

## CHƯƠNG 1 LÝ THUYẾT CƠ SỞ KHÍ CỤ ĐIỆN

### 1.1. TỔNG QUAN VỀ KHÍ CỤ ĐIỆN

#### 1.1.1. Khái quát chung về khí cụ điện

Khí cụ điện (KCD) là những thiết bị điện dùng để đóng, cắt, điều khiển và bảo vệ lưới điện, mạch điện trong dân dụng và công nghiệp. Ngoài ra nó còn được dùng để điều chỉnh tự động và khống chế các quá trình điều khiển.

Khí cụ điện được sử dụng rộng rãi ở các nhà máy điện, trạm biến áp, xí nghiệp công nghiệp, nông nghiệp, lâm nghiệp, thủy lợi, giao thông vận tải và quốc phòng ...

#### 1.1.2. Phân loại

Để thuận lợi cho nghiên cứu, sử dụng và sửa chữa KCD, người ta phân loại như sau:

##### ❖ Theo công dụng

- **Nhóm KCD đóng cắt:** Đóng cắt bằng tay hoặc tự động mạch điện ở các chế độ làm việc khác nhau. Các KCD đóng cắt như cầu dao, CB (áp tô mát), bộ khống chế... dùng cho lưới điện hạ thế, dao cách ly, máy cắt... dùng cho lưới điện cao thế. Đặc điểm của nhóm này là tần số thao tác thấp.

- **Nhóm KCD bảo vệ:** Làm nhiệm vụ bảo vệ an toàn cho người, máy điện, lưới điện... khi có quá tải, ngắn mạch, dòng rò, sụt áp...

- **Nhóm KCD mở máy điều khiển:** Làm nhiệm vụ thu nhận, phân tích và khống chế sự hoạt động của các mạch điện như bộ khống chế, điện trở mở máy, công tắc tơ, khởi động từ... đặc điểm của nhóm này là tần số thao tác cao, có thể tới 1500 lần/giờ, vì vậy tuổi thọ cao.

- **Nhóm KCD tự động điều chỉnh, duy trì ổn định** các tham số của các đối tượng như các bộ ổn định điện áp, ổn định tốc độ, ổn định nhiệt độ ...

- **Nhóm KCD làm nhiệm vụ đo lường** như máy biến dòng điện, biến áp đo lường...

##### ❖ Theo điện áp

- **Khí cụ điện cao thế:** Được chế tạo dùng ở điện áp định mức từ 1000V trở lên

- **Khí cụ điện hạ thế:** Được chế tạo để dùng ở điện áp dưới 1000V

❖ **Theo loại dòng điện:** Khí cụ điện dùng sử dụng nguồn điện một chiều và xoay chiều.

❖ **Theo cơ cấu truyền động:** Dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ, thủy lực, khí nén,...

❖ **Theo điều kiện làm việc và dạng bảo vệ:** Khí cụ điện làm việc ở vùng nhiệt đới, vùng có nhiều rung động, vùng mỏ có khí nổ, ở môi trường có chất ăn mòn hoá học, loại dễ hỏng, loại bọc kín ...

#### 1.1.3. Các yêu cầu cơ bản đối với khí cụ điện

Khí cụ điện cần phải thỏa mãn các yêu cầu sau:

- Khí cụ điện phải đảm bảo sử dụng lâu dài với các thông số kỹ thuật ở định mức. Dòng điện qua vật dẫn không được vượt quá trị số cho phép, vì nếu không sẽ làm nóng khí cụ điện và chóng hỏng.

- Khí cụ điện phải ổn định nhiệt và ổn định điện động. Vật liệu phải chịu nóng tốt và có cường độ cơ khí cao vì khi quá tải hay ngắn mạch, dòng điện lớn có thể làm khí cụ điện bị hư hỏng hay biến dạng.

- Vật liệu cách điện phải tốt, để khi xảy ra quá điện áp trong phạm vi cho phép, khí cụ điện không bị chọc thủng.

- Khí cụ điện phải đảm bảo làm việc được chính xác, an toàn, gọn nhẹ, dễ gia công, dễ lắp ráp, dễ kiểm tra và sửa chữa.

## **1.2. LỰC ĐIỆN ĐỘNG TRONG KHÍ CỤ ĐIỆN**

### **1.2.1. Tổng quan lực điện động**

Lực điện động (LĐĐ) là lực sinh ra khi một vật dẫn mang dòng điện đặt trong từ trường. Lực đó có tác dụng lên vật dẫn và có xu hướng làm thay đổi hình dáng vật dẫn để từ thông xuyên qua mạch vòng vật dẫn có giá trị cực đại.

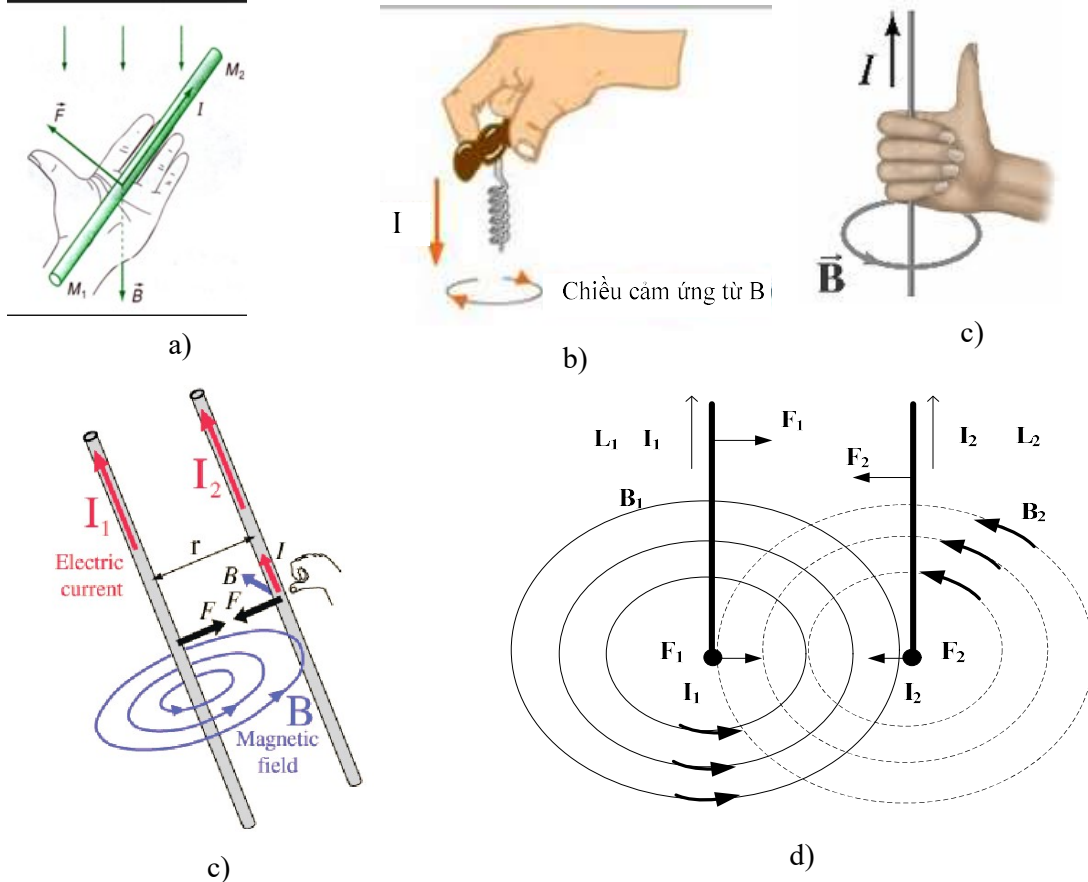
Trong hệ thống gồm nhiều vật dẫn mang dòng điện, bất kỳ một vật dẫn nào trong chúng cũng có thể được coi là đặt trong từ trường tạo nên bởi các dòng điện chạy trong các vật dẫn khác. Do đó giữa các vật dẫn mang dòng điện, luôn luôn có từ thông tổng tương hỗ móc vòng, kết quả luôn luôn có các lực cơ học (được gọi là lực điện động). Tương tự như vậy cũng có các lực điện động sinh ra giữa vật mang dòng điện và khối sắt từ.

Trong điều kiện bình thường, các lực điện động đều nhỏ và không gây nên biến dạng các chi tiết mang dòng điện của các khí cụ điện. Tuy nhiên khi có ngắn mạch các lực này trở nên rất lớn và có thể gây nên biến dạng hay phá hỏng chi tiết và thậm chí cả khí cụ điện. Vì vậy cần thiết phải tiến hành tính toán (hoặc từng bộ phận) về mặt sức bền chịu lực điện động, nghĩa là không bị phá hỏng khi có dòng điện ngắn mạch cực đại tức thời chạy qua.

### **1.2.2. Xác định chiều lực điện động**

Chiều của lực điện động được xác định bằng quy tắc Bàn tay trái là quy tắc định hướng của lực do một từ trường tác động lên một đoạn mạch có dòng điện chạy qua và đặt trong từ trường. “*Đặt bàn tay trái sao cho các đường sức từ hướng vào lòng bàn tay, chiều từ cổ tay đến ngón tay giữa hướng theo chiều dòng điện thì ngón tay cái choãi ra  $90^\circ$  chỉ chiều của lực điện từ*” (hình 1.1a) hoặc bằng nguyên tắc chung như sau: Chiều của lực tác dụng lên vật dẫn mang dòng điện là chiều biến đổi hình học hình dạng của mạch vòng dẫn điện sao cho từ thông móc vòng qua nó tăng lên, nghĩa là tăng vùng diện tích nơi có từ cảm B đi qua.

Chiều Cảm ứng từ B (chiều của từ trường do dòng điện gây ra) được xác định theo quy tắc vặn nút chai. Đối với dòng điện thẳng, đặt cái vặn nút chai theo phương của dòng điện, nếu cho vặn nút chai tiến theo chiều dòng điện thì chiều của vặn nút chai là chiều của véc tơ cảm ứng từ tại điểm đó (hình 1.1b). Đối với dòng điện tròn, chiều của từ trường ở trong vòng tròn là chiều tiến của cái vặn nút chai khi nó quay theo chiều dòng điện (đôi khi người ta còn xác định quy tắc nắm bàn tay phải để xác định B - đặt sao cho bốn ngón tay hướng theo chiều dòng điện chạy qua các vòng dây thì ngón tay cái choãi ra chỉ chiều của đường sức từ trong lòng ống dây (hình 1.1c)).



**Hình 1.1:**

- a) Cách xác định chiều lực điện động theo quy tắc “Bàn tay trái”
- b) Cách xác định chiều cảm ứng từ  $B$  theo quy tắc đinh ốc
- c) Cách xác định chiều cảm ứng từ  $B$  theo quy tắc nắm bàn tay phải
- d) Chiều lực điện động giữa hai dây dẫn song song ( $B$  xác định theo quy tắc nắm bàn tay phải)
- e) Chiều lực điện động giữa hai dây dẫn song song ( $B$  xác định theo quy tắc đinh ốc)

Xét hai vật dẫn mang điện đặt gần nhau như hình vẽ 1.1c, hình 1.1d:

Gọi lần lượt  $l_1; l_2, I_1; I_2$  là chiều dài, dòng điện đặt trên hai vật dẫn. Áp dụng quy tắc vặn nút chai xác định hướng véc tơ cảm ứng từ  $B$  và bàn tay trái xác định được lực điện động tác dụng trên hai vật dẫn. Lực điện động  $F_1, F_2$  sinh ra trên dây dẫn 1 và 2 như hình 1.1d:

$$F_1 = B_2 \cdot l_1 \cdot I_1 \text{ (N)}$$

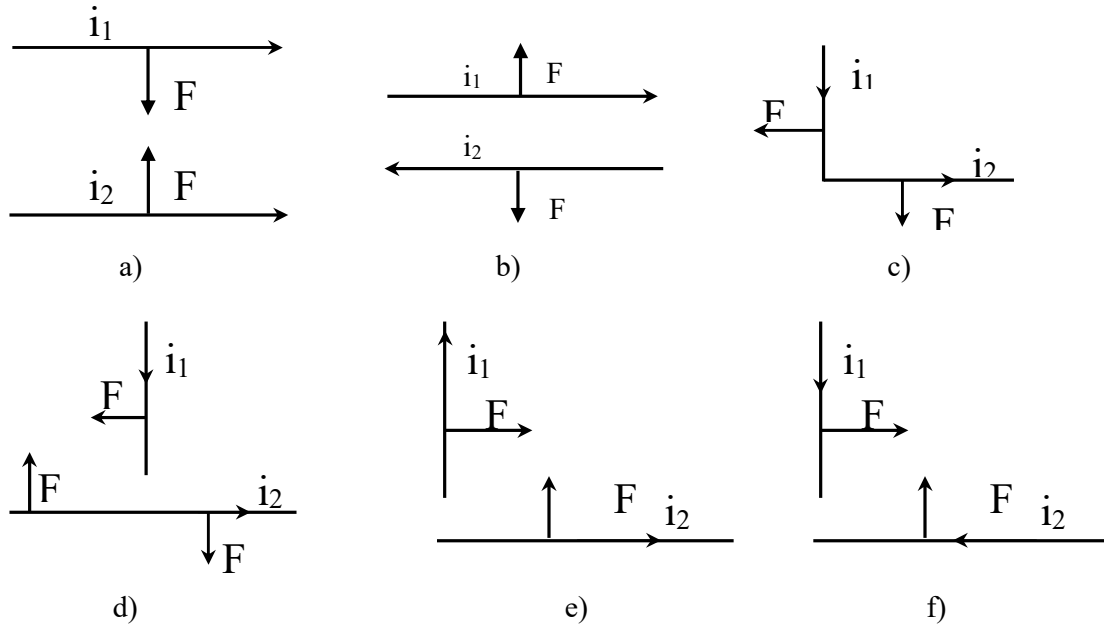
$$F_2 = B_1 \cdot l_2 \cdot I_2 \text{ (N)}$$

