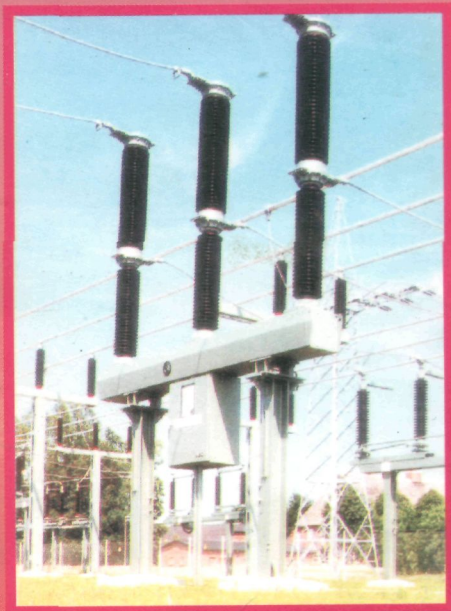


Phạm Văn Chối
Bùi Tín Hữu - Nguyễn Tiến Tôn

Khí

CỤ



ĐIÊN

TTTTTV-HVKTQS



GT 278238



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

PHẠM VĂN CHỚI (Chủ biên)

BÙI TÍN HỮU

NGUYỄN TIẾN TÔN

KHÍ CỤ ĐIỆN

(In lần thứ 6, có sửa chữa và bổ sung)



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI

MỤC LỤC

<i>Lời nói đầu</i>	3
KHÁI NIỆM CHUNG VỀ KHÍ CỤ ĐIỆN (KCD)	9

PHẦN I: CƠ SỞ LÝ THUYẾT KCD

CHƯƠNG 1. NAM CHÂM ĐIỆN

1.1. Đại cương về nam châm điện (NCD)	11
1.2. Từ dẫn của khe hở không khí	16
1.3. Mạch từ một chiều	25
1.4. Mạch từ xoay chiều	36
1.5. Cuộn dây của NCD	39
1.6. Lực hút điện từ của NCD một chiều	46
1.7. Lực hút điện từ của NCD xoay chiều	51
1.8. Đặc tính động của NCD	54
1.9. Phương pháp tính toán NCD	63
1.10. Ví dụ tính toán NCD	64
1.11. Mạch từ có nam châm vĩnh cửu	68
1.12. Cơ cấu điện từ phân cực	71

CHƯƠNG 2. SỰ PHÁT NÓNG CỦA KHÍ CỤ ĐIỆN

2.1. Khái niệm chung	76
2.2. Các dạng tổn hao năng lượng	77
2.3. Các phương pháp trao đổi nhiệt	81
2.4. Tính toán nhiệt ở chế độ xác lập	86
2.5. Sự phát nóng của KCD ở chế độ quá độ	91
2.6. Quá trình phát nóng khi ngắn mạch	95
2.7. Các phương pháp xác định nhiệt độ bằng thực nghiệm	97
2.8. Ví dụ về tính toán nhiệt	100

CHƯƠNG 3. LỰC ĐIỆN ĐỘNG TRONG KHÍ CỤ ĐIỆN

3.1. Các phương pháp tính lực điện động (LDD)	104
---	-----

3.2. Tính LDD ở các trường hợp thường gặp	108
3.3. Lực điện động ở dòng điện xoay chiều	115
3.4. Ví dụ về tính toán LDD	120

CHƯƠNG 4. HỒ QUANG ĐIỆN

4.1. Khái niệm chung về hồ quang điện (HQĐ)	122
4.2. Hồ quang điện một chiều	131
4.3 Hồ quang điện xoay chiều	135
4.4. Các biện pháp dập hồ quang	139

CHƯƠNG 5. TIẾP XÚC ĐIỆN

5.1. Khái niệm chung về tiếp xúc điện	145
5.2. Điện trở tiếp xúc	146
5.3. Các chế độ làm việc của tiếp điểm	150
5.4. Vật liệu tiếp điểm	154
5.5. Kết cấu tiếp điểm	155

CHƯƠNG 6. CÁCH ĐIỆN TRONG KHÍ CỤ ĐIỆN

6.1. Khái niệm chung	161
6.2. Các yếu tố ảnh hưởng tới cách điện	162
6.3. Điện áp thử nghiệm của KCD	164
6.4. Khoảng cách cách điện	166
6.5. Kiểm tra cách điện ở KCD cao áp	168

PHẦN II. CÁC LOẠI KHÍ CỤ ĐIỆN

CHƯƠNG 7. ROLE

7.1. Đại cương về role	171
7.2. Role điện từ	172
7.3. Role cảm ứng	180
7.4. Role nhiệt	182
7.5. Role thời gian	189
7.6. Role kỹ thuật số	197
7.7. Các loại role khác	199

CHƯƠNG 8. CÁC KHÍ CỤ ĐIỆN PHÂN PHỐI ĐIỆN NĂNG

8.1. Cầu dao và cầu dao đổi nối	202
8.2. Cầu chì	203
8.3. Máy cắt hạ áp (áp tô mát)	213

CHƯƠNG 9. CÁC KHÍ CỤ ĐIỆN ĐIỀU KHIỂN

9.1. Các khí cụ điện điều khiển bằng tay	224
9.2. Các thiết bị hạn chế dòng điện	229
9.3. Khuếch đại từ	238
9.4. Công tắc tơ và khởi động từ	243

CHƯƠNG 10. THIẾT BỊ CẤP NGUỒN DỰ PHÒNG, ỔN ÁP VÀ CÁC CƠ CẤU ĐIỆN TỪ CHẤP HÀNH

10.1. Thiết bị cấp nguồn dự phòng	261
10.2. Thiết bị ổn áp điện xoay chiều	270
10.3. Các cơ cấu điện từ chấp hành	278

CHƯƠNG 11. MÁY BIẾN ÁP DÒNG ĐIỆN VÀ MÁY BIẾN ĐIỆN

11.1. Máy biến dòng điện	287
11.2. Máy biến điện áp	296
11.3. Các sơ đồ đo đếm điện năng dùng máy biến dòng và máy biến điện áp	305

CHƯƠNG 12. MÁY CẮT ĐIỆN CAO ÁP

12.1. Khái niệm chung về máy cắt cao áp	307
12.2. Máy cắt điện từ	309
12.3. Máy cắt tự sinh khí	310
12.4. Máy cắt dầu	311
12.5. Máy cắt không khí nén	316
12.6. Máy cắt khí SF ₆	319
12.7. Máy cắt chân không	326
12.8. Nguyên lý thao tác của máy cắt	331

CHƯƠNG 13. DAO CÁCH LY, DAO NGẮN MẠCH VÀ THIẾT BỊ CHỐNG SÉT

13.1. Dao cách ly	334
13.2. Dao ngắn mạch	338
13.3. Thiết bị chống sét	341

CHƯƠNG 14. THIẾT BỊ HỢP BỘ VÀ CẤP BẢO VỆ CỦA THIẾT BỊ ĐIỆN

14.1. Thiết bị hợp bộ	346
14.2. Cấp bảo vệ của thiết bị điện	352
14.3. Thiết bị phòng nổ	353
Phần phụ lục	356
Tài liệu tham khảo	386

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ KHÍ CỤ ĐIỆN

Khí cụ điện (KCD) là thiết bị dùng để điều khiển, kiểm tra, tự động điều chỉnh, khống chế các đối tượng điện cũng như không điện và bảo vệ chúng trong trường hợp sự cố.

Khí cụ điện có rất nhiều chủng loại với chức năng, nguyên lý làm việc và kích cỡ khác nhau, được dùng rộng rãi trong mọi lĩnh vực của cuộc sống.

Trong phạm vi của giáo trình này, các vấn đề được đề cập đến là cơ sở lý thuyết, nguyên lý làm việc, kết cấu và đặc điểm của các loại KCD dùng trong ngành điện và trong công nghiệp.

Khí cụ điện thường được phân loại theo chức năng, theo nguyên lý và môi trường làm việc, cũng như theo điện áp.

- *Theo chức năng*, KCD được phân thành các nhóm chính sau:

1- Nhóm KCD đóng cắt: Chức năng chính của nhóm này là đóng cắt tự động hoặc bằng tay mạch điện ở các chế độ làm việc khác nhau. Các KCD đóng cắt gồm cầu dao, dao cách ly, dao phụ tải, máy cắt tự động (áp tô mát), máy cắt mạch, cầu chì, các bộ chuyển đổi nguồn. Dao cách ly dùng để cắt mạch khi không có dòng điện và đóng cắt dòng điện không tải của máy biến áp và đường dây. Dao phụ tải dùng để đóng cắt mạch điện khi có tải. Còn cầu chì, máy cắt dùng để tự động cắt mạch điện khi bị ngắn mạch.

Đặc điểm của nhóm KCD đóng cắt là tần số thao tác thấp (thỉnh thoảng mới phải thao tác), do đó tuổi thọ của chúng thường không cao (đến hàng chục ngàn lần đóng cắt).

2- Nhóm KCD hạn chế dòng điện, điện áp: Nhóm này có chức năng hạn chế dòng điện, điện áp trong mạch không tăng quá cao khi bị sự cố. Kháng điện dùng để hạn chế dòng ngắn mạch, còn van chống sét dùng để hạn chế điện áp.

3- Nhóm KCD mở máy, điều khiển: Nhóm này gồm các loại KCD như các bộ mở máy, khống chế, điện trở mở máy, công tắc tơ, khởi động từ v.v... Đặc điểm của nhóm này là tần số thao tác cao, có thể tới 1500 lần/giờ, vì vậy tuổi thọ của nó có thể tới hàng triệu lần đóng cắt.

4- Nhóm KCD kiểm tra, theo dõi: Nhóm này có chức năng kiểm tra, theo dõi sự làm việc của các đối tượng và biến đổi các tín hiệu không điện thành

tín hiệu điện. Các KCD thuộc nhóm này gồm các loại role, các bộ cảm biến... Đặc điểm của nhóm KCD này công suất thấp, thường được nối mạch ở thứ cấp để biến dòng, truyền tín hiệu.

5- Nhóm KCD tự động điều chỉnh, khống chế, duy trì chế độ làm việc và các tham số của đối tượng như các bộ ổn định điện áp, ổn định tốc độ, ổn định nhiệt độ...

6- Nhóm KCD biến dòng dòng điện, điện áp gồm máy biến dòng điện và máy biến điện áp. Chúng có chức năng biến dòng dòng điện lớn, điện áp cao thành dòng điện và điện áp có trị số thích hợp, an toàn cho việc đo lường, điều khiển, bảo vệ.

- *Theo nguyên lý làm việc*, KCD được chia theo các nhóm với nguyên lý điện cơ, điện từ, từ điện, điện động, nhiệt, có tiếp xúc và không tiếp xúc.

- *Theo nguồn điện*, ta có KCD một chiều và KCD xoay chiều. Theo độ lớn của điện áp làm việc, KCD điện chia thành KCD hạ áp (có điện áp đến 1000 V) và KCD cao áp (điện áp từ 1000 V trở lên).

Trong nhóm KCD cao áp, người ta lại chia thành ba nhóm: KCD trung áp có điện áp đến 36 kV, KCD cao áp có điện áp từ 36 đến 400 kV và KCD siêu cao áp có điện áp từ 400 kV trở lên.

- *Theo điều kiện môi trường*, có các loại KCD lắp đặt trong nhà, KCD lắp đặt ngoài trời, KCD làm việc trong môi trường dễ cháy nổ...

Việc phân loại KCD chỉ là tương đối, không ranh giới rõ ràng. Ví dụ như máy biến áp điện lực và máy biến điện áp có nguyên lý làm việc hoàn toàn như nhau, song máy biến áp điện lực lại là máy điện, còn máy biến điện áp lại là KCD. Với máy biến áp điện lực, các chỉ tiêu về năng lượng, hiệu suất, tổn hao được quan tâm đặc biệt, còn ở máy biến điện áp, độ chính xác mới là đại lượng cần quan tâm. Vì vậy trong thiết kế và tính toán các thông số về từ cảm, mật độ dòng điện của máy biến điện áp thường lấy thấp hơn nhiều so với máy biến áp điện lực.

Sự phân biệt giữa máy điện và KCD còn chưa rõ ràng, ví dụ như trong một máy điện có thể có vài KCD, và ngược lại trong một KCD cũng có vài loại máy điện. Ở máy biến áp điện lực có các KCD là bộ điều chỉnh điện áp, role nhiệt độ, role hơi..., còn ở máy cắt điện có các máy điện như động cơ điện làm nhiệm vụ tích lũy cơ năng cho thao tác, các máy biến áp công suất nhỏ cấp nguồn nuôi cho mạch điều khiển...

Tùy theo chức năng, các KCD có các yêu cầu cụ thể, riêng biệt, nhưng các yêu cầu cơ bản nhất vẫn là các yêu cầu về kỹ thuật và các yêu cầu về kinh tế.

PHẦN I

CƠ SỞ LÝ THUYẾT

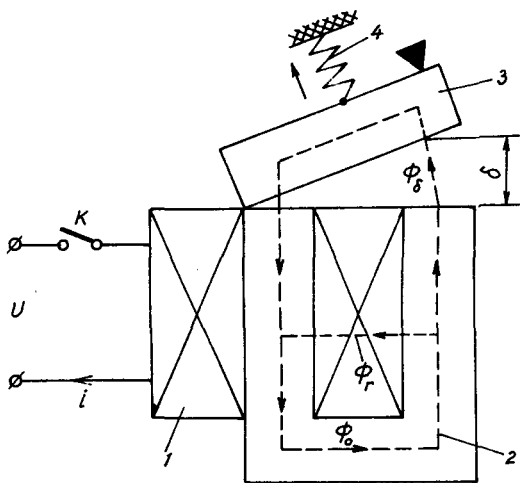
CHƯƠNG 1

NAM CHÂM ĐIỆN

1.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ NAM CHÂM ĐIỆN

Nam châm điện (NCD) là loại cơ cấu điện từ biến dòng điện năng thành cơ năng. NCD được dùng rộng rãi trong mọi lĩnh vực như cơ cấu truyền động của rôle điện cơ, công tắc tơ, các thiết bị đóng cắt, bảo vệ, như cơ cấu chấp hành của van điện từ, khớp nối, phanh hãm, bộ phân ly... kiểu điện từ.

Hình dáng, kết cấu và kích thước của NCD rất đa dạng, tùy thuộc vào chức năng và mục đích sử dụng. NCD có hai bộ phận chính là mạch từ (phần từ) và cuộn dây (phần điện). Trên hình 1-1 trình bày nguyên lý của một NCD có khe hở không khí làm việc, thường gặp trong các rôle, công tắc tơ... Cuộn dây 1 với w vòng được quấn trên lõi của phần tĩnh 2 của mạch từ và nối với nguồn điện qua khóa K . Phần động 3 của mạch từ (thường gọi là nắp của NCD) nằm cách cực từ của thân NCD bởi khe hở không khí δ nhờ lò xo phản lực 4.



Hình 1-1. Nguyên lý cấu tạo của NCD.

Khi đóng khóa K , dòng điện i chảy qua cuộn dây sẽ tạo nên sức điện từ động $F = i \cdot w$, sinh ra từ thông Φ_0 . Từ thông này có hai thành phần Φ_r đi qua khe hở không khí làm việc, qua nắp và tạo nên lực hút điện từ hút nắp về phía lõi của NCD. Một phần của từ thông không đi qua khe hở không khí, mà khép từ thân này qua thân kia của mạch từ và được gọi là từ

thông rò Φ_r . Khi cắt điện của cuộn dây, lò xo 4 đưa nắp về vị trí ban đầu.

Nếu cuộn dây của NCD mắc nối tiếp với phụ tải thì ta có NCD nối tiếp và cuộn dây được gọi là cuộn dòng điện. Trong trường hợp này trị số dòng điện chạy trong 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 tới chế độ làm việc của phụ tải.

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

Tùy thuộc vào dạng dòng điện chạy vào cuộn dây, ta có NCD xoay chiều và NCD một chiều. Ở 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; còn ở NCD một chiều, mạch từ thường có cấu tạo từ vật liệu dạng khối. Các tham số cơ bản của mạch từ bao gồm:

- Sức từ động (s.t.d) $F = i \cdot w$ [ampe-vòng], được tính theo trị biên độ hoặc trị hiệu dụng.

- Từ thông Φ_m [Wb] - trị biên độ

- Từ cảm (mật độ từ thông) $B_m = \frac{\Phi_m}{S}$, [T = Wb/m²]

trong đó: S [m²] là tiết diện của ống từ thông.

- Cường độ từ trường $H = \frac{F}{l}$, [A/m].

trong đó: l [m] là chiều dài mạch từ.

- Hệ số từ thẩm vật liệu từ:

$$\mu = \frac{B}{H}, \text{ [H/m].}$$

với chân không (không khí): $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m

- Từ trở của mạch từ:

$$R_\mu = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}, \text{ [H}^{-1}\text{]}$$

- Từ dẫn mạch từ (nghịch đảo với từ trở):

$$G = \frac{1}{R_\mu} = \mu \cdot \frac{S}{l}, \text{ [H]}$$

Các định luật cơ bản của mạch từ bao gồm định luật Ôm, định luật Kiếckhốp I, II và định luật toàn dòng điện.

Định luật Ôm: Trong một phân đoạn của mạch từ, từ áp rơi trên nó bằng tích giữa từ thông và từ trở hoặc thương giữa từ thông và từ dẫn:

$$U_{\mu} = \Phi \cdot R_{\mu} = \Phi / G \quad (1-1)$$

Định luật Kiếckhốp I: Trên một phân đoạn của mạch từ, tổng từ thông vào bằng tổng từ thông ra:

$$\sum_1^n \Phi_i = 0 \quad (1-2)$$

Định luật Kiếckhốp II: Trong một mạch từ khép kín, tổng từ áp của các đoạn mạch bằng tổng sức từ động:

$$\sum_1^n \Phi_i R_{\mu i} = \sum_1^n F_i \quad (1-3)$$

Định luật toàn dòng điện: Tích phân đường của cường độ từ trường theo vòng từ khép kín bằng tổng các s.t.đ của vòng từ đó:

$$\int_1 H \cdot dl = \sum_1^n F_i \quad (1-4)$$

Định luật toàn dòng điện có thể biến đổi như sau:

$$\int_1 H \cdot dl = \int_1 \frac{B \cdot S}{\mu \cdot S} dl = \int_1 \Phi \frac{dl}{\mu \cdot S} = \int_1 \Phi dR_{\mu} = \sum F_i$$

hoặc:

$$\int_1 H \cdot dl = \int_1 \Phi \cdot dR_{\mu} = \sum F_i \quad (1-5)$$

và đây cũng là định luật Kiếckhốp II với mạch từ khép kín.

Quan hệ của các đại lượng cơ bản trường điện từ được biểu diễn bằng các phương trình Mácxoel.

Phương trình Mácxoel thứ nhất dưới dạng véctơ là:

$$\text{rot } H = J, \quad (1-5-1)$$

trong đó: H - vectơ cường độ từ trường, A/m;

J - vectơ mật độ dòng điện, A/m²

Phương trình (1-5-1) có thể viết dưới dạng:

$$\text{Rot } H = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \oint (Hdl / \Delta S) \quad (1-5-2)$$

Phương trình Mácxoel thứ nhất dưới dạng tích phân chính là định luật toàn dòng điện (định luật Mácxoel Ampe):

$$\oint_1 Hdl = \oint_{SI} JdS = I \quad (1-5-3)$$

trong đó: I - dòng điện toàn phần, A;

S - diện tích bề mặt, m².

Trong trường hợp tổng quát, mật độ dòng điện bằng tổng của hai thành phần: mật độ dòng dẫn và mật độ dòng chuyển dịch (do tính điện gây ra):

$$\text{rot } H = \chi E + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (1-5-4)$$

trong đó: χ - điện dẫn xuất của môi trường, $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$;

ε - hằng số điện môi của môi trường, F.m⁻¹;

E - vectơ cường độ điện trường, V.m⁻¹.

Phương trình Mácxoel thứ nhất xác định quan hệ giữa sự thay đổi theo thời gian của điện trường và sự thay đổi theo không gian của từ trường.

Phương trình Mácxoel thứ hai dưới dạng vectơ:

$$\text{rot } E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (1-5-5)$$

trong đó: E - vectơ cường độ điện trường, V/m;

B - vectơ mật độ từ trường, T; t - thời gian, s.

Nếu từ thẩm μ của môi trường là hằng, thì:

$$\text{rot } E = - \mu \frac{\partial B}{\partial t} \quad (1-5-6)$$

Phương trình Mácxoel thứ hai cho ta quan hệ giữa sự thay đổi của cường độ từ trường theo thời gian và cường độ điện trường theo không gian. Từ trường biến đổi sẽ sinh ra sức điện động cảm ứng - đó chính là định luật cảm ứng điện từ của Faraday quen thuộc trong các thiết bị điện từ (định luật Mácxoel - Faraday).

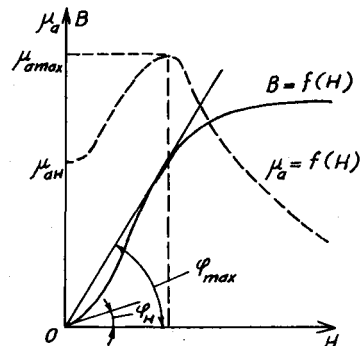
Các trường như điện trường, từ trường và trường nhiệt có các đại lượng tương tự, thuận tiện cho mô hình hóa toán học, được cho ở bảng dưới:

Điện trường	Từ trường	Trường nhiệt
Sức điện động e , V	Sức từ động, I_w , A	Nhiệt độ, θ , K
Điện áp U , V	Tư áp U_μ , A	Nhiệt chênh τ , K
Dòng điện I , A	Từ thông Φ , Wb	Nhiệt thông, Φ_T , W
Mật độ dòng điện J , A/m ²	Mật độ từ thông B , T	Mật độ nhiệt thông q_0 , W/m ²
Điện trở R , Ω	Từ trở R_μ , H ⁻¹	Nhiệt trở R_T , K/W
Điện dẫn G , Ω^{-1}	Từ dẫn, G_μ , H	Nhiệt dẫn G , W/K
Điện trở suất ρ , Ωm	Từ dẫn suất μ , H/m	Hệ số dẫn nhiệt λ , W/mK

Đặc tính cơ bản nhất của vật liệu từ là đường cong từ hóa, biểu diễn quan hệ giữa từ cảm và cường độ từ trường $B(H)$.

Có hai loại vật liệu từ: cứng và mềm. Loại cứng có lực từ phản kháng $H_C > 210.10^3$ A/m và thường là nam châm vĩnh cửu. Loại mềm có $H_C < 100$ A/m.

Trên hình 1-2 biểu diễn đường cong từ hóa của vật liệu từ mềm (thường dùng cho mạch từ một chiều và xoay chiều) và hệ số từ thẩm tương đối $\mu_T = \mu_\mu/\mu_0$. Đây là những quan hệ phi tuyến phức tạp, không thể biểu diễn dưới dạng hàm giải tích được. Ở vùng cường độ từ trường lớn, từ trở của mạch từ lớn vì độ từ thẩm tương đối bé.



Hình 1-2. Các đặc tính của vật liệu từ.

Từ trở mạch từ đạt trị số bé nhất khi μ_a đạt trị số cực đại ở vùng trung bình của từ cảm và thường được gọi là vùng tuyến tính của đường cong từ hóa.

Mặt khác, từ thông khép kín qua không khí có nhiều thành phần, nên việc xác định chính xác từ dẫn ở các khe hở không khí cũng không đơn giản, vì vậy việc tính toán mạch từ trở nên phức tạp.

1.2. TỪ DẪN Ở KHE HỖ KHÔNG KHÍ

Với mạch từ có từ cảm nằm trong vùng tuyến tính của đường cong từ hóa, vì độ từ thẩm μ lớn nên từ trở mạch từ rất bé, có thể bỏ qua được. Do đó độ chính xác của bài toán phụ thuộc vào tính từ dẫn ở các khe hở không khí.

Công thức tổng quát để tính từ dẫn dựa vào định luật Ôm cho mạch từ như sau:

$$G_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{U_{\mu\delta}} \quad (1-6)$$

trong đó: $U_{\mu\delta}$ là từ áp rơi trên khe hở không khí δ ;

Φ_{δ} là từ thông đi qua khe hở không khí δ .

Nếu khe hở không khí giữa hai cực từ tương đối bé so với kích thước của cực từ (hình 1-3), có thể coi tiết diện của từ thông bằng tiết diện cực từ thì:

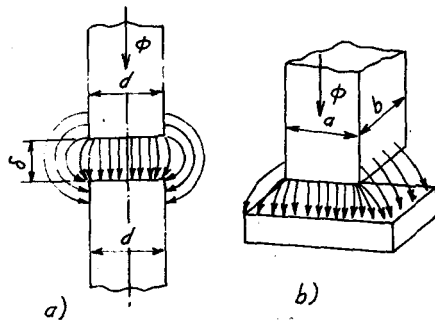
$$G_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{U_{\mu\delta}} = \frac{B.S}{H.\delta} = \mu_0 \frac{S}{\delta}, [H] \quad (1-7)$$

Trong trường hợp này, ta bỏ qua từ dẫn của từ thông tản, là từ thông bao bọc xung quanh khe hở

δ . Sai số của từ dẫn G_{δ} càng lớn khi khe hở δ càng lớn. Công thức (1-7) thường dùng để tính từ dẫn khe hở không khí trong từ trường đều khi:

- Với cực từ hình trụ: $S = \pi d^2/4$, $\delta/d \leq 0,2$;

- Với cực từ hình chữ nhật: $S = a.b$; a/δ , $b/\delta \leq 2$.



Hình 1-3. Từ dẫn ở khe hở không khí.

