) \right] \cdot 10^{-8} [J/cm]. \text{ Có thể viết dưới dạng :}$$

$$F = 0,2.I_1 I_2 \frac{1}{a} \cdot 10^{-8} \varphi(f) \quad [J/cm] \text{ hay } F = 2,04.I_1 I_2 \frac{1}{a} \cdot 10^{-8} \varphi(f) \quad [kg]$$

có $\varphi(f)$ gọi là hàm Dwight phụ thuộc theo $\frac{h}{a}$; $\frac{a-b}{h+b}$

+ Nếu $h \ll a$; $h/b \ll 1$ thì:

$$F = 2,04.I_1 I_2 \frac{1}{a} \cdot 10^{-8} \varphi(f) \quad [kg]$$

$$\text{Trong đó: } \varphi(f) = \frac{a^2}{b^2} \left[\left(1 + \frac{a}{b}\right) + \left(1 - \frac{b}{a}\right) \cdot \ln\left(1 - \frac{b}{a}\right) \right].$$

4.4. LỰC ĐIỆN ĐỘNG TRONG MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU

1. Mạch xoay chiều một pha

Xét hai dây dẫn song song có hai dòng điện i_1, i_2 cùng pha (hoặc lệch một góc π) giả thiết $i_1 = i_2 = I_m \sin \omega t = I \sqrt{2} \sin \omega t = i$

Lực điện động $F = C \cdot i^2$, với C là hằng số:

$$F = C I_m^2 \cdot \sin^2 \omega t = C I_m^2 \cdot \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} = \frac{C I_m^2}{2} - \frac{C I_m^2 \cdot \cos 2\omega t}{2} = F_1 + F_2$$

Trong đó:

$$F_1 = \frac{C I_m^2}{2} \text{ là thành phần không đổi.}$$

$$F_2 = -\frac{C I_m^2 \cdot \cos 2\omega t}{2} = -F_1 \cos 2\omega t \text{ là}$$

thành phần lực thay đổi.

Ta biểu diễn như hình 4-8:

Lực F biến thiên khoảng từ 0 đến $C I_m^2$.

$$\text{- Lực trung bình } F_{tb} = \frac{C I_m^2}{2} = C I^2$$

$$\text{Khi xảy ra ngắn mạch lực } F \text{ rất lớn, dòng điện } i = \sqrt{2} \cdot I \left(e^{-\frac{t}{T}} - \cos \omega t \right)$$

Đặt $\lambda = \frac{1}{T}$ là hệ số cản của dòng

không tuần hoàn, phụ thuộc vào máy phát điện và các thông số của mạch điện. Theo thí nghiệm có $\lambda = 22$, ta có lực điện động là:

$$F = C i^2 = 2 C I^2 (e^{-\lambda t} - \cos \omega t)^2$$

Tức là trong mạch gồm hai thành phần là thành phần biến đổi tuần hoàn và thành phần không tuần hoàn. Sau một số

Hình 4-8: Lực điện động trong mạch một pha

Hình 4-9: Lực điện động khi ngắn mạch

chu kì (nT) thành phần không tuần hoàn suy giảm về 0, do đó lực ổn định (một số nửa chu kì đỉnh nhọn thấp dần, một số nửa cao dần đến bằng nhau và ổn định như hình 4-9).

Theo thí nghiệm sau $\omega t = \pi$ thì có i đạt cực đại $i_{\max} = 1,8\sqrt{2} I$ và lực:
 $F_{\max} = CI^2 = C.6,48I^2$.

2. Lực điện động trong mạch xoay chiều ba pha

Giả sử dòng điện trong các pha A, B, C lần lượt là :

$$\begin{cases} i_1 = I\sqrt{2} \cdot \sin \omega t \\ i_2 = I\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ i_3 = I\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{cases}$$

a) Khi bố trí ba dây trên một mặt phẳng (hình 4-10a)

Gọi C_1 hằng số lực giữa dây A và B, C_2 dây B và C, C_3 dây A và C. Ta có:

+ Lực tác dụng lên dây pha A là:

$$F = C_1 i_1 i_2 + C_3 i_1 i_3$$

$$= 2I^2 \left[C_1 \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + C_3 \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \right]$$