$B_1, B_2$ : cảm ứng điện từ

$I_1, I_2$ : dòng điện trong vật dẫn

$l_1, l_2$ : chiều dài vật dẫn

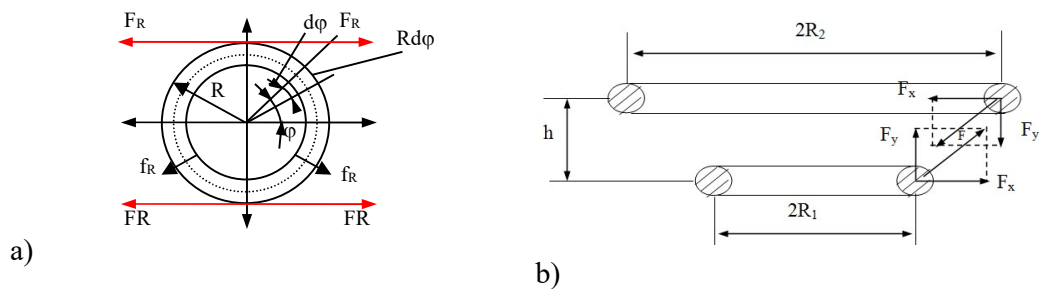
Trên cơ sở đó, ta tìm được hướng của các lực điện động thường gặp, trình bày ở hình 1.2:



**Hình 1.2: Hướng đi của lực điện động giữa các dây dẫn điện**

- a) Hai dây dẫn song song, dòng điện cùng chiều
- b) Hai dây dẫn song song, dòng điện ngược chiều
- c) Hai dây dẫn vuông góc
- d) Hai dây dẫn tạo thành góc vuông có dòng điện ( $I_1$ ) hướng vào, dòng điện ( $I_2$ ) hướng ra
- e) Hai dây dẫn tạo thành góc vuông có dòng điện ( $I_1, I_2$ ) hướng ra
- f) Hai dây dẫn tạo thành góc vuông có dòng điện ( $I_1, I_2$ ) hướng vào

Trường hợp hai dây dẫn song song có dòng điện cùng chiều (hình 1.2a), lực có xu hướng kéo chúng lại gần nhau; còn trường hợp hai dây dẫn song song có dòng điện ngược nhau (hình 1.2b), LĐĐ có xu hướng đẩy chúng ra xa nhau. Ở trường hợp một dây dẫn vuông góc (hình 1.2c), LĐĐ có xu hướng duỗi thẳng góc vuông ra; còn các trường hợp hai dây dẫn chéo nhau dưới một góc vuông (hình 1.2d,e,f), LĐĐ có xu hướng khép kín góc vuông lại.



**Hình 1.3: Hướng đi của lực điện động vòng dây**

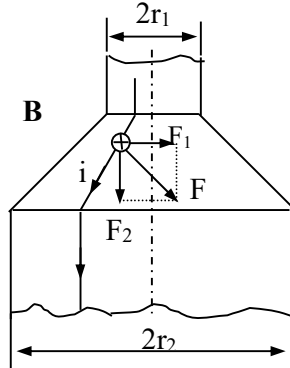
Với trường hợp có một vòng dây (hình 1.3a), LĐĐ có xu hướng kéo vòng dây to ra, nghĩa là muốn kéo đứt vòng dây.

Trường hợp hai vòng dây của một cuộn dây (hình 1.3b), ngoài lực tác dụng bên trong của mỗi vòng dây. Giữa các vòng dây cùng chiều (hoặc ngược chiều) sẽ sinh ra lực hút  $F$  (hoặc đẩy). Lực  $F$  có thể coi như tổng của 2 lực thành phần  $F_y$  và  $F_x$ .

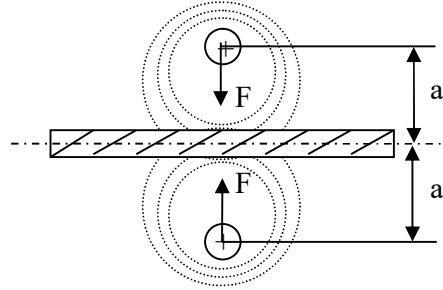
- $F_y$ : có xu hướng kéo các vòng dây lại với nhau.

-  $F_x$ : có xu hướng kéo dẫn đối với vòng dây có đường kính nhỏ và kéo nén đối với vòng dây có đường kính lớn.

Khi tiết diện thanh dẫn thay đổi (hình 1.4), thường gặp ở các trường hợp dòng điện đi từ chi tiết dẫn điện này đến chi tiết khác, đường đi của dòng điện bị biến dạng. Vì vậy, ở đó xuất hiện LDD và lực có xu hướng làm thẳng phần cong của dòng điện.



**Hình 1.4: Lực điện động ở vị trí tiết diện mạch vòng thay đổi**



**Hình 1.5: Lực điện động tác dụng lên dây dẫn đặt cạnh khối sắt từ**

Khi dây dẫn đặt gần vật liệu sắt từ (hình 1.5), từ trường xung quanh nó sẽ bị méo đi, các đường sức từ khấp kín qua khối sắt từ và sinh ra các lực kéo dây dẫn vào vật liệu sắt từ đó. Đây là trường hợp rất thường gặp ở khí cụ điện như hiện tượng lợi dụng để dập tắt hồ quang điện trong những buồng dập hồ quang có các tấm ngăn bằng vật liệu sắt từ.

### 1.2.3. Xác định độ lớn lực điện động

Để xác định độ lớn lực điện động, có thể dùng hai phương pháp:

- Phương pháp thứ nhất dựa trên định luật tác dụng tương hỗ của dây dẫn mang dòng điện và từ trường (tức định luật Biô – Xava - Laplace)
- Phương pháp thứ hai là phương pháp cân bằng năng lượng.

#### a. Phương pháp tính LDD theo định luật Bio-Xava-Laplace

Trong trường hợp chung nhất có thể xem lực điện động sinh ra khi có sự tác động tương hỗ giữa dòng điện và từ trường.

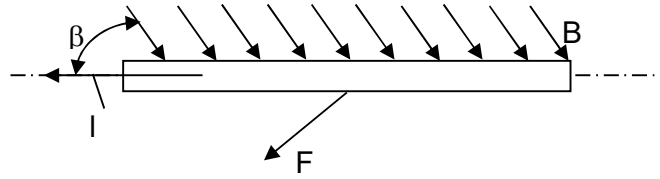
Theo định luật Bio-Xava-Laplace vi phân LDD tác dụng lên dòng điện  $i$  (A), trên chiều dài của đoạn  $dl$  (m) nằm trong từ trường có cảm ứng từ  $B$  (T) được xác định bởi tích vectơ  $dl$  và vectơ  $B$ :  $d\vec{F} = i\vec{dl} \times \vec{B}$

Khi vectơ  $dl$  có chiều theo dòng điện  $i$  thì LDD  $dF$  thẳng góc với cả hai vectơ  $dl$  và  $B$ , có độ lớn:  $dF = i.B.dl.\sin\beta$

$\beta$ : Góc giữa vectơ  $B$  và  $dl$ , hướng đi của  $dl$  theo chiều của dòng điện  $i$ .

Lực điện động tác dụng lên đoạn mạch vòng với chiều dài  $l$  (m) bằng tổng các lực

thành phần. 
$$F = \int_0^l dF = \int_0^l iB\sin\beta.dl \quad (\text{N}) \quad (1-1)$$



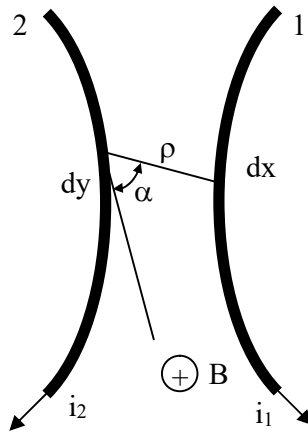
Hình 1.6: lực điện động trong dây dẫn thẳng

Nếu từ trường B không đổi tại mọi điểm dòng i chảy trên toàn bộ chiều dài l của một dây dẫn thẳng (hình 1.6), thì LĐĐ có giá trị như sau :  $F = i.B.l.\sin \beta$  (N) (1-2)

Và khi  $\beta=90^0$  thì  $F = i.B.l$  (N)

Công thức Bio-Xava-Laplace, dùng để xác định LĐĐ khi ta biểu diễn từ cảm B bằng một biểu thức phân tích phụ thuộc vào kích thước, hình dáng mạch vòng dẫn điện...

Xét một hệ gồm hai dây dẫn 1 và 2 đặt tùy ý có các dòng điện  $i_1$  và  $i_2$  chạy qua (hình 1.7)



Hình 1.7: lực điện động trong hai dây dẫn bất kỳ

Trường hợp này dây dẫn 1 mang dòng điện  $i_1$  được coi là đặt trong từ trường tạo bởi dòng điện  $i_2$  chạy trong dây dẫn 2 (ngược lại  $i_2$  được coi là đặt trong từ trường do dòng điện  $i_1$  chạy trong dây dẫn 1). Khi đó lực điện động tác dụng giữa 2 dây dẫn :

$$F = i_1.i_2.\frac{\mu_0}{4\pi}.K_v \text{ (N)} \quad (1-3)$$

Trong đó :

- $\mu_0$ : là độ từ thẩm của không khí  $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$  (H/m)
- Dây dẫn đặt trong không khí thì độ từ thẩm tương đối:  $\mu_{td}$
- $K_v$ : hằng số phụ thuộc kích thước hình học của 2 dây dẫn, còn gọi là hệ số kết cấu mạch vòng

Nếu thay:  $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$  vào (1-3) ta có công thức tổng quát lực điện động:

$$F = 10^{-7} i_1 i_2 K_v \text{ (N)} \quad (1-4)$$

Trong đó: dòng điện  $i_1$  và  $i_2$  tính bằng A

**b. Phương pháp cân bằng năng lượng của hệ thống dây dẫn**

- Một dây dẫn hay một mạch vòng mang điện i, có năng lượng tính theo công thức sau:

$$W = L \frac{i^2}{2} \quad (Ws) \quad (1-5)$$

- Ở đây, L: Điện cảm của mạch (H)  
 W: Năng lượng điện từ (Ws; J)  
 x: Đoạn đường dịch chuyển theo hướng tác dụng của lực (m).  
 F: Lực điện động cần tính (N)

Sự biến dạng liên tục mạch vòng (biến đổi vị trí của các chi tiết hay bộ phận mang dòng điện) hoặc biến đổi vị trí tương hỗ của mạch vòng dẫn đến làm biến đổi năng lượng từ dự trữ. Khi đó, công của lực trong hệ thống bất kỳ bằng biến thiên dự trữ năng lượng của hệ thống đó.  $F \cdot dx = dW$

Như vậy lực điện động được tính qua năng lượng điện từ:  $F = \frac{dW}{dx} \quad (1-6)$

▪ **Hệ thống gồm hai mạch vòng:**

Năng lượng điện từ của hệ thống là:  $W = \frac{1}{2} L_1 \times i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 \times i_2^2 + M \times i_1 \times i_2 \quad (Ws) \quad (1-7)$

Trong đó:

- $L_1, L_2$  : Điện cảm của mạch vòng (H)  
 $i_1, i_2$  : Dòng điện chạy trong các mạch vòng (A)  
 M : Điện cảm tương hỗ (H)

▪ **Hệ thống là mạch vòng độc lập:**

$$W = A = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} \Psi i = \frac{1}{2} n\phi i \quad (Ws) \quad (1-8)$$

Trong đó:

- L : Điện cảm của mạch vòng độc lập (H)  
 i : Dòng điện chạy trong mạch vòng (A)  
 $\Psi$  : Từ thông móc vòng (Wb)  
 $\phi$  : Từ thông (Wb)  
 N : Số vòng dây trong mạch vòng

Lực tác dụng trong mạch vòng sẽ hướng theo chiều sao cho điện cảm, từ thông móc vòng và từ thông tổng khi biến dạng mạch vòng dưới tác dụng của lực này tăng lên.

Phương pháp cân bằng năng lượng dùng để tính LĐĐ khi biết được biểu thức giải tích của điện cảm L và hồ cảm M.

**1.2.4. Độ lớn lực điện động các trường hợp thường gặp**

**a. Lực điện động ở các dây dẫn song song**

Xét hai dây dẫn song song có đường kính rất bé so với chiều dài của chúng (hình 1.8, hình 1.9), có dòng điện  $i_1, i_2$  chiều dài tương ứng  $l_1, l_2$

❖ **Hai dây dẫn song song có cùng chiều dài (Hình 1.8)**

+ **Dây dẫn tròn tiết diện nhỏ**

$$K_v = 2 \frac{l}{a} \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} - \frac{a}{l} \right] \quad (1-9)$$

Lực điện động sinh ra

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} i_1 i_2 2 \frac{l}{a} \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} - \frac{a}{l} \right] \quad (1-10)$$

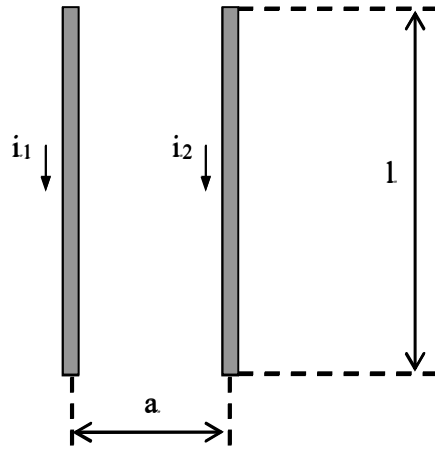
Khi khoảng cách giữa dây dẫn bé đáng kể so với chiều dài của chúng  $a \ll l$  thì:  $K_v = 2 \frac{l}{a}$

Lực điện động sinh ra:  $F = \frac{\mu_0}{4\pi} i_1 i_2 \cdot \frac{2l}{a}$  (1-11)

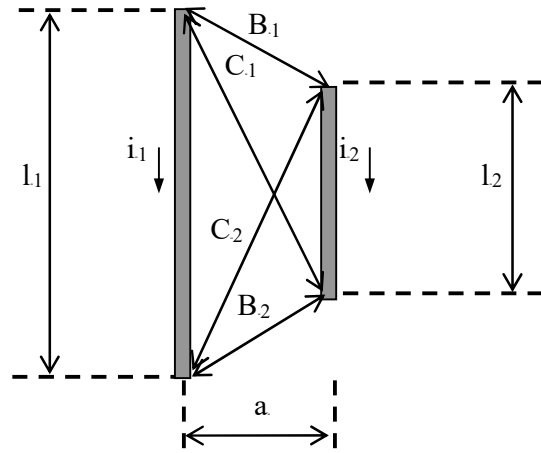
+ Dây dẫn tròn có bán kính r:

$$K_v = 2 \frac{l}{a - r} \quad (1-12)$$

Lực điện động sinh ra:  $F = 10^{-7} i_1 i_2 2 \frac{l}{a - r}$  (1-13)



Hình 1.8



Hình 1.9

❖ Hai dây dẫn song song không cùng chiều dài (Hình 1.9)

Trong đó:

$C_1, C_2$  là khoảng cách đường chéo của hai dây dẫn.