Trong thực tế, khe hở không khí thường có trị số lớn và hình dạng cực từ

tương đối phức tạp, vì vậy việc tính từ dẫn ở khe hở không khí cũng phức tạp. Thường gặp ba phương pháp tính từ dẫn ở khe hở không khí: 1) phương pháp phân chia từ trường (còn gọi là phương pháp Roters), 2) phương pháp dùng công thức kinh nghiệm và 3) phương pháp đồ thị.

1- *Phương pháp phân chia từ trường.* Theo phương pháp này, từ trường ở khe hở không khí được chia thành các trường thành phần có dạng hình học đơn giản, sau đó tính từ dẫn của các trường thành phần và cuối cùng tổng hợp các kết quả lại để tìm từ dẫn tổng của khe hở không khí.

Công thức cơ sở để tính từ dẫn của các hình đơn giản dựa vào phép biến đổi sau:

$$G_{\delta} = \mu_0 \frac{S_{tb}}{\delta_{tb}} = \mu_0 \frac{S_{tb} \cdot \delta_{tb}}{\delta_{tb}^2} = \mu_0 \frac{V}{\delta_{tb}^2} \quad (1-8)$$

trong đó: S_{tb} - mặt cắt trung bình của hình, vuông góc với đường sức từ;

δ_{tb} - độ dài trung bình của đường sức từ trong hình;

V - thể tích của hình.

Xét trường hợp từ dẫn của khe hở không khí giữa hai cực từ hình chữ nhật với kích thước a , b và khe hở không khí δ ; m là bề dày của từ thông tản (hình 1-4). Chia khe hở không khí thành 17 hình đơn giản và dùng công thức (1-8) để tính từ dẫn của các hình đó, gồm:

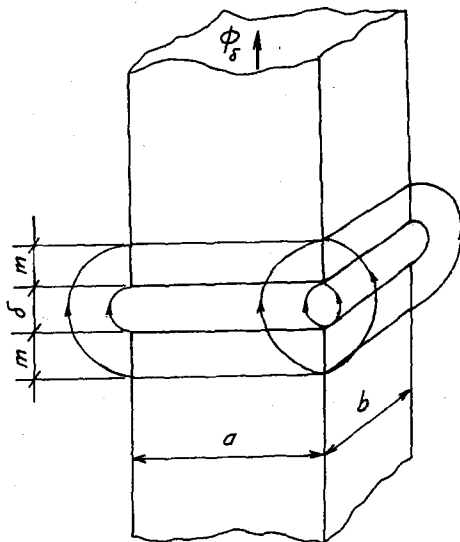
- Một hình khối chữ nhật với các cạnh a , b và chiều cao δ :

$$G_{\delta_0} = \mu_0 \frac{a \cdot b}{\delta}$$

- Hai hình nửa khối trụ đặc với đường kính δ , chiều dài a , từ dẫn của mỗi hình là:

$$G_{\delta_1} = 0,26 \mu_0 a$$

- Hai hình nửa khối trụ đặc, đường kính δ , chiều dài b , từ dẫn



Hình 1-4. Phương pháp phân chia từ trường.

của mỗi hình là:

$$G_{\delta 2} = 0,26\mu_0 b$$

- Hai hình nửa trụ rỗng với đường kính trong δ , đường kính ngoài ($\delta + 2m$), chiều dài a , từ dẫn của mỗi hình là:

$$G_{\delta 3} = \mu_0 \frac{2a}{\pi \left(\frac{\delta}{m} + 1 \right)}, \text{ thường lấy } m = (1+2)\delta.$$

- Hai hình nửa trụ rỗng, với đường kính trong δ , đường kính ngoài ($\delta + 2m$), độ dài b , từ dẫn của một hình là:

$$G_{\delta 4} = \mu_0 \frac{2b}{\pi \left(\frac{\delta}{m} + 1 \right)}$$

- Bốn hình 1/4 cầu đặc với đường kính δ , từ dẫn của mỗi hình là:

$$G_{\delta 5} = 0,077\mu_0 \delta.$$

- Bốn hình 1/4 cầu rỗng với đường kính trong δ , đường kính ngoài ($\delta + 2m$), từ dẫn của mỗi hình là:

$$G_{\delta 6} = \mu_0 \frac{m}{4}$$

Vì tất cả các từ dẫn này song song với nhau nên từ dẫn tổng ở khe hở không khí trong trường hợp này là tổng của 17 từ dẫn thành phần:

$$G_{\delta \Sigma} = G_{\delta 0} + 2(G_{\delta 1} + G_{\delta 2} + G_{\delta 3} + G_{\delta 4}) + 4(G_{\delta 5} + G_{\delta 6})$$

Hoặc có thể viết:

$$G_{\delta \Sigma} = G_{\delta 0} + G_{\delta 1}; \sigma_1 = \frac{G_{\delta \Sigma}}{G_{\delta 0}} = 1 + \frac{G_{\delta 1}}{G_{\delta 0}}$$

trong đó: $G_{\delta 1}$ là từ dẫn tản ở khe hở không khí; σ_1 là hệ số từ tản của khe hở không khí.

Khi khe hở δ bé, từ dẫn tản bé nên hệ số từ tản có thể bằng 1 (bỏ qua từ dẫn tản).

Công thức tính từ dẫn của các dạng hình học đơn giản được cho ở bảng (1-1), còn ở bảng (1-2) là công thức tính suất từ dẫn (từ dẫn cho một đơn vị chiều dài) ở các dạng khe hở không khí khác nhau.

Tính từ dẫn bằng phương pháp phân chia từ trường cho kết quả tương

đổi chính xác, nhưng tốn nhiều công sức.

2. *Phương pháp tính từ dẫn bằng công thức kinh nghiệm.* Dựa vào các số liệu thực nghiệm và mô hình hóa cũng như lý thuyết tương tự, các tác giả đã đưa ra các công thức giải tích, tính toán từ dẫn ở các dạng khe hở không khí của các mạch từ thường gặp, rất tiện lợi cho việc tính toán, được cho ở bảng 1-3.

3. *Phương pháp tính từ dẫn bằng cách vẽ từ trường.* Phương pháp này thường sử dụng để xác định từ dẫn của khe hở không khí mà cực từ có hình dạng phức tạp, khó xác định từ dẫn bằng các phương pháp khác.

Trước tiên ta dựng các mặt đẳng thế mà mặt đầu tiên và mặt cuối cùng là mặt bao của bề mặt cực từ. Các đường sức từ cắt các đường đẳng thế dưới góc vuông. Từ trường giữa hai cực từ được chia thành các ống từ thông bằng nhau $\Delta\Phi = \Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_2 = \dots = \Delta\Phi_n$ (hình 1.5). Nếu từ áp giữa các mặt đẳng thế là như nhau:

$U_{\mu_1} - U_{\mu_2} = U_{\mu_2} - U_{\mu_3} = \dots = U_{\mu_{n-1}} - U_{\mu_n} = \Delta U_{\mu}$ thì từ dẫn trên mỗi phần tử được tính bằng công thức:

$$g_1 = g_2 = \dots = g_n = \frac{\Delta\Phi}{\Delta U_{\mu}} = \mu_0 \frac{a \cdot \Delta h}{b} = g$$

Nếu chiều dài trung bình của tứ giác $a = b$ và bề dày của từ trường Δh đủ nhỏ, bằng 1 đơn vị chiều dài thì từ dẫn:

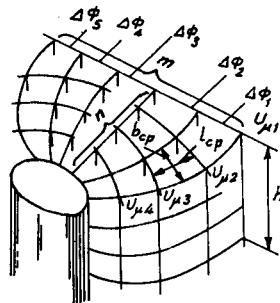
$$g = \mu_0 \frac{a \cdot \Delta h}{b} = \mu_0$$

Gọi m là số ống từ thông giữa hai cực từ; n là số tứ giác cong trong mỗi ống; h là chiều cao của cực từ.

Từ dẫn tổng được tính bằng công thức sau:

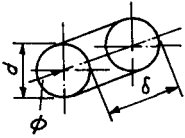
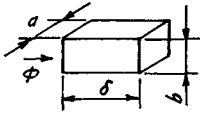
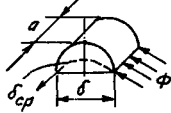
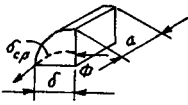
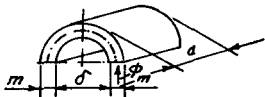
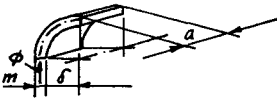
$$G_{\delta} = \mu_0 \frac{m}{n} \cdot h$$

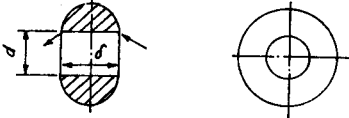
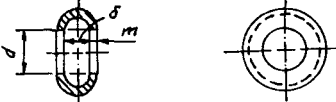
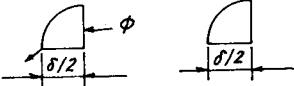
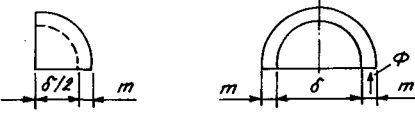
Độ chính xác của kết quả tính từ dẫn hoàn toàn phụ thuộc vào phương pháp vẽ. Nếu bức tranh của từ trường càng gần với thực tế thì độ chính xác của phương pháp càng cao.



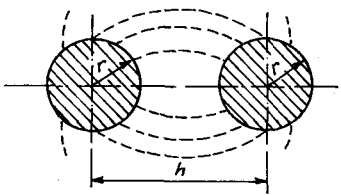
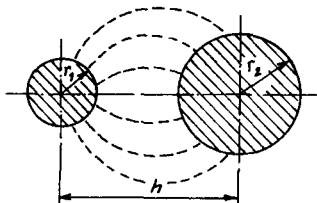
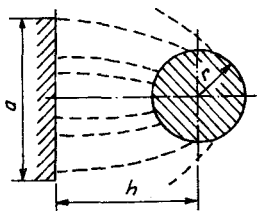
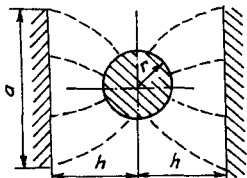
Hình 1-5. Phương pháp vẽ.

Bảng 1-1. Các công thức tính từ dẫn khe hở không khí G [H]

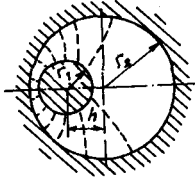
Hình dạng	Công thức
1. Trụ đặc 	$G_1 = \mu_0 \frac{\pi d^2}{4\delta}$
2. Hình hộp 	$G_2 = \mu_0 \frac{a.b}{\delta}$
3. Nửa trụ đặc 	$G_3 = 0,26\mu_0 a$
4. 1/4 trụ đặc 	$G_4 = 0,52\mu_0 a$
5. Nửa trụ rỗng 	$G_5 = \mu_0 \frac{2a}{\pi(\frac{\delta}{m} + 1)}$ $m = (1 \div 2)\delta$
6. 1/4 trụ rỗng 	$G_6 = \mu_0 \frac{2a}{\pi(\frac{\delta}{m} + 0,5)}$

7. Hai nửa trụ đặc		$G_7 = 0,815\mu_o d$
8. Hai nửa trụ rỗng		$G_8 = \mu_o \frac{2d}{\frac{d}{m} + 1}$
9. 1/4 cầu đặc		$G_9 = 0,077\mu_o \delta$
10. 1/8 cầu đặc		$G_{10} = 0,308\mu_o \delta$
11. 1/4 cầu rỗng		$G_{11} = \mu_o \frac{m}{4}$
12. 1/8 cầu rỗng		$G_{12} = \mu_o \frac{m}{2}$

Bảng 1-2. Các công thức tính suất từ dẫn khe hở không khí g [H/m]

Hình dạng cực từ	Công thức tính suất từ dẫn
1. Hai hình trụ song song có cùng đường kính	
	$g_{\delta} = \mu_0 \frac{\pi}{\ln(n + \sqrt{n^2 - 1})}$ $n = \frac{h}{2r}$
2. Hai hình trụ song song có đường kính khác nhau	
	$g_{\delta} = \mu_0 \frac{\pi}{\ln(n + \sqrt{n^2 - 1})}$ $n = \frac{h^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1 r_2}$
3. Hình trụ và mặt phẳng, song song với nhau	
	Khi $a > 4h$ $g_{\delta} = \mu_0 \frac{\pi}{\ln(2n + \sqrt{4n^2 - 1})}$ $n = \frac{h}{2r}$ Khi $a = (1,25 \div 2,5)h$ $g_{\delta a} = k_a \mu_0 \frac{\pi}{\ln(2n + \sqrt{4n^2 - 1})}$ $k_a = 0,85 \div 0,92$
4. Hình trụ song song và đối xứng với 2 mặt phẳng	
	$g_{\delta c} = k_a \mu_0 \frac{\pi}{\ln(2n + \sqrt{4n^2 - 1})}$ $n = \frac{h}{2r}, k_a = 1,25 \div 1,4$

5. Hai hình trụ song song bọc lẫn nhau



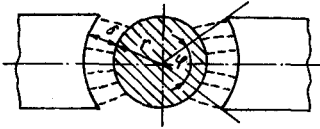
$$g_{\delta} = \mu_0 \frac{\pi}{\ln(n + \sqrt{n^2 - 1})}$$

$$n = \frac{r_1^2 + r_2^2 - h^2}{2r_1 r_2}$$

$$\text{khi } h = 0$$

$$g_{\delta} = \mu_0 \frac{2\pi}{\ln \frac{r_1}{r_2}}$$

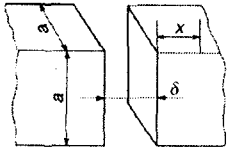
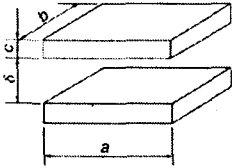
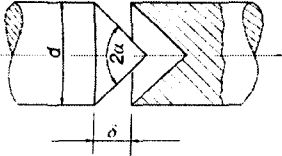
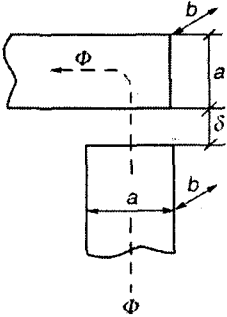
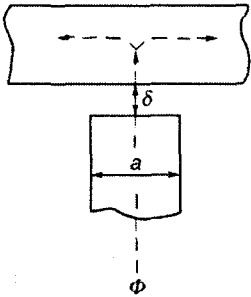
6. Hình trụ và mặt trụ đồng tâm với $\delta < r$



$$g_{\delta} = \mu_0 \frac{\varphi}{2\ln(1 + \frac{\delta}{r})}$$

Bảng 1 - 3. Từ dẫn ở khe hở không khí của các cực từ

N ^o	Cực từ	Từ dẫn
1		$G = \mu_0 \left(\frac{\pi d^2}{4\delta} x_1 + 0,96d + \frac{\pi d}{0,69 \frac{\delta}{c} + 0,63} \right)$ với $\frac{2R_0}{d} = 6,0$ và $\frac{\Delta}{\delta} \geq 0, x_1 = 1,0$
2		$G = \mu_0 \left[\frac{ab}{\delta} x_2 + 0,58(a + b) \right]$ với $\frac{2R_0}{d} = 6,0$ và $\frac{\Delta}{\delta} \geq 0, x_2 = 1,0$
3		$G = \mu_0 \left(\frac{\pi d^2}{4\delta} + \frac{1,51d^2 + 0,48d\delta}{2,4d + \delta} + \frac{x d}{0,22\delta + 0,4x} \right)$ với $x = (1 \div 2)\delta$ Có thể dùng công thức sau: $* G = \mu_0 \left(\frac{\pi d^2}{4\delta} + 0,48d + \frac{0,36d^2}{2,4d + \delta} \right)$

4		$G = \mu_0 \left(\frac{a^2}{\delta} + 0,56a + \frac{0,14a}{\ln(1,05 + \frac{\delta}{a})} + \frac{x \cdot a}{0,17\delta + 0,4x} \right)$ Với $x = (1 \div 2)\delta$ Nếu $a \times b$: $G = \frac{\mu_0}{\delta} \left(a + \frac{0,307\delta}{\pi} \right) \left(b + \frac{0,307\delta}{\pi} \right)$
5		$G = \mu_0 \frac{\left(a + \frac{k \cdot \delta}{\pi} \right) \left(b + \frac{k \cdot \delta}{\pi} \right)}{\delta}$ với $c/\delta < 1,0$; $k = 1,0$ với $c/d \geq 1,0$, $k = 0,307$
6		$G = \mu_0 \left(\frac{\pi d^2}{4\delta \sin^2 \alpha} - \frac{0,157d}{\sin^2 \alpha} + 0,75d \right)$
7		$G = k\mu_0 \frac{ab}{\delta}$ với $k = 1 + \frac{0,58}{m \cdot n} (1 + 1,5m) + \frac{0,31}{m \cdot n^2}$ Trong đó: $m = \frac{b}{a}$; $n = \frac{a}{\delta}$
8		$G = k\mu_0 \frac{ab}{\delta}$ với $k = 1 + \frac{0,58}{m \cdot n} (1 + 2m) + \frac{0,31}{m \cdot n^2}$ Trong đó: $m = \frac{b}{a}$; $n = \frac{a}{\delta}$

1.3. MẠCH TỪ MỘT CHIỀU

Ở mạch từ một chiều, vì dòng điện trong cuộn dây là dòng một chiều nên s.t.d và từ thông không biến đổi theo thời gian, do đó không có tổn hao do từ trễ và dòng xoáy trong mạch từ. Vật liệu làm mạch từ một chiều thường là thép ít cacbon ở thể khối, có đường cong từ hóa tương đối cao.

Những bài toán về mạch từ thường quy về hai dạng:

- Bài toán thuận: Biết từ thông Φ , cần tìm s.t.d (I_w). Đây là bài toán thiết kế, nghĩa là phải tính toán các kích thước mạch từ và các tham số cuộn dây để được lực điện từ cần thiết.

- Bài toán ngược: Biết s.t.d của mạch từ từ từ thông Φ , cần tìm từ thông Φ . Đây là bài toán kiểm nghiệm, có nghĩa là với mạch từ và cuộn dây cho trước, cần tính lực điện từ.

Việc tính toán mạch từ tương đối phức tạp vì các lý do sau:

- Quan hệ phi tuyến của đường cong từ hóa và của độ từ thẩm của vật liệu mạch từ.
- Từ thông rò trên lõi của mạch từ phân bố rải và thay đổi khi khe hở không khí thay đổi.

Chúng ta sẽ lần lượt khảo sát các trường hợp từ đơn giản đến phức tạp.

1. Mạch từ một chiều bỏ qua từ thông rò

Từ thông rò là phần từ thông khép kín mạch từ nhưng không đi qua khe hở không khí làm việc. Từ thông rò sẽ bỏ qua nếu nó rất bé so với từ thông làm việc, từ là từ thông đi qua khe hở không khí làm việc. Xét mạch từ hình xuyên, với tiết diện S , chiều dài trung bình của lõi thép là l , độ lớn của khe hở không khí δ và đường cong từ hóa của vật liệu mạch từ $B(H)$ được trình bày ở hình 1-6a, b, c.

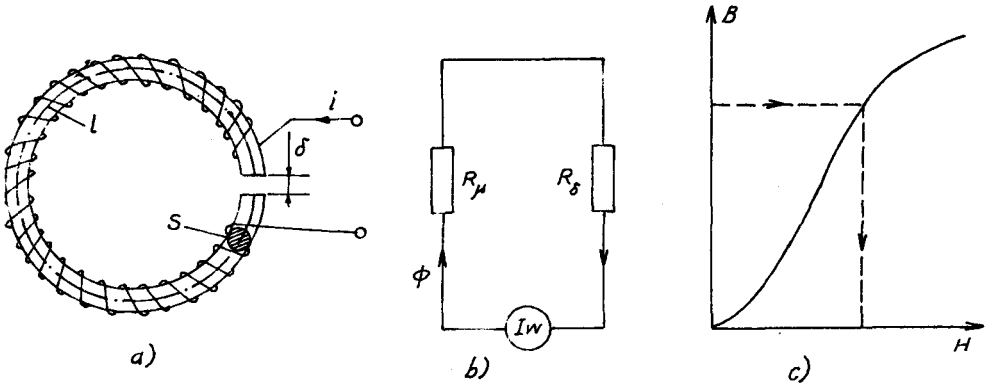
Với mạch từ này, xét hai bài toán thuận và ngược.

- a. *Bài toán thuận.* Biết từ thông ở khe hở không khí Φ_δ , tìm s.t.d (I_w) của mạch từ.

Vì $\Phi_r = 0 \rightarrow \Phi_\delta = \Phi \rightarrow B = B_\delta = \frac{\Phi_\delta}{S}$, từ $B(H) \rightarrow$ tìm H .

Từ trở mạch từ: $R_\mu = \frac{H.l}{\Phi}$; $G_\delta = \mu_0 \frac{S}{\delta}$. Vậy s.t.đ của mạch từ được xác định theo biểu thức sau:

$$(Iw) = \Phi.R_\mu = \Phi_\delta/G_\delta = \Phi_\delta(R_\mu + \frac{1}{G_\delta}) \quad (1-9)$$



Hình 1-6

a. Mạch từ với $\Phi_r = 0$; Sơ đồ thay thế mạch từ; c. Đường cong từ hóa $B(H)$

b. Bài toán ngược. Biết (Iw) , tìm Φ .

Từ phương trình (1-9), ta có:

$$(Iw) = \Phi.(R_\mu + \frac{1}{G_\delta}) = H.l + \frac{B.S}{G_\delta} \quad (1-10)$$

Chia hai vế của (1-10) cho l , ta có:

$$\frac{Iw}{l} = H + \frac{B.S}{G_\delta.l} \quad (1-11)$$

Phương trình (1-11) có hai ẩn số là B và H . Vì vậy để giải bài toán phi

tuyến loại này thì phương pháp kinh điển là phương pháp rò. Với trường hợp này cũng có thể giải bằng cách dựng hình (hình 1-7).

Trên đường cong $B(H)$ ở hình 1-7, từ O , lấy một đoạn $OA = \frac{Iw}{l}$ trên trục OH . Tại A , dựng một góc α với $\operatorname{tg} \alpha = \frac{G_{\delta} \cdot l}{S}$, cắt đường cong từ hóa tại M . Từ M , chiếu sang trục tung ta được B_{δ} và chiếu xuống trục hoành (điểm N) ta được:

$$ON = H; NA = OA - ON = \frac{Iw}{l} - H = \frac{B \cdot S}{G_{\delta} \cdot l}$$

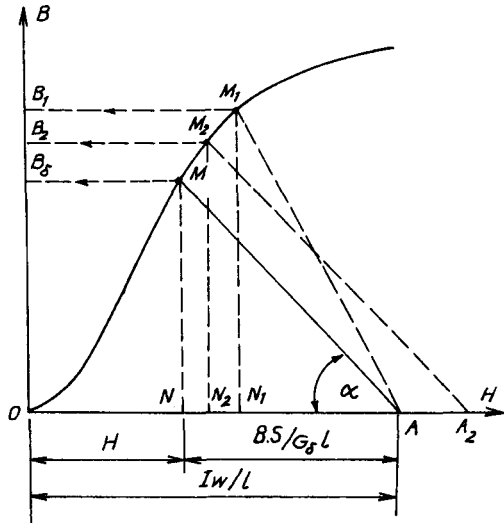
Vậy từ thông cần tìm là:
 $\Phi = B_{\delta} \cdot S$.

Từ đồ thị ở hình 1-7 có thể rút ra các nhận xét sau:

- Nếu giữ nguyên s.t.d, thay đổi khe hở không khí làm việc δ thì $\operatorname{tg} \alpha = \frac{G_{\delta} \cdot l}{S}$ thay đổi, dẫn đến thay đổi điểm làm việc $M \rightarrow M_1$, từ cảm $B_{\delta} \rightarrow B_1$, từ thông sẽ thay đổi.

- Nếu giữ nguyên khe hở không khí δ , tức giữ nguyên $\operatorname{tg} \alpha = \frac{G_{\delta} \cdot l}{S}$, mà thay đổi s.t.d

(Iw) thì điểm làm việc cũng thay đổi và từ thông cũng thay đổi (A_2, M_2, B_2).



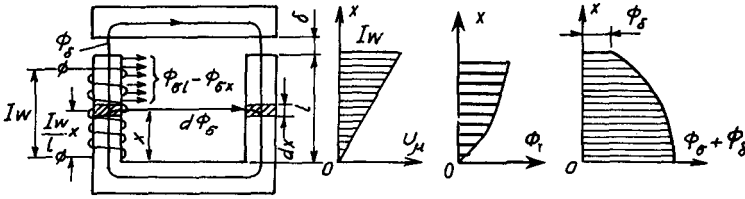
Hình 1-7

Tính mạch từ bằng dựng hình.

2. Mạch từ một chiều có xét từ thông rò $\Phi_r \neq 0$

a- Trường hợp thứ nhất: bỏ qua từ trở sắt từ: $R_{\mu} \rightarrow 0$, có thể bỏ qua từ trở sắt từ khi mạch từ làm việc ở phần tuyến tính của đường cong từ hóa.

Xét mạch từ trên hình 1-8 có cuộn dây phân bố đều trên trụ với chiều dài l .



Hình 1-8. Mạch từ không bão hòa có từ thông rò.

Gọi $f = \frac{Iw}{l}$ là s.t.d trên một đơn vị chiều dài trụ; g_r - suất từ dẫn

rò trên trụ; $U_{\mu x} = f \cdot x = Iw \frac{x}{l}$ là từ áp tại điểm x .