Chọn chiều tăng theo thời gian t: dấu (+) với lực kéo về hai dây kia và (-) với lực đẩy ra. Tiến hành thay số ta tính toán và tìm được các trị số lực đẩy và lực kéo cực đại của pha A

$$\text{là: } F_{k1} = \frac{I^2}{2} \left[2\sqrt{C_1^2 + C_3^2} - C_1 C_3 - (C_1 + C_3) \right].$$

Chọn $\sin 2\omega t$ và $\cos 2\omega t$ dấu (-) lực ngược lại là lực đẩy nhau:

$$F_{d1} = -\frac{I^2}{2} \left[2\sqrt{C_1^2 + C_3^2} - C_1 C_3 + (C_1 + C_3) \right].$$

+ Với dây pha C giống dây A.

+ Dây pha B : tương tự ta có F_{k2} và F_{d2} là :

$$F_{k2} = \frac{I^2}{2} \left[2\sqrt{C_1^2 + C_2^2} + C_1 C_2 - (C_1 - C_2) \right].$$

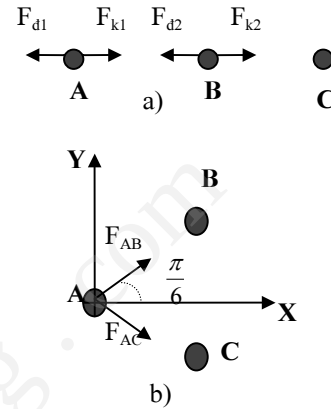
$$F_{d2} = -\frac{I^2}{2} \left[2\sqrt{C_1^2 + C_2^2} + C_1 C_2 - (C_1 - C_2) \right].$$

$$\text{Nếu chọn } C_1 = C_2, C_3 = 0,5C_1 \text{ thì ta có pha A: } \begin{cases} F_{k1} = 0,115.C_1 I^2 \\ F_{d1} = -1,615.C_1 I^2 \end{cases}$$

Có nghĩa là ở pha A lực đẩy gấp khoảng 14 lần lực kéo. Còn ở pha B thì:

$$\begin{cases} F_{k2} = 1,73C_1 I^2 \\ F_{d2} = -1,73C_1 I^2 \end{cases}$$

b) Trường hợp ba dây dẫn bố trí trên ba đỉnh tam giác đều



Hình 4-10: Lực điện động trong mạch xoay chiều ba pha

Ta giả thiết lần lượt ba dòng điện i_1, i_2, i_3 cho ở trên đi vào dây dẫn các pha A, B, C được bố trí trên ba đỉnh tam giác đều như hình 4-10b.

Ta có hệ số $C_1=C_2=C_3=C$

+ Lực tác dụng lên dây pha A sau khi thay số và tính toán ta được:

$$F = \frac{\sqrt{3}}{2} CI^2 \sqrt{2 - 2 \cos 2\omega t} = \sqrt{3} I^2 C \sin \omega t$$

+ Lực tác dụng lên dây B và dây C tương tự như dây A chỉ có góc pha thay đổi.

3. Lực điện động trong ba pha khi ngắn mạch

Dòng trong các pha khi ngắn mạch là :

$$\begin{cases} i_1 = \sqrt{2}I \left[e^{-\lambda t} \cos \varphi - \cos(\omega t + \varphi) \right] \\ i_2 = \sqrt{2}I \left[e^{-\lambda t} \cos\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) - \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \right] \\ i_3 = \sqrt{2}I \left[e^{-\lambda t} \cos\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) - \cos\left(\omega t + \varphi + \frac{2\pi}{3}\right) \right] \end{cases}$$

Trong đó :

φ : góc pha của dòng điện trong pha thứ nhất khi bắt đầu xảy ra sự cố; λ : hệ số cản. Nếu giả thiết không xét đến thành phần không tuần hoàn với $e^{-\lambda t} = 1$ ta có :

+ Lực tác động dây A là : $F = C_1 i_1 i_2 + C_3 i_1 i_3$

+ Lực tác dụng lên dây B là : $F = C_1 i_1 i_2 + C_2 i_2 i_3$

Khi xét ba dây cùng nằm trong một mặt phẳng, lực điện động không chỉ phụ thuộc thời gian t mà phụ thuộc cả thời điểm xảy ra ngắn mạch φ .