$B_1, B_2$  là khoảng cách đường chéo của dây dẫn.

Hệ số kết cấu:  $K_v = \frac{(C_1 + C_2) - (B_1 + B_2)}{a}$  (1-14)

Lực điện động sinh ra:  $F = 10^{-7} i_1 i_2 \left[ \frac{(C_1 + C_2) - (B_1 + B_2)}{a} \right]$  (1-15)

❖ Hai dây dẫn song song có tính tiết diện của dây dẫn

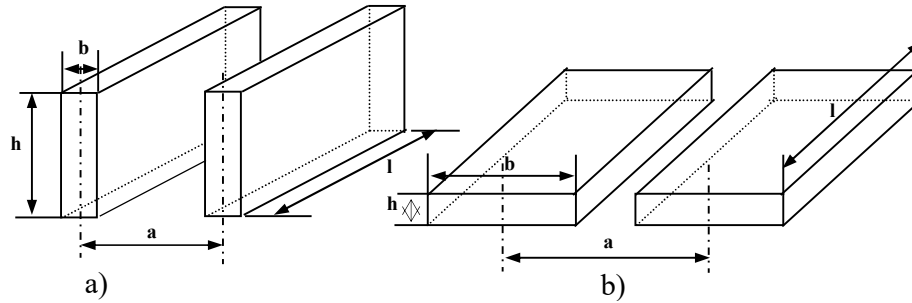
Trong trường hợp tính lực giữa hai dây dẫn song song với các thanh dẫn có dòng điện lớn, tiết diện của nó không thể bỏ qua được, do đó hiệu ứng mặt ngoài và hiệu ứng gần cũng ảnh hưởng đến lực điện động, và ảnh hưởng đó được thể hiện qua hệ số hình dạng  $K_{hd}$

Lực điện động:  $F = 10^{-7} i_1 i_2 K_v \cdot K_{hd}$  (1-16)

- Vật dẫn tiết diện tròn:  $K_{hd} = 1$  (1-17)

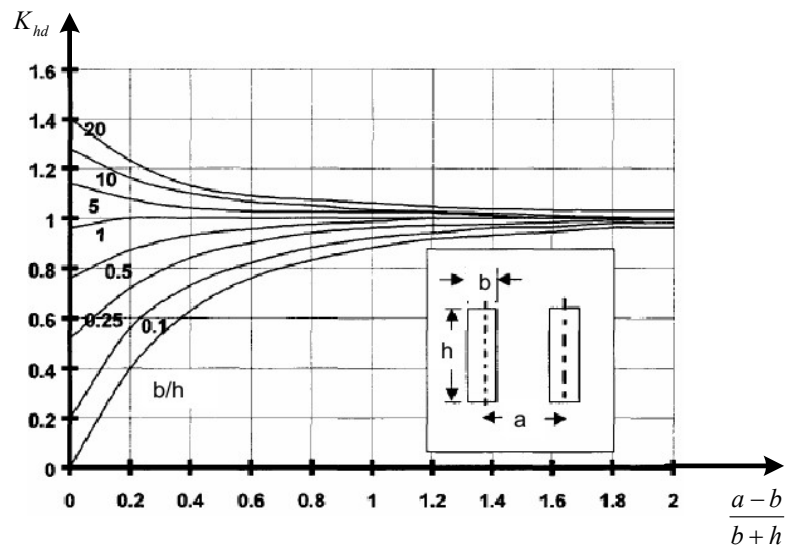
- Vật dẫn tiết diện chữ nhật (hình 1.11):  $K_{hd} = f(b/h; (a-b)/(b+h))$  (1-18)





**Hình 1.10: Lực điện động hai dây dẫn song song, có tiết diện hình chữ nhật**

- a) Dây đặt đứng
- b) Dây đặt nằm ngang



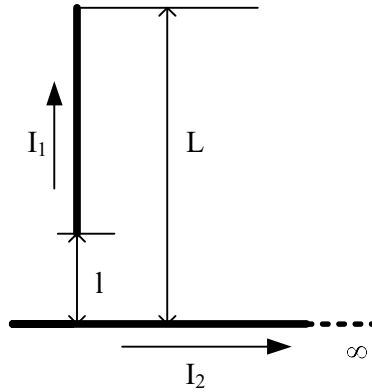
**Hình 1.11: Đồ thị quan hệ giữa hệ số  $K_{hd}$  với các kích thước của dây dẫn**

**b. Lực điện động giữa hai dây dẫn vuông góc nhau**

Trong các thiết bị điện, thường gặp trường hợp các chi tiết mạch vòng dẫn điện vuông góc nhau (Hình 1.12). Để đơn giản hóa việc tính toán, coi dòng điện chỉ tập trung ở trục thanh dẫn (bỏ qua hiệu ứng bề mặt và hiệu ứng gần).

$$K_v = 2 \ln \frac{L}{l} \tag{1-19}$$

Lực điện động sinh ra:  $F = 10^{-7} i_1 i_2 2 \ln \frac{L}{l}$  (1-20)



Hình 1.12 Lực điện động giữa hai dây dẫn vuông góc nhau

**c. Lực điện động ở vòng dây, bồi dây**

❖ Trường hợp một vòng dây

Trường hợp một vòng dây mang dòng điện  $i$  bán kính  $R$  (hình 1.3a), lực điện động có xu hướng kéo căng vòng dây ra nghĩa là muốn kéo đứt vòng dây. Trường hợp này LĐĐ được tính theo phương pháp cân bằng năng lượng:

$$\text{Lực tác dụng lên vòng dây theo hướng kính là: } F_R = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dR} \quad (1-21)$$

Khi vòng dây có tiết diện tròn, bán kính dây  $r$  với  $R > r$ , với  $r/R \leq 0,25$  thì điện cảm của vòng dây được tính theo biểu thức:

$$L = \mu_0 R \left[ \frac{8R}{r} - 1,75 \right] \quad (1-22)$$

Lực  $F_R$  phân bố đều trên toàn vòng dây với chiều dài  $2\pi R$ , lực điện động sinh ra có xu hướng kéo đứt vòng dây:

$$F_R = \frac{i^2}{2 * 2\pi} 4\pi * 10^{-7} \ln\left(\frac{8R}{r} - 0,75\right) = 10^{-7} i^2 \ln\left(\frac{8R}{r} - 0,75\right) \quad (1-23)$$

❖ Trường hợp nhiều vòng dây

- **Lực điện động ở hai vòng dây song song cùng chiều dài** (hình 1.3b với  $R_1=R_2=R$ ), LĐĐ được tính theo phương pháp cân bằng năng lượng. Năng lượng từ do hồ cảm giữa hai vòng dây có dòng điệ  $i_1, i_2$  đi qua là:  $W=i_1 i_2 M$  (1-24)

Lực điện động tác dụng lên chúng theo chiều dọc trục:  $F = \frac{dW}{dh} = i_1 i_2 \frac{dM}{dh}$  (1-25)

Với  $\frac{h}{2R} \leq 0,2$  thì hồ cảm  $M$  tính theo công thức:  $M = \mu_0 R \ln\left(\frac{8R}{h} - 2\right)$  (1-26)

Vậy LĐĐ giữa hai vòng dây với bán kính  $R$  và khoảng cách  $h$  là:

$$F = \mu_0 i_1 i_2 \frac{R}{h} \quad (1-27)$$

- **Lực điện động ở hai vòng dây song song không cùng chiều dài** (hình 1.3b  $R_1 < R_2$ )

Giữa các vòng dây cùng chiều (hoặc ngược chiều) sẽ sinh ra lực hút  $F$  (hoặc đẩy). Lực  $F$  có thể coi như tổng của 2 lực thành phần  $F_y$  và  $F_x$ .

$$F_x = 10^{-7} 4\pi \frac{R_1 C}{h^2 + C^2} i_1 i_2 ; F_y = 10^{-7} 4\pi \frac{R_1 h}{h^2 + C^2} i_1 i_2 \quad (1-28)$$

Trong đó:

$$C = R_2 - R_1$$

$R_2 > R_1$  rõ ràng lực thành phần phụ thuộc khoảng cách h.

**Kết luận:** Lực này càng lớn khi dòng điện lớn, khoảng cách giữa hai vòng dây h càng bé và bán kính bồi dây càng lớn. Trong cuộn dây lực này có xu hướng nén thấp chiều cao của cuộn dây. Vì vậy với những thiết bị có cuộn dây dòng điện lớn, phải giảm bớt lực điện động tăng độ bền cơ của nó cần được lưu ý tính toán.

#### d. Lực điện động ở chỗ tiết diện mạch vòng thay đổi

Xác định lực điện động trường hợp này theo định luật Bio-Savart-Laplace. Nếu dòng điện phân bố đều trong tiết diện (hình 1.4).

Khi biến đổi tiết diện dây dẫn dòng điện, có lực thành phần ngang trục  $F_1$  và dọc trục  $F_2$  tác dụng lên đường dây dẫn điện vẽ thành các đường cong, lực tổng hợp là F. Thành phần dọc trục hướng theo chiều làm đứt chỗ giao tiếp dọc theo trục dây dẫn và hướng về phía tiết diện lớn

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} i^2 \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (1-29)$$

**Vậy:** Lực điện động phát sinh khi thay đổi tiết diện chỉ phụ thuộc vào tỷ số các bán kính ban đầu và cuối cùng, không phụ thuộc vào hình dạng chỗ quá độ.

#### e. Lực điện động giữa dòng điện và môi trường sắt từ

- Khi dây dẫn đặt gần vật liệu sắt từ, từ trường xung quanh nó sẽ bị méo đi, các đường sức từ khép kín qua khối sắt từ và sinh ra các lực kéo dây dẫn vào vật liệu sắt từ đó (hình 1.5). Lực điện động được tính theo công thức.

$$F = 10^{-7} \frac{l}{a} i^2 \quad (1-30)$$

**Ví dụ 1.1:** Một dây dẫn mang dòng điện  $i = 10A$ , dài 1m, đặt trong từ trường có cảm ứng từ  $B = 1T$ . Hướng của từ trường lệch so với hướng của dây dẫn một góc  $45^\circ$ . Tính lực điện động sinh ra trong dây dẫn này. Lực này có nguy hiểm không? Tại sao?

#### Giải

$$\begin{aligned} \text{Từ công thức } F &= iBl \sin\beta \quad (\text{N}) \\ &= 10 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \sin 45^\circ \\ &= 7,07 \quad (\text{N}) \end{aligned}$$

Lực  $F=7 \text{ N}$  nhỏ, nên lực này không ảnh hưởng nhiều đến kết cấu của dây dẫn, không gây nguy hiểm chỉ khi nào có dòng điện lớn (ngắn mạch) thì mới gây nguy hiểm.

**Ví dụ 1.2:** Ngàm của cầu dao được chế tạo từ hai thanh kim loại dẹt. Mỗi thanh có kích thước:  $b \cdot h = 0,005 \times 0,06 \text{ (m}^2\text{)}$ , chiều dài  $l = 0,42 \text{ m}$  và khoảng cách giữa chúng là  $a =$

0,024m. Hãy tính lực điện động tác dụng giữa 2 thanh nếu mỗi thanh cho dòng điện 33 KA đi qua. ( $K_{hd}$  được tra theo đồ thị hình 1.11).

### **Giải**

Ngàm của cầu dao thường bố trí theo chiều thẳng đứng. Từ các kích thước đã cho ta tính được:

$$\frac{a-b}{h+b} = \frac{0,024-0,005}{0,06+0,005} = 0,293$$

$$\frac{b}{h} = \frac{0,005}{0,06} = 0,083$$

Tra trên đồ thị hình 1.11 ta có:  $K_{hd} = 0,55$ :

$$F = 2 \cdot 10^{-7} i_1 i_2 \frac{l}{a} k_{hd} = 2 \cdot 10^{-7} 33^2 10^6 \frac{0,42}{0,024} 0,55 = 2096N$$

Lực này lớn, phá hủy cho khí cụ điện

#### **1.2.5. Lực điện động trong dòng điện xoay chiều**

Tất cả các công thức xét ở phần trên đối với dòng DC đều đúng khi ta áp dụng với dòng điện AC nhưng phải chú ý rằng giá trị  $i$  được tính ở đây là giá trị tức thời của dòng xoay chiều. Lực điện động sẽ đạt giá trị lớn nhất khi  $i = I_{max} = \sqrt{2} I$ . Do vậy lực điện động ở dòng AC sẽ lớn hơn khi dẫn dòng DC

##### **❖ Lực điện động trong dòng điện xoay chiều một pha**

Dòng điện xoay chiều một pha biến đổi theo quy luật:  $I = I_m \cdot \sin \omega t$ . Trong đó:  $I_m$  là biên độ của dòng điện,  $\omega$  (rad/s) là tần số góc.

Nếu các dòng điện trong các dây dẫn có cùng chiều thì các dây dẫn bị hút vào nhau với lực:

$$F = c \cdot I_m^2 \cdot \sin^2 \omega t = c \cdot I_m^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} = \frac{F_m}{2} - \frac{F_m}{2} \cdot \cos 2\omega t \tag{1-31}$$

là hằng số:  $c = \frac{\mu_0 \cdot 2l}{4\pi a}$

$F_m$  là trị số lực cực đại.