Từ thông rò tại phân đoạn dx , cách gốc một đoạn x là:

$$d\Phi_{rx} = U_{\mu x} dG_{rx} = I.w \cdot \frac{x}{l} g_r dx \quad (1-12)$$

Tích phân hai vế của (1-12) từ 0 đến x , ta có:

$$\Phi_{rx} = \frac{I.w}{l} \cdot g_r \frac{x^2}{2} \quad (1-13)$$

Từ thông rò trên toàn bộ chiều cao trụ l của mạch từ được tính bằng:

$$\Phi_r = \frac{I.w}{l} g_r \frac{l^2}{2} = I.w \cdot g_r \frac{l}{2} = I.w \cdot G_r \quad (1-14)$$

Từ dẫn rò của mạch từ, quy đổi theo từ thông là:

$$G_r = \frac{1}{2} g_r \cdot l \quad (1-15)$$

Từ thông tổng: $\Phi_0 = \Phi_\delta + \Phi_r = I.w(G_\delta + G_r) = I.w.G_\Sigma$

$$\text{hoặc: } \Phi_0 = I.w.G_\delta \left(1 + \frac{G_r}{G_\delta}\right) \quad (1-16)$$

Hệ số từ rò σ_r là tỷ số giữa từ thông tổng Φ_0 và từ thông đi qua khe hở không khí Φ_δ .

$$\sigma_r = \frac{\Phi_0}{\Phi_\delta} = 1 + \frac{\Phi_r}{\Phi_\delta} = 1 + \frac{G_r}{G_\delta} \quad (1-17)$$

Nếu mạch từ có từ thông móc vòng $\Psi = w.\Phi$ không đổi thì từ thông móc vòng rò tại phân đoạn dx sẽ là:

$$d\Psi_{rx} = w_x.d\Phi_{rx} = \frac{w}{l} x(I.w) \frac{x}{l} g_r dx = \frac{l.w^2}{l^2} g_r x^2 dx \quad (1-18)$$

Tích phân hai vế (1-18) từ 0 đến l, ta được:

$$\Psi_r = \frac{l.w^2}{3} g_r.l = w.l.w. \frac{1}{3} g_r.l = w.\Phi_r \quad (1-19)$$

Từ (1-19) suy ra:

$$\Phi_r = l.w.G_r = l.w. \frac{1}{3} g_r.l$$

Vậy từ dẫn rò quy đổi theo từ thông móc vòng Ψ sẽ là:

$$G_r = \frac{1}{3} g_r.l \quad (1-20)$$

Biểu thức từ dẫn rò quy đổi theo từ thông (1-15) thường dùng để tính mạch từ một chiều, còn biểu thức từ dẫn rò quy đổi theo từ thông móc vòng (1-20) thường dùng khi tính toán mạch từ xoay chiều. Trên hình 1-8 trình bày quan hệ giữa từ áp, từ thông rò và từ thông tổng theo chiều cao của trụ.

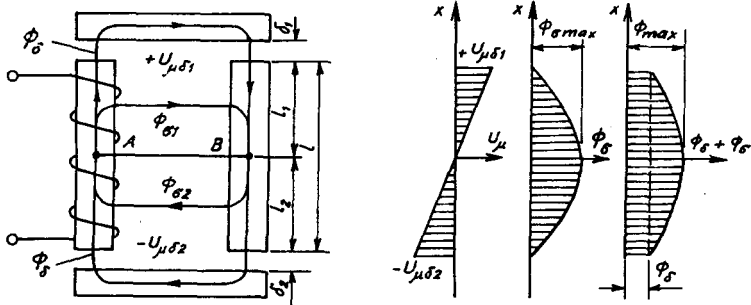
Điện cảm của cuộn dây L là tỷ số giữa từ thông móc vòng và dòng điện:

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{\Psi_\delta + \Psi_r}{I} = \frac{w(\Phi_\delta + \Phi_r)}{I} = w^2 \frac{\Phi_0}{l.w} = w^2 G \quad (1-21)$$

trong đó: $G = G_\delta + G_r$ là từ dẫn tổng của mạch từ.

Xét mạch từ có hai loại khe hở không khí (hình 1-9), trong đó δ_1 là khe hở không khí làm việc, còn δ_2 là khe hở không khí phụ.

Tại khe hở $2\delta_1$, ta có từ áp $+U_{\mu\delta_1}$, còn ở khe hở $2\delta_2$, ta có từ áp $-U_{\mu\delta_2}$, vì vậy chiều của từ thông rò cũng biến đổi theo dấu của từ áp. Quan hệ giữa từ áp, từ thông rò và từ thông tổng theo chiều cao của mạch từ được trình bày ở hình 1-9. Tại tiết diện A-B, vì từ thông rò đổi chiều nên từ rò tổng bằng 0. Vị trí của AB được xác định theo công thức:



Hình 1-9. Mạch từ có khe hở phụ

$$l_1 = 1 \frac{2G_2 + g_r l}{2(G_1 + G_2 + g_r l)}$$

trong đó: g_r là suất từ dẫn rò:

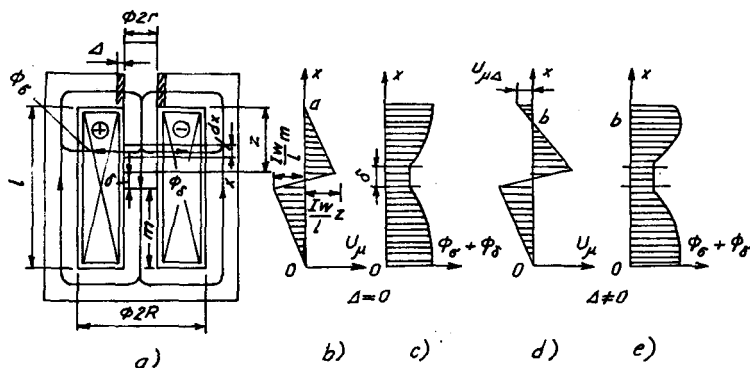
$$G_1 = \mu_0 \frac{S}{2\delta_1} ; G_2 = \mu_0 \frac{S}{2\delta_2}$$

Nếu $\delta_2 = 0$ (trường hợp mạch từ ở hình 1-8) thì:

$$l_1 = 1.$$

Khi có khe hở phụ trong mạch từ, điểm gốc của từ áp ($U_\mu = 0$) và điểm từ thông lớn nhất dịch chuyển trên chiều cao của mạch từ.

Với mạch từ kiểu bọc (hình 1-10), còn thường gọi là mạch từ kiểu solenoid hay hút ống dây, cuộn dây được bọc kín trong mạch từ và tồn tại hai dạng khe hở không khí: khe hở không khí làm việc ở và khe hở phụ Δ .



Hình 1-10. Mạch từ kiểu bọc

Giả sử khe hở phụ rất nhỏ so với khe hở làm việc, $\Delta < \delta$, có thể coi $\Delta = 0$, khi đó từ thông làm việc Φ_δ được xác định theo công thức:

$$\Phi_\delta = Iw.G_\delta$$

Từ thông rò tại khoảng cách x từ bề mặt phần ứng được tính bằng công thức:

$$d\Phi_{rx} = \frac{I.w}{l} (z - x)g_r dx$$

trong đó: $I.w \frac{z - x}{l}$ là từ áp tại điểm x , tạo ra từ thông rò $d\Phi_{rx}$.

g_r là suất từ dẫn rò, với mạch từ kiểu bọc trụ tròn, ta có:

$$g_r = \mu_0 \frac{2\pi}{\ln \frac{R}{r}}$$

Tích phân hai vế từ 0 đến x của biểu thức $d\Phi_{rx}$, ta được:

$$\Phi_{rx} = \int_0^x \frac{I.w}{l} g_r (z - x) dx = \frac{I.w}{l} g_r \left(zx - \frac{x^2}{2} \right)$$

Với $x = z$, ta có từ thông rò của phần ứng mạch từ:

$$\Phi_{rz} = \frac{I.w}{l} g_r \frac{z^2}{2}$$

Từ thông tổng tại phần ứng cực từ với $x = z$ là:

$$\Phi_{oz} = \Phi_\delta + \Phi_{rz} = I.w.G_\delta + \frac{I.w}{l} g_r \frac{z^2}{2}$$

Tương tự, ta có từ thông tổng tại phần đáy cực từ:

$$\Phi_{om} = \Phi_\delta + \Phi_{rm} = I.w.G_\delta + \frac{I.w}{l} g_r \frac{m^2}{2}$$

Điện cảm cuộn dây trong trường hợp này được tính bằng:

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{\Psi_\delta + \Psi_z + \Psi_m}{I} = w^2 \left(G_\delta + \frac{g_r z^3}{3l^2} + \frac{g_r m^3}{3l^2} \right)$$

Với $\Delta \neq 0$, quan hệ giữa s.t.đ là từ thông được trình bày ở hình 1-10d, e.

b. Trường hợp thứ hai. Mạch từ một chiều có xét từ thông rò và từ trở của sắt từ. Trong trường hợp này điểm làm việc của mạch từ nằm trên đoạn phi tuyến của đường cong từ hóa vật liệu từ, nên còn gọi là mạch từ

bão hòa.

Trong thực tế, các NCD được thiết kế tính toán sao cho khi khe hở không khí bé, mạch từ gần bão hòa để giảm kích thước thiết bị.

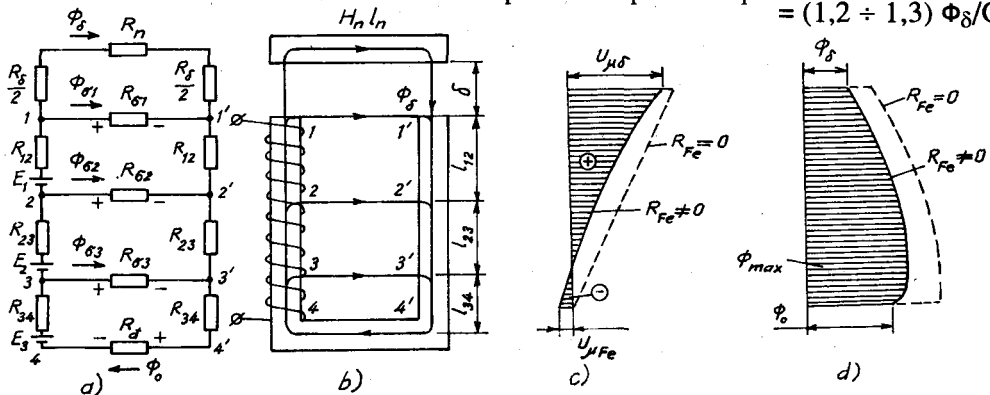
Nếu từ áp rơi trên phần sắt từ vượt quá 10% s.t.đ cuộn dây thì không thể bỏ qua từ trở sắt từ.

Phương pháp thường gặp nhất để tính toán mạch từ bão hòa có từ thông rò là phương pháp phân đoạn mạch từ và phương pháp sử dụng hệ số từ rò.

- Phương pháp phân đoạn mạch từ.

Xét mạch từ trên hình 1.11, dạng chữ U, hút thẳng. Chia mạch từ thành ba phân đoạn l_{12} , l_{23} và l_{34} sao cho s.t.đ của các phân đoạn thỏa mãn điều kiện: (Chọn sơ bộ s.t.đ $I_w = (1,2 \div 1,3) \Phi_\delta / G_\delta$)

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = E \frac{l_{12}}{l} + E \frac{l_{23}}{l} + E \frac{l_{34}}{l} = IW = (1,2 \div 1,3) \Phi_\delta / G_\delta$$



Hình 1-11. Mạch từ có từ trở sắt từ và từ thông rò. Φ_0

Việc tính toán mạch từ dựa vào sơ đồ thay thế và các định luật Kiếckhốp được tiến hành theo trình tự sau (từ điểm 1 đến 11).

1- Xác định từ áp giữa hai điểm 1 và 1'.

$$U_{\mu 11'} = U_{\mu \delta} + U_{\mu n} = \frac{\Phi_\delta}{G_\delta} + H_n l_n$$

trong đó: $B_n = \frac{\Phi_\delta}{S_n}$ là cường độ từ cảm ở nắp mạch từ; l_n - chiều dài của nắp mạch từ; S_n - tiết diện của nắp.

2- Tính từ thông rò giữa hai điểm 1 và 1':

$$\Phi_{r1} = U_{\mu 11'} \cdot G_{r1} = U_{\mu 11'} \frac{1}{2} g_r \cdot l_{12}$$

Trong thực tế, từ thông rò phân bố rải trên chiều dài của lõi, xong để tiện việc tính toán coi nó tập trung tại điểm 1, vì vậy từ thông ở phân đoạn 1 sẽ là:

$$\Phi_1 = \Phi_\delta + \Phi_{r1}.$$

3- Xác định từ áp giữa các điểm 2 và 2' theo công thức:

$$U_{\mu 22'} = U_{\mu 11'} + 2H_{12}l_{12} - E_1$$

Muốn xác định H_{12} phải dựa vào đường cong từ hóa của vật liệu từ và từ cảm ở phân đoạn này:

$$B_{12} = \frac{\Phi_1}{S}$$

4- Tương tự như các điểm trên, ta có từ thông rò ở phân đoạn hai:

$$\Phi_{r2} = U_{\mu 22'} \cdot G_{r2}$$

trong đó: $G_{r2} = \frac{1}{2} g_r \cdot l_{23}$

5- Từ thông ở phân đoạn thứ hai:

$$\Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_{r2};$$

Từ cảm ở phân đoạn thứ hai:

$$B_{23} = \frac{\Phi_2}{S}, \text{ từ đó tìm được } H_{23}.$$

Tương tự, ta tính tiếp các điểm sau:

$$6. \quad U_{\mu 33} = U_{\mu 22'} + 2H_{23}l_{23} - E_2$$

$$7. \quad \Phi_3 = \Phi_2 + \Phi_{r3}$$

$$8. \quad B_{34} = \frac{\Phi_3}{S} \rightarrow H_{34}$$

$$9. \quad U_{\mu 44'} = U_{\mu 33} + 2H_{34}l_{34} - E_3 = H_d \cdot l_d$$

$$10. \quad \Phi_d = B_d \cdot S_d = \Phi_o$$

$$11. \quad \sum U_\mu = U_{\mu 11'} + 2H_{12}l_{12} + 2H_{23}l_{23} + 2H_{34}l_{34} + H_d \cdot l_d.$$

Với bài toán thuận, sau khi tính xong phải so sánh kết quả xem $\sum U_{\mu}$ và (I.w), nếu kết quả sai số vượt quá 10% thì phải tính lại E_1 , vì ta lấy sơ bộ $E = (1,2 \div 1,3) \Phi_{\delta}/G_{\delta} = I.w$.

Với bài toán ngược (cho biết s.t.d I.w, tìm Φ_{δ}) thì trình tự tính toán ngược lại, từ đáy lên đỉnh, hoặc có thể tính bằng phương pháp gần đúng liên tiếp bằng cho Φ_{δ} những giá trị khác nhau và tính như bài toán thuận.

- *Tính mạch từ bằng cách dùng hệ số từ rò*

Phương pháp này cho kết quả tương đối chính xác nhưng cần khối lượng tính toán lớn, nhất là khi gặp trường hợp cuộn dây phân bố rải trên trụ mạch từ.

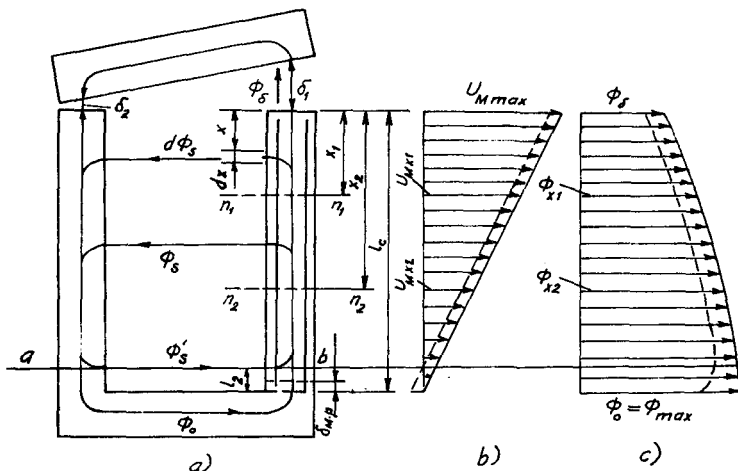
Từ thông tại bất kỳ tiết diện x nào của mạch từ bằng tổng của từ thông làm việc và từ thông rò:

$$\Phi_x = \Phi_{\delta} + \Phi_{sx} = \Phi_{\delta} \left(1 + \frac{\Phi_{sx}}{\Phi_{\delta}} \right) = \sigma_x \cdot \Phi_{\delta} \quad (1-22)$$

trong đó: $\sigma_x = 1 + \frac{\Phi_{sx}}{\Phi_{\delta}}$ là hệ số từ rò.

Từ (1-22) ta nhận thấy rằng, nếu xác định được hệ số từ rò σ_x thì tính được từ thông tại x.

Để minh họa cho phương pháp này, ta xét mạch từ dạng hút chập (hình 1-12).



Hình 1-12. Mạch từ dạng hút chập có từ thông rò.

Mạch từ có hai khe hở không khí δ_1 và δ_2 có độ lớn khác nhau, cuộn dây phân bố rải trên một trụ của mạch từ. Từ thông tại tiết diện n_1 (hình 1-12) là:

$$\Phi_{n1} = \Phi_{\delta} + \Phi_{r1} = \sigma_{x1} \cdot \Phi_{\delta}$$

Từ thông rò của phân đoạn x_1 được tính bằng công thức sau:

$$\Phi_{r1} = \int_0^{x_1} (I \cdot w)_{x\delta_1} g_r dx = \int_0^{x_1} I \cdot w \frac{1-x}{l} g_r dx \quad (1-23)$$

$$\Phi_{r1} = I \cdot w \cdot \frac{g_r x_1}{2} \left(2 - \frac{x_1}{l} \right) \quad (1-24)$$

Từ thông rò tại tiết diện n_2 với chiều dài x_2 được tính tương tự:

$$\Phi_{r2} = I \cdot w \cdot \frac{g_r x_2}{2} \left(2 - \frac{x_2}{l} \right)$$

Nếu bỏ qua từ trở sắt từ thì từ thông ở khe hở không khí làm việc Φ_{δ} được tính theo công thức:

$$\Phi_{\delta} = I \cdot w \cdot G_{\delta} \text{ hay } I \cdot w = \Phi_{\delta} / G_{\delta}$$

trong đó: $G_{\delta} = \frac{G_{\delta 1} \cdot G_{\delta 2}}{G_{\delta 1} + G_{\delta 2}}$ là từ dẫn tổng của khe hở không khí:

Thay biểu thức $(I \cdot w)$ vào công thức tính từ thông rò Φ_{r1} ta có:

$$\Phi_{r1} = \frac{\Phi_{\delta}}{G_{\delta}} \cdot \frac{g_r \cdot x_1}{2} \left(2 - \frac{x_1}{l} \right)$$

Vậy từ thông tổng tại tiết diện n_1 sẽ là:

$$\Phi_{n1} = \Phi_{\delta} + \Phi_{r1} = \Phi_{\delta} \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{g_r \cdot x_1}{G_{\delta}} \left(2 - \frac{x_1}{l} \right) \right] = \Phi_{\delta} \cdot \sigma_{x1}$$

trong đó: $\sigma_{x1} = 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{g_r \cdot x_1}{G_{\delta}} \left(2 - \frac{x_1}{l} \right)$ là hệ số từ rò tại phân đoạn x_1 .

Từ thông trung bình tại phân đoạn với chiều dài x_1 là:

$$\Phi_{x1tb} = \Phi_{\delta} \cdot \frac{\sigma_{x0} + \sigma_{x1}}{2} = \frac{1 + \sigma_x}{2} \quad (1.25)$$

vì khi $x = 0$ thì $\Phi_{x0} = \Phi_{\delta}$ và $\sigma_{x0} = 1$.

Tương tự, ta có từ thông trung bình ở phân đoạn $n_1 - n_2$:

$$\Phi_{n1n2tb} = \Phi_{\delta} \cdot \frac{\sigma_{x1} + \sigma_{x2}}{2}$$

Như vậy, bằng cách phân đoạn mạch từ và tính hệ số từ rò trên các phân đoạn, ta tìm được từ thông trung bình của chúng.

Phân bố của từ áp và từ thông theo chiều cao trụ được trình bày ở hình 1-12b, c. Nếu mạch từ có khe hở phụ δ_0 , thì đường biểu diễn từ áp và từ thông là đường nét đứt.

1.4. MẠCH TỪ XOAY CHIỀU

Nếu cuộn dây của nam châm điện được cấp bởi dòng điện xoay chiều thì mạch từ của nó là mạch từ xoay chiều. Dòng điện trong cuộn dây xoay chiều không chỉ phụ thuộc vào điện trở R của cuộn dây mà còn phụ thuộc vào điện kháng X của nó:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \quad (1-26)$$

Mặt khác, điện cảm L phụ thuộc vào từ dẫn của mạch từ nên khi khe hở không khí biến đổi, từ dẫn cũng biến đổi và s.t.d của mạch từ cũng thay đổi theo.

Từ trở của mạch từ xoay chiều không những phụ thuộc vào khe hở không khí, kích thước mạch từ, hệ số từ thẩm vật liệu từ mà còn phụ thuộc vào tổn hao năng lượng trong mạch từ (do dòng điện xoáy và từ trễ) và tổn hao trong vòng ngắn mạch, còn gọi là vòng chống rung ở NCD một pha.

Mạch từ một chiều thường được chế tạo từ vật liệu từ dạng khối, còn mạch từ xoay chiều được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện (tôn silíc) để chống tổn hao do dòng xoáy và từ trễ.

Nếu sụt áp trên điện trở của cuộn dây rất bé so với sụt áp trên điện kháng của nó thì lúc đó:

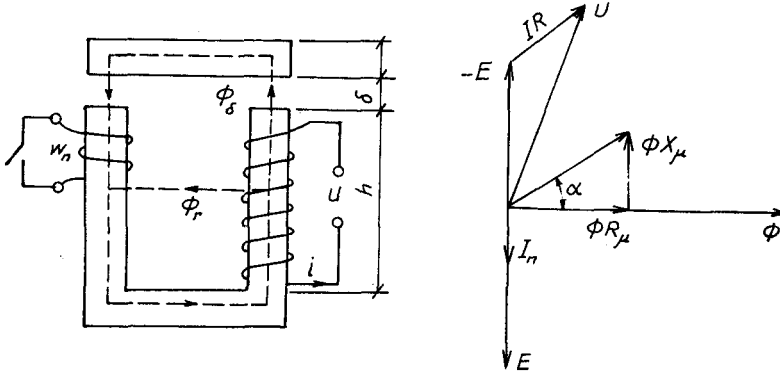
$$U = \sqrt{(I.R)^2 + (I.X)^2} \approx I.X = I.2\pi f.w^2G$$

$$U = I.w.G.2\pi f.w = 2\pi f.w.\frac{\Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44f.w.\Phi_m \quad (1-27)$$

Từ (1-27) nhận thấy rằng, nếu điện áp nguồn không đổi thì từ thông Φ_m cũng không đổi; còn ở mạch từ một chiều, s.t.d của cuộn dây ($I.w$) không đổi vì dòng điện chảy trong cuộn dây chỉ phụ thuộc vào điện trở của nó,

không phụ thuộc vào khe hở không khí.

Ở mạch từ xoay chiều, tổn hao năng lượng trong lõi thép và trong vòng ngắn mạch (nếu có) sẽ làm chậm sự biến thiên của từ thông, nghĩa là tạo ra sự lệch pha giữa s.t.đ và từ thông. Tương tự như ở mạch điện, sự xuất hiện của điện kháng làm chậm pha giữa điện áp và dòng điện, còn ở mạch từ sự xuất hiện của từ kháng (do tổn hao thép trong mạch từ và tổn hao đồng trong vòng ngắn mạch) làm chậm pha giữa từ áp và từ thông.



Hình 1-13. Mạch từ xoay chiều có vòng ngắn mạch và giản đồ vectơ.

Xét một mạch từ xoay chiều có vòng ngắn mạch ở hình 1-13 với w là số vòng cuộn dây xoay chiều, nối song song với nguồn điện U ; w_n là số vòng của cuộn dây ngắn mạch với điện trở r_n và điện kháng X_n .

- Trường hợp thứ nhất: Bỏ qua từ trở sắt từ và tổn hao trong lõi thép, phương trình cân bằng s.t.đ. trong mạch từ có dạng:

$$i_n w = \Phi_\delta R_\delta = i_n w_n \quad (1-28)$$

Trong đó:
$$i_n = \frac{e_n}{r_n} = -\frac{w_n}{r_n} \frac{d\Phi_\delta}{dt} \quad (1-29)$$

i_n là dòng điện chạy trong cuộn dây ngắn mạch (coi $\Phi_r = 0$). Thay (1-29) vào (1-28), ta có:

$$U_\mu = i_n w = \Phi_\delta R_\delta + \frac{w_n^2}{r_n} \frac{d\Phi_\delta}{dt} \quad (1-30)$$

Với mạch điện RL nối tiếp, ta có phương trình cân bằng điện áp như sau:

$$u = i.R + L \frac{di}{dt} \quad (1-31)$$

Có thể viết (1-30) tương tự như (1-31):

$$u_{\mu} = \Phi_{\delta}.R_{\delta} + L_{\mu} \cdot \frac{d\Phi_{\delta}}{dt}. \quad (1-32)$$

trong đó: $L_{\mu} = \frac{w_n^2}{r_n}$, $X_{\mu} = \omega L_{\mu} = \omega \cdot \frac{w_n^2}{r_n}$ là từ cảm và từ kháng của mạch từ.

Vậy phương trình cân bằng từ áp có dạng:

$$U_{\mu} = \Phi.R_{\mu} + j\Phi.X_{\mu} \quad (1-33)$$

Tương tự như ở mạch điện, ta có từ kháng tổng của mạch từ:

$$Z_{\mu} = R_{\mu} + jX_{\mu}. \quad (1-34)$$

$$Z_{\mu} = \sqrt{R_{\mu}^2 + X_{\mu}^2}$$

Nếu vòng ngắn mạch bị hở ($r_n \rightarrow \infty$) thì từ kháng của mạch từ bằng 0 và mạch từ chỉ còn từ trở thuần.