Xét : +) Khi $\varphi = -15^\circ$ mà xảy ra ngắn mạch thì $F_{d1} = -\sqrt{3} C_1 2I^2 \sin^2 \frac{\omega t}{2} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} - \cos \omega t \right]$

$$\text{Nếu } \omega t = \pi \text{ thì } \begin{cases} F_{d1\max} = -6,46 C_1 I^2 \\ F_{k1} = 0 \end{cases}$$

+) Khi $\varphi = 75^\circ$ mà ngắn mạch thì $F_{k1} = -\sqrt{3} C_1 2I^2 \sin^2 \frac{\omega t}{2} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} + \cos \omega t \right]$

$$\omega t = \pi \text{ thì } F_{k1\max} = 0,16 C_1 I^2, F_{d1\max} = -1,5 C_1 I^2.$$

4.5. CỘNG HƯỞNG CƠ KHÍ VÀ ỔN ĐỊNH LỰC ĐIỆN ĐỘNG THIẾT BỊ ĐIỆN

1. Cộng hưởng cơ khí

Khi dòng điện xoay chiều đi qua thanh dẫn (thanh cái) lực điện động sẽ gây chấn động và có thể phát sinh hiện tượng cộng hưởng cơ khí.

Điều kiện tránh cộng hưởng cơ khí

Muốn không xảy ra cộng hưởng thì tần số dao động riêng của thanh cái phải bé hơn tần số sóng cơ bản của lực. Trong thực tế người ta thường thay đổi khoảng cách giá đỡ thanh cái để điều chỉnh trị số tần số dao động riêng của thanh cái.

Tần số dao động riêng của thanh cái tính theo biểu thức :

$$Z = \frac{112}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{g_1}}$$

Trong đó :

l : khoảng cách giá đỡ cách điện; E : mô đun đàn hồi [kg/cm^2].

J : mô men quán tính (lấy trục thẳng góc với hướng uốn làm chuẩn)

g_1 : trọng lượng đơn vị dài thanh cái [kg].

Nếu không thực hiện được điều kiện trên thì có thể phải giải quyết bằng điều chỉnh tần số riêng của thanh cái z để lớn hơn tần số sóng cơ bản. Chú ý tần số lực điện động gấp hai lần tần số dòng điện $f_1 = 2f_1' > z$.

2. Ổn định lực điện động

Trong thiết bị điện phải tính lực điện động để kiểm tra xem thiết bị điện có đạt độ bền cơ hay không. Ổn định lực điện động là khả năng chịu đựng tác động cơ khí do lực điện động sinh ra khi ngắn mạch.

Để đảm bảo cần điều kiện cần thì: $I_m > I_{xk}$ với :

$+I_m$: dòng cho phép lớn nhất của thiết bị điện, i_{xk} : dòng xung kích tính toán khi ngắn mạch ba pha. Có thể dùng bội số cho phép (K_m) lớn nhất để kiểm tra lực điện động.

$\sqrt{2}I_{dm} K_m \geq i_{xk}$, trong đó : K_m là bội số dòng cho phép lớn nhất.

Chú ý : theo tính toán ngắn mạch trong mạng ba pha, lực điện động khi ngắn mạch một pha ($F_{\max} = CI_1^2 = C.6,48I_{dm}^2$) lớn hơn lực điện động khi ngắn mạch ba pha ($F_{d1\max} = C_1.6,46I_{dm}^2$), nhưng do khi ngắn mạch ba pha chiều lực thay đổi trong không gian nên phải dùng để kiểm tra khả năng chịu lực ở các điểm.

- Nếu thiết bị điện không ghi giá trị I_m thì có thể xác định theo công thức :

$$I_m = i_{xk} \approx 2,55 \frac{S_{ng}}{\sqrt{3}U_{dm}} [\text{kA}]$$

Với : S_{ng} : công suất ngắn mạch [MVA]; U_{dm} : điện áp định mức hiệu dụng [kV].