##### **❖ Lực điện động trong dòng điện xoay chiều ba pha**

Dòng điện xoay chiều ba pha biến đổi theo quy luật:

$$i_1 = I_m \sin \omega t$$

$$i_2 = I_m \sin(\omega t - \frac{2}{3} \pi)$$

$$i_3 = I_m \sin(\omega t - \frac{3}{4} \pi)$$

Lực tác dụng lên dây dẫn của pha 1:

$$F_1 = F_{12} + F_{13} \tag{1-32}$$

$F_{12}$  là lực điện động giữa các dây dẫn của pha 1 và 2

$F_{13}$  là lực điện động giữa các dây dẫn của pha 1 và 3

$$F_{12} = c.I_m^2 \cdot \sin \omega t \cdot \sin \left( \omega t - \frac{2}{3} \pi \right)$$

$$F_{13} = \frac{1}{2} c.I_m^2 \cdot \sin \omega t \cdot \sin \left( \omega t - \frac{4}{3} \pi \right)$$

$$\Rightarrow F_1 = c.I_m^2 \left[ \sin \left( \omega t - \frac{2}{3} \pi \right) + \frac{1}{2} \sin \left( \omega t - \frac{4}{3} \pi \right) \right] \quad (1-33)$$

Tương tự ta có:  $F_{KCD} \geq F_{LDDmax}$

$$\Rightarrow F_2 = F_{21} + F_{23} = c.I_m^2 \cdot \sin \left( \omega t - \frac{2}{3} \pi \right) \left[ \sin \omega t + \frac{1}{2} \sin \left( \omega t - \frac{4}{3} \pi \right) \right] \quad (1-34)$$

$$F_3 = -F_1 = -c.I_m^2 \cdot \sin \omega t \left[ \sin \left( \omega t - \frac{2}{3} \pi \right) + \frac{1}{2} \sin \left( \omega t - \frac{4}{3} \pi \right) \right] \quad (1-35)$$

### 1.2.6. Cộng hưởng cơ khí

Trong trường hợp khi tần số của thành phần biến thiên của lực gần với tần số riêng của dao động cơ khí sẽ sinh ra hiện tượng cộng hưởng. Hiện tượng này có khả năng phá hỏng khí cụ điện. Thông thường, người ta chọn tần số riêng của các dao động cơ khí lớn hơn gấp đôi tần số của lực.

### 1.2.7. Ổn định lực điện động

Khi bị ngắn mạch, lực điện động (LĐĐ) do dòng ngắn mạch sinh ra khá lớn, có thể gây ra hỏng hóc các khí cụ điện (KCD). Khả năng chịu LĐĐ lớn nhất của KCD chính là độ bền điện động của KCD:

$$F_{KCD} \geq F_{LDDmax}$$

$F_{KCD}$ : Khả năng chịu lực (độ bền) của khí cụ điện.

$F_{LDDmax}$ : Trị số lớn nhất của LĐĐ do dòng ngắn mạch sinh ra khi đi qua khí cụ điện.

Vậy độ bền điện động của thiết bị điện được cho dưới dạng dòng ngắn mạch xung kích. Khi chọn KCD đóng cắt, phải kiểm tra xem dòng ngắn mạch đi qua thiết bị đó, có bé hơn dòng xung kích cho phép hay không, nếu không đạt phải chọn thiết bị có dòng xung kích lớn hơn.

Độ bền cơ khí của vật liệu phụ thuộc không chỉ vào độ lớn của lực mà còn phụ thuộc vào chiều, thời gian tác động. Khí cụ điện ổn định lực điện động phải thỏa mãn:

- Việc tính toán lực điện động: Tính theo dòng điện xung kích của hiện tượng ngắn mạch.

- Việc tính toán độ bền động học khi có hiện tượng cộng hưởng.

## 1.3. PHÁT NÓNG KHÍ CỤ ĐIỆN

### 1.3.1. Khái quát chung

Tất cả các khí cụ điện đều được cấu tạo bởi các chi tiết có đặc tính cơ, hóa, lý khác nhau. Khi chúng hoạt động dưới tác dụng của điện trường, từ trường thì trong các chi tiết như mạch vòng dẫn điện, mạch từ, các chi tiết bằng kim loại và cách điện... đều xuất hiện các tổn

hao công suất. Tất cả các tổn hao này đều chuyển hóa thành nhiệt năng làm cho khí cụ điện nóng lên. Một phần của nhiệt năng này làm tăng nhiệt độ của khí cụ điện, còn 1 phần khác tỏa ra môi trường xung quanh. Nếu nhiệt độ vượt quá giá trị cho phép, khí cụ điện sẽ chóng hỏng, vật liệu cách điện nhanh già hóa và độ bền cơ khí của kim loại giảm.

Nhiệt độ cho phép của các bộ phận bên trong khí cụ điện tham khảo ở bảng sau:

**Bảng 1.1**

Vật liệu cách điện	Cấp cách điện	Nhiệt độ cho phép (°C)
- Vải sợi, giấy không tẩm cách điện.	Y	90
- Vải sợi, giấy có tẩm cách điện	A	105
- Hợp chất tổng hợp	E	120
- Mica, sợi thủy tinh.	B	130
- Mica, sợi thủy tinh có tẩm cách điện.	F	155
- Chất tổng hợp Silic.	H	180
- Sứ cách điện.	C	>180

Tùy theo chế độ làm việc khác nhau, mỗi khí cụ điện sẽ có sự phát nóng khác nhau.

Sự phát nóng do tổn hao nhiệt quyết định. Đối với khí cụ điện một chiều là do tổn hao đồng, đối với khí cụ điện xoay chiều đó là tổn hao đồng và sắt ngoài ra còn có tổn hao phụ.

### 1.3.2. Các dạng tổn hao năng lượng trong khí cụ điện

Trong khí cụ điện có các dạng tổn hao năng lượng chính sau: Tổn hao trong các chi tiết dẫn điện, tổn hao trong các chi tiết bằng vật liệu sắt từ và tổn hao điện môi.

#### a. Tổn hao trong các chi tiết dẫn điện

Năng lượng tổn hao trong dây dẫn do dòng điện  $i$  đi qua trong thời gian  $t$  được tính theo công thức sau:

$$Q = \int_0^t i^2 R dt \quad (1-36)$$

- Q: Điện năng tổn thất (J)
- i: Dòng điện trong mạch (A)
- R: Điện trở của khí cụ ( $\Omega$ )
- t: Thời gian có dòng điện chạy qua dây dẫn(s)

Đối với dây dẫn đồng chất:

$$R = \frac{\rho_0 (1 + \alpha \theta_{dm}) \cdot l}{s} \quad (1-37)$$

- $\rho_0$ : Điện trở suất của vật liệu ở  $0^\circ\text{C}$ .
- l: Chiều dài dây dẫn (m)
- $\alpha$ : Hệ số nhiệt độ của điện trở.
- $\theta_{dm}$ : Nhiệt độ cho phép ở chế độ định mức ( $^\circ\text{C}$ )

S: Tiết diện dây dẫn (m<sup>2</sup>)

Điện trở dây dẫn R phụ thuộc vào điện trở suất vật liệu, kích thước dây dẫn, ngoài ra còn phụ thuộc vào tần số dòng điện, vị trí của dây dẫn: nằm độc lập hay gần dây dẫn khác có dòng điện đi qua.

### b. Tổn hao trong các chi tiết bằng vật liệu sắt từ

Nếu các phần tử sắt từ nằm trong vùng từ trường biến thiên thì trong chúng sẽ có tổn hao do từ trễ và dòng điện xoáy tạo ra và được tính theo biểu thức:

$$P_{Fe} = (\chi_T B_m^{1,6} + \chi_X f B_m^2) f \cdot G \quad (1-38)$$

$P_{Fe}$  : Tổn hao sắt từ (W)

$B_m$  : Tụ cảm (T)

f : tần số từ trường (Hz)

$\chi_T, \chi_X$  : Hệ số tổn hao do từ trễ và dòng điện xoáy

G : Khối lượng của mạch từ (kg)

Từ (1-38) nhận thấy rằng, tổn hao sắt từ phụ thuộc vào từ cảm, tần số và điện trở xoáy của vật liệu. Để giảm các tổn hao trong các chi tiết sắt từ dạng khối, người ta thường dùng các biện pháp sau:

- Tạo khe hở phi từ tính theo đường đi của từ thông để tăng từ trở, giảm từ thông tức giảm B
- Đặt thêm vòng ngắn mạch để tăng từ kháng, giảm từ thông
- Đối với các chi tiết cho KCD có dòng điện lớn hơn 1KA, được chế tạo bằng vật liệu phi từ tính như duyara, gang không dẫn từ...

### c. Tổn hao trong vật liệu cách điện

Dưới tác dụng của điện trường biến thiên, trong vật liệu cách điện sẽ sinh ra tổn hao điện môi.

$$P = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot U^2 \cdot \text{tg}\delta \quad (1-39)$$

Trong đó:

P : Công suất tổn hao (W)

$\delta$ : Góc tổn hao điện môi-góc lệch pha giữa véc tơ dòng điện và điện áp trong điện môi

U : Điện áp (V)

f: Tần số điện trường (Hz)

C: Điện dung điện môi (F)

Từ (1-39) ta nhận thấy rằng, tổn hao điện môi chỉ đáng kể khi điện áp cao.

**Kết luận:** Các nguồn nhiệt làm nóng khí cụ điện gồm ba dạng: tổn hao trong dây dẫn do dòng điện trực tiếp đi qua, tổn hao trong vật liệu sắt từ do từ trường biến thiên gây ra và tổn hao trong chất điện môi do điện trường biến thiên gây ra.

### 1.3.3. Chế độ phát nóng trong khí cụ điện

Trong quá trình làm việc, các khí cụ điện đều tiêu hao năng lượng dưới dạng tổn hao đồng (tổn hao dây quấn), tổn hao thép (tổn hao mạch từ), tổn hao cơ khí (ở các máy điện quay) và các tổn hao phụ. Năng lượng tổn hao bằng cách này hay cách khác, cuối cùng đều biến thành nhiệt làm nóng thiết bị, ta nói thiết bị phát nóng (nhiệt độ phát nóng  $\theta$ ). Khi nhiệt độ thiết bị cao hơn nhiệt độ môi trường, chênh lệch nhiệt độ càng lớn, nhiệt lượng tỏa ra môi

trường càng nhiều. Khi nhiệt lượng do năng lượng tổn hao ở thiết bị sinh ra trong mỗi đơn vị thời gian bằng nhiệt lượng tỏa ra môi trường trong cùng thời gian đó, thì nhiệt lượng thiết bị không tăng nữa và đạt trị số xác lập (nhiệt độ ổn định  $\theta_{\text{đd}}$ ). Thời gian  $t_{\text{nóng}}$  gọi là thời gian đốt nóng, thường vài chục phút đến vài giờ.

Khi cắt thiết bị ra khỏi nguồn, nhiệt độ thiết bị giảm dần cho tới khi bằng với nhiệt độ  $\theta_0$  của môi trường (còn gọi nhiệt độ phát nóng ban đầu  $\theta_0$ ) đó là quá trình nguội lạnh của thiết bị. Thời gian  $t_{\text{nguội}}$  gọi là thời gian nguội lạnh.

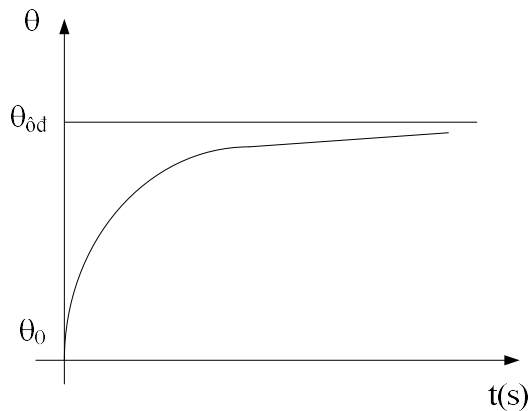
Gọi  $\tau = \theta - \theta_0$ : là độ chênh nhiệt so với nhiệt độ môi trường, ở vùng ôn đới cho phép  $\tau=35^{\circ}\text{C}$ , vùng nhiệt đới  $\tau =50^{\circ}\text{C}$ . Sự phát nóng khí cụ điện còn tùy thuộc vào chế độ làm việc.

$\tau_{\text{đd}} = \theta_{\text{đd}} - \theta_0$ : độ chênh nhiệt độ ổn định.

Khoảng cách giữa hai lần đóng và ngắt điện của thiết bị gọi là thời gian làm việc  $t_{\text{lv}}$ . Tùy theo tương quan giữa thời gian làm việc với thời gian phát nóng và nguội lạnh, người ta phân ra ba chế độ làm việc của khí cụ điện: dài hạn, ngắn hạn, và ngắn hạn lặp lại.

### **a. Chế độ làm việc dài hạn của khí cụ điện**

Chế độ làm việc dài hạn là chế độ làm việc của khí cụ điện với thời gian dài tùy ý nhưng không ngắn hơn thời gian để nhiệt độ phát nóng đạt tới giá trị ổn định. Nói cách khác chế độ làm việc dài hạn là chế độ mà nhiệt độ khí cụ điện tăng từ nhiệt độ ban đầu đến nhiệt độ ổn định sau đó tỏa nhiệt môi trường xung quanh. Với phụ tải không đổi hay thay đổi ít làm việc ở chế độ này.

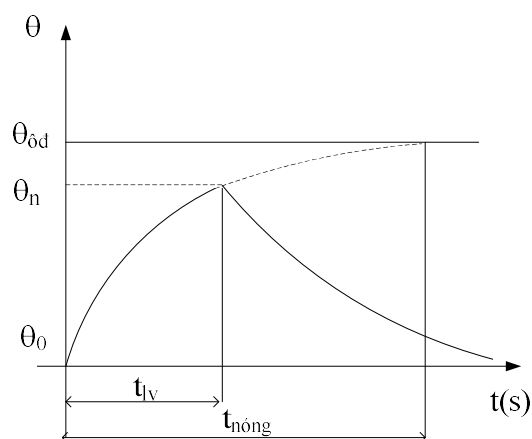


**Hình 1.13: Chế độ làm việc dài hạn của khí cụ điện**

### **b. Chế độ làm việc ngắn hạn của khí cụ điện**

Chế độ làm việc ngắn hạn là chế độ làm việc của khí cụ điện với thời gian đủ ngắn để nhiệt độ phát nóng của nó chưa đạt tới giá trị ổn định (thời gian làm việc nhỏ hơn thời gian phát nóng  $t_{\text{lv}} < t_{\text{nóng}}$ ), sau đó ngưng làm việc trong thời gian đủ lớn để nhiệt độ của nó hạ xuống tới nhiệt độ môi trường (thời gian cắt điện lại dài hơn thời gian nguội lạnh  $t_c > t_{\text{nguội}}$ ). Như vậy, mỗi chu kỳ làm việc, thiết bị không bao giờ đạt nhiệt độ ổn định và sau đó lại nguội lạnh đến nhiệt độ môi trường rồi mới bắt đầu chu kỳ làm việc mới. Các thiết bị làm việc theo chế độ này như trong mạch khởi động động cơ đốt trong, các thiết bị mở máy động cơ điện, cuộn dây đóng hoặc cắt máy cắt...