- *Trường hợp thứ 2:* Mạch từ có tổn hao sắt từ do từ trễ và dòng điện xoáy tạo nên. Tổn hao này có thể thay thế bằng một điện trở của cuộn dây ngắn mạch ảo có tổn hao tương đương.

Nếu từ thông biến thiên theo luật sinus thì sức điện động cảm ứng trong vòng ngắn mạch có dạng:

$$E_n = 4,44f.w_n.\Phi_n = \frac{\omega.w_n.\Phi_n}{\sqrt{2}} \quad (1-35)$$

$$\text{Suy ra: } w_n = \frac{E_n.\sqrt{2}}{\omega.\Phi_n}$$

Từ điều kiện tổn hao tương đương, ta có:

$$P_{Fe} = \frac{E_n^2}{r_n} \rightarrow r_n = \frac{E_n^2}{P_{Fe}} \quad (1-36)$$

Vậy từ kháng của mạch từ với tổn hao sắt từ R_{Fe} là:

$$X_{\mu} = \frac{\omega.w_n^2}{r_n} = \frac{2P_{Fe}}{\omega.\Phi_n^2} \quad (1-37)$$

Tương tự như ở mạch điện, ta có thể dùng khái niệm suất từ trở, suất

từ kháng và suất tổng từ trở $\rho_{R\mu}$, $\rho_{X\mu}$ và $\rho_{Z\mu}$. Do đó công thức tính từ trở, từ kháng và tổng từ trở của mạch từ sẽ là:

$$R_{\mu} = \rho_{R\mu} \frac{l}{S} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S} \quad (1-38)$$

$$X_{\mu} = \rho_{X\mu} \cdot \frac{l}{S} = \frac{2P_{Fe}}{\omega \cdot \Phi_m^2} = \frac{2p_o \gamma \cdot l \cdot s}{\omega \cdot B_m^2 S^2} = \frac{2p_o \gamma}{\omega \cdot B_m^2} \cdot \frac{l}{S} \quad (1-39)$$

$$Z_{\mu} = \rho_{Z\mu} \cdot \frac{l}{S} = (\sqrt{\rho_{R\mu}^2 + \rho_{X\mu}^2}) \frac{l}{S} = \frac{1}{S} \sqrt{\frac{l^2}{\mu^2} + \left(\frac{2p_o \gamma}{\omega \cdot B_m^2}\right)^2} \quad (1-40)$$

trong đó: p_o là suất tổn hao sắt từ cho 1 đơn vị khối lượng.

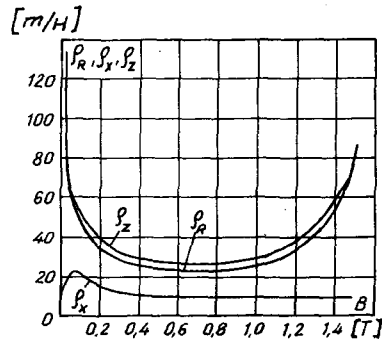
μ là từ thẩm mạch từ.

γ là khối lượng riêng vật liệu từ.

l là chiều dài mạch từ.

S là tiết diện mạch từ.

Nếu biết từ cảm trong mạch từ và đường cong từ hóa của vật liệu từ, ta có thể tính được từ trở và từ kháng của mạch từ theo các công thức (1-38), (1-39) và (1-40). Việc tính toán mạch từ có thể dùng số phức biểu diễn các phương trình và các định luật cơ bản của mạch từ.



Hình 1-14. Quan hệ $\rho(B)$

Tổng từ trở của mạch từ phụ thuộc vào từ cảm trong mạch từ. Trên hình 1-14 cho các quan hệ của $\rho_{R\mu}$, $\rho_{X\mu}$, $\rho_{Z\mu}$ và từ cảm B .

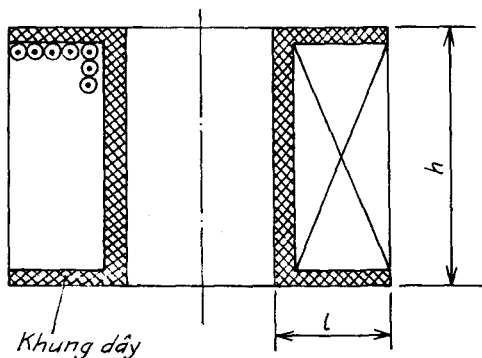
Các phương pháp tính toán mạch từ xoay chiều cũng tương tự như các phương pháp tính toán mạch từ một chiều nhưng phức tạp hơn vì xuất hiện từ kháng.

1.5. CUỘN DÂY NAM CHÂM ĐIỆN

Cuộn dây phải sinh ra s.t.d cần thiết cho mạch từ, mặt khác tổn hao năng lượng trong cuộn dây phải đủ nhỏ để nhiệt độ phát nóng của nó không vượt quá nhiệt độ cho phép của cấp cách điện cuộn dây.

Tùy theo cách đấu nối của nó, ta có cuộn dây dòng điện (nối tiếp với phụ tải) và cuộn dây điện áp (nối song song với nguồn điện).

Ở cuộn dây dòng điện, vì mắc nối tiếp với phụ tải nên dòng điện trong cuộn dây chỉ phụ thuộc vào phụ tải và sụt áp trên cuộn dây là không đáng kể so với sụt áp trên phụ tải. Với cuộn dây điện áp, vì mắc song song với nguồn điện nên trị số của dòng điện trong nó chỉ phụ thuộc vào tham số của cuộn dây nếu điện áp nguồn không đổi. Phụ thuộc vào dạng dòng điện chảy trong cuộn dây, ta có cuộn dây điện một chiều và cuộn dây điện xoay chiều.



Hình 1-15. Cuộn dây

Cấu tạo của cuộn dây NCD được mô tả ở hình 1-15. Cuộn dây hình trụ có khung bằng vật liệu cách điện, thường đúc bằng nhựa cứng chịu nhiệt. Dây quấn của cuộn dây thường là dây đồng bọc men cách điện, tiết diện tròn hoặc chữ nhật. Một trong các tham số quan trọng nhất của cuộn dây là hệ số lấp đầy:

$$K_{ld} = \frac{S_{cu}}{S_{cd}} \quad (1-41)$$

trong đó: S_{cu} là diện tích chiếm chỗ của đồng trong cuộn dây;

S_{cd} là diện tích của cuộn dây.

Nếu dây quấn có tiết diện tròn, với đường kính không kể cách điện d thì:

$$S_{cu} = w \cdot q = w \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad (1-42)$$

Còn diện tích chiếm chỗ của cuộn dây (còn gọi là diện tích cửa sổ mạch từ) sẽ là:

$$S_{cd} = l \cdot h \quad (1-43)$$

trong đó h là chiều cao cuộn dây; l là bề dày cuộn dây.

Thay (1-42) và (1-43) vào (1-41), ta được:

$$K_{ld} = \frac{S_{cu}}{S_{cd}} = \frac{w \cdot \pi d^2}{4 l \cdot h} \quad (1-44)$$

- Tỷ số giữa chiều dài và bề dày cuộn dây được gọi là hệ số hình dáng:

$$m = \frac{h}{l} . \text{ Với cuộn dây NCD một chiều: } m = (2 \div 4), \text{ còn cuộn}$$

dây NCD xoay chiều: $m = (1 \div 3)$, có nghĩa là cuộn dây một chiều cao và gầy hơn so với cuộn dây xoay chiều.

Hệ số lấp đầy cuộn dây phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố: có khung hay không, bề dày và số lớp, cách điện lớp giữa các lớp dây quấn, đường kính, kích thước, hình dạng dây quấn, bề dày lớp cách điện dây quấn, phương pháp quấn dây (quấn rải lớp hay quấn hỗn loạn)... cho nên hệ số này dao động trong phạm vi khá rộng:

$$K_{ld} = (0,3 \div 0,7).$$

- Điện trở của cuộn dây được tính theo công thức:

$$R = \rho \frac{w \cdot l_{tb}}{q} \quad (1-45)$$

trong đó: ρ là điện trở suất của vật liệu dây quấn; w là số vòng cuộn dây; l_{tb} là chiều dài trung bình của một vòng dây, được tính bằng trung bình cộng của vòng dây ngắn nhất (lớp trong cùng) và vòng dây dài nhất (lớp ngoài cùng); q là tiết diện dây quấn.

- Độ tăng nhiệt của bề mặt cuộn dây khi làm việc ở chế độ ổn định nhiệt được xác định bằng công thức:

$$\tau = \frac{P}{K_T S_T} \quad (1-46)$$

trong đó: $\tau = \theta - \theta_0$ là độ tăng nhiệt cuộn dây so với nhiệt độ môi trường θ_0 ; P [W] công suất tổn hao trong cuộn dây; K_T là hệ số tỏa nhiệt bằng đối lưu và bức xạ. Ở điều kiện tỏa nhiệt tự nhiên, $K_T = (6 \div 14) \text{ W/m}^2.\text{deg}$.

S_T [m²] diện tích bề mặt tỏa nhiệt của cuộn dây, gồm diện tích mặt ngoài, diện tích mặt trong và diện tích hai đáy.

- Một thông số quan trọng đối với độ tăng nhiệt của cuộn dây là mật độ dòng điện:

$$j = \frac{I}{q}, \text{ [A/mm}^2\text{]}$$

Ở chế độ làm việc dài hạn, tùy vào kích thước và điều kiện tỏa nhiệt của cuộn dây cũng như cấp cách điện của dây quấn, người ta thường lấy

mật độ dòng điện $j = (1,5 \div 4) \text{ A/mm}^2$ với dây quấn được chế tạo bằng đồng.

- Đường kính dây quấn cũng như tiết diện dây quấn có thể xác định được bằng cách chọn mật độ dòng điện j từ:

$$q = \frac{I}{j} [\text{mm}^2] ; d = \sqrt{\frac{4q}{\pi}} [\text{mm}]$$

- Số vòng của cuộn dây được xác định từ công thức (1-44) nếu biết kích thước cuộn dây, hệ số lấp đầy và đường kính dây quấn:

$$w = \frac{K_{ld} \cdot l \cdot h}{q} = \frac{4K_{ld} l \cdot h}{\pi d^2} \quad (1-47)$$

- Tổn hao công suất trong cuộn dây:

$$P = I^2 \cdot R$$

Dưới đây sẽ lần lượt tiến hành phương pháp tính toán cuộn dây.

1- *Tính toán cuộn dây một chiều*: Các đại lượng cho trước là s.t.d ($I \cdot w$) và điện áp của cuộn dây U . Ta phải xác định các kích thước và tham số cơ bản của cuộn dây như: $d, q, w, l, h, R \dots$

- Tiết diện và đường kính dây quấn.

Xuất phát từ công thức:

$$(I \cdot w) = \frac{U}{R} \cdot w = \frac{U \cdot w}{\rho \cdot w \cdot l_{tb} / q} = \frac{U \cdot q}{\rho \cdot l_{tb}} \quad (1-48)$$

Trong (1-48) hai đại lượng chưa biết là q và l_{tb} .

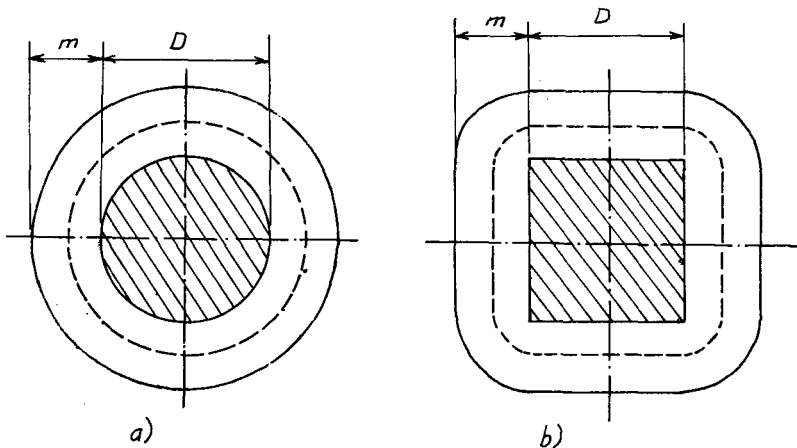
Nếu biết được l_{tb} là chiều dài trung bình của một vòng dây thì có thể tính được tiết diện q và đường kính dây quấn d . Từ (1-48) suy ra:

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(I \cdot w) \cdot \rho \cdot l_{tb}}{\pi \cdot U}} \quad (1-49)$$

Sau khi tính được d , phải chuẩn hóa theo đường kính dây tiêu chuẩn.

- *Cách xác định l_{tb}* : Thông thường sơ bộ lấy bề dày cuộn dây l , chính bằng đường kính lõi mạch từ (với lõi hình trụ) hoặc cạnh của lõi (với lõi hình vuông), cho ở hình 1-16a, b.

• Với lõi trụ:



Hình 1-16. Tiết diện cuộn dây hình tròn (a) và hình vuông (b).

$$l_{tb} = \frac{\pi D + \pi(D + 2m)}{2} = \pi(D + m)$$

- Với lõi vuông:

$$l_{tb} = 4D + \pi m.$$

- Số vòng cuộn dây \$w\$ được xác định dựa vào biểu thức: \$(I.w) = j.q.w\$

$$\text{Suy ra: } w = \frac{(I.w)}{j.q} = \frac{4(I.w)}{\pi d^2.j} \quad (1-50)$$

trong đó: \$j = (1,5 \div 4) \text{ A/mm}^2\$ là mật độ dòng điện trong dây quấn ở chế độ làm việc dài hạn. Với chế độ ngắn hạn, có thể lấy \$j\$ cao hơn, phụ thuộc vào thời gian làm việc và các thông số khác của cuộn dây.

- Kích thước cuộn dây:

Từ biểu thức (1-44):

$$S_{cd} = l.h = \frac{w.q}{K_{ld}}, \text{ nếu chọn } K_{ld} \text{ là hệ số lấp đầy của cuộn dây, ta}$$

có thể xác định được chiều dài cuộn dây \$l\$ vì bề dày cuộn dây \$h\$ ta đã chọn sơ bộ ở hình 1-16.

Sau khi xác định được \$w, d, S_{cd}\$, ta dễ dàng xác định các thông số còn lại như điện trở cuộn dây \$R\$, tổn hao công suất \$P\$, độ tăng nhiệt \$\tau\$. Nếu độ tăng nhiệt quá cao hoặc quá thấp, phải chọn lại \$j, h...\$ để độ tăng nhiệt nằm gần giá trị tới hạn.

2- Tính toán cuộn dây xoay chiều.

Ở cuộn dây xoay chiều, phương trình cân bằng điện áp có dạng:

$$U^2 = (I.R)^2 + (4,44f.w.\Phi_m)^2 = U_R^2 + U_L^2.$$

Nếu bỏ qua sụt áp trên điện trở dây quấn, ta có:

$$U = 4,44f.w.B_m.S \quad (1-51)$$

Từ (1-51) nhận thấy rằng, số vòng của cuộn dây điện xoay chiều chỉ phụ thuộc vào điện áp và tần số của nguồn điện nếu từ cảm trong mạch từ có trị biên độ không đổi. Nếu bỏ qua sụt áp trên điện trở dây quấn thì số vòng cuộn dây điện xoay chiều có thể tính theo công thức:

$$w = \frac{E}{4,44f.B_m.S} = \frac{(0,7 \div 0,8)U_{dm}}{4,44f.B_m.S} \quad (1-52)$$

trong đó: U_{dm} là trị số định mức của điện áp nguồn; B_m là trị biên độ của từ cảm trong mạch từ; S là tiết diện mạch từ.

Kích thước dây quấn (đường kính d , tiết diện q) có thể xác định được nếu xác định được dòng điện trong dây quấn. Cần lưu ý rằng, ở cuộn dây điện xoay chiều, dòng điện chủ yếu phụ thuộc vào điện kháng X_L , mà điện kháng lại phụ thuộc vào từ dẫn của mạch từ.

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \approx \frac{U}{\omega.w^2.G} \quad (1-53)$$

trong đó G là từ dẫn của mạch từ.

Khi khe hở không khí thay đổi, từ dẫn G thay đổi theo: Khe hở lớn thì từ dẫn bé nên dòng điện lớn; còn khi khe hở bé (nắp mạch từ ở trạng thái hút ổn định) thì từ dẫn lớn nên dòng điện bé. Sự thay đổi của dòng điện trong cuộn dây khi khe hở không khí thay đổi nằm trong một phạm vi khá rộng:

$$K_I = \frac{I_{\delta = \delta_{max}}}{I_{\delta = \delta_{min}}} = (4 \div 12)$$

Vì vậy tính toán đường kính dây quấn d tương ứng với chế độ làm việc ổn định của nam châm điện, tức là ứng với trạng thái hút của nắp ($\delta = \delta_{min}$).

Khi tính được dòng điện xác lập của cuộn dây, việc tính toán các thông số còn lại của nó cũng tương tự như ở cuộn dây điện một chiều.

Trong quá trình làm việc của NCD xoay chiều, nếu nắp của mạch từ bị kẹt hoặc cực từ bị bụi bẩn bám vào, làm tăng khe hở không khí, giảm từ dẫn nên dòng điện tăng, cuộn dây dễ bị cháy.

Mặt khác ở NCD xoay chiều, mạch từ cũng bị phát nóng do tổn hao sắt từ nên điều kiện tỏa nhiệt của cuộn dây xoay chiều thường kém hơn ở cuộn dây một chiều.

3- Tính toán lại cuộn dây khi thay đổi điện áp

Đây là bài toán thường gặp trong thực tiễn, khi phải tính toán, quấn lại cuộn dây NCD cho phù hợp với cấp điện áp mới mà vẫn giữ nguyên được s.t.d hoặc từ thông cũng như nhiệt độ phát nóng của cuộn dây, có nghĩa là:

- Giữ nguyên công suất: $U_1 I_1 = U_2 I_2$.
- Giữ nguyên s.t.d: $I_1 w_1 = I_2 w_2$
- Giữ nguyên mật độ dòng điện $\frac{I_1}{q_1} = \frac{I_2}{q_2}$.

Trên cơ sở các biểu thức trên, suy ra:

$$w_2 = w_1 \frac{U_2}{U_1}$$

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{U_1}{U_2}}$$

4- Quan hệ giữa s.t.d và các kích thước cuộn dây NCD một chiều

- Khi biết được s.t.d cuộn dây một chiều, ta có thể xác định sơ bộ kích thước cuộn dây (hình 1.15).

$$(I.w) = \frac{I}{q} . w . q = j . q . w = j . K_{ld} l . h.$$

Suy ra: $S_{cd} = l . h = \frac{I . w}{j . K_{ld}}$

trong đó: $j = (2 \div 4) \text{ A/mm}^2$ với chế độ làm việc dài hạn.

$j = (5 \div 12) \text{ A/mm}^2$ với chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại.

$j = (13 \div 30) \text{ A/mm}^2$ với chế độ làm việc ngắn hạn.

- Quan hệ giữa s.t.d với các kích thước cuộn dây ở chế độ xác lập nhiệt

(chế độ dài hạn) nếu biết điều kiện toả nhiệt K_T và độ tăng nhiệt τ cho trước:

trong đó: K_T - hệ số toả nhiệt bằng đối lưu và bức xạ;

τ - độ tăng nhiệt ở chế độ xác lập nhiệt.

$$P = \frac{U^2}{R} = K_T S_T \cdot \tau,$$

thay: $R = \rho \frac{l_{tb} w}{q}; w = \frac{S_{cd} K_{ld}}{q}$

$$S_{cd} = l \cdot h; l_{tb} = \frac{\pi(D_t + D_n)}{2}$$

$$S_T = \pi(D_t + D_n) \cdot l; \frac{1}{h} = K = (2 \div 4)$$

vào biểu thức $\frac{U^2}{R} = K_T S_T \cdot \tau$ và biến đổi, ta được quan hệ giữa kích thước của cuộn dây hình trụ với các thông số đã biết.

$$l = \sqrt[3]{\frac{(I \cdot w)^2}{2K \cdot K_{ld} K_T \cdot \tau}}$$

trong đó: l là chiều dài cuộn dây; $(I \cdot w)$ là s.d.d cuộn dây.

$K = \frac{1}{h} = (2 \div 4)$ là hệ số hình dáng cuộn dây điện một chiều;

$K_{ld} = (0,3 \div 0,7)$ là hệ số lấp đầy cuộn dây;

$K_T = (6 \div 14) \text{ W/m}^2 \cdot \text{deg}$ là hệ số toả nhiệt bằng đối lưu và bức xạ tự nhiên của cuộn dây;

τ là độ tăng nhiệt của cuộn dây.

1.6. LỰC HÚT ĐIỆN TỪ CỦA NCĐ MỘT CHIỀU

Lực hút điện từ được tính theo hai phương pháp: dùng công thức Maxwell và phương pháp cân bằng năng lượng.

1- Tính lực hút điện từ theo công thức Maxwell

Lực điện từ sinh ra do sự tác động tương hỗ của từ trường ở khe hở không khí và bề mặt cực từ được tính theo công thức Maxwell:

$$F = \frac{1}{\mu_0} \int_S [(\vec{B}_\delta \cdot \vec{n}) \vec{B}_\delta - \frac{1}{2} \vec{B}_\delta^2 \cdot \vec{n}] dS \quad (1-54)$$

trong đó: $\vec{B}_\delta$ là vectơ từ cảm ở khe hở không khí ở mặt cực từ.

$\vec{n}$ là vectơ đơn vị pháp tuyến của bề mặt cực từ.

S là diện tích mặt cực từ tác dụng với từ trường.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m là từ thẩm của không khí.

Nếu từ thẩm của sắt từ rất lớn so với từ thẩm của không khí ($\mu_{Fe} > \mu_0$) thì có thể coi hai vectơ từ cảm ($\vec{B}_\delta$) và vectơ đơn vị pháp tuyến ($\vec{n}$) cùng hướng, do đó công thức (1-54) có dạng đơn giản hơn:

$$F = \frac{1}{2\mu_0} \int_S B_\delta^2 dS \quad (1-55)$$

Trong trường hợp khe hở không khí đủ bé và đều, có thể coi từ trường ở đó là trường song phẳng, nghĩa là $B_\delta = \text{const}$ ở toàn khe hở không khí, do đó công thức (1-55) có dạng:

$$F = \frac{1}{2\mu_0} B_\delta^2 \cdot S, \quad N \quad (1-56)$$

trong đó: F là lực điện từ tính bằng N.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m.}$$

B_δ là mật độ từ thông tính bằng T hay Wb/m².

S là diện tích cực từ tính bằng m².

Để tiện cho việc tính toán, công thức (1-56) có thể viết:

$$F = 4,06 B_\delta^2 S, \quad \text{kG}$$

với B [T]; S [cm²].

Lực điện từ tính theo (1-56) sẽ ít sai số khi trị số của khe hở không khí tương đối bé.

- *Tính lực điện từ theo phương pháp cân bằng năng lượng*

Khi đóng điện vào cuộn dây NCD, ta có phương trình cân bằng điện áp:

$$u = iR + \frac{d\Psi}{dt}$$

Nhân hai vế của phương trình trên với $i dt$, ta có:

$$u \cdot i \cdot dt = i^2 R \cdot dt + i \cdot d\Psi \quad (1-57)$$

trong đó: $u \cdot i \cdot dt$ là năng lượng nguồn cung cấp cho cuộn dây

$i^2 R dt$ là năng lượng tổn hao trong cuộn dây.

$i \cdot d\Psi$ là năng lượng từ trường của NCD.

Quan hệ giữa từ thông móc vòng Ψ và dòng điện i có tính phi tuyến và được trình bày ở hình 1-17 với hai trường hợp khe hở không khí khác nhau: $\delta_1 > \delta_2$. Năng lượng từ trường khi $\delta = \delta_1 = \text{const}$ được tính bằng:

$$W_{\mu 1} = \int_0^{\Psi_1} i \cdot d\Psi = S_{\text{oabo}}$$

Khi khe hở không khí giảm từ δ_1 tới δ_2 , năng lượng từ trong NCD sẽ tăng:

$$W_{\mu 12} = \int_{\Psi_1}^{\Psi_2} i \cdot d\Psi = S_{\text{abceda}}$$

Khi $\delta = \delta_2 = \text{const}$, năng lượng từ là:

$$W_{\mu 2} = \int_0^{\Psi_2} i \cdot d\Psi = S_{\text{odco}}$$

Vậy khi δ giảm từ δ_1 đến δ_2 ; năng lượng từ trường sẽ thay đổi một lượng:

$$\Delta W_{\mu} = W_{\mu 1} + W_{\mu 12} - W_{\mu 2} = S_{\text{oado}}$$

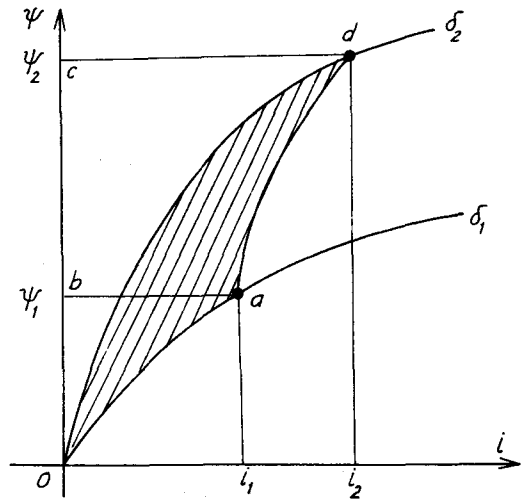
S_{oado} chính là diện tích tam giác cong phần gạch chéo (hình 1-17). Với sự thay đổi năng lượng này sẽ sinh ra công cơ học chuyển dời nắp của NCD từ δ_1 đến δ_2 :

$$\Delta W_{\mu} = A \approx F(\delta_1 - \delta_2) = F \cdot \Delta \delta \quad (1-58)$$

Vậy lực điện từ chuyển dời nắp sẽ là:

$$F = \frac{A}{\Delta \delta} = \frac{\Delta W_{\mu}}{\Delta \delta} = \lim_{\Delta \delta \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta W_{\mu}}{\Delta \delta} \right) = \frac{dW_{\mu}}{d\delta} \quad (1-59)$$

Như vậy muốn tính được lực điện từ bằng phương pháp cân bằng năng lượng, ta phải biết được các quan hệ $\Psi(i)$ khi $\delta = \text{const}$ và phải xác định được biểu thức giải tích của ΔW_{μ} qua diện tích của các tam giác cong biểu diễn năng lượng $W_{\mu 1}$, $W_{\mu 12}$ và $W_{\mu 2}$. Để đơn giản việc tính toán, coi quan hệ $\Psi(i)$ là tuyến tính (tức là bỏ qua từ trở sắt từ của mạch từ $\mu_{Fe} > \mu_0$), nên dễ dàng tính được diện tích các hình:



Hình 1-17. Quan hệ giữa từ thông móc vòng và dòng điện.

$$W_{\mu 1} = S_{oabo} = \frac{1}{2} \Psi_1 i_1$$

$$W_{\mu 2} = S_{odco} = \frac{1}{2} \Psi_2 i_2$$

$$W_{\mu 12} = S_{abceda} = \frac{1}{2} (\Psi_2 - \Psi_1) (i_2 + i_1).$$

Ta đặt $\Psi_2 = \Psi_1 + \Delta\Psi$; $i_2 = i_1 + \Delta i$

và thay chúng vào các biểu thức tính năng lượng từ, sẽ được:

$$\Delta W_{\mu} = W_{\mu 1} + W_{\mu 12} - W_{\mu 2} = S_{oado} = \frac{1}{2} (i_1 \Delta\Psi - \Psi_1 \Delta i)$$

Thay vào (1-59), ta có công thức tính lực điện từ:

$$F = \frac{dW_{\mu}}{d\delta} = \frac{1}{2} \left(i \frac{d\Psi}{d\delta} - \Psi \frac{di}{d\delta} \right) \quad (1-60)$$

Xét hai trường hợp: a) $i = \text{const} \neq f(\delta)$.

b) $\Psi = \text{const} \neq f(\delta)$.