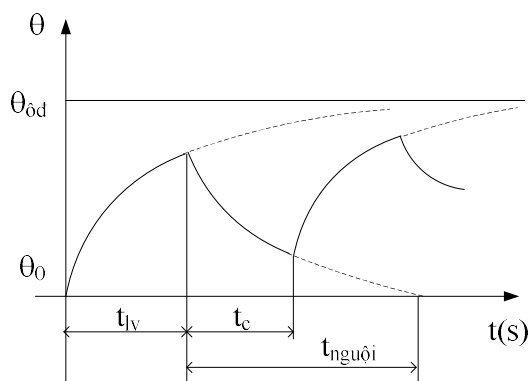




**Hình 1.14: Chế độ làm việc ngắn hạn của khí cụ điện**

**c. Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại của khí cụ điện**

Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại là chế độ làm việc của khí cụ điện trong một thời gian  $t_{IV}$  mà nhiệt độ phát nóng ( $t_{IV} < t_{nóng}$ ) nhưng chưa đạt tới bão hòa và sau đó nghỉ một thời gian  $t_{ng}$  mà nhiệt độ chưa giảm về nhiệt độ ban đầu (thời gian cắt điện nhỏ hơn thời gian nguội lạnh  $t_c < t_{nguội}$ ) rồi tiếp tục làm việc và nghỉ xen kẽ. Như vậy, mỗi chu kỳ làm việc thiết bị chưa kịp nguội tới nhiệt độ môi trường đã lại bắt đầu chu kỳ làm việc mới. Các khí cụ điện cầu trục làm việc ở chế độ này.



**Hình 1.15: Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại của khí cụ điện**

**1.4. TIẾP XÚC ĐIỆN**

**1.4.1. Khái niệm**

Tiếp xúc điện là chỗ tiếp xúc của hai hay nhiều vật dẫn, để truyền dẫn dòng điện đi từ vật này sang vật khác. Bề mặt tiếp xúc giữa các vật dẫn được gọi là bề mặt tiếp xúc điện.

**1.4.2. Phân loại**

*Dựa vào mối liên kết tiếp xúc, ta chia tiếp xúc điện ra các dạng sau:*

- Tiếp xúc cố định: là loại tiếp xúc giữa 2 vật dẫn, được liên kết bằng bulông, đinh vít,... ví dụ: Tiếp xúc của kẹp nối dây, tiếp xúc giữa dây dẫn và cột bắt dây ...
- 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 ví dụ: tiếp xúc của tiếp điểm, công tắc, aptomat, máy cắt, công tắc tơ...).

▪ Tiếp xúc trượt: là vật dẫn điện này có thể trượt trên bề mặt của vật dẫn điện kia. Tiếp xúc trượt rất quan trọng và được ứng dụng rộng rãi trong tiếp xúc của máy điện, xe điện, cầu trục, thang máy, thiết bị điện tử, hệ thống điều khiển tự động. Tiếp xúc trượt trong máy điện có dòng điện qua trung bình và lớn, còn tiếp xúc trong thiết bị điện tử có dòng điện qua nhỏ

**Dựa vào hình dạng chỗ tiếp xúc, ta chia tiếp xúc điện ra các dạng sau:**

▪ 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,...).

### 1.4.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến tiếp xúc điện

**Vật liệu làm tiếp điểm:** Nếu vật liệu mềm, tức là ứng suất mềm của vật liệu càng bé thì điện trở tiếp xúc càng bé. Vì với vật liệu mềm, cùng một lực ép tiếp điểm thì diện tích tiếp xúc lớn hơn nên điện trở tiếp xúc nhỏ hơn. Điều này được sử dụng triệt để đối với các bề mặt tiếp xúc cố định, có dòng điện lớn (phủ một lớp vật liệu mềm có độ dẫn điện tốt lên bề mặt tiếp xúc trước khi ép chúng bằng bulông, xà ép...). Còn với các loại tiếp xúc đóng cắt, người ta không sử dụng vật liệu tiếp điểm mềm vì sau mỗi lần đóng cắt, xung lực cơ khí làm tiếp điểm biến dạng.

**Lực ép lên tiếp điểm (F)** càng lớn thì điện trở tiếp điểm càng bé

**Nhiệt độ tiếp điểm:** ở nhiệt độ không quá cao (thường  $200^{\circ}\text{C}$ ), khi nhiệt độ tiếp điểm tăng thì điện trở tiếp xúc cũng tăng.

**Diện tích tiếp xúc:** Diện tích tiếp xúc càng tăng thì điện trở tiếp xúc càng giảm

**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 tiếp xúc nhau ở tần số 50Hz, thì mật độ dòng điện cho phép là:

$$J_{cp} = \frac{I}{S} \approx [0,31 \div 1,05 \cdot 10^{-4} (I - 200)]; A / mm^2 \quad (1-40)$$

Trong đó: I: Giá trị dòng điện hiệu dụng (A)

S: Diện tích mặt tiếp xúc biểu kiến  $S = S_{bk} (mm^2)$

Biểu thức trên chỉ đúng với dòng điện từ  $200 \div 2000\text{A}$ . Nếu I ngoài giá trị đó:

$$I < 200 \text{ A thì } j_{cp} = 0,31\text{A} / mm^2$$

$$I > 2000\text{A thì } j_{cp} = 0,12\text{A} / mm^2$$

Nhiệt độ cho phép quy định khi dòng điện định mức đi qua các bộ phận khí cụ điện (điện áp cao) với nhiệt độ môi trường xung quanh  $\theta_0 = 35^{\circ}\text{C}$  ở một số nước Đông Âu và Liên Xô cho trong bảng 1.2 sau:

**Bảng 1.2**

Dạng tiếp xúc	$\theta$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\tau$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
Tiếp xúc cố định	80	45
Tiếp xúc đóng mở	75	40
Vật dẫn điện trong không khí	110	75
Vật dẫn điện trong dầu	90	55

Đối với mật độ dòng điện đã cho trước, muốn giảm phát nóng tiếp điểm thì vật liệu phải có điện trở suất nhỏ, đồng thời phải có khả năng toả nhiệt cao qua mặt ngoài. Do đó những vật dẫn có bề mặt xù xì (vật đúc) hay những vật dẫn được quét sơn sẽ toả nhiệt có hiệu quả hơn. Có thể kiểm tra nhiệt độ tiếp xúc bằng sự biến màu của sơn.

Như vậy, muốn giảm điện trở tiếp xúc có thể tăng lực ép  $F$ , tăng số điểm tiếp xúc, chọn vật dẫn có điện trở suất bé và hệ số truyền nhiệt lớn tăng diện tích truyền nhiệt và chọn tiếp điểm có dạng toả nhiệt dễ nhất.

#### 1.4.4. Các yêu cầu cơ bản của tiếp xúc điện

- + Nơi tiếp xúc điện phải chắc chắn, đảm bảo.
- + Mỗi nối tiếp xúc phải có độ bền cơ khí cao.
- + Mỗi nối không được phát nóng quá giá trị cho phép.
- + Ổn định nhiệt và ổn định dòng khi có dòng điện cực đại đi qua.
- + Chịu được tác động của môi trường (nhiệt độ, chất hoá học ...)

#### Để đảm bảo các yêu cầu trên, vật liệu dùng làm tiếp điểm có các yêu cầu:

- + Điện dẫn và nhiệt dẫn cao.
- + Độ bền chống rỉ trong không khí và trong các khí khác.
- + Độ bền chống tạo lớp màng có điện trở suất cao.
- + Độ cứng cao để giảm lực nén.
- + Độ cứng cao để giảm hao mòn ở các bộ phận đóng ngắt.
- + Độ bền chịu hồ quang cao (nhiệt độ nóng chảy).
- + Đơn giản gia công, giá thành hạ.

Một số vật liệu dùng làm tiếp điểm: Đồng, bạc, nhôm, Von-fram...

## 1.5. HỒ QUANG ĐIỆN

### 1.5.1. Khái niệm chung

Hồ quang điện (HQĐ) là hiện tượng phóng điện trong chất khí, chất lỏng hoặc hơi có mật độ dòng điện rất lớn đạt tới hàng chục ngàn  $\text{A}/\text{cm}^2$ , làm phát sinh nhiệt độ ở vùng thân hồ quang rất cao từ  $(3000 \div 10000)^{\circ}\text{C}$  thường kèm theo hiện tượng phát sáng.

### 1.5.2. Tác hại của hồ quang điện

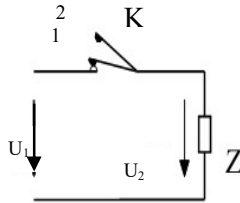
Ngoài lợi ích HQĐ dùng để cắt kim loại, làm nóng chảy kim loại, hàn điện.. thì tác hại hồ quang điện gây ra cho thiết bị điện cũng không nhỏ.

- Hồ quang điện phát sinh nhiệt cao vì vậy sau một số lần đóng cắt mạch điện thì bề mặt tiếp xúc của các tiếp điểm trong thiết bị điện đóng cắt điện thường bị cháy, bị rỗ, làm tăng điện trở tiếp xúc ( $R_{tx}$ ) của tiếp điểm.

- Nếu để xảy ra hồ quang điện phóng chấp chờn sẽ gây ra hiện tượng quá điện áp nội bộ làm hỏng cách điện của thiết bị điện hoặc cách điện của đường dây tải điện.
- Nếu thiết bị đóng cắt điện hỏng bộ phận dập hồ quang hoặc do thao tác đóng cắt sai quy trình, quy phạm thì hồ quang điện có thể phát sinh đan chéo giữa các pha gây ra ngắn mạch nhiều pha.
- Hồ quang điện làm kéo dài thời gian đóng cắt điện, vì tia hồ quang dẫn điện, chỉ đến khi hồ quang tắt hẳn thì mạch điện mới được cắt hoàn toàn.
- Hồ quang điện gây ra cháy nổ nếu nó phát sinh ở những nơi có vật liệu dễ cháy nổ.
- Hồ quang điện có thể gây ra bóng hoặc tử vong cho người.

### 1.5.3. Quá trình phát sinh hồ quang điện

Khi đóng cắt dòng điện, ở chỗ tiếp xúc xuất hiện hồ quang ta gọi là hồ quang điện. Hình 1.16 mạch điện đơn giản dùng công tắc để đóng ngắt. Gồm điện áp nguồn  $U_1$  được xem là không đổi  $U_2 = I \cdot Z_t$  là điện áp đầu cực phụ tải.  $U_{tx} = I \cdot R_{tx}$  là điện áp tiếp xúc trên bề mặt tiếp điểm động và tiếp điểm tĩnh của công tắc K.



**Hình 1.16: Hình thành điện trường ở vị trí tiếp xúc**

Giả sử công tắc K đang đóng ở vị trí 1 nếu bỏ qua điện trở kháng đường dây thì  $U = U_{tx} + U_2$ . Khi mạch điện đang đóng, điện trở tiếp xúc rất bé ( $U_{tx} = 0$ ). Vì vậy  $U_1 = U_2$ . Khi cắt điện qua công tắc K, tiếp xúc động bắt đầu rời khỏi tiếp xúc tĩnh, làm cho điện trở tiếp xúc tăng dần lên, do đó  $U_{tx}$  cũng tăng theo vì vậy  $U_2$  bị giảm dần ( $U_1 = \text{const}$ ). Khi tiếp xúc động của công tắc K di chuyển đến vị trí 2 thì có thể xem như dòng điện trong mạch bị ngắt, do không khí giữa 2 đầu tiếp xúc rất nhỏ ( $d \ll \lambda$ ) vì vậy cường độ điện trường  $E$  rất lớn ( $E = U/d$ ) có thể đạt tới  $3 \cdot 10^7$  v/cm làm cho mật độ của dòng điện giữa hai đầu tiếp xúc động và tĩnh của công tắc K tăng lên hàng chục lần. Không khí giữa khe hẹp của hai đầu tiếp xúc động và tĩnh bị ion hoá rất mạnh, cho nên không khí trở nên dẫn điện, gây ra phóng điện giữa hai đầu tiếp xúc động và tĩnh, ta gọi đó là hồ quang điện.

Khi điện áp đặt vào giữa hai đầu tiếp xúc càng cao, hay dòng điện chạy qua mạch càng lớn thì HQĐ phát sinh càng mãnh liệt. Nếu dòng điện tải lớn, khi tiếp xúc động bắt đầu rời khỏi tiếp xúc tĩnh thì nhiệt độ tiếp xúc tăng lên đến mức làm nóng chảy lớp kim loại trên bề mặt tiếp xúc, tạo thành lớp kim loại lỏng. Khi tiếp xúc động bắt đầu rời khỏi tiếp xúc tĩnh ra xa thì lớp kim loại lỏng cũng bị kéo dài ra nối liền giữa tiếp xúc động và tiếp xúc tĩnh. Nếu nhiệt độ tăng quá cao làm cho kim loại bốc hơi xảy ra nhanh quá sẽ kèm theo tiếng nổ.

Vậy bản chất hồ quang điện là quá trình ion hoá lớp điện môi giữa hai đầu cực, gây ra hiện tượng phóng điện khi cường độ điện trường ở đó đạt tới giới hạn điện trường ion hoá  $E_i$ .

### 1.5.4. Quá trình dập tắt hồ quang điện

Tác dụng nhiệt của HQĐ làm hư hỏng các đầu tiếp xúc trong khí cụ điện đóng cắt mạch điện. Vì vậy khi hồ quang điện phát sinh cần phải được dập tắt càng nhanh càng tốt.

Hồ quang điện sẽ bị dập tắt khi môi trường giữa các điện cực không còn dẫn điện hay nói cách khác HQĐ sẽ tắt khi có quá trình phản ion hóa (khử ion) song song tồn tại và xảy ra mạnh hơn quá trình ion hóa.

Các phương pháp dập tắt hồ quang thường sử dụng là:

❖ **Kéo dài hồ quang bằng cơ khí**

Hồ quang bị kéo dài, thân hồ quang bị nhỏ và dài ra, tăng bề mặt tiếp xúc hồ quang với môi trường, vì vậy hồ quang bị tỏa nhiệt và khuếch tán nhanh, làm tăng quá trình phản ion. Muốn kéo dài hồ quang bằng cơ khí thì cần phải tăng khoảng cách hai tiếp điểm ( $E = U/d$  nếu tăng nhanh khoảng cách  $d$  thì  $E$  giảm nhanh khi  $E < E_i$  thì hồ quang bị dập tắt).