- Trường hợp thứ nhất: $i = \text{const}$.

Với $i = \text{const}$ thì $di/d\delta = 0$, do đó công thức tính lực điện từ trong trường hợp này có dạng:

$$F = \frac{1}{2} i \cdot \frac{d\Psi}{d\delta} \quad (1-61)$$

Thay $\Psi = L.i$; $L = w^2 G$ vào (1-61), ta có

$$F = \frac{1}{2} (i.w)^2 \frac{dG}{d\delta} \quad (1-62)$$

Công thức (1-62) dùng để tính lực điện từ khi $i = \text{const} \neq f(\delta)$, có nghĩa là cho NCD một chiều. Muốn tính lực theo (1-62), ta phải biết s.t.d $(i.w)$ và biểu thức giải tích của từ dẫn $G(\delta)$.

- Trường hợp thứ 2: $\Psi = \text{const} \neq f(\delta)$

Với $\Psi \neq f(\delta) \rightarrow \frac{d\Psi}{d\delta} = 0$. Vậy:

$$F = - \frac{1}{2} \Psi \cdot \frac{di}{d\delta} \quad (1-63)$$

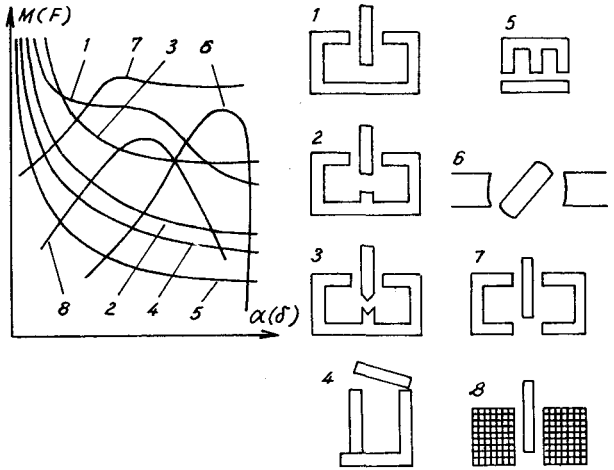
Dấu "-" ở (1-63) biểu thị khi δ giảm thì lực điện từ tăng. Vì $\Psi = w.\Phi$;

$i = \frac{\Psi}{L}$; $L = w^2 G$ nên thay chúng vào (1-63), ta có:

$$F = -\frac{1}{2} \left(\frac{\Phi}{G} \right)^2 \frac{dG}{d\delta} \quad (1-64)$$

Công thức (1-64) dùng để tính lực điện từ khi $\Phi = \text{const}$, nghĩa là cho NCD xoay chiều.

Từ (1-62) và (1-64) ta nhận thấy rằng, lực điện từ phụ thuộc vào khe hở không khí δ . Quan hệ giữa lực và khe hở không khí $F = f(\delta)$ gọi là đặc tính lực hút của NCD. Với NCD có phần ứng chuyển động quay thì tương tự như $F(\delta)$, ta có đặc tính mômen điện từ phụ thuộc vào góc quay của phần ứng $M(\alpha)$. Các đặc tính này phụ thuộc vào hình dáng kết cấu của NCD.



Hình 1-18. Đặc tính lực hút của các dạng NCD.

Trên hình 1-18 cho đặc tính lực hút của các dạng kết cấu khác nhau thường gặp. Ta nhận thấy rằng khi khe hở δ lớn, lực điện từ của NCD 1, 2, 3, 7 có trị số lớn hơn. Các dạng mạch từ này có phần ứng chuyển động trong lòng cuộn dây, còn gọi là mạch từ kiểu solenoid. Ngoài lực điện từ chính do từ thông qua khe hở không khí làm việc sinh ra, còn có lực điện từ phụ do phần từ thông rò đi qua phần ứng tạo nên, do đó khi khe hở lớn, từ thông rò lớn nên lực điện từ phụ lớn.

$$F = F_\delta + F_r = \frac{1}{2} (I.w)^2 \left[-\frac{dG}{d\delta} + g_r \left(\frac{z}{l} \right)^2 \right] \quad (1-64b)$$

trong đó: $F_r = \frac{1}{2} (I.w)^2 . g_r \left(\frac{z}{l} \right)^2$ là lực phụ do từ thông rò gây nên.

z là chiều cao phần ứng ngập trong lòng cuộn dây.

l là chiều cao cuộn dây.

g_r là suất từ dẫn rò.

Loại kết cấu solenoid dùng cho NCD hành trình lớn cần lực lớn.

1.7. LỰC ĐIỆN TỪ CỦA NCD XOAY CHIỀU

Phương pháp tính lực điện từ ở đây giống như ở NCD một chiều, nhưng thay $i = I_m \sin \omega t$ và $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$, ta có:

$$F = 4,06 B_{\delta m}^2 \sin^2 \omega t = 4,06 \frac{\Phi_{\delta m}^2}{S} \sin^2 \omega t \quad (1-65)$$

$$F = \frac{1}{2} \left(\frac{\Phi_m \sin \omega t}{G} \right)^2 \frac{dG}{d\delta} = \frac{1}{2} \frac{\Phi_m^2}{G^2} \cdot \frac{dG}{d\delta} \sin^2 \omega t \quad (1-66)$$

Từ công thức (1-65) và (1-66), thay $\sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$, ta được công thức tính lực điện từ ở NCD xoay chiều:

$$F = F_m \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} F_m - \frac{1}{2} F_m \cos 2\omega t = F_- + F_{\sim} \quad (1-67)$$

trong đó: F_m là trị số biên độ của lực điện từ;

F_- là thành phần không đổi của lực;

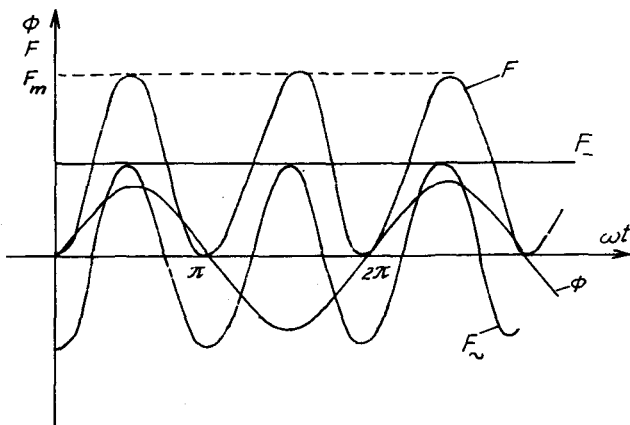
$F_{\sim}$ là thành phần biến đổi của lực điện từ với tần số bằng hai lần tần số điện áp.

Trị số trung bình của lực điện từ được tính theo công thức.

$$F_{tb} = \frac{1}{T} \int_0^T F dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} F_m (1 - \cos 2\omega t) dt = \frac{F_m}{2} = F_- \quad (1-68)$$

Đồ thị của từ thông Φ và lực điện từ theo thời gian được trình bày ở hình 1-19. Trong một chu kỳ của từ thông Φ có hai chu kỳ của lực điện từ F và trị số F thay đổi từ $F_{\max} = F_m$ đến $F_{\min} = 0$.

Nếu lực cơ học (phản lực của nắp NCD) là hằng thì khi $F > F_{cơ}$ nắp sẽ bị hút; còn khi



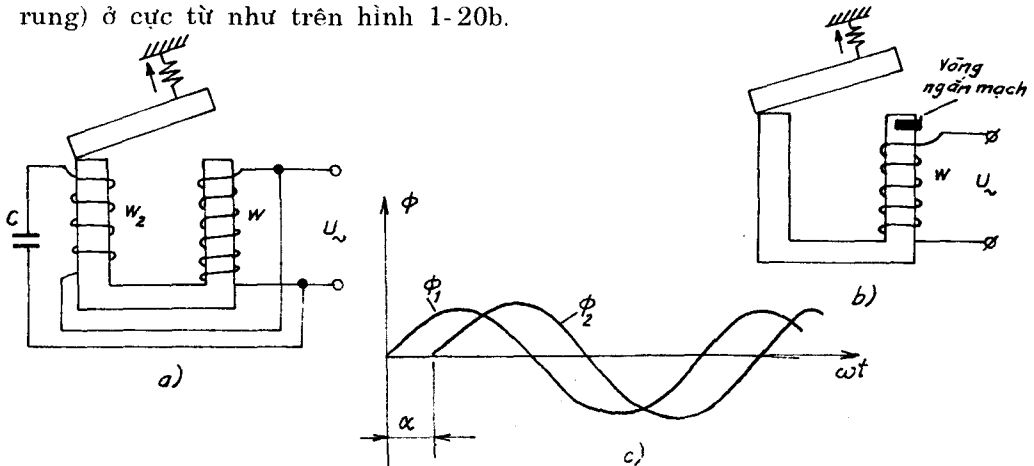
Hình 1-19. Quan hệ giữa từ thông, lực điện từ theo thời gian của NCD xoay chiều một pha.

$F < F_{c0}$, nắp sẽ bị đẩy. Hiện tượng này lặp đi lặp lại với tần số $2f$ của lực điện từ và gọi là hiện tượng rung của NCD xoay chiều.

Để chống rung, cần phải thỏa mãn điều kiện: $F_{\min} \geq F_{c0}$. Muốn vậy người ta tạo ra hai từ thông lệch pha trong mạch từ. Khi lực của từ thông thứ nhất tại thời điểm đi qua 0 thì lực của từ thông thứ hai khác 0 nên lực tổng sẽ khác 0. Có hai biện pháp tạo ra hai từ thông lệch pha nhau ở NCD xoay chiều một pha (hình 1-20).

- *Biện pháp thứ nhất:* Dùng hai cuộn dây với thông số khác nhau, thường một cuộn có tính cảm và một cuộn có tính dung (mắc nối tiếp với tụ điện) như ở hình 1-20a.

- *Biện pháp thứ hai:* Đặt vòng ngắn mạch (hay còn gọi là vòng chống rung) ở cực từ như trên hình 1-20b.



Hình 1-20. Chống rung cho NCD một pha.

Biện pháp thứ nhất ít được dùng ở NCD một pha vì công nghệ phức tạp, còn biện pháp thứ hai đơn giản, ít tốn kém.

Ở cực từ có vòng ngắn mạch, từ thông đi qua cực từ gồm hai thành phần: Φ_1 ngoài vòng ngắn mạch và Φ_2 trong vòng ngắn mạch. Từ kháng của vòng ngắn mạch làm Φ_2 chậm pha so với Φ_1 góc α , với $\text{tg}\alpha$ được tính như sau:

$$\text{tg}\alpha = \frac{X_{\mu}}{R_{\mu}} = \frac{\omega \cdot w_{nm}^2}{r_{nm}} \cdot \frac{1}{R_{\delta 2}} = \frac{2\pi f}{r_{nm}} G_{\delta 2} \quad (1-69)$$

trong đó: r_{nm} là điện trở vòng ngắn mạch;

$w_{nm} = 1$ là số vòng của cuộn ngắn mạch.

$G_{\delta 2} = \frac{1}{R_{\delta 2}}$ là từ trở khe hở không khí trong vòng ngắn mạch.

Lực điện từ do hai từ thông Φ_1 và Φ_2 sinh ra là:

$$F_1 = F_{1m} \sin^2 \omega t = F_{1tb} - F_{1tb} \cos 2\omega t.$$

$$F_2 = F_{2m} \sin^2(\omega t - \alpha) = F_{2tb} - F_{2tb} \cos(2\omega t - 2\alpha)$$

Lực điện từ tổng tác động lên cực từ được tính bằng:

$$F = F_1 + F_2 = (F_{1tb} + F_{2tb}) - [F_{1tb} \cos 2\omega t + F_{2tb} \cos(2\omega t - 2\alpha)].$$

$$\text{hay } F = F_- + F_+$$

trong đó: $F_- = F_{1tb} + F_{2tb}$ là thành phần lực không đổi;

$F_+ = - [F_{1tb} \cos 2\omega t + F_{2tb} \cos(2\omega t - 2\alpha)]$ là thành phần lực biến đổi.

Biên độ của lực biến đổi là:

$$F_{-m} = \sqrt{F_{1tb}^2 + F_{2tb}^2 + 2F_{1tb}F_{2tb}\cos 2\alpha}; \quad (1-70)$$

Điều kiện lý tưởng để lực điện từ tổng không rung là: $F_{-m} = 0$. Điều này chỉ thực hiện được khi biểu thức (1-70) thỏa mãn hai điều kiện: $F_{1tb} = F_{2tb}$ và $\alpha = \frac{\pi}{2}$.

Từ công thức (1-69) ta nhận thấy rằng, muốn $\alpha = \frac{\pi}{2}$ thì từ kháng $x_\mu =$

$\frac{2\pi f}{r_{nm}} \rightarrow \infty$. Lúc này từ thông $\Phi_2 \rightarrow 0$ và tổng trở từ của từ thông Φ_2 là $z_{\mu 2} =$

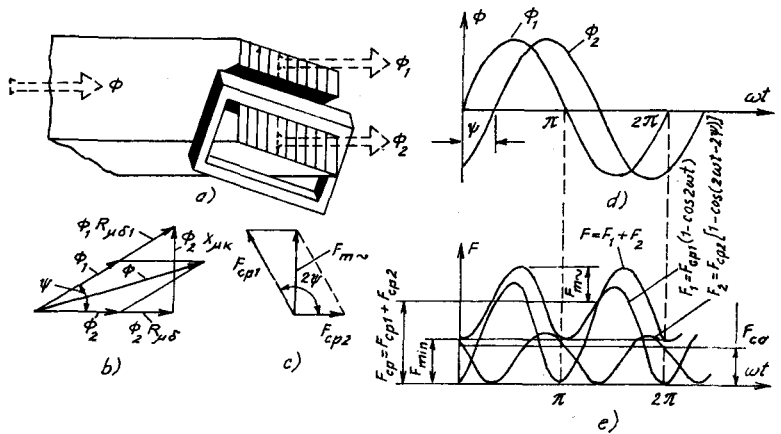
$\sqrt{R_{\delta 2}^2 + X_{\mu 2}^2}$, do vậy điều kiện $F_{1tb} = F_{2tb}$ bị phá vỡ. Vì vậy điều kiện chống rung lý tưởng không bao giờ thỏa mãn. Thông thường $S_2/S_1 = (1,5 \div 2)$ và $\alpha = (50 \div 60^\circ)$. Vòng ngắn mạch thường làm bằng đồng đỏ để điện trở bé. Mặt khác, khi khe hở không khí lớn, $G_{\delta 2}$ bé nên $\tan \alpha$ bé, dẫn đến hiệu quả chống rung kém.

Trên hình 1-21 cho mạch từ có vòng ngắn mạch, sơ đồ thay thế của nó và giản đồ vectơ cũng như lực điện từ theo thời gian.

Ở NCD ba pha có ba cuộn dây như nhau, vì dòng điện mỗi pha lệch nhau một góc $2\pi/3$ nên từ thông do chúng sinh ra cũng lệch nhau $2\pi/3$. Lực điện từ do chúng sinh ra sẽ là:

$$F_A = F_m \sin^2 \omega t$$

$$F_B = F_m \sin^2(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$



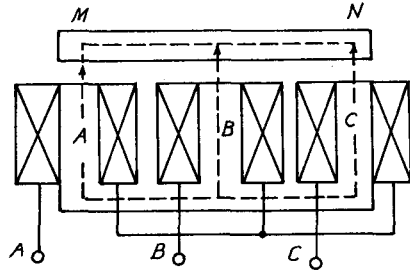
Hình 1-21. Đồ thị của NCD có vòng chống rung.

$$F_C = F_m \sin^2\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right).$$

Lực tổng tác động lên phần ứng của NCD sẽ là:

$$F = F_A + F_B + F_C = \frac{3}{2} \cdot F_m \quad (1-71)$$

Từ (1-71) ta thấy rằng, ở NCD ba pha đối xứng, lực điện từ tổng tác động lên nắp hoàn toàn không biến đổi theo thời gian nên không cần chống rung, nhưng điểm đặt của lực tổng cũng thay đổi, nó di chuyển trên đoạn MN của phần ứng, được biểu diễn ở hình 1-22.



Hình 1-22. Cấu tạo NCD ba pha.

1.8. ĐẶC TÍNH ĐỘNG CỦA NCD

Một trong những thông số quan trọng của NCD là thời gian tác động và thời gian nhả của nó. Thời gian tác động (t_{id}) là quãng thời gian kể từ thời điểm đưa tín hiệu tác động (thời điểm đóng khóa K cấp điện cho cuộn dây) cho đến khi nắp chuyển động xong ($\delta = \delta_{min}$). Thời gian nhả (t_{nh}) là quãng thời gian từ khi cắt điện của cuộn dây (mở khóa K) đến khi nắp của NCD kết thúc chuyển động ($\delta = \delta_{max}$):

$$t_{id} = t_1 + t_2; \quad t_{nh} = t_3 + t_4$$

trong đó: t_1 - thời gian khởi động khi tác động;

t_2 - thời gian chuyển động khi tác động;

t_3 - thời gian khởi động khi nhả;

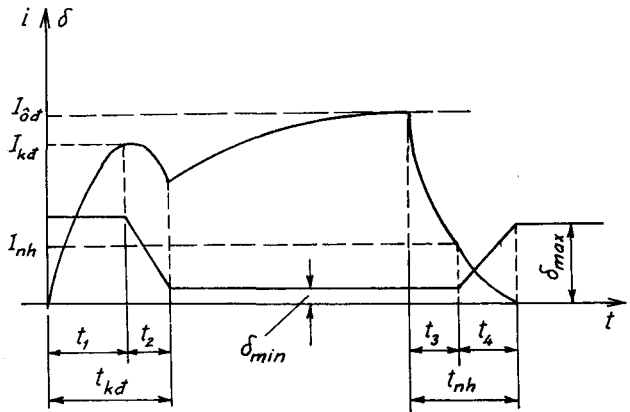
t_4 - thời gian chuyển động khi nhả.

Thời gian khởi động là quãng thời gian từ khi đưa tín hiệu vào cuộn dây đến khi nắp bắt đầu chuyển động, còn thời gian chuyển động được tính từ lúc nắp bắt đầu chuyển động đến khi nắp kết thúc chuyển động.

Chúng ta sẽ lần lượt xét cho hai trường hợp: NCD một chiều và NCD xoay chiều.

1.8.1. Đặc tính động của NCD một chiều

Khi đưa dòng điện vào cuộn dây, dòng điện tăng từ từ theo hàm mũ và đạt đến trị số khởi động (I_{kd}). Tại thời điểm này, lực điện từ bằng lực lò xo và nắp bắt đầu chuyển động, đó là thời gian khởi động t_1 (hình 1-23). Từ thời điểm này trở đi, vì nắp chuyển động nên khe hở giảm dần, từ cảm của cuộn dây tăng nên dòng điện suy giảm đến lúc $\delta = \delta_{min} = \text{const}$ thì kết thúc thời gian chuyển động t_2 . Sau đó dòng điện lại tăng cho tới khi đạt trị số ổn định I_{od} . Khi mở khóa K , dòng điện suy giảm tới trị số I_{nh} , lúc này lực điện từ bằng lực lò xo và dòng điện tiến tới 0.



Hình 1-23. Đặc tính động của NCD một chiều.

1- Thời gian khởi động t_1

a- Trường hợp mạch từ tuyến tính có một cuộn dây

Phương trình cân bằng điện áp có dạng:

$$u = i.R + \frac{d\psi}{dt} = i.R + L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} \quad (1-72)$$

Trong thời gian khởi động t_1 , vì $\delta = \delta_{max} = \text{const}$ nên $L = L_0 = \text{const}$,

do đó (1-72) có dạng:

$$U = i.R + L_o \frac{di}{dt} \Rightarrow \frac{U}{R} - i = \frac{L_o}{R} \cdot \frac{di}{dt}$$

Đặt $\frac{U}{R} = I_{\delta d}$, $\frac{L_o}{R} = T_o$ và thay vào biểu thức trên, ta có:

$$dt = \frac{L_o}{R} \cdot \frac{di}{I_{\delta d} - i} \quad (1-73)$$

Tích phân (1-73), với thời gian từ 0 đến t_1 , với dòng điện từ 0 đến I_{kd} :

$$\int_0^{t_1} dt = T_o \int_0^{I_{kd}} \frac{di}{I_{\delta d} - i}$$

Do đó thời gian khởi động t_1 sẽ là:

$$t_1 = T_o \ln \frac{I_{\delta d}}{I_{\delta d} - I_{kd}} = T_o \ln \frac{K_i}{K_i - 1} \quad (1-74)$$

trong đó: $K_i = \frac{I_{\delta d}}{I_{kd}}$ là hệ số dự trữ theo dòng điện của NCD;

$T_o = \frac{L_o}{R}$ là hằng số thời gian điện từ của cuộn dây khi nắp mở

($\delta = \delta_{\max}$).

Từ (1-74) ta nhận thấy rằng, muốn thay đổi thời gian khởi động t_1 thì phải thay đổi thông số của cuộn dây L_o , R và thay đổi hệ số dự trữ dòng điện K_i .

b- Trường hợp mạch từ tuyến tính có thêm cuộn dây ngắn mạch

Trong trường hợp này phương trình cân bằng điện áp sẽ là:

$$\begin{cases} i.R + \frac{d\Psi}{dt} = u \\ i_n R_n + \frac{d\Psi_n}{dt} = 0 \end{cases} \quad (1-75)$$

trong đó ký hiệu "n" chỉ cuộn ngắn mạch.

Giải hệ phương trình vi phân (1-75) ta được:

$$t_1 = T_o \left(1 + \frac{R}{R'_n} \right) \ln \frac{K_i}{K_i - 1} \quad (1-76)$$

trong đó: $R'_n = R_n (\frac{w}{w_n})^2$ là điện trở quy đổi của cuộn dây ngắn mạch về cuộn dây điện áp w của NCD.

Từ (1-76) ta nhận thấy rằng: Khi có cuộn ngắn mạch, thời gian khởi động t_l tăng và điện trở R_n càng bé thì t_l càng lớn. Khi $R_n \rightarrow \infty$, tức là cuộn ngắn mạch bị hở mạch, công thức (1-76) trở về dạng (1-74).

Trong quãng thời gian khởi động t_l , từ thông biến thiên từ 0 đến Φ_{kd} nên sẽ cảm ứng trong lõi thép một dòng điện xoáy, làm chậm sự biến thiên của từ thông chính. Nếu dòng xoáy càng lớn, nghĩa là điện trở xoáy của mạch từ càng bé thì t_l càng tăng. Ảnh hưởng của dòng điện xoáy cũng tương tự như dòng điện trong vòng ngắn mạch, nên thời gian khởi động t_l nếu kể cả ảnh hưởng của dòng điện xoáy và vòng ngắn mạch sẽ là:

$$t_l = T_0 (1 + \frac{R}{R'_n} + \frac{R}{R'_x}) \ln \frac{K_i}{K_i - 1} \quad (1-77)$$

trong đó: R'_x là điện trở xoáy của mạch từ quy đổi theo cuộn dây NCD và được tính như sau:

$$R'_x = R_x (\frac{w}{w_x})^2 = w^2 \frac{8\pi\rho_x}{l}$$

ρ_x là điện trở suất của vật liệu sắt từ;

l là chiều dài của mạch từ.

c- Trường hợp mạch từ bão hòa

Trong trường hợp này, quan hệ $\psi(i)$ là phi tuyến nên việc tính toán t_l trở nên phức tạp hơn. Từ phương trình cân bằng điện áp (1-72) $u = i.R + \frac{d\psi}{dt}$, suy ra:

$$t_l = \int_0^{\psi_{kd}} \frac{d\psi}{u - i.R} = \frac{1}{R} \int_0^{\psi_{kd}} \frac{d\psi}{I_{\delta d} - i} \quad (1-78)$$

Muốn tính được t_l theo (1-78), ta phải biết được quan hệ $\psi(i)$, từ đó sẽ tính được tích phân bằng phương pháp đồ thị.