Biện pháp này chỉ áp dụng cho các thiết bị đóng cắt điện có dòng điện bé và điện áp thấp (đến 250V) như ở role, các thiết bị điều khiển. Với các thiết bị đóng, cắt điện áp trên 1000V, có dòng điện bé (đóng cắt không tải của máy biến áp, của đường dây), người ta cũng dùng biện pháp kéo dài hồ quang bằng cơ khí như các dao cách ly cao áp.

❖ **Phương pháp chia nhỏ hồ quang**

Đặt giữa 2 đầu tiếp xúc động và tĩnh một buồng dập hồ quang trong buồng có tấm kim loại chịu nhiệt đặt song song với nhau gọi là cách tử, mục đích để chia nhỏ hồ quang. Khi hồ quang phát sinh giữa hai đầu tiếp xúc động và tĩnh, do áp lực của không khí hoặc dầu cách điện bị giãn nở và do lực điện từ sẽ đẩy tia hồ quang vào sâu trong khe hở của các cách tử, vì vậy hồ quang bị chia nhỏ, nhanh chóng bị làm nguội và dập tắt.

Phương pháp này thường được ứng dụng để dập tắt hồ quang trong các loại aptomat, dao phụ tải, máy cắt dầu ...

❖ **Phương pháp thổi bằng từ trường**

Nguyên lý dập hồ quang này được dùng rất rộng rãi ở các thiết bị đóng cắt hạ áp cho mọi cỡ dòng điện, từ vài chục đến vài ngàn ampe như máy cắt điện, dao phụ tải.. Với dòng điện một chiều, vì hồ quang khó dập tắt hơn nên người ta dùng cuộn dây thổi từ nối tiếp dòng điện hồ quang. Khi dòng điện cắt càng lớn, lực điện động tác động lên hồ quang càng lớn (tỷ lệ bình phương dòng điện), hiệu ứng thổi hồ quang càng nhanh.

❖ **Phương pháp dập hồ quang bằng thổi khí nén**

Đây là phương pháp thổi cưỡng bức, Vật liệu sinh khí như không khí sạch, khô được nén với áp suất cao có độ bền lớn. Khi hồ quang xuất hiện, người ta dùng khí nén này thổi vào hồ quang để dập tắt nó.

Với áp suất nén cao có thể đạt tới hàng chục Apmotphe, độ bền điện cỡ 40KV/mm, vận tốc cỡ 200m/s, vật liệu khí nén sẽ thăng hoa làm cho áp suất ở vùng phát sinh hồ quang tăng lên rất lớn, thổi dập tắt hồ quang. Phương pháp này được ứng dụng để dập tắt hồ quang trong chống sét ống, cầu chì tự rơi..

Nhược điểm của kiểu thổi này là cần có thiết bị nén khí đi kèm rất cồng kềnh và tốn kém

❖ **Phương pháp dập hồ quang trong dầu biến áp**

ở các thiết bị đóng cắt điện cao áp và dòng điện lớn, môi trường cháy của hồ quang là dầu biến áp như các máy cắt dầu. Dầu biến áp có độ bền cao, dẫn nhiệt tốt. Khi hồ quang cháy trong dầu, dưới tác dụng của nhiệt lượng hồ quang, dầu ở khu vực hồ quang bị phân tích thành hỗn hợp khí hơi có độ bền điện cao nên hồ quang dễ bị dập tắt hơn.

## **1.6. NAM CHÂM ĐIỆN**

### **1.6.1. Đại cương về nam châm điện**

Nam châm điện (NCD) là loại cơ cấu điện từ biến đổi điện năng thành cơ năng. NCD được dùng rộng rãi trong mọi lĩnh vực như cơ cấu truyền động của role điện cơ, công tắc tơ, các thiết bị đóng cắt, bảo vệ...kiểu điện từ cụ thể:

- Trong công nghiệp dùng ở các cần trục để nâng các tấm thép
- Trong truyền động điện, dùng trong bộ ly hợp từ, các van điện từ, bản từ..
- Trong sinh hoạt hằng ngày, được ứng dụng rộng rãi như chuông điện, loa điện...

### 1.6.2. Cấu tạo và nguyên lý làm việc nam châm điện

#### a. Cấu tạo

Hình dáng, kết cấu NCD rất đa dạng, tùy thuộc vào chức năng và mục đích sử dụng. NCD có hai bộ phận chính cuộn dây (phần điện) và mạch từ (phần từ).

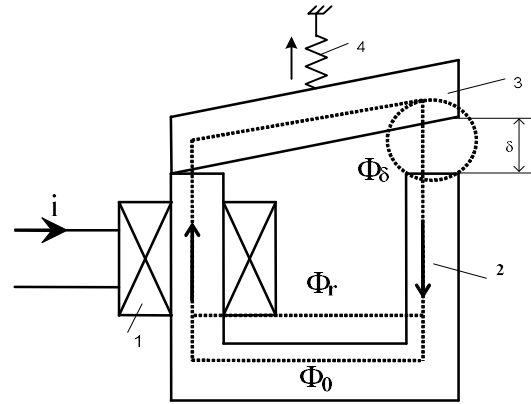
Trên hình 1.17, trình bày cấu tạo NCD có khe hở không khí làm việc thường gặp trong các role, công tắc tơ...

+ Cuộn dây gồm có N vòng dây được quấn trên mạch từ tĩnh

+ Mạch từ là môi trường vật chất để từ thông chính trong nam châm điện gồm hai phần: phần làm bằng vật liệu sắt từ và phần còn lại là khe hở không khí

Nam châm điện (hình 1.17) chia làm các phần chính sau đây:

1. Cuộn dây
  2. Phần tĩnh mạch từ (thân)
  3. Phần động mạch từ (nắp)
  4. Lò xo phân lực
- Khe hở không khí chính  $\delta$



Hình 1.17 Nam châm điện

#### b. Nguyên lý làm việc

Khi cho dòng điện chạy qua cuộn dây sẽ sinh ra từ trường có sức từ động  $F=i.w$ , sinh ra từ thông  $\phi_0$ , từ thông này cũng chia làm 2 thành phần:

Từ thông chính  $\phi_\delta$ : là từ thông đi qua khe hở không khí chính, qua nắp và tạo nên lực hút điện từ hút nắp về phía lõi của NCD, đây cũng là từ thông làm việc của cơ cấu điện từ.

Từ thông rò  $\phi_r$ : là từ thông khép vòng qua cuộn dây là thành phần không đi qua khe hở không khí chính mà khép kín trong không gian giữa lõi và thân mạch từ.

Nếu đổi chiều dòng điện trong cuộn dây thì từ trường trong cuộn dây cũng đổi chiều và vật liệu sắt từ bị từ hóa có cực tính ngược với cực tính cuộn dây, cho nên chiều lực hút không đổi.

Trong quá trình làm việc nắp mạch từ chuyển động, khe hở không khí giữa nắp và lõi thép thay đổi nên lực hút điện từ cũng thay đổi.

Nếu cuộn dây NCD mắc nối tiếp với phụ tải thì ta có NCD nối tiếp và cuộn dây gọi là cuộn dòng điện. Trong trường hợp này trị số dòng điện chạy qua cuộn dây hoàn toàn phụ thuộc vào phụ tải nối tiếp với nó và điện áp rơi trên cuộn dòng điện rất bé so với phụ tải, không ảnh hưởng đến chế độ làm việc của phụ tải.

Nếu cuộn dây mắc song song với nguồn thì ta có cuộn dây điện áp. Dòng điện trong cuộn dây lúc này chỉ hoàn toàn phụ thuộc vào thông số mạch từ và cuộn dây.

Tùy thuộc vào dạng dòng điện chạy vào cuộn dây, ta có NCD một chiều và xoay chiều. Ở NCD một chiều, mạch từ thường có cấu tạo từ vật liệu dạng khối còn NCD xoay chiều, mạch từ thường được ghép bởi các lá thép kỹ thuật điện mỏng, cách điện lẫn nhau để giảm tổn hao năng lượng do từ trễ và dòng điện xoáy.

Đối với NCD xoay chiều khi làm việc có hiện tượng rung, do đó trong kết cấu có gắn thêm vòng ngắn mạch có nhiệm vụ chống rung và nguyên lý làm việc như sau:

Khi cung cấp dòng điện xoay chiều  $i = I_m \sin \omega t$  thì trong mạch sẽ xuất hiện một lực điện từ  $F_{dt} = 4B^2 \sin^2(\omega t) \cdot S$  (1-41)

Ta có:  $\sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \Rightarrow F_{dt} = \frac{4B^2 S}{2} - \frac{4B^2 S}{2} \cdot \cos(2\omega t)$  (1-42)

Đặt  $F_0 = 2B^2 S$  : là thành phần lực hút không đổi theo thời gian

$F_{bd} = -F_0 \cdot \cos 2\omega t$  : là thành phần lực thay đổi theo thời gian.

suy ra:  $F_{dt} = F_0 - F_0 \cdot \cos 2\omega t = f(2\omega t)$  (1.43)

❖ **Khi không có vòng chống rung**

Vậy lực hút điện từ biến đổi theo tần số gấp đôi tần số của nguồn điện ( $2\omega$ ).

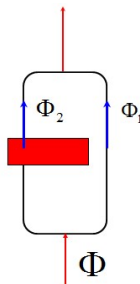
Ở thời điểm  $B = 0$  thì  $F_{dt} = 0$  lực lò xo  $F_{lx} > F_{dt}$  thì nắp bị kéo nhả ra. Ở những thời điểm  $F_{lx} < F_{dt}$  thì nắp được hút về phía lõi.

Như vậy trong một chu kỳ nắp bị hút nhả ra hai lần nghĩa là nắp bị rung với tần số 100Hz nếu tần số nguồn điện là 50Hz.

Để chống hiện tượng rung này, ta phải làm sao cho lực hút điện từ  $F_{dt}$  ở mọi thời điểm phải lớn hơn lực  $F_{lx}$ . Muốn  $F_{dt} > F_{lx}$  người ta tạo ra 2 từ thông lệch pha trong mạch từ, bằng cách đặt vòng chống rung thường bằng đồng và có một vòng

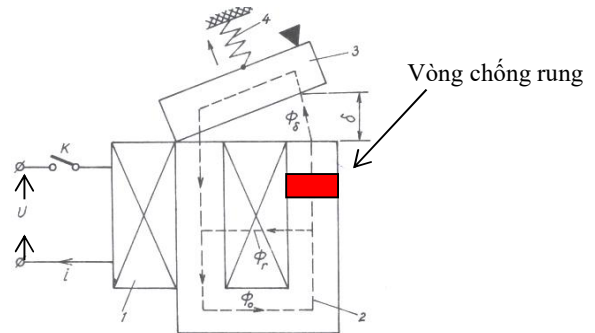
❖ **Khi có vòng chống rung**

Ta có:  $F_{dt} = F_{kd} + F_{bd}$ , lực này sẽ sinh ra từ thông  $\phi$  đi qua cực từ và chia làm hai thành phần  $\phi_1$  và  $\phi_2$  (hình 1.18).



Hình 1.18:

Nguyên lý vòng chống rung



Hình 1.19 Nam châm điện xoay chiều có vòng chống rung

$\phi_1$  là thành phần không đi qua phần cực từ có vòng chống rung,  $\phi_2$  đi qua phần có vòng chống rung. Khi có từ thông  $\phi_2$  biến thiên đi qua, trong vòng chống rung sẽ xuất hiện dòng điện cảm ứng  $i$  chạy khép mạch trong vòng.

Dòng cảm ứng  $i$  sẽ sinh ra một từ trường có tác dụng chống lại sự biến thiên của  $\phi_2$  nên làm  $\phi_2$  chậm pha so với  $\phi_1$  một góc  $\alpha$

Lực điện từ sinh ra sẽ có hai thành phần :

Từ thông  $\phi_1$  sinh ra lực:  $F_{dt1} = F_{01} - F_{01} \cos 2\omega t$

Từ thông  $\phi_2$  sinh ra lực :  $F_{dt2} = F_{02} - F_{02} \cos(2\omega t - 2\alpha)$

Lực hút điện từ tổng F là :

$$F_{dt} = F_{dt1} + F_{dt2} = (F_{01} + F_{02}) - [F_{01} \cos 2\omega t + F_{02} \cos(2\omega t - 2\alpha)] = f(2\omega t) \quad (1-44)$$

Qua (1-44) ta thấy rằng lực hút điện từ  $F_{dt1}$  và  $F_{dt2}$ , không đồng thời đi qua trị số 0, do đó lực hút điện từ tổng F được nâng cao làm cho mọi thời điểm t, lực  $F > F_{lx}$  nên nắp mạch từ sẽ không rung nữa

### 1.6.3. Ứng dụng của nam châm điện

Nam châm điện được ứng dụng nhiều trong các thiết bị nâng hạ, trong các thiết bị phanh hãm, trong các cơ cấu truyền lực chuyển động (bộ ly hợp) ...

**Nam châm điện nâng hạ:** Thường được dùng nhiều trong các cần trục, đặc biệt là trong các nhà máy chế tạo cơ khí và luyện kim.

**Nam châm điện phanh hãm:** Thường được dùng để hãm các bộ phận chuyển động của cần trục, trục chính các máy công cụ, v.v... nhưng thông dụng hơn cả là nam châm điện hãm kiểu guốc phanh, kiểu băng, kiểu đĩa. Thường có hai loại:

- **Nam châm điện hãm có hành trình dài:** phản ứng (lỗi thép động) của nam châm điện được nối với cần của hệ thống hãm..
- **Nam châm điện hãm có hành trình ngắn:** Nó được ứng dụng trong bộ ly hợp điện từ.

**Bộ ly hợp điện từ:** Thường dùng nam châm điện dòng điện một chiều kết hợp với các đĩa ma sát để làm nhiệm vụ truyền chuyển động quay (bộ ly hợp) hoặc để phanh hãm (dùng chính xác) trong các bộ phận chuyển động của máy công cụ. Nó được chế tạo hai loại: loại một phía và loại ly hợp hai phía.

Bộ ly hợp điện từ được sử dụng nhiều trong những năm gần đây để tự động hoá quá trình điều khiển chạy và dừng các bộ phận cơ khí trong các máy móc gia công cắt gọt v.v... mà vẫn chỉ cần dùng một động cơ điện kéo. Trong sử dụng bộ ly hợp điện từ, cần thực hiện kiểm tra ba tháng một lần gồm kiểm tra độ mòn của chổi than, vành trượt, kiểm tra cách điện của cuộn dây, kiểm tra khe hở v.v... Trường hợp không truyền được mômen quay (có hiện tượng trượt đĩa thép ma sát và làm nóng đột ngột) thì phải dừng máy ngay và kiểm tra tình trạng phun dầu làm nguội, trị số khe hở không khí, tình hình mặt đĩa ma sát v.v... Riêng về khe hở hành trình hút cần phải theo hướng dẫn của nhà chế tạo.

## 1.7 Vật liệu dùng chế tạo khí cụ điện

### 1.7.1 Vật liệu dẫn điện

#### 1.7.1.1 Định Nghĩa:

Vật liệu dẫn điện là vật chất mà ở trạng thái bình thường có các điện tích tự do. Nếu đặt những vật này vào trong một trường điện, các điện tích sẽ chuyển động theo hướng nhất định của điện trường và tạo thành dòng điện.

Vật dẫn điện có thể là chất rắn, chất lỏng và trong một số điều kiện phù hợp có thể là chất khí.

#### 1.7.1.2 Phân loại:

Vật liệu với tính dẫn điện từ hay còn gọi vật dẫn loại 1 (vật dẫn kim loại): Là vật chất mà sự hoạt động của các điện tích không làm biến đổi thực thể đã làm nên vật thể đó. Bao gồm những kim loại ở trạng thái rắn hay lỏng, hợp kim và một số chất không phải là kim loại.



Vật liệu với tính dẫn ion hay còn gọi là vật dẫn loại 2 (vật dẫn điện phân) Là vật chất mà dòng điện đi qua sẽ tạo nên sự biến đổi hóa học. Đó là các dung dịch Axít, kiềm và muối.

**1.1.7.3 Các đặc tính của vật liệu dẫn điện:**

**Điện Trở R:**

Là quan hệ giữa hiệu điện thế không đổi đặt ở hai đầu của dây dẫn và cường độ dòng điện I chiều tạo nên trong dây dẫn đó.

Điện trở của dây dẫn được tính theo công thức:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Trong đó R là điện trở :  $\Omega$

$\rho$  là điện trở suất :  $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$

L là chiều dài dây dẫn: m

S là tiết diện của dây dẫn:  $\text{mm}^2$

**Điện dẫn G** của một dây dẫn là đại lượng nghịch đảo của điện trở:

$$G = \frac{1}{R}$$

Điện dẫn được tính với đơn vị  $\Omega^{-1} = \frac{1}{\Omega}$

**Điện trở suất  $\rho$ :**

- Là điện trở của dây dẫn có chiều dài là một đơn vị chiều dài và tiết diện là một đơn vị diện tích.

- Trên thực tế, điện trở suất của dây dẫn được tính theo  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  và trong một số trường hợp được tính bằng  $\Omega \cdot \text{cm}$ .

- Những đơn vị nêu trên, chúng được liên hệ qua biểu thức sau đây:

$$1\Omega \cdot \text{cm} = 10^4 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m} = 10^6 \mu\Omega \cdot \text{cm} = 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}$$

**Điện dẫn suất  $\gamma$ :** là đại lượng nghịch đảo của điện trở suất.

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

- Điện dẫn suất  $\gamma$  được tính theo:  $\text{m} / \Omega \cdot \text{mm}^2, \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}, \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$ .

**Hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ ( $\alpha$ )**

- Điện trở suất của kim loại và của rất nhiều hợp kim tăng theo nhiệt độ, điện trở suất của Cacbon và của dung dịch điện phân giảm theo nhiệt độ.

- Thông thường, điện trở suất của kim loại tăng theo nhiệt độ theo quy luật sau:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \dots)$$

- Ở nhiệt độ sử dụng  $t_2$  điện trở suất sẽ được tính toán suất phát từ nhiệt độ  $t_1$  theo công thức:

$$\rho_{t_2} = \rho_{t_1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

- Trong đó,  $\alpha$  là số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ đối với vật liệu tương ứng và ứng với những khoảng nhiệt độ được nghiên cứu.

- Hệ số  $\alpha$  gần như giống nhau đối với các kim loại tinh khiết và có trị số gần đúng bằng  $4.10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ .

- Đối với khoảng chênh lệch nhiệt độ ( $t_2 - t_1$ ), thì hệ số  $\alpha$  trung bình sẽ là

$$\alpha = \frac{\rho_{t_2} - \rho_{t_1}}{\rho_{t_1}(t_1 - t_2)}$$

**Giá trị  $\alpha$  và  $\rho$**  theo nhiệt độ đối với những kim loại dùng trong kỹ thuật điện được trình bày ở bảng sau:

Kim Loại	Điện trở suất $\rho$ ở $20^\circ\text{C}$ $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$	Hệ số thay đổi của điện trở suất theo nhiệt độ	Kim loại	Điện trở suất $\rho$ ở $20^\circ\text{C}$ $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$	Hệ số thay đổi của điện trở suất theo nhiệt độ

*Giáo trình Khí Cụ Điện*

Bạc	0.0160 – 0.0165	0.0034 – 0.00492	Kẽm	0.0535 – 0.0630	0.0035 – 0.00419
Đồng	0.0168 – 0.0182	0.00392 – 0.00445	Niken	0.06141 – 0.138	0.0044 – 0.00692
Vàng	0.0220 – 0.0240	0.00350 – 0.00398	Thép	0.0918 – 101500	0.0045 – 0.00657
Al	0.0262 – 0.0400	0.0040 – 0.0049	Platin	0.0866 – 0.116	0.00247– 0.00398

- Về phương diện lý thuyết, ở độ không tuyệt đối, kim loại tinh khiết không còn điện trở.
- Sự biến dạng đàn hồi, mức độ tinh khiết của kim loại sẽ ảnh hưởng đến giá trị của điện trở suất.
- Khi nóng chảy, điện trở suất của kim loại biến đổi, Thông thường, giá trị tăng lên (ngoại trừ: ãng –ti-moan, Gali và bitmut. Khi nóng chảy, điện trở suất giảm)
- Sự không tinh khiết của kim loại dẫn đến làm tăng điện trở suất.

**Hệ số thay đổi của điện trở suất theo áp suất :**

- Khi kéo hoặc nén đàn hồi, điện trở suất của kim loại biến đổi theo công thức

$$\rho = \rho_0 (1 \pm k\sigma).$$

- Dấu “+” ứng với biến dạng do kéo; dấu “-” do nén.

- Ở đây,  $\sigma$  - ứng suất cơ khí của mẫu, đơn vị kG/ mm<sup>2</sup>

**K – hệ số cho ở bảng 11**

Kim loại	Hệ số thay đổi của điện trở suất theo áp suất :k	Nhận Xét
Nhôm	Từ 3.81510 <sup>-6</sup> đến 3,766.10 <sup>-6</sup>	Dành cho nhiệt độ bao gồm giữa 0° và 100°C
Wolfram	Từ - 1,346. 10 <sup>-6</sup> đến - 1,368. 10 <sup>-6</sup>	Dành cho nhiệt độ bao gồm giữa 0° và 100°C
Thiếc	- 9,79. 10 <sup>-6</sup>	
Magie	- 3,9. 10 <sup>-6</sup>	Ở 0°C và áp suất giữa 0 và 12000 kG/cm <sup>2</sup>

**Bảng 11: Hệ số thay đổi của điện trở suất theo áp suất**

1.1.7.4 Một số vật liệu dẫn điện thông dụng

Kim loại

STT	Tên vật liệu	Ký hiệu	Điện trở suất 20 <sup>0</sup> C $\rho$ ( $\Omega$ .mm <sup>2</sup> / m)	Nhiệt độ nóng chảy t- <sup>0</sup> C	Trọng lượng riêng D (kg/dm <sup>3</sup> )
1	Đồng	Cu	0,01748 $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m dây mềm 0,01786 $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m dây cứng	1083 <sup>0</sup> C	7,4 - 8,9 kg/dm <sup>3</sup>
2	Nhôm	Al	2,941 $\Omega$ cm.10 <sup>-6</sup>	657 <sup>0</sup> C	2.7kg/dm <sup>3</sup>
3	Kẽm	Zn	5,92 $\Omega$ cm.10 <sup>-6</sup>	419.5 <sup>0</sup> C	7,14 kg/dm <sup>3</sup>
4	Sắt	Fe	10 $\Omega$ cm.10 <sup>-6</sup>	1535 <sup>0</sup> C	7,86kg/dm <sup>3</sup>
5	Magiê	Mg	4,6 $\Omega$ cm.10 <sup>-6</sup>	651 <sup>0</sup> C	1,74kg/dm <sup>3</sup>
6	Wonfram	W	5.55 $\Omega$ cm.10 <sup>-6</sup>	3380 <sup>0</sup> C	19.32kg/dm <sup>3</sup>
7	Niken	Ni	8,69 - 9,52 $\Omega$ cm.10 <sup>-6</sup>	1453 <sup>0</sup> C	8.9kg/dm <sup>3</sup>
8	Bạc	Ag	$\rho = 1,6\Omega$ cm.10 <sup>-6</sup> hay 0,016 $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m	960,8 <sup>0</sup> C	10,5kg/dm <sup>3</sup>
9	Vàng	Au	2,2 $\Omega$ cm.10 <sup>-6</sup>	1063 <sup>0</sup> C	19,29kg/dm <sup>3</sup>

10	Chì	Pb	$20,8\Omega\text{cm}.10^{-6}$	$327,3^{\circ}\text{C}$	$11,34\text{kg}/\text{dm}^3$
11	Thiếc	Sn	$11,4\Omega\text{cm}.10^{-6}$	$231,9^{\circ}\text{C}$	$7,3\text{kg}/\text{dm}^3$
12	Thủy ngân	Hg	$95.8\Omega\text{cm}.10^{-6}$	$-38.87^{\circ}\text{C}$	$13.546\text{kg}/\text{dm}^3$

### Hợp kim .

- Hợp kim là sản phẩm của sự nấu chảy 2 hay nhiều nguyên tố mà nguyên tố chủ yếu là kim loại và hợp kim có tính chất của kim loại . Hợp kim được chế tạo chủ yếu bằng cách nấu chảy, ngoài ra cũng có thể bằng các phương pháp khác như: điện phân , thiêu kết ...

### 1.7.2 Vật liệu khác

#### 1.7.2.1 Vật liệu cách điện

Vật liệu cách điện có ý nghĩa cực kỳ quan trọng đối với kỹ thuật điện. Chúng được dùng để tạo ra cách điện bao quanh những bộ phận dẫn điện trong các thiết bị điện và tách rời các bộ phận có điện thế khác nhau. Nó chỉ cho dòng điện đi theo những con đường mà sơ đồ quy định. Vật liệu cách điện còn được dùng làm điện môi công tác trong các tụ điện.

#### 1.7.2.2 Vật liệu cách điện thể khí

**Không khí:** Trong số vật liệu cách điện thể khí ta phải nhắc đến không khí. Do tính phổ biến ở khắp nơi, ngoài cả ý muốn của chúng ta, không khí thường tham gia vào các thiết bị điện và giữ vai trò như là vật liệu cách điện hỗ trợ thêm cho các vật liệu cách điện rắn hoặc lỏng

**Khí SF<sub>6</sub> (Sulfua hexa flor):** SF<sub>6</sub> là một chất khí được sử dụng trong các thiết bị điện. Nó là loại khí không màu, không mùi, không cháy và liên kết hóa học ổn định. Ở nhiệt độ thường SF<sub>6</sub> không phản ứng với các chất khác. SF<sub>6</sub> là một loại khí cách nhiệt, điện rất tốt và có hiệu quả. Được sử dụng rộng rãi trong các thiết bị điện trên khắp thế giới.

**Các khí khác:** Một số vật liệu cách điện thể khí khác như: khí hydro, khí trơ,...

#### 1.7.2.3 Vật liệu cách điện thể lỏng

**Dầu mỏ:** Trong số các vật liệu cách điện lỏng thì dầu biến áp được ứng dụng nhiều nhất vào kỹ thuật điện.

#### 1.7.2.4 Vật liệu cách điện thể rắn

**Sứ cách điện:** Người ta chế tạo ra các vật cách điện sứ có nhiều vẻ khác nhau: sứ đường dây gồm có sứ treo dùng điện áp cao hơn 35 kV và sứ đứng dùng cho điện áp thấp hơn; sứ trạm là các loại sứ đỡ và sứ xuyên; sứ dùng cho các thiết bị là các loại sứ tham gia vào kết cấu của các thiết bị khác nhau như máy biến áp, máy cắt dầu, dao cách ly, chống sét; sứ định vị như là các puli sứ; những linh kiện ở chui đèn và trong cái ngắt điện, các chi tiết của cầu chì và của phích cắm điện.

**Mica-Micanit:** Mica là tên gọi chung cho các khoáng vật dạng tấm thuộc nhóm silicat lớp bao gồm các loại vật liệu có mối liên kết chặt chẽ, có tính cắt khai cơ bản hoàn toàn. Tất cả chúng đều có cấu trúc tinh thể thuộc hệ một phương có xu hướng tinh thể giả hệ sáu phương và có thành phần hóa học tương tự. Tính cắt khai cao là tính chất đặc trưng nhất của mica, điều này được giải thích là do sự sắp xếp của các nguyên tử dạng tấm lục giác chồng lên nhau.

Mica có tính cách điện và ổn định về hóa học nên nó là vật liệu được ứng dụng trong sản xuất tụ điện. Mica còn được sử dụng là vật liệu cách điện trong các thiết bị cao thế.

**Nhựa:** Nhựa là tên gọi của một nhóm rất rộng các vật liệu có nguồn gốc và bản chất tính rất khác nhau nhưng có một số đặc điểm giống nhau về bản chất hóa học( đó là những hỗn hợp

của các chất hữu cơ, chủ yếu là những chất cao phân tử với các độ trùng hợp khác nhau), cũng có một số tính chất vật lí chung. Ở nhiệt độ thấp đây là những chất vô định hình có dạng như thủy tinh với mật độ giòn nhất định. Khi đốt nóng ( nếu trước đó chúng không biến đổi về mặt hóa học) thì nhựa mềm ra, trở thành dẻo và sau đó hóa lỏng. Nhiệt độ nóng chảy của nhựa không thể hiện rõ rệt.