Nếu kể cả ảnh hưởng của vòng ngắn mạch và điện trở xoáy của mạch từ thì thời gian khởi động t_l được tính theo công thức:

$$t_l = \frac{1}{R} (1 + \frac{R}{R'_n} + \frac{R}{R'_x}) \cdot \int_0^{\psi_{kd}} \frac{d\psi}{I_{\delta d} - i} \quad (1-79)$$

Thời gian khởi động t_1 ở mạch từ bão hòa lớn hơn so với mạch từ tuyến tính.

2- Thời gian khởi động khi nhả t_3

Với NCD có một cuộn dây thì phương trình cân bằng điện áp khi nhả có dạng:

$$i.R + \frac{d\Psi}{dt} = 0 \quad (1-80)$$

Nếu mạch từ tuyến tính thì (1-80) có thể viết dưới dạng:

$$0 = i.R + L_1 \frac{di}{dt} + i \frac{dL_1}{dt} = i.R + L_1 \frac{di}{dt} \quad (1-81)$$

Vậy thời gian khởi động t_3 khi nắp nhả được tính bằng:

$$t_3 = - \frac{L_1}{R} \int_{I_{\delta d}}^{I_{nh}} \frac{di}{i} = T_1 \int_{I_{nh}}^{I_{\delta d}} \frac{di}{i} = T_1 \cdot \ln \frac{I_{\delta d}}{I_{nh}} \quad (1-82)$$

trong đó: L_1 là điện cảm của NCD khi nắp hút ($\delta = \delta_{min}$);

$T_1 = \frac{L_1}{R}$ là hằng số thời gian điện từ của NCD khi nắp hút.

Nếu có thêm vòng ngắn mạch và điện trở xoáy của mạch từ thì:

$$t_3 = T_1 \left(1 + \frac{R}{R'_n} + \frac{R}{R'_x} \right) \ln \frac{I_{\delta d}}{I_{nh}} \quad (1-82)$$

Nếu mạch từ phi tuyến thì:

$$t_3 = \frac{1}{R} \left(1 + \frac{R}{R'_n} + \frac{R}{R'_x} \right) \int_{\Psi_{nh}}^{\Psi_{\delta d}} \frac{d\Psi}{i} \quad (1-83)$$

Nghiệm của (1-83) được tính theo phương pháp đồ thị.

Cũng tương tự như với t_1 , thời gian khởi động khi nhả t_3 càng lớn nếu điện trở vòng ngắn mạch R_n và điện trở xoáy của mạch từ R_x càng bé.

3. Thời gian chuyển động khi đóng t_2 .

Khi dòng điện trong cuộn dây NCD đạt trị số khởi động $i = I_{kd}$, lực điện từ lớn hơn lực cơ $F > F_c$ và phần ứng (nắp) của NCD bắt đầu chuyển động:

- Khe hở không khí của mạch từ giảm dần từ δ_{max} đến δ_{min} .

- Điện cảm của cuộn dây tăng từ L_0 đến L_1 .
- Từ thông móc vòng thay đổi từ Ψ_{kd} đến $\Psi_{\delta d}$.

Đây là bài toán động về điện, từ, cơ nên việc giải nó khá phức tạp.

Trong trường hợp này hệ phương trình trạng thái có dạng:

$$\left. \begin{aligned} u &= iR + \frac{d\Psi}{dt} \\ F \cdot dx &= F_c dx + d\left(\frac{mv^2}{2}\right) \end{aligned} \right\} \quad (1-84)$$

trong đó: F là lực điện từ của NCD.

F_c là lực cơ, cân lại lực điện từ, còn gọi là phản lực.

m là khối lượng phần động của NCD.

$v = \frac{dx}{dt}$ là vận tốc của phần động của NCD

Thời gian chuyển động khi đóng t_2 được xác định từ hệ phương trình (1-84). Phương pháp giải hệ (1-84) thường được sử dụng là phương pháp đồ thị gần đúng, được tiến hành như sau:

Thay hệ (1-84) dưới dạng gia số:

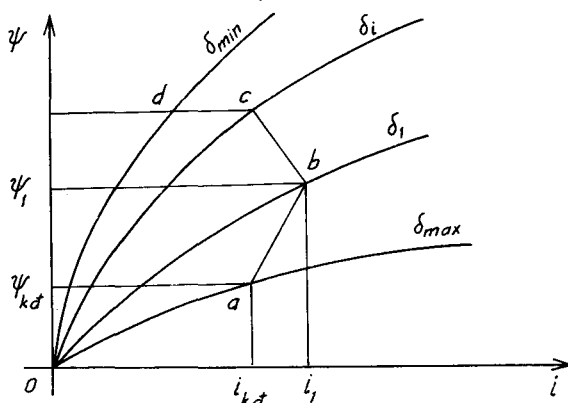
$$\left. \begin{aligned} U &= iR + \frac{\Delta\Psi}{\Delta t} \\ (F - F_c)\Delta x &= \Delta\left(\frac{mv^2}{2}\right) \end{aligned} \right\} \quad (1-85)$$

Sau đó dựa vào họ đường cong $\Psi(i)$ khi $\delta = \delta_1 = \text{const}$ (hình 1-24) để tính. Điểm xuất phát là điểm a nằm trên đường cong $\Psi(i)$ với $\delta = \delta_{\max}$:

$$i_a = i_{kd}; \Psi_a = \Psi_{kd}$$

Sau thời gian Δt_1 nắp chuyển động được quãng đường $\Delta x_1 = \delta_{\max} - \delta_1$, còn từ thông móc vòng thay đổi một lượng:

$\Delta\Psi = \Psi_1 - \Psi_{kd}$, dòng điện từ i_{kd} đến i_1 .



Hình 1-24. Quan hệ giữa từ thông móc vòng và dòng điện trong cuộn dây.

Diện tích tam giác cong *oabo* chính là năng lượng điện từ thay đổi khi nắp chuyển dời quãng đường Δx :

$$S_{\text{oabo}} = F \cdot \Delta x_1.$$

Nếu biết được khối lượng phần động m và phản lực F_c , thay vào phương trình thứ hai của (1-85) ta tìm được vận tốc trung bình trong quãng đường Δx_1 :

$$v_{\text{tbb}} = \frac{v_1 + v_0}{2} = \frac{v_1}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2(F - F_c) \cdot \Delta x_1}{m}} \quad (1-86)$$

Thời gian chuyển động Δt_1 với quãng đường Δx_1 từ δ_{max} đến δ_1 là:

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta x_1}{v_{\text{tbb}}} \quad (1-87)$$

Sau khi tìm được Δt_1 , thay $\Delta \psi$ và Δi vào phương trình thứ nhất của (1-85), nếu hai vế xấp xỉ bằng nhau thì điểm b trên δ_1 đã chọn đúng, còn nếu sai số quá lớn phải chọn lại.

Bằng cách tương tự ta tìm $\Delta t_2, \Delta t_3, \dots, \Delta t_n$.

Thời gian chuyển động khi tác động t_2 sẽ bằng tổng các thời gian Δt_i :

$$t_2 = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (1-88)$$

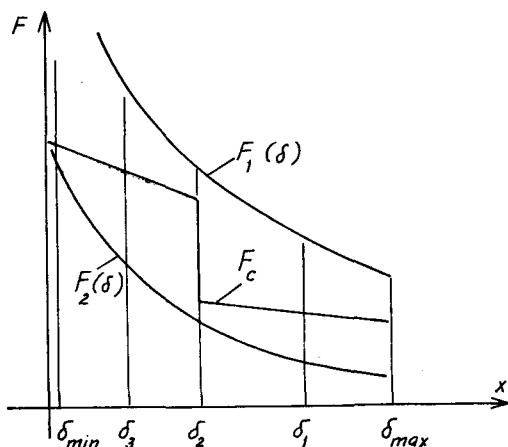
t_2 sẽ chính xác hơn nếu chia ra nhiều phân đoạn nhỏ.

Trong trường hợp không cần độ chính xác cao, có thể xác định t_2 đơn giản hơn, nếu biết đặc tính lực điện từ và đặc tính phản lực F_c (hình 1-25). Phương trình chuyển động của phần ứng có thể viết dưới dạng:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F - F_c \quad (1-89)$$

Từ (1-89) suy ra:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2m \cdot x}{F - F_c}} \quad (1-90)$$



Hình 1-25. Đặc tính lực hút và phản lực.

Nếu chia khe hở không khí thành n phân đoạn thì (1-90) có dạng:

$$t_2 = \sum_1^n \Delta t_i = \sum_1^n \sqrt{\frac{2m\Delta x_i}{(F - F_c)_i}} \quad (1-91)$$

trong đó: Δx_i là quãng đường ở đoạn i : $\Delta x_i = \delta_i - \delta_{i+1}$

$(F - F_c)_i$ là lực trung bình ở phân đoạn i , tác động lên phần ứng của NCD, được tính bằng:

$$(F - F_c)_i = \frac{S_i}{\Delta x_i}$$

trong đó S_i là diện tích phần gạch chéo ở phân đoạn i .

Từ (1-90) ta nhận thấy rằng, muốn giảm thời gian chuyển động t_2 , ta phải giảm khối lượng phần động m , giảm hành trình của phần ứng x , tăng lực điện từ F và giảm phản lực F_c .

4- Thời gian chuyển động khi nhả t_4

Khi cắt điện của cuộn dây, từ thông trong mạch từ giảm dần đến trị số nhỏ ψ_{nh} , lực điện từ bé hơn lực cơ $F < F_c$ và nắp bắt đầu chuyển động từ δ_{min} , kết thúc chuyển động khi $\delta = \delta_{max}$ với thời gian chuyển động t_4 được tính tương tự như t_2 :

$$t_4 = \sqrt{\frac{2m.x}{F_c - F}} \quad (1-92)$$

Vì lực điện từ khi nhả biến đổi khá phức tạp, nên việc tính toán t_4 không đơn giản. Có thể tính gần đúng t_4 dựa vào đặc tính lực điện từ và lực cơ (H.1-25) tương tự như khi tác động t_2 .

1.8.2. Đặc tính động của NCD xoay chiều

Cũng tương tự như ở NCD một chiều, thời gian tác động t_{td} và thời gian nhả t_{nh} của NCD xoay chiều gồm thời gian khởi động và thời gian chuyển động:

$$t_{td} = t_1 + t_2.$$

$$t_{nh} = t_3 + t_4.$$

Điểm khác nhau cơ bản ở NCD xoay chiều là điện áp, dòng điện và từ thông biến thiên tuần hoàn với tần số f , còn lực điện từ theo $2f$. Trong thời gian t_1 , vì khe hở không khí lớn ($\delta = \delta_{max}$) nên dòng điện trong cuộn dây điện áp khá lớn (từ 4 đến 15 lần so với trường hợp nắp hút $\delta = \delta_{min}$), vì

vậy nếu đóng điện vào thời điểm dòng điện đi qua điểm 0, chỉ sau $1/4$ chu kỳ thì từ thông đạt trị số cực đại, còn nếu đóng điện vào thời điểm $i \neq 0$ thì quãng thời gian để đạt từ thông cực đại cũng không vượt quá $1/2$ chu kỳ, do đó lực điện từ đạt trị số cực đại với thời gian bé hơn $1/2$ chu kỳ, cho nên t_1 của NCD xoay chiều bé hơn $1/2$ chu kỳ.

Thời gian khởi động khi nhà t_3 của NCD xoay chiều cũng bé hơn ở NCD một chiều vì hồ quang xoay chiều dễ tắt, dòng điện suy giảm nhanh và từ thông biến thiên nên từ dư gần như không tồn tại ở mạch từ xoay chiều.

Thời gian chuyển động t_2 và t_4 ở NCD xoay chiều cũng có thể tính theo phương pháp tương tự như ở NCD một chiều.

1.8.3. Thay đổi thời gian tác động của NCD

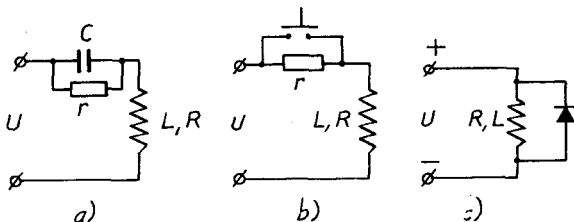
Muốn thay đổi đặc tính động của NCD, ta phải thay đổi thời gian khởi động t_1 , t_3 và thời gian chuyển động t_2 , t_4 . Thông thường thời gian chuyển động không nên thay đổi vì nó sẽ ảnh hưởng tới đặc tính làm việc của cơ cấu chấp hành, được nối cơ khí với phần ứng của NCD. Vì vậy ta chỉ có thể thay đổi thời gian khởi động t_1 và t_3 . Ở NCD xoay chiều, thay đổi t_1 rất khó vì nó phụ thuộc vào thời điểm đóng của cuộn dây, còn với t_3 cũng tương tự.

Vậy chỉ có thể thay đổi t_1 và t_3 của NCD một chiều. Muốn tăng thời gian khởi động của NCD một chiều, thường ta chọn từ cảm trong lõi thép của mạch từ ở vùng bão hòa, có thêm cuộn dây ngắn mạch với điện trở ngắn mạch bé và điện trở xoáy của mạch từ bé. Nếu cuộn dây có điện cảm lớn thì thời gian khởi động tăng.

Muốn giảm thời gian khởi động t_1 và t_3 , ta có thể giảm hằng số thời gian

$$\text{điện từ } T_0 = \frac{L_0}{R} \text{ và } T_1 = \frac{L_1}{R},$$

giảm khối lượng phần động m , giảm lực cơ F_c , tăng di/dt . Với các kết cấu sẵn có, ta có thể giảm t_1 bằng cách mắc thêm tụ C song song với điện trở R_l và nối tiếp với cuộn dây NCD



Hình 1-26. Các biện pháp thay đổi thời gian tác động của NCD.

(hình 1-26a), hoặc nối tiếp R_f với cuộn dây NCD, còn R_f mắc song song với nút ấn (hình 1-26b).

Trong cả hai trường hợp ở 1-26a, b, vì có điện trở phụ R_f nên phải chọn điện áp nguồn U sao cho điện áp đặt vào cuộn dây NCD bằng điện áp dịch mức của nó. Với trường hợp ở hình 1-26a, trong quá trình đóng, tụ điện C sẽ trung hòa ảnh hưởng của điện cảm L của cuộn dây; còn với trường hợp ở hình 1-26b, khi đóng ta ấn nút ấn, điện áp đặt vào cuộn dây NCD lớn hơn nên di/dt tăng nhanh.

Để giảm thời gian khởi động khi nhả t_3 , thường người ta phải nhanh chóng triệt tiêu năng lượng từ dự trữ trong cuộn dây như ở hình 1-26c, bằng cách mắc một diốt song song ngược với cuộn dây. Nhờ diốt này mà khi cắt điện, năng lượng từ phóng ngược qua diốt và tiêu tán nhanh chóng trên điện trở R của cuộn dây. Cần lưu ý rằng nếu đầu nhầm cực tính của diốt thì sẽ gây ra ngắn mạch nguồn.

1.9. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN NAM CHÂM ĐIỆN

Việc tính toán NCD khá phức tạp vì là bài toán phi tuyến gắn liền với các quá trình điện, từ, cơ, nhiệt.

Thông thường các số liệu cho trước là đặc tính cơ $F_c(\delta)$ hoặc $M_c(\alpha)$, điện áp, tần số của nguồn cung cấp cho cuộn dây, chế độ làm việc của NCD: ngắn hạn, ngắn hạn lặp lại hay dài hạn.

Nhiệm vụ đặt ra là phải tính toán, thiết kế một NCD có đường đặc tính lực điện từ $F(\delta)$ hoặc $M(\alpha)$ cao hơn đường đặc tính cơ đã cho với chế độ làm việc tương ứng và có các thông số tối ưu về năng lượng, vật liệu tác dụng, thời gian tác động...

Việc tính toán được tiến hành theo hai bước: tính toán sơ bộ và tính toán kiểm nghiệm.

Trong bước tính toán sơ bộ, dựa vào các số liệu đã cho ta phải chọn dạng kết cấu của NCD (hình 1-18) có dạng đặc tính lực điện từ phù hợp với dạng đặc tính cơ cho trước. Tiếp theo phải xác định được các kích thước cơ bản của mạch từ như tiết diện cực từ, cửa sổ mạch từ (không gian chiếm chỗ của cuộn dây) và các thông số của cuộn dây ứng với chế độ làm việc đã cho.

Cần lưu ý rằng, khi điện áp nguồn dao động trong phạm vi cho phép,

ví dụ từ $(0,85 \div 1,10)$ điện áp định mức, thiết bị vẫn phải làm việc bình thường, nghĩa là khi điện áp tụt thấp nhất ($U = 0,85U_{dm}$), đặc tính lực điện từ vẫn phải nằm cao hơn đặc tính cơ; còn khi điện áp tăng đến trị lớn nhất cho phép ($U = 1,10U_{dm}$), nhiệt độ phát nóng của cuộn dây không vượt quá trị số cho phép của cấp vật liệu cách điện đã chọn.

Đối với những NCD không có yêu cầu đặc biệt, mật độ từ thông trong mạch từ không nên lấy quá cao hoặc quá thấp, mà nên lấy nằm trong vùng gần bão hòa của đường cong từ hóa của vật liệu từ tương ứng.

Trong bước tính toán kiểm nghiệm, dựa vào các kích thước và thông số cơ bản của NCD đã xác định được ở bước tính toán sơ bộ, ta cần tính và dựng đặc tính lực điện từ $F(\delta)$, tính lại chính xác và tối ưu cuộn dây cùng các tham số của nó, tính nhiệt độ phát nóng của cuộn dây, tính toán vòng ngắn mạch (với NCD xoay chiều). Nếu thông số nào chưa đạt thì phải hiệu chỉnh lại thiết kế để đạt được kết quả mong muốn.

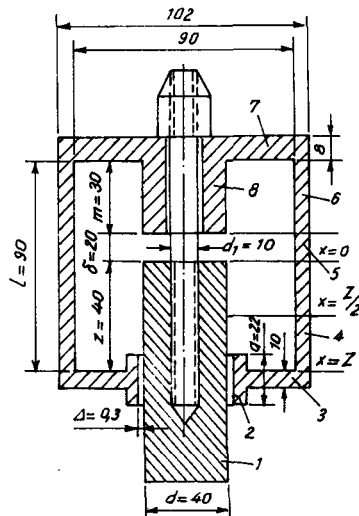
Một trong những vấn đề lý thú là bài toán thiết kế tối ưu NCD liên quan chặt chẽ đến các tiêu chuẩn tối ưu và các hàm mục tiêu. Vấn đề này không được đề cập trong giáo trình này vì do khối lượng hạn chế.

1.10. VÍ DỤ TÍNH TOÁN NCD

Cho một mạch từ có kích thước như trên hình 1-27. Dùng vật liệu thép mác 10. Tính các thông số của cuộn dây để NCD tạo ra lực điện từ $F = 350 \text{ N}$ tại khe hở $\delta = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, điện áp nguồn 220 V một chiều, chế độ làm việc ngắn hạn.

Đây là mạch từ dạng bọc, có lực điện từ lớn khi khe hở lớn, thường dùng trong cơ cấu nhả phanh của thang máy, cơ cấu đóng của máy cắt điện...

Cần xác định s.t.đ ($I.w$) của cuộn dây. Đầu tiên ta bỏ qua từ trở của mạch từ và dựa vào công thức (1-64b) để xác định gần đúng s.t.đ:



Hình 1-27. Mạch từ một chiều.

$$(I.w) = \sqrt{\frac{2F}{-\frac{dG_\delta}{d\delta} + g_r \left(\frac{z}{l}\right)^2}}$$

Nếu bỏ qua từ thông tản, ta có biểu thức tính từ dẫn ở khe hở không khí, đạo hàm từ dẫn và suất từ dẫn rò ta có:

$$G_\delta = \mu_0 \frac{S}{\delta} = \frac{\mu_0 \pi \left(\frac{d^2}{4} - \frac{d_1^2}{4} \right)}{\delta} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \left(\frac{40^2}{4} - \frac{10^2}{4} \right) \cdot 10^{-6}}{20^2 \cdot 10^{-6}} = 7,4 \cdot 10^{-8} \text{ H}$$

$$-\frac{dG_\delta}{d\delta} = \mu_0 \frac{S}{\delta^2} = \frac{\mu_0 \pi \left(\frac{d^2}{4} - \frac{d_1^2}{4} \right)}{\delta^2} = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

$$g_r = \mu_0 \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{2\pi}{\ln \frac{90 \cdot 10^{-3}}{40 \cdot 10^{-3}}} = 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

Vậy s.t.đ ở khe hở không khí là:

$$(I.w)_\delta = \sqrt{\frac{2 \cdot 350}{3,7 \cdot 10^{-6} + 9,5 \cdot \left(\frac{40 \cdot 10^{-3}}{90 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 10^{-6}}} = 11,3 \cdot 10^3 \text{ A}$$

Từ thông làm việc ở khe hở không khí:

$$\Phi_\delta = (I.w)_\delta \cdot G_\delta = 11,3 \cdot 10^3 \cdot 7,4 \cdot 10^{-8} = 83,5 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$$

Từ áp rơi ở khe hở phụ Δ :

$$(I.w)_\Delta = (\Phi_\delta + \Phi_{r\Delta})/G_\Delta = (83,5 \cdot 10^{-5} + 95,5 \cdot 10^{-5})/1,15 \cdot 10^{-5} = 163 \text{ A}$$

trong đó: G_Δ là từ dẫn ở khe hở phụ:

$$G_\Delta = \mu_0 \frac{\pi d \cdot a}{\Delta} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{40 \cdot 10^{-3} \cdot 22 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 10^{-3}} = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ H}$$

từ thông rò tại chiều dài z của phần ứng:

$$\Phi_{r\Delta} = \frac{(I.w)_\delta}{l} g_l \frac{z^2}{2} = \frac{11,3 \cdot 10^3}{90 \cdot 10^{-3}} \cdot 9,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{40^2 \cdot 10^{-6}}{2} = 95,5 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$$

Nếu bỏ qua từ trở sắt từ, s.t.đ của cuộn dây sẽ là:

$$(I.w) = (I.w)_\delta + (I.w)_\Delta = 11,3 \cdot 10^3 + 163 = 11463 \text{ A}$$

Muốn tính s.t.đ rơi trên mạch từ phải xác định được từ thông, từ cảm của các phân đoạn mạch từ rồi dựa vào đường cong từ hóa của vật liệu từ để tìm cường độ từ trường. Từ thông của các phân đoạn trên mạch từ được xác định theo phương pháp hệ số từ rò.

Từ thông tại điểm x trên mạch từ được tính theo công thức:

$$\Phi_x = \Phi_\delta + \Phi_{rx}$$

$$\Phi_{rx} = \int_0^x (I.w)_x g_r dx = \frac{(I.w)x}{l} g_r \left(z - \frac{x}{2} \right)$$

Với ba giá trị của x là $x = 0$; $x = \frac{z}{2}$; $x = z$, ta tìm từ thông Φ_x ,

từ cảm B_x và cường độ từ trường H_x , kết quả cho ở bảng dưới đây:

x	mm	0	20	40
Φ_x	Wb	$83,5 \cdot 10^{-5}$	$156 \cdot 10^{-5}$	$178 \cdot 10^{-5}$
B_x	T	0,707	1,32	1,51
H_x	A/m	270	600	1500

Trong phân đoạn $x = 0 \div z$, tính cường độ từ trường trung bình theo công thức:

$$H_{zlb} = \frac{H_0 + 4H_{z/2} + H_z}{6}$$

$$H_{zlb} = 695 \text{ A/m.}$$

Vậy từ áp rơi trên phần ứng của mạch từ là:

$$(I.w)_u = H_{zlb} \cdot z = 695 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 27,8 \text{ A.}$$

Bằng cách tương tự ta sẽ tìm được từ áp rơi trên các phần sắt từ còn lại của mạch từ, bao gồm:

- phần đáy dưới: 10,7 A
- phần đáy trên: 10,35 A
- phần dưới vỏ bọc (D, z) 19,8 A
- phần giữa vỏ bọc (D, δ) 4,4 A
- phần trên vỏ bọc (D, m) 8,85 A
- phần lõi (d, m) 9,7 A

Toàn bộ từ áp rơi trên phần sắt từ là:

$$\Sigma(I.w)_{Fe} = 81,6 \text{ A.}$$

Tổng từ áp của mạch từ sẽ bằng chính s.t.d của cuộn dây:

$$(I.w) = (I.w)_\delta + (I.w)_\Lambda + \Sigma(I.w)_{Fe} = 11.554 \text{ A.}$$

trong đó từ áp rơi trên phần sắt từ chiếm 7% tổng s.t.d.

Cuộn dây của NCD hình trụ với chiều dài $l = 90 \text{ mm}$, đường kính trong $d = 40 \text{ mm}$; đường kính ngoài $D = 90 \text{ mm}$. Diện tích chiếm chỗ của cuộn dây là:

$$S_{cd} = (D - d).l = (90 - 40).90.10^{-6} = 45.10^{-4} \text{ m}^2$$

Tiết diện dây quấn có thể xác định được từ (1-48):

$$q = \frac{(I.w).l_{tb}\rho}{U}$$

$$\text{Thay: } (I.w) = 11.554 \text{ A; } l_{tb} = \pi \frac{D + d}{2} = 204.10^{-3} \text{ m;}$$

$$\rho = 2,2.10^{-8} \Omega\text{m (điện trở suất của đồng);}$$

$U = 220 \text{ V}$, ta tính được:

$$q = \frac{11.554 \cdot 204.10^{-3} \cdot 2,2.10^{-8}}{220} = 0,2357.10^{-6} \text{ m}^2.$$

Tra bảng đường kính dây, ta lấy đường kính dây trần là $0,55 \text{ mm}$ ứng với $q = 0,238 \text{ mm}^2$, chọn dây men cấp E ПЕΛ-2, đường kính kể cả cách điện là $0,62 \text{ mm}$. Chọn hệ số lấp đầy cuộn dây $K_{ld} = 0,5$, ta tính được số vòng cuộn dây:

$$w = K_{ld} \cdot \frac{S_{cd}}{q} = 0,5 \cdot \frac{45.10^{-4}}{0,238.10^{-6}} = 9454 \text{ vòng}$$

Điện trở cuộn dây:

$$R = \rho \frac{w.l_{tb}}{q} = 2,2.10^{-8} \cdot \frac{9454 \cdot 204.10^{-3}}{0,238.10^{-6}} = 178 \Omega$$

Dòng điện trong cuộn dây:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{178} = 1,22 \text{ A}$$

Mật độ dòng điện trong cuộn dây:

$$I = \frac{I}{q} = \frac{1,22}{0,238} = 5,13 \text{ A/mm}^2$$

Với mật độ dòng điện này cuộn dây có thể làm việc ở chế độ dài hạn.

$$\text{Công suất tiêu thụ của cuộn dây: } P = \frac{U^2}{R} = \frac{220^2}{178} = 272 \text{ W}$$

Khối lượng đồng của cuộn dây:

$$m = V_{cd} \cdot K_{ld} \cdot \gamma = \pi \left(\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right) \cdot 1,0589 \cdot 10^3 \text{ (kg)}$$

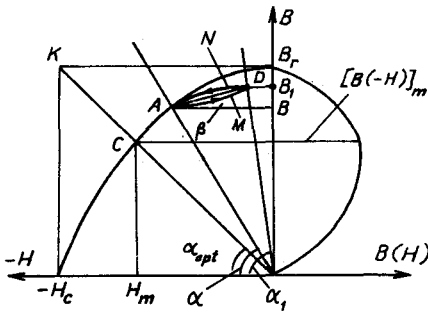
$$m = \frac{3,14}{4} (90^2 - 40^2) 90 \cdot 10^{-9} \cdot 0,589 \cdot 10^3 = 2,1 \text{ (kg)}$$

1.11. MẠCH TỪ CÓ NAM CHÂM VĨNH CỬU (NCVC)

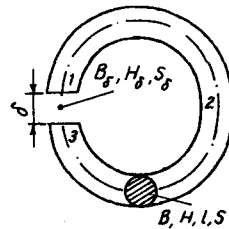
Để tạo nên từ trường một chiều mà không cần nguồn điện, trong một số thiết bị điện người ta sử dụng nam châm vĩnh cửu, được chế tạo từ vật liệu từ cứng - vật liệu có mất từ trễ rộng.

Vùng làm việc của nam châm vĩnh cửu nằm trên đoạn khử từ của mất từ trễ từ $H = 0$ đến $H = -H_c$ (hình 1-29). Khi $H = 0 \rightarrow B = B_r$ còn khi $B = 0 \rightarrow H = -H_c$.

trong đó: B_r - từ cảm dư H_c - lực từ phản kháng.



Hình 1-29. Đặc tính của NCVC.



Hình 1-30. Mạch từ dạng xuyên.

Trên hình 1-30 trình bày nam châm vĩnh cửu có mạch từ dạng xuyên với khe hở không khí ở tương đối bé, vì thế có thể coi từ thông rò bằng 0 và từ trường ở khe hở là từ trường đều (bỏ qua từ thông tản), nên từ cảm ở mạch từ bằng từ cảm ở khe hở không khí: $B = B_g$.

Dựa vào định luật toàn dòng điện của mạch từ, ta có:

$$H_{\delta} \cdot \delta + H \cdot l = 0 \rightarrow H_{\delta} = \frac{-H \cdot l}{\delta}$$

trong đó: l là chiều dài trung bình của mạch từ; H_{δ} là cường độ từ trường ở khe hở không khí δ ; H là cường độ từ trường trong mạch từ.

$$\text{Mặt khác: } B = B_{\delta} = \mu_0 H_{\delta} = -\mu_0 \frac{H \cdot l}{\delta} = -\mu_0 \frac{H \cdot l}{\delta} \frac{S}{S}$$

hoặc:

$$-\frac{B}{H} = \mu_0 \frac{S}{\delta} \cdot \frac{l}{S} = G_{\delta} \frac{l}{S} \quad (1-93)$$

Phương trình (1-93) là phương trình đường thẳng đi qua gốc tọa độ, và tạo với trục $-H$ một góc α có:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{G_{\delta} \cdot l}{S}$$

Đường thẳng này cắt đường cong khử từ tại điểm A (hình 1-29) và từ A chiếu xuống trục tung sẽ tìm được từ cảm B_A cần thiết. Khi khe hở không khí $\delta = 0$ (tức mạch từ khép kín), $\operatorname{tg} \alpha = \infty$, $\alpha = \frac{\pi}{2}$ và $B = B_{\delta} = B_r$. Nếu tăng khe hở δ , G_{δ} giảm, dẫn đến $\operatorname{tg} \alpha$ giảm, từ cảm B_{δ} cũng giảm theo và từ trường H trong mạch từ tăng.

Một trong những thông số quan trọng của nam châm vĩnh cửu là năng lượng của từ trường trong khe hở không khí làm việc, được biểu diễn bằng công thức:

$$W_{\delta} = \frac{B_{\delta} \cdot H_{\delta}}{2} \cdot V_{\delta} = \frac{B_{\delta} \cdot H_{\delta}}{2} S \cdot \delta \quad (1-94)$$

Còn biểu thức tính năng lượng từ trường trong mạch từ có dạng:

$$W_{\mu} = -\frac{B \cdot H}{2} V_{\mu} = -\frac{B \cdot H}{2} S \cdot l \quad (1-95)$$

Dựa vào định luật toàn dòng điện, thay $H_{\delta} = -\frac{1}{\delta}$ vào (1-94) ta có:

$$W_{\delta} = W_{\mu}$$

tức là năng lượng từ ở khe hở không khí bằng năng lượng từ trong mạch từ.

Quan hệ của tích $(-H \cdot B)$ là hàm số của B được cho ở hình 1-29 và đạt cực đại tại điểm C trên đường khử từ, nghĩa là tại điểm C , năng lượng từ trường lớn nhất, vậy điểm C là điểm làm việc tối ưu của nam châm vĩnh

cửu. Người ta đã chứng minh được C là giao điểm của OK với đường khứ từ, trong đó OK là đường chéo của hình chữ nhật $OB_rK(-H_c)$. Góc tạo bởi OK với trục $O(-H)$ gọi là góc tối ưu α_{opt} .

Chúng ta hãy khảo sát ảnh hưởng của khe hở ở đến từ cảm B .

Khi ở giảm đến $\delta_1 < \delta$ (hình 1-27) thì :

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \mu_o \frac{1}{\delta_1} > \operatorname{tg} \alpha = \mu_o \frac{1}{\delta}$$

Từ cảm trong mạch từ cũng tăng nhưng không đi theo đường khứ từ mà theo mát từ trở cục bộ AMD . Từ cảm B_1 được xác định khi từ D chiếu xuống trục tung B . Nếu tăng khe hở không khí từ δ_1 đến δ , từ cảm từ B_1 giảm xuống B_A theo đường khứ từ cục bộ DNA (hình 1-29). Vì mát từ trở cục bộ $AMDNA$ khá hẹp nên có thể thay bằng đoạn thẳng AD , và đoạn thẳng này được gọi là đường phục hồi, tạo với trục OH một góc β có $\operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta B}{\Delta H}$

Nếu không biết được đường cong khứ từ $B(-H)$ mà cho biết từ cảm bão hòa B_s , từ cảm dư B_r và lực từ phản kháng H_c của vật liệu từ, ta có thể dễ dàng dựng được đường khứ từ.

Ở các mạch từ thực có nam châm vĩnh cửu, vì không bỏ qua được từ thông rò và từ thông tản ở cực từ, nên việc tính toán nó cũng tương tự như ở mạch từ một chiều có xét đến từ thông rò và từ thông tản.

Cần lưu ý rằng, ở mạch từ có nam châm vĩnh cửu, từ thông rò khá lớn vì hệ số từ thẩm μ của vật liệu từ cứng bé hơn rất nhiều so với μ của vật liệu từ mềm, loại dùng cho NCD.

Một trong những đặc tính không mong muốn của nam châm vĩnh cửu là nó bị già hóa trong quá trình làm việc, do đó từ thông bị suy giảm dần. Nguyên nhân dẫn đến già hóa là: già hóa do cấu trúc, già hóa do cơ học và già hóa do từ.

- Già hóa do cấu trúc: Sau khi gia công nam châm vĩnh cửu, sẽ tạo nên ứng suất cục bộ trong cấu trúc của vật liệu từ, nên cấu trúc của nó không đồng đều. Trong quá trình làm việc, ứng suất cục bộ giảm dần và cấu trúc vật liệu trở về trạng thái đồng đều, do đó B_r và H_c giảm. Để chống lại hiện tượng già hóa trên, sau khi gia công nam châm vĩnh cửu, người ta tiến hành khâu gia công nhiệt dưới dạng ủ để phục hồi cấu trúc, tăng tính ổn định của nam châm vĩnh cửu. Riêng với vật liệu từ cứng loại hợp kim nhôm - niken thì không cần công đoạn này.

- Già hóa cơ học: Trong quá trình làm việc, dưới tác dụng của các tác nhân cơ học như va đập, rung động... làm nam châm vĩnh cửu thay đổi đặc tính và làm giảm từ thông làm việc. Vì vậy, trước khi xuất xưởng, chúng được đưa vào công đoạn "già hóa cơ học nhân tạo" để tăng tính ổn định của nam châm vĩnh cửu.

- Già hóa do từ trường". Nếu nam châm vĩnh cửu làm việc gần các từ trường thì chúng sẽ gây ảnh hưởng tới nam châm vĩnh cửu. Khi từ trường ngoài cùng chiều với từ trường của NCVC thì từ thông làm việc tăng, còn khi ngược chiều - từ thông làm việc giảm. Vì vậy trước khi xuất xưởng, nam châm vĩnh cửu được thực hiện công đoạn "già hóa do từ trường" để tăng tính ổn định khi làm việc. Công đoạn này làm giảm từ thông vào khoảng 10 đến 15%.

1.12. CƠ CẤU ĐIỆN TỪ PHÂN CỰC

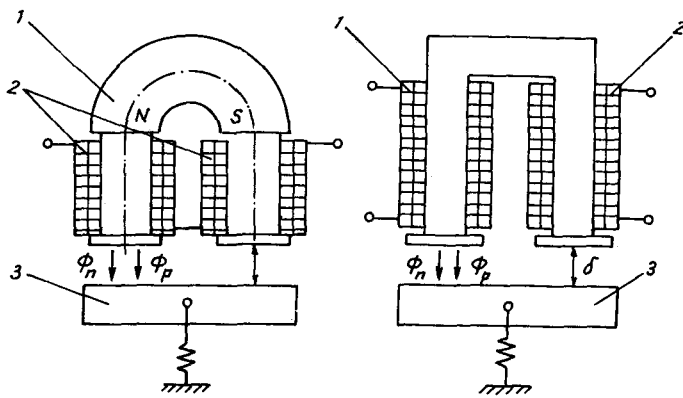
Ở các NCD bình thường đã mô tả ở các phần trên của chương này, chiều của lực điện từ tác động lên phần động không phụ thuộc vào chiều của dòng điện trong cuộn dây, hay cực tính của nguồn điện, vì vậy loại NCD này còn được gọi là "NCD trung tính". Ở cơ cấu điện từ phân cực, chiều của lực điện từ tác động lên phần ứng có thể thay đổi, vì vậy lúc thì bị hút, lúc thì bị đẩy. Trong mạch từ của NCD phân cực tồn tại hai loại từ thông: từ thông phân cực có chiều cố định do nam châm vĩnh cửu hoặc do một cuộn dây phân cực tạo ra, còn từ thông làm việc do cuộn dây làm việc sinh ra, có cực tính thay đổi.

Tùy theo kết cấu và đường đi của từ thông trong mạch từ, cơ cấu điện từ phân cực được chia thành 4 loại: loại mạch từ nối tiếp, loại mạch từ song song, loại mạch từ kiểu cầu và loại mạch từ kiểu vi sai.

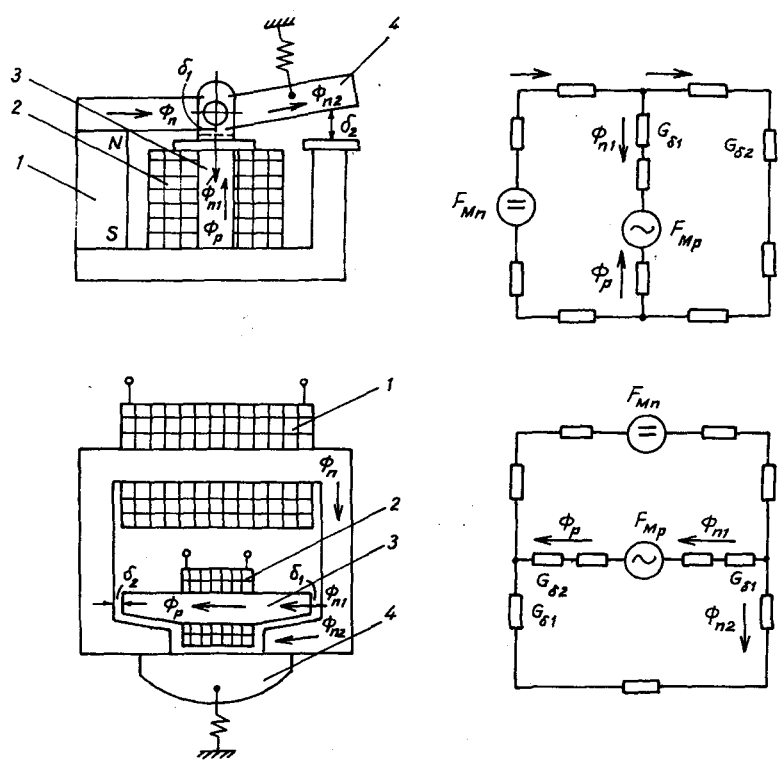
Nguyên lý cấu tạo và sơ đồ thay thế của bốn loại trên được trình bày ở hình 1-31.

Trên hình 1-31a là loại mạch từ nối tiếp. Từ thông phân cực (từ thông một chiều) có thể do nam châm vĩnh cửu và cũng có thể là do NCD với cuộn dây điện một chiều với cực tính cố định. Ở mạch từ nối tiếp, từ thông của cuộn làm việc 2 đi qua phần mạch từ NCVC nên nó khử từ của nam châm vĩnh cửu, làm già hóa nam châm vĩnh cửu. Nếu thay thế nam châm vĩnh cửu bằng NCD có cuộn dây d thì sẽ khắc phục được nhược điểm trên.

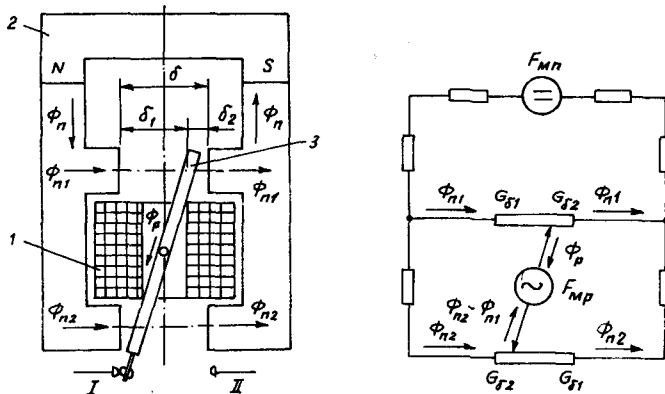
Trên hình 1-31b trình bày loại mạch từ song song. Ở loại này, một



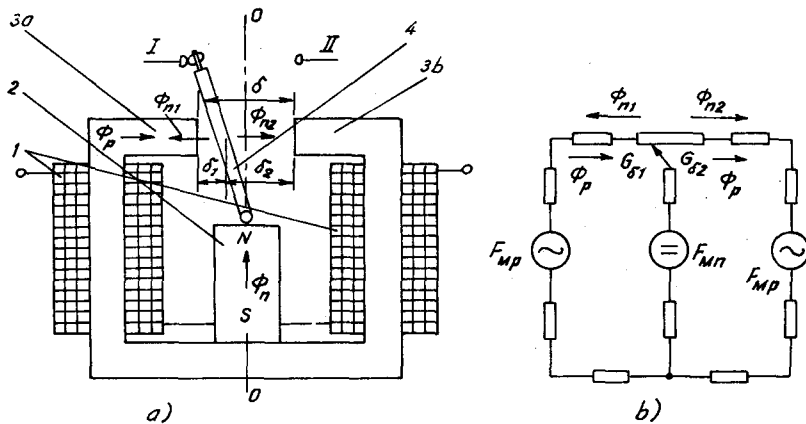
Hình 1-31a. Mạch từ nối tiếp



Hình 1-31b. Mạch từ song song và sơ đồ thay thế



Hình 1-31c. Mạch từ kiểu cầu và sơ đồ thay thế



Hình 1-31d. Mạch từ kiểu vi sai và sơ đồ thay thế

phần từ thông làm việc khép kín qua nam châm vĩnh cửu, còn ở loại cầu (hình 1-31c) và kiểu vi sai (hình 1-31d), từ thông làm việc không khép kín qua nam châm vĩnh cửu, vì vậy hai loại này được dùng thông dụng hơn.

Xét trường hợp mạch từ kiểu vi sai: Từ thông phân cực Φ_n do nam châm vĩnh cửu sinh ra được chia ra hai phần ϕ_{n1} và ϕ_{n2} khép kín qua hai khe hở làm việc δ_1 và δ_2 :

$$\Phi_n = \Phi_{n1} + \Phi_{n2}; \quad -\frac{\Phi_{n1}}{G_{\delta 1}} = \frac{\Phi_m}{G_{\delta 2}}$$

$$G_{\delta 1} = \mu_o \frac{S_p}{\delta_1} \quad ; \quad G_{\delta 2} = \mu_o \frac{S_p}{\delta_2}$$

$$\text{Suy ra:} \quad \Phi_{n1} = \Phi_n \frac{\delta_2}{\delta} \quad ; \quad \Phi_{n2} = \Phi_n \frac{\delta_1}{\delta}$$

Lực điện từ do nam châm vĩnh cửu gây ra, tác động lên phần ứng của cơ cấu được tính theo biểu thức:

$$F_n = F_{n1} - F_{n2} = 4,06 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1}{S_p} (\Phi_{n1}^2 - \Phi_{n2}^2) \quad (1-96)$$

Thay (1-95) vào (1-96), ta được:

$$F_n = 4,06 \cdot 10^{-8} \frac{\Phi_n^2}{S_p} \cdot \frac{\delta_2^2 - \delta_1^2}{\delta} = 4,06 \cdot 10^{-8} \frac{\Phi_n^2}{S_p} \cdot \frac{\delta_2 - \delta_1}{\delta} \quad (1-97)$$

trong đó: F_n là lực điện từ, kG; Φ_n là từ thông phân cực, Wb; S_p là diện tích cực từ, cm^2 .

Lực này hút phần ứng về phía δ_1 , nghĩa là phía khe hở bé, vì $\Phi_{n1} > \Phi_{n2}$ cho nên $F_{n1} > F_{n2}$.

Khi cuộn dây làm việc có dòng điện chạy qua sẽ sinh ra Φ_p khép kín qua khe hở không khí $\delta = \delta_1 + \delta_2$, từ thông Φ_p không đi qua nam châm vĩnh cửu vì từ trở của nam châm vĩnh cửu khá lớn. Giả sử cực tính của nguồn điện tạo nên chiều từ thông Φ_p đi từ trái qua phải tại khe hở không khí δ , thì tại δ_1 và δ_2 , từ thông tổng sẽ là:

$$\Phi_1 = \Phi_{n1} - \Phi_p; \quad \Phi_2 = \Phi_{n2} - \Phi_p$$

Các từ thông Φ_1 và Φ_2 sẽ sinh ra hai lực điện từ tác động lên nắp có hướng ngược nhau, và lực tổng tác dụng lên phần ứng sẽ là:

$$F = F_1 - F_2 = 4,06 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1}{S_p} [(\Phi_{n1} - \Phi_p)^2 - (\Phi_{n2} + \Phi_p)^2] \quad (1-98)$$

Sau khi biến đổi ta được:

$$F = 4,06 \cdot 10^{-8} \frac{1}{S_p} (\Phi_n^2 \frac{\delta_2 - \delta_1}{\delta} - 2\Phi_n \Phi_p) \quad (1-99)$$

Nếu $\Phi_n \frac{\delta_2 - \delta_1}{\delta} < 2\Phi_p$ thì lực tổng sẽ đổi dấu, đẩy phần ứng từ trái qua phải.

Khi Φ_p đổi chiều (nguồn cấp đổi chiều) thì lực điện từ lại đổi dấu, đẩy phần ứng về phía trái. Vậy vị trí của phần ứng phụ thuộc vào dấu của nguồn điện.

Cơ cấu điện từ phân cực có độ nhạy cao nên thường dùng cho các role có thời gian tác động bé và độ nhạy cao.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 1

1. Các phương pháp tính từ dẫn khe hở không khí.
2. Tính toán cuộn dây nam châm điện một chiều.
3. Tính toán cuộn dây nam châm điện xoay chiều.
4. Các phương pháp tính lực điện từ nam châm điện.
5. Các biện pháp chống rung cho nam châm điện xoay chiều.
6. So sánh nam châm điện một chiều và nam châm điện xoay chiều.
7. Cho một nam châm điện một chiều như hình vẽ, biết:

$U = 24V$; $a = 15mm$; $h/l = 2$; $K_d = 0,5$; $j = 2A/mm^2$ (dài hạn; $\rho = 0,02\Omega mm^2/m$;
 $K_T = 15W/m^2 \cdot ^\circ C$; $\theta_0 = 40^\circ C$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H/m$;

- Khi $\delta = 0,5mm$ (hút ổn định): $B_{dây} = 1,2T$, $\sigma_r = 1,0$; $\sigma_t = 1,0$.

- Khi $\delta = 5mm$ $\sigma_r = 1,6$; $\sigma_t = 1,3$; $C_{0Cu} = 386$; $C_{0Fe} = 503 [J/kg^\circ C]$

1) Tính các từ dẫn và vẽ sơ đồ thay thế mạch từ.

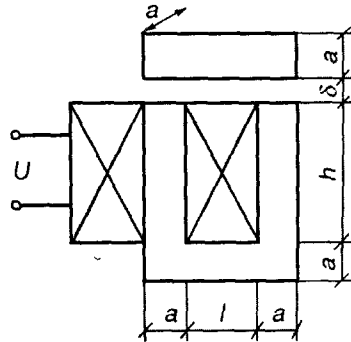
2) Tính lực điện từ tác động lên nắp ($\delta = 0,5mm$; $\delta = mm$).

3) Tính sức từ động và $S_{\sigma\sigma} = l \cdot h$.

4) Tính các thông số cuộn dây.

5) Tính nhiệt độ phát nóng bề mặt cuộn dây ở chế độ dài hạn.

6) Tính hằng số thời gian phát nóng T.



SỰ PHÁT NÓNG CỦA KHÍ CỤ ĐIỆN

2.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Ở trạng thái làm việc, trong các bộ phận của thiết bị điện (TBD) như: mạch vòng dẫn điện, mạch từ, các chi tiết bằng kim loại và cách điện đều có tổn hao năng lượng tác dụng và biến thành nhiệt năng. Một phần của nhiệt năng này làm tăng nhiệt độ của TBD, còn một phần khác tỏa ra môi trường xung quanh. Ở chế độ xác lập nhiệt, nhiệt độ của thiết bị không tăng lên nữa mà đạt trị số ổn định, còn toàn bộ nhiệt năng tổn hao cân bằng với nhiệt năng tỏa ra môi trường xung quanh.

Nếu nhiệt độ của TBD tăng cao thì cách điện bị già hóa nhanh và độ bền cơ của các chi tiết bị suy giảm. Khi tăng nhiệt độ của vật liệu cách điện lên 8°C so với nhiệt độ cho phép ở chế độ dài hạn thì tuổi thọ của cách điện giảm đi 50%. Với vật liệu dẫn điện thông dụng nhất là đồng, nếu tăng nhiệt độ từ 100°C đến 250°C thì độ bền cơ giảm đi 40%. Khi bị ngắn mạch, nhiệt độ các phần tử dẫn điện có thể đạt tới 200 đến 300°C , độ bền cơ của chúng giảm đi nhiều nên lực điện động do dòng ngắn mạch sinh ra có thể làm hỏng hóc thiết bị điện. Độ tin cậy của TBD phụ thuộc vào nhiệt độ phát nóng của chúng, nhất là của các chi tiết được chế tạo bằng vật liệu cách điện. Dựa vào mức độ chịu nhiệt của vật liệu cách điện, người ta chia chúng thành các cấp cách điện với nhiệt độ cho phép tương ứng ở chế độ làm việc dài hạn như sau:

Cấp cách điện	Y	A	E	B	F	H	C
Nhiệt độ cho phép ($^{\circ}\text{C}$)	90	105	120	130	155	180	> 180

Nếu TBD có cấp cách điện tương ứng, làm việc với nhiệt độ bé hơn

hoặc bằng nhiệt độ cho phép thì tuổi thọ của chúng theo vật liệu cách điện đạt khoảng 10 đến 15 năm.

Ở chế độ làm việc dài hạn, nhiệt độ của TBD đạt trị số xác lập, dòng điện đi qua TBD là dòng định mức (danh định) nên nhiệt độ phát nóng của nó không vượt quá nhiệt độ phát nóng cho phép của cấp cách điện tương ứng.