**Sơn cách điện:** Người ta sử dụng sơn ở dạng lỏng trong quá trình chế tạo cách điện, nhưng sau đó chúng đông rắn lại và khi đã chế tạo xong cũng như lúc đem ra dùng thì chúng đã ở trạng thái rắn. Vì vậy sơn và hợp chất cách điện được xếp vào loại vật liệu cách điện rắn.

**Gỗ, Giấy cách điện:**

\* **Gỗ:** Là vật liệu sẵn có, dễ gia công, có đặc tính cơ tương đối tốt. Đặc tính của gỗ phụ thuộc vào những yếu tố sau: Giống cây, nơi trồng, tuổi... Nếu xét theo đơn vị trọng lượng thì độ bền của gỗ không nhỏ hơn của thép. Độ bền theo chiều ngang nhỏ hơn theo chiều dọc. Tính cách điện giảm nhiều do tính hút ẩm cao, dễ bị cong, nứt, độ bền nhiệt kém, dễ cháy.

\* **Giấy và các tông:** Là những vật liệu hình tấm hoặc quấn lại thành cuộn chế tạo từ xơ ngắn. Thành phần chủ yếu là xenlulô. Độ bền của giấy phụ thuộc vào độ ẩm.

\* **Phíp:** Cho giấy mỏng đi qua dung dịch clorua kẽm  $ZnCl_2$  nóng rồi quấn vào một tang quay để có chiều dày cần thiết sau đó cắt ra, đem rửa bằng nước, ép lại ta được phíp.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 1

### Câu hỏi trắc nghiệm

**Câu 1:** Khí cụ điện nào sau đây không phải ứng dụng của nam châm điện:

- A. Nút nhấn đơn
- B. Rơ le trung gian
- C. Công tắc tơ
- D. MCB và MCCB

**Câu 2:** Khí cụ điện nào sau đây là ứng dụng của nam châm điện:

- A. Nút nhấn đơn
- B. Công tắc
- C. Cầu dao
- D. Công tắc tơ

**Câu 3:** Khí cụ điện nào sau đây là ứng dụng của nam châm điện:

- A. Nút nhấn đơn và công tắc tơ
- B. Cầu dao và MCCB
- C. Công tắc tơ và Rơ le trung gian
- D. Công tắc và MCB

**Câu 4:** Mục đích của việc cách điện là duy trì khả năng cách điện và không được xảy ra các hiện tượng:

- A. Phóng điện, đánh thủng
- B. Đánh thủng, dẫn điện
- C. Tia hồ quang, tiếp xúc điện
- D. Tất cả đều đúng

**Câu 5:** Độ bền cách điện là:

- A. Là điện áp đánh thủng tính trên bề dày cách điện 1mm, đặt trong điện trường đồng nhất kV/mm.
- B. Là điện áp đánh thủng tính trên bề dày cách điện 1cm, đặt trong điện trường đồng nhất kV/cm.
- C. Là điện áp phóng điện tính trên bề dày cách điện 1mm, đặt trong điện trường đồng nhất V/mm.
- D. Là điện áp phóng điện tính trên bề dày cách điện 1m, đặt trong điện trường đồng nhất V/m.

**Câu 6:** Vật liệu cách điện bị già hóa do:

- A. Nhiệt độ làm việc
- B. Tác dụng hóa học bên ngoài
- C. Tác dụng cơ học
- D. Tất cả các câu đều đúng

**Câu 7:** Những yếu tố hóa học quan trọng ảnh hưởng đến sự già hóa của vật liệu cách điện, chọn câu sai:

- A. Tất cả đều đúng

- B. Sự oxi hóa
- C. Tất cả đều sai
- D. Nhiệt độ và độ ẩm cao của môi trường làm việc

**Câu 8:** Cấp cách điện cấp Y cho phép nhiệt độ  $^{\circ}\text{C}$ :

- A.  $90^{\circ}\text{C}$
- B.  $105^{\circ}\text{C}$
- C.  $120^{\circ}\text{C}$
- D.  $130^{\circ}\text{C}$

**Câu 9:** Sự cách điện thuộc cấp cách điện nào và nhiệt độ  $^{\circ}\text{C}$  cho phép bao nhiêu:

- A. Cấp C,  $105^{\circ}\text{C}$
- B. Cấp H,  $180^{\circ}\text{C}$
- C. **Cấp C,  $>180^{\circ}\text{C}$**
- D. Cấp B,  $130^{\circ}\text{C}$

**Câu 10:** Cấp cách điện cấp B cho phép nhiệt độ  $^{\circ}\text{C}$ :

- A.  $120^{\circ}\text{C}$
- B.  $90^{\circ}\text{C}$
- C.  $> 180^{\circ}\text{C}$
- D.  **$130^{\circ}\text{C}$**

**Câu 11:** Vật liệu cách điện nào thuộc cấp cách điện cấp Y ?

- A. Giấy cách điện có tấm cách điện
- B. Mica cách điện
- C. **Vải sợi không tấm cách điện**
- D. Sứ cách điện

**Câu 12:** Vật liệu cách điện nào thuộc cấp cách điện cấp F ?

- A. **Sợi thủy tinh tổng hợp có tấm cách điện**
- B. Giấy cách điện
- C. Vải sợi không tấm cách điện
- D. Sứ cách điện

**Câu 13:** Tính chất cách điện của cách điện thể lỏng dùng trong máy biến áp:

- A. **Thâm nhập vào các khe rãnh hẹp, vừa cách điện vừa làm mát**
- B. Hằng số điện môi gần bằng 1
- C. Sau khi bị đánh thủng khả năng cách điện không còn
- D. Độ bền cách điện không cao dễ bị đánh thủng

**Câu 14:** Nhược điểm dầu biến áp

- A. Độ bền cách điện kém
- B. **Thay đổi về hóa học khi nhiệt độ cao**
- C. Sau khi bị đánh thủng khả năng cách điện không còn
- D. Tất cả các câu đều đúng

**Câu 15:** Đặc điểm vật liệu cách điện là:

- A. **Cách điện cao, chịu nhiệt, có độ bền cơ học**

- B. Chỉ chế tạo bằng sành, sứ, thủy tinh
- C. Cách điện ở dạng thể lỏng
- D. Cách điện ở dạng thể rắn

**Câu 16:** Công dụng của dầu biến áp:

- A. Dẫn từ, dẫn điện
- B. Ổn định điện áp

**C. Cách điện**

- D. Tất cả các công dụng trên

**Câu 17:** Thép có khả năng:

Chống ăn mòn kém, khi nhiệt độ cao thì tốc độ ăn mòn nhanh

**Chống ăn mòn tốt, khi nhiệt độ cao thì tốc độ ăn mòn nhanh**

Chống ăn mòn tốt, cách điện tốt

Chống ăn mòn kém và dẫn điện tốt khi nhiệt bình thường

**Câu 18:** Thép công nghiệp là:

Kim loại rẻ tiền có độ bền cơ cao, dẫn điện tốt

**Hợp kim dẫn điện tốt, dẫn từ tốt**

Kim loại rẻ tiền có độ bền cơ kém, dẫn điện tốt

Hợp kim có độ bền cơ kém, chế tạo các tiếp điểm

**Câu 19:** Mục đích của việc cách điện là duy trì khả năng cách điện và không được xảy ra các hiện tượng:

**A. Phóng điện, đánh thủng**

B. Đánh thủng, dẫn điện

C. Tia hồ quang, tiếp xúc

D. Tất cả đều đúng

**Câu 20:** Hiện tượng phóng điện xảy ra nếu:

A. Điện áp lớn hơn trị số vật dẫn điện

**B. Điện áp lớn hơn trị số đặc trưng của vật liệu cách điện**

C. Điện áp chênh lệch giữa hai dây dẫn điện có bọc cách điện

D. Điện áp lớn hơn trị số điện áp làm việc của thiết bị

**Câu 21:** Vật liệu cách điện bị già hóa do:

A. Nhiệt độ làm việc

B. Tác dụng hóa học bên ngoài

C. Tác dụng cơ học

**D. Tất cả các câu đều đúng**

**Câu 22:** Vật liệu cách điện hữu cơ

**A. Vải sợi, giấy, cao su**

B. Nhựa tổng hợp, thủy tinh, cao su

C. Không khí, giấy, sứ

D. Tất cả các câu đều đúng

**Câu 23:** Vật liệu cách điện dùng để chế tạo cách điện rơ le trung gian.

**A. Thủy tinh, không khí, nhựa cách điện**

B. Bitum, nhựa, sứ cách điện

C. Xilicon, cao su, giấy

D. Tất cả các câu đều sai

**Câu 24:** Vật liệu cách điện vô cơ sử dụng chế tạo vỏ khí cụ điện

**A. Mica**

B. Nhựa tổng hợp

C. Cao su

D. Phíp

**Câu 25:** Vật liệu dùng cách điện khí cụ điện cao thế

A. Mica, gốm

**B. Sứ, xteaxit**

C. Sứ, Amiăng

D. Mica, xteaxit

**Câu 26:** Chì được dùng làm gì trong khí cụ điện:

A. Cầu dao

**B. Cầu chì**

C. Công tắc

D. Nút nhấn

**Câu 27:** Khí cụ điện nào sau đây sử dụng phương pháp dập hồ quang: kéo dài hồ quang bằng không khí

A. Cầu chì.

B. Công tắc tơ

C. CB

**D. Cầu dao**

**Câu 28:** Khí cụ điện nào sau đây không sử dụng phương pháp dập hồ quang: chia nhỏ hồ quang

A. Dao cách ly

B. Công tắc tơ

C. MCB và MCCB

**D. Công tắc và nút nhấn**

**Câu 29:** Tiếp xúc nào của chi tiết khí cụ điện không phải tiếp xúc đóng mở

A. Tiếp xúc giữa các tiếp điểm thường mở và thường đóng trong công tắc tơ

**B. Tiếp xúc giữa ngàm dao và lưỡi dao trong cầu dao**

C. Tiếp xúc giữa các tiếp điểm CB

D. Tiếp xúc giữa các tiếp điểm nút nhấn

**Câu 30:** Yếu tố không ảnh hưởng đến tiếp xúc điện

A. Diện tích tiếp xúc

B. Vật liệu làm tiếp điểm

**C. Môi trường tiếp xúc**



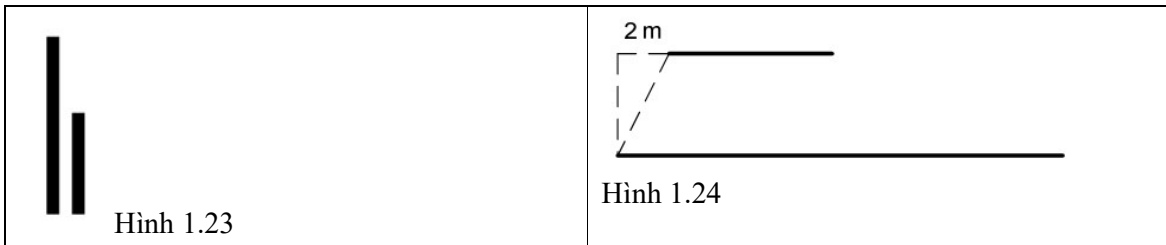
D. Lực ép lên tiếp điểm

**Câu hỏi lý thuyết:**

1. Hãy trình bày cách phân loại của khí cụ điện?
2. Phát nóng bên trong khí cụ điện là gì? Nguyên nhân phát nóng và hậu quả?
3. Hãy trình bày các chế độ phát nóng của khí cụ điện?
4. Tiếp xúc điện là gì? Các yếu tố ảnh hưởng đến vật liệu làm tiếp điểm điện?
5. Lực điện động là gì? Nguyên nhân phát sinh lực điện động?
6. Mục đích của việc xác định lực điện động là gì?
7. Hãy trình bày cách xác định chiều tác động của lực điện động?
8. Phương pháp xác định độ lớn lực điện động ?
9. Hồ quang điện là gì? Nguyên nhân phát sinh và cách dập tắt hồ quang điện ?
10. Bản chất hồ quang điện là gì ?
11. Quá điện áp trong quá trình dập tắt hồ quang là gì ?
12. Định nghĩa nam châm điện từ?
13. Nêu cấu tạo và ứng dụng của nam châm điện từ?
14. Nêu các định luật cơ bản áp dụng trong mạch từ?
15. Tại sao có hiện tượng rung nam châm điện xoay chiều? Nêu biện pháp chống rung đối với nam châm điện xoay chiều?
16. Tính toán cuộn dây dòng điện và dây điện áp của nam châm điện xoay chiều?
17. Ứng dụng nam châm điện?

**Bài tập:**

1. Một dây dẫn mang dòng điện  $I = 15\text{KA}$  đặt trong từ trường đều có cảm ứng từ  $B = 1,5\text{T}$ , chiều dài dây dẫn  $l = 1\text{m}$ , hướng của từ trường lệch so với hướng của dây dẫn một góc  $\beta = 45^\circ$ . Tính lực điện động tác dụng lên dây dẫn thẳng mang dòng điện.
2. Tính lực điện động giữa hai dây dẫn song song có cùng chiều dài, đặt trong môi trường chân không biết  $l \rightarrow \infty$  tính LĐĐ tại 1 đoạn  $l = 10\text{m}$ , khoảng cách giữa hai dây dẫn là  $a = 0,2\text{m}$ , dòng điện  $I_1 = I_2 = I = 10\text{KA}$ .
3. Tính lực điện động giữa hai dây dẫn song song như hình 1.23. Biết  $l_1 = 10\text{m}$ ,  $l_2 = 5\text{m}$ , khoảng cách giữa hai dây dẫn là  $a = 0,1\text{m}$ , dòng điện  $I_1 = I_2 = I = 15\text{KA}$ . Môi trường không khí



4. Cho  $I_1 = I_2 = 30\text{ kA}$ ,  $L_1 = 5\text{ m}$ ,  $L_2 = 20\text{ m}$ ,  $a = 0,5\text{ m}$ . Tính lực điện động trên dây dẫn hình 1.24. Môi trường không khí