Ở chế độ sự cố như ngắn mạch, dòng điện rất lớn nhưng thời gian sự cố bé (do thiết bị bảo vệ tác động) nên nhiệt độ phát nóng cho phép ở chế độ này thường cao hơn ở chế độ dài hạn, ví dụ với đồng, nhiệt độ này cho phép tới 250°C.

Độ tăng nhiệt của thiết bị được tính bằng:

$$\tau = \theta - \theta_0$$

trong đó: τ là độ tăng nhiệt (còn gọi là nhiệt áp, nhiệt chênh); θ là nhiệt độ của TBD; θ_0 là nhiệt độ môi trường.

Nếu thiết bị được lắp đặt ở nơi có nhiệt độ môi trường cao thì độ tăng nhiệt của nó không được lớn. Nếu nhiệt độ môi trường thấp thì cho phép thiết bị có khả năng quá tải lớn hơn.

Cần lưu ý rằng, nếu TBD được lắp đặt ở những nơi có độ cao hơn 1000 mét so với mực nước biển thì phải giảm bớt công suất làm việc, vì ở độ cao lớn, khả năng tỏa nhiệt của thiết bị kém hơn.

2.2. CÁC DẠNG TỒN HAO NĂNG LƯỢNG

Có ba dạng tổn hao chính: tổn hao trong các chi tiết dẫn điện, tổn hao trong các chi tiết bằng vật liệu sắt từ và tổn hao điện môi. Sau đây ta sẽ lần lượt khảo sát các dạng tổn hao trên.

2.2.1. 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:

$$W = \int_0^t i^2 R \, dt \quad (2-1)$$

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 của dòng điện, vị trí của dây dẫn: nằm đơn độc hay gần dây dẫn khác có dòng điện đi qua.

Nếu dây dẫn đồng chất, tiết diện S không đổi, chiều dài l và điện trở suất ρ , nằm độc lập và có dòng điện một chiều đi qua thì điện trở của nó được tính theo công thức:

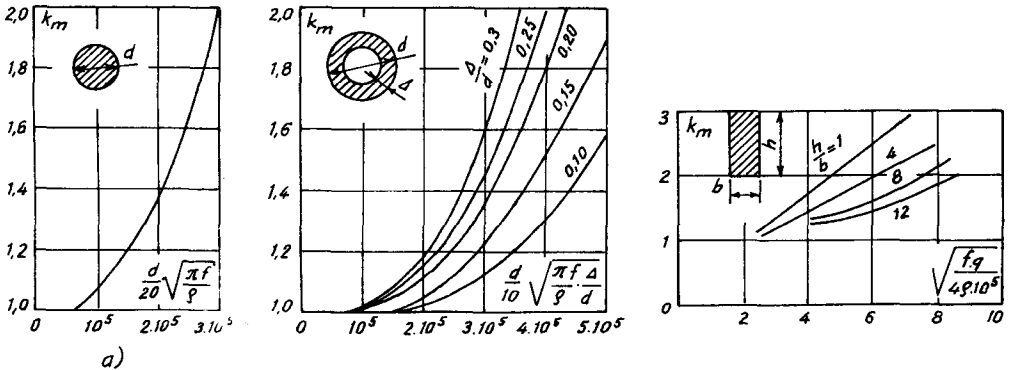
$$R_{\sim} = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (2-2)$$

Khi dòng điện xoay chiều đi qua sẽ gây ra hiệu ứng mặt ngoài làm điện trở dây dẫn tăng:

$$R_{l\sim} = K_m \cdot R_{\sim} \quad (2-3)$$

trong đó: $R_{\sim}$ là điện trở một chiều; $R_{l\sim}$ là điện trở xoay chiều khi dây dẫn nằm đơn độc; K_m là hệ số tính đến hiệu ứng mặt ngoài.

K_m phụ thuộc vào kích thước dây dẫn, điện trở suất của vật liệu và tần số của dòng điện (hình 2-1).



Hình 2-1

d tính theo mm; f tính theo Hz; ρ tính theo $10^6 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; $q = b \cdot h$ tính theo mm^2 .
Riêng ở 2-1c ρ tính theo $\mu\Omega \cdot \text{m}$

Khi hai dây dẫn đặt gần nhau có dòng điện đi qua, từ trường của dây dẫn này tác dụng với dòng điện của dây dẫn kia làm thay đổi sự phân bố của dòng điện trong dây dẫn, nên điện trở của chúng thay đổi. Hiệu ứng này được gọi là hiệu ứng gần và được đặc trưng bằng hệ số gần nhau của hai dây dẫn:

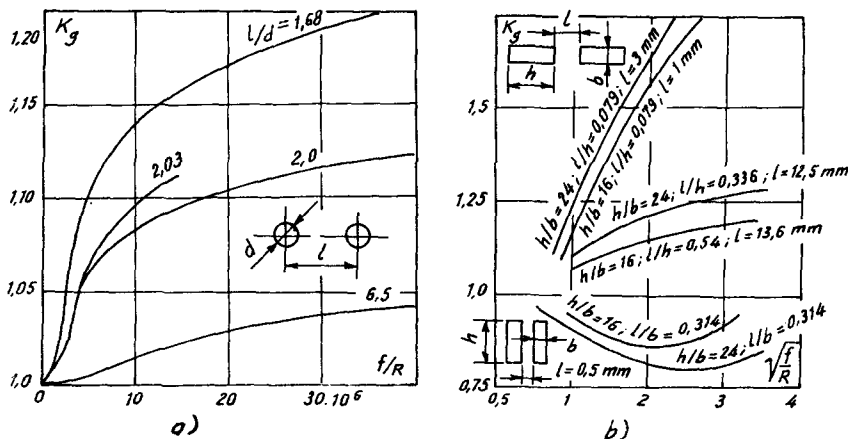
$$K_g = \frac{R_{\sim 2}}{R_{\sim 1}} \quad \text{hoặc} \quad R_{\sim 2} = K_g R_{\sim 1} \quad (2-4)$$

trong đó: $R_{\sim 2}$ là điện trở của dây dẫn khi nó đặt gần dây dẫn khác.

$R_{\sim 1}$ là điện trở của dây dẫn khi đặt đơn độc.

Trị số của K_g phụ thuộc vào tần số dòng điện, kích thước thanh dẫn, khoảng cách giữa các thanh dẫn và điện trở một chiều của nó, được cho ở hình 2-2 khi hai dòng điện ngược chiều nhau.

Từ các đồ thị trên hình 2-2 ta nhận thấy rằng, với hai thanh dẫn tiết diện chữ nhật đặt gần nhau, hệ số gần K_g có thể bé hơn 1, tức là làm giảm tổn hao năng lượng.



Hình 2-2

R- điện trở một chiều của dây dẫn tính bằng Ω cho chiều dài 1 cm;
f- tần số dòng điện tính bằng Hz

Từ (2-3) và (2-4) ta nhận thấy rằng, với dòng điện xoay chiều, nếu kể cả hiệu ứng mặt ngoài và hiệu ứng gần thì sẽ gây ra tổn hao phụ được đặc trưng bằng:

$$K_{Ph} = \frac{R_{-2}}{R_{-}} = \frac{R_{-2}}{R_{-1}} \cdot \frac{R_{-1}}{R_{-}} = K_g \cdot K_m \quad (2-5)$$

2.2.2. Tổn hao trong các phần tử 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 công thức:

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

Trong đó: P_{Fe} - tổn hao sắt từ [W].

B_m - trị biên độ của từ cảm [T].

f- tần số từ trường [Hz].

χ_T, χ_X - hệ số tổn hao do từ trễ và dòng điện xoáy, với thép 341 ÷ 343 và tương đương: $\chi_T = (1,9 \div 2,6)$

$$\chi_X = (0,4 \div 1,2).$$

G- khối lượng của mạch từ [kg].

Từ (2-6) nhận thấy rằng, tổn hao sắt từ phụ thuộc vào từ cảm, tần số, điện trở xoáy của vật liệu. Để thuận tiện cho việc tính toán, người ta xác định suất tổn hao sắt từ p_0 cho một đơn vị khối lượng vật liệu ở tần số f và từ cảm B_m cho trước. Như vậy tổn hao ở (2-6) sẽ được tính toán đơn giản hơn:

$$P_{Fe} = p_0 \cdot G \quad (2-7)$$

Để giảm tổn hao trong các chi tiết sắt từ dạng khối, người ta thường sử dụng các biện pháp sau:

- Tạo khe hở phi từ tính theo đường đi của từ thông để tăng từ trở, giảm từ thông, tức là giảm B_m .
- Đặt thêm vòng ngắn mạch để tăng từ kháng, giảm từ thông.
- Với các chi tiết cho thiết bị có dòng điện lớn hơn 1000 A, được chế tạo bằng vật liệu phi từ tính như đuyara, gang không dẫn từ...

2.2.3. 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:

$$P = 2\pi f \cdot U^2 \cdot \text{tg}\delta \quad (2-8)$$

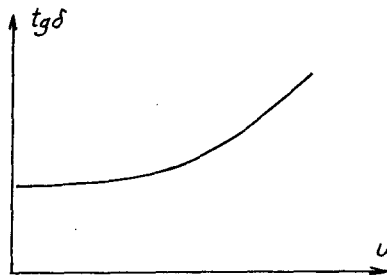
trong đó: P là công suất tổn hao, W;

f là tần số điện trường, Hz

U là điện áp, V.

$\text{tg}\delta$ là tang của góc tổn hao điện môi, phụ thuộc vào điện áp và được cho ở hình 2-3.

Từ (2-8) ta nhận thấy rằng, tổn hao trong chất điện môi tỷ lệ với bình phương điện áp khi tần số không đổi. Vì vậy tổn hao điện môi chỉ đáng kể khi điện áp cao.



Hình 2-3. Đặc tính góc tổn hao theo điện áp đặt trên điện môi.

Tóm lại, các nguồn nhiệt làm nóng thiết bị 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. Khi tính toán, tùy từng trường hợp cụ thể ta có thể bỏ qua một trong các dạng tổn hao trên.

2.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP TRAO ĐỔI NHIỆT

Nhiệt được truyền từ nơi có nhiệt độ cao hơn đến nơi có nhiệt độ thấp hơn theo ba cách: dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ. Ta sẽ lần lượt xét các cách truyền nhiệt đó.

1- Dẫn nhiệt: Là quá trình truyền nhiệt giữa các phần tử có tiếp xúc trực tiếp, do chuyển động nhiệt của các nguyên tử và phân tử cấu tạo vật chất tạo nên. Quá trình này được biểu diễn bằng phương trình Fourier:

$$d^2Q = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} dS \cdot dt \quad (2-9)$$

trong đó: d^2Q là nhiệt lượng truyền qua bề mặt dS theo hướng x bằng dẫn nhiệt; λ là hệ số dẫn nhiệt của vật liệu; θ là nhiệt độ; dt là thời gian truyền nhiệt

Thứ nguyên của các đại lượng trên như sau:

d^2Q [W.s = Jun]; λ [W/m.deg]; dS [m²]; θ [deg; °C], dt [s]

Đại lượng $\frac{\partial \theta}{\partial x}$ là gradient nhiệt độ theo hướng truyền nhiệt x , vuông góc với bề mặt truyền nhiệt dS . Từ (2-9) suy ra:

$$\lambda = -\frac{d^2Q}{\frac{\partial \theta}{\partial x} dS \cdot dt} \quad (2-10)$$

Như vậy hệ số dẫn nhiệt λ là lượng nhiệt truyền qua một đơn vị diện tích dS trong thời gian 1 giây với gradient nhiệt độ 1°C/m. Hệ số này phụ thuộc vào cấu tạo tinh thể của vật liệu, nhiệt độ, độ ẩm... Trong lĩnh vực thiết bị điện, nhiệt độ thay đổi trong phạm vi không lớn lắm (cỡ 100°C) nên hệ số này cũng ít thay đổi.

Dấu "-" trong (2-9) và (2-10) biểu thị nhiệt năng truyền từ nơi có nhiệt độ cao đến nơi có nhiệt độ thấp, ngược chiều với gradient nhiệt độ.

Trong bảng 2-1 cho tính chất vật lý của các kim loại thường gặp ở

nhệt độ 20°C.

Bảng 2-1

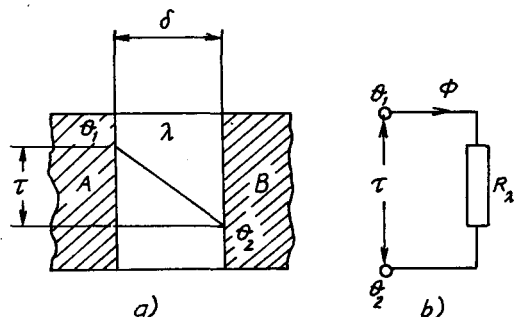
Kim loại	Ký hiệu	γ [kg/dm ³]	ρ [Ω mm ² / m]	α_1 [deg ⁻¹]	θ_{nc} [°C]	λ [W/mdeg]	C [J/kg deg]
Nhôm	Al	2,7	0,0263 ÷ 0,0288	0,004	675	209	941
Vonfram	W	19,3	0,055	0,0046	3380	167	142
Sắt	Fe	7,8	0,098	0,0060	1535	67	452
Thủy ngân	Hg	13,6	0,958	0,0090	- 39	10,1	138
Vàng	Au	19,3	0,024	0,0036	1063	293	130
Cadimi	Cd	8,65	0,100	0,0040	321	93	230
Thiếc	Sn	7,3	0,12	0,0044	232	65	226
Đồng	Cu	8,9	0,0175	0,0043	1038	393	386
Môlipden	Mo	10,2	0,057	0,0046	2620	150	260
Niken	Ni	8,9	0,073	0,0065		75	444
Chì	Pb	11,4	0,217	0,0037	961	35	130
Platin	Pt	21,4	0,105	0,0039	1770	70	134
Bạc	Ag	10,5	0,0016	0,0040	961	420	230
Crôm	Cr	7,1	0,21	0,0059	1850	69	461
Kẽm	Zn	7,1	0,059	0,0040	420	111	380
Đồng thau		8,4 ÷ 8,7	0,021 ÷ 0,052	0,0040	1000	100 ÷ 400	600 ÷ 900
Thép		7,8	0,1 ÷ 0,14	0,0062	2500	45 ÷ 48	503
Gang		7,2 ÷ 7,6	0,501	0,0010	1200	48 ÷ 60	461

Ghi chú: γ -khối lượng riêng; ρ - điện trở suất; α - hệ số nhiệt điện trở; θ_{nc} - nhiệt độ nóng chảy ; λ - hệ số dẫn nhiệt; C- nhiệt dung riêng.

Vì nhiệt có thể truyền theo cả ba hướng x, y, z nhưng trong (2-9) chỉ xét theo hướng x, vì vậy dùng đạo hàm $\partial\theta/\partial x$.

Xét trường hợp dẫn nhiệt qua vách phẳng với chiều dày δ , hệ số dẫn nhiệt λ từ A với nhiệt độ θ_1 qua B với nhiệt độ θ_2 (hình 2-4).

Từ (2-9) ta có:



Hình 2-4. Dẫn nhiệt qua vách phẳng.

$$\frac{d^2Q}{dS \cdot dt} = -\lambda \frac{d\theta}{dx} = \Phi_0 \quad (2-11)$$

trong đó: Φ_0 là nhiệt lượng truyền qua bề mặt 1 m^2 trong thời gian 1 giây, được gọi là mật độ nhiệt thông và có thứ nguyên là $[\text{W/m}^2]$.

Ở chế độ xác lập nhiệt, Φ_0 là hằng số nên từ (2-11) ta có:

$$d\theta = -\frac{\Phi_0}{\lambda} dx \quad (2-12)$$

Giải (2-12) với cận $x = 0 \rightarrow \theta = \theta_1$; $x = \delta \rightarrow \theta = \theta_2$, ta được:

$$\tau = \theta_2 - \theta_1 = \Phi_0 \frac{\delta}{\lambda} \quad (2-13)$$

Gọi $\Phi = \Phi_0 S$ là nhiệt thông, tức là nhiệt năng truyền qua bề mặt S trong thời gian 1 giây, từ (2-13) có thể viết:

$$\tau = \Phi_0 \frac{\delta}{\lambda} = \Phi S \frac{\delta}{\lambda S} = \Phi \cdot R_\lambda \quad (2-14)$$

trong đó: $\tau = \theta_2 - \theta_1$ là độ chênh nhiệt $[\text{°C}]$;

$$R_\lambda = \frac{\delta}{\lambda S} \text{ là nhiệt trở theo dẫn nhiệt } [\text{°C/W}].$$

Ta nhận thấy rằng (2-14) chính là định luật Ohm của mạch nhiệt với sơ đồ thay thế ở hình 2-4b. Nếu nhiệt thông Φ đi qua n vách với bề dày δ_i và hệ số dẫn nhiệt λ_i tương ứng thì nhiệt trở tổng sẽ bằng tổng các nhiệt trở:

$$R_\lambda = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} = \frac{1}{S} \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right) \quad (2-15)$$

2- Đối lưu: Là quá trình truyền nhiệt trong chất lỏng, chất khí, gắn liền với sự chuyển động của các phần tử mang nhiệt từ nơi có nhiệt độ cao đến nơi có nhiệt độ thấp hơn. Có hai dạng đối lưu: đối lưu tự nhiên và đối lưu cưỡng bức. Ở đối lưu tự nhiên, chuyển động của các phần tử chất khí hay chất lỏng do chênh lệch mật độ các phần tử có nhiệt độ cao (tiếp xúc với vật nóng) trong môi trường tạo nên. Ở đối lưu cưỡng bức, chuyển động này là nhờ các tác nhân như quạt gió, bơm tạo nên.

Quá trình truyền nhiệt bằng đối lưu có thể biểu diễn qua phương trình:

$$\Phi_c = \alpha_c (\theta_2 - \theta_1) S_c \quad (2-16)$$

trong đó: Φ_c là nhiệt lượng truyền qua bề mặt đối lưu S_c trong thời gian 1 giây, được tính bằng W;

α_c là hệ số tỏa nhiệt bằng đối lưu, chính là nhiệt lượng tỏa ra trong thời gian 1 giây qua bề mặt tỏa nhiệt 1 m^2 với độ chênh nhiệt giữa bề mặt vật thể và môi trường là 1°C , đo bằng $\text{W/m}^2.\text{deg}$;

θ_2 là nhiệt độ bề mặt tỏa nhiệt, tính bằng $^\circ\text{C}$;

θ_1 là nhiệt độ môi trường, tính bằng $^\circ\text{C}$;

S_c là diện tích bề mặt tỏa nhiệt, tính bằng m^2 .

Hệ số tỏa nhiệt bằng đối lưu α_c phụ thuộc vào nhiều yếu tố như nhiệt độ, độ đậm đặc của môi trường, độ nhớt của chất lỏng, hình dạng bề mặt tỏa nhiệt, vị trí của bề mặt tỏa nhiệt so với hướng chuyển động của các phần tử của môi trường, vận tốc chuyển động của các phần tử.

Việc tính toán α_c khá phức tạp nên α_c thường được lấy theo các công thức kinh nghiệm.

- Với thanh dẫn tròn, đường kính từ 10 đến 80 mm, đặt nằm ngang trong môi trường không khí tự nhiên thì:

$$\alpha_c = 3,5 \left(\frac{1}{d} \right)^{1/4} (\theta_2 - \theta_1)^{1/4}$$

- Với các thanh đặt theo chiều thẳng đứng trong không khí tự nhiên:

$$\alpha_c = 1,5 (\theta_2 - \theta_1)^{0,35}$$

- Với mặt phẳng đặt nằm ngang, phía nóng ở trên:

$$\alpha_c = 3,25 (\theta_2 - \theta_1)^{0,25}$$

- Với bề mặt thẳng đứng trong không khí, có gió thổi cưỡng bức với vận tốc v [m/s]:

$$\alpha_c = 6 + 4,2v$$

- Với bề mặt đặt đứng trong dầu biến áp:

$$\alpha_c = 43 (\theta_2 - \theta_1)^{1/4}$$

- Với mặt trụ nằm ngang trong dầu biến áp:

$$\alpha_c = 160 (\theta_2 - \theta_1)^{0,3}$$

Để giảm kích thước của thiết bị điện hoặc tăng khả năng quá tải, người ta thường sử dụng biện pháp đối lưu cưỡng bức.

3- Bức xạ nhiệt: Đây là quá trình tỏa nhiệt của vật thể nóng ra môi

trường xung quanh bằng phát xạ sóng điện từ. Nhiệt năng truyền bằng bức xạ được tính theo công thức Stefan-Boltzmann:

$$\Phi_r = c_0 \varepsilon \left[\left(\frac{T_2}{1000} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{1000} \right)^4 \right] S_r \quad (2-17)$$

trong đó: Φ_r là nhiệt lượng truyền bằng bức xạ trong thời gian 1 giây qua bề mặt bức xạ S_r [m^2]. Thứ nguyên của Φ_r là [W];

T_2, T_1 là nhiệt độ của bề mặt bức xạ và của môi trường, $^{\circ}K$;

$C_1 = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot K^4$ là hệ số bức xạ của vật đen tuyệt đối;

ε là hệ số đen của bề mặt bức xạ.

Thông thường các quá trình tỏa nhiệt bằng đối lưu (2-16) và bức xạ (2-17) cùng tồn tại song song qua bề mặt xung quanh của vật thể $S_c = S_r$ và người ta kết hợp cả hai quá trình trên và sử dụng hệ số tỏa nhiệt bằng đối lưu và bức xạ:

$$K_T = \frac{\Phi_c + \Phi_r}{(\theta_2 - \theta_1) S_T} = \frac{\Phi}{\tau \cdot S_T} \quad (2-18)$$

trong đó: $\Phi = \Phi_c + \Phi_r$ là nhiệt thông đối lưu và bức xạ;

$\tau = \theta_2 - \theta_1$ là nhiệt chênh giữa bề mặt tỏa nhiệt và môi trường;

$S_T = S_c = S_r$ là diện tích bề mặt tỏa nhiệt.

Hệ số tỏa nhiệt K_T là hàm phi tuyến của nhiệt độ, phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố.

Trong vùng nhiệt độ làm việc của thiết bị điện vào khoảng 90 đến 150 $^{\circ}C$ có thể coi K_T là hằng, không phụ thuộc vào nhiệt độ (với sai số 15 đến 20%), khi đó việc tính toán nhiệt trở nên đơn giản hơn.

Nhiệt độ phát nóng của vật thể ở chế độ xác lập nhiệt được tính theo công thức:

$$\theta = \theta_1 + \tau = \theta_0 + \frac{P}{K_T S_T}, \text{ } ^{\circ}C \quad (2-19)$$

trong đó: θ_0 là nhiệt độ môi trường; P là công suất tổn hao.

Hệ số K_T thường xác định theo kinh nghiệm và được cho ở bảng 2-2 với các trường hợp thường gặp.

Bảng 2-2

Đặc điểm tỏa nhiệt	K_T [$W/m^2 \text{deg}$]	
	Không khí tự nhiên	Dầu biến áp
- Đồng tròn $\phi = 1 \div 6$ cm, đặt nằm ngang	13,0 ÷ 8,5	
- Thanh cái đồng đỏ, đặt theo chiều đứng	6,0 ÷ 9,0	
- Thanh cái đồng, nhôm đặt nằm ngang	9,0 ÷ 12,5	
- Bề mặt gang, thép có phủ sơn mỏng chống rỉ	10,0 ÷ 14,0	
- Các bề mặt có phủ sơn	12,0 ÷ 16,0	
- Mặt trụ đặt trong dầu biến áp		50 ÷ 150
- Cuộn dây có bọc cách điện bằng giấy	10,0 ÷ 12,5	25 ÷ 36
- Khối mạch tủ	10,0 ÷ 12,5	70 ÷ 90

2.4. TÍNH TOÁN NHIỆT Ở CHẾ ĐỘ XÁC LẬP NHIỆT

Khi làm việc, phương trình cân bằng nhiệt của thiết bị có dạng:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (2-20)$$

trong đó: $Q_1 = P_{dt}$ là năng lượng tổn hao với công suất P ;

$Q_2 = K_T S_T \tau dt$ là năng lượng tỏa ra môi trường xung quanh;

$Q_3 = c.G.d\tau$ là năng lượng làm tăng nhiệt độ của thiết bị, với khối lượng G và nhiệt dung riêng C .

Thay Q_1 , Q_2 , Q_3 vào (2-20), ta được:

$$P_{dt} = K_T S_T \tau dt + c.G.d\tau \quad (2-21)$$

Ở chế độ xác lập nhiệt, nhiệt độ không thay đổi theo thời gian ($d\tau = 0$) nên (2-21) có dạng:

$$P_{dt} = K_T S_T \tau dt \quad (2-22)$$

có nghĩa là toàn bộ nhiệt tổn hao chỉ tỏa ra môi trường xung quanh, do đó độ tăng nhiệt ở chế độ xác lập sẽ là:

$$\tau = \frac{P}{K_T S_T} \quad (2-23)$$

Sau đây ta sẽ lần lượt xét các trường hợp tính toán thường gặp.

1- Tiết diện dây dẫn trần theo dòng điện dài hạn (dòng định mức)

- Với dây dẫn tròn, điện trở của nó được tính bằng:

$$R = \rho_0(1 + \alpha_T \theta_n) \frac{l}{q} = \frac{4\rho_0(1 + \alpha_T \theta_n).l}{\pi d^2} \quad (2-24)$$

trong đó: ρ_0 là điện trở suất của vật liệu dây dẫn ở 0°C ;

α_T là hệ số nhiệt điện trở;

θ_n là nhiệt độ cho phép ở chế độ dài hạn;

l, q là chiều dài, tiết diện dây dẫn.

Bề mặt tỏa nhiệt của dây dẫn là:

$$S_T = \pi d.l \quad (2-25)$$

Ở chế độ xác lập nhiệt (2-23), ta có:

$$P_n = I_n^2 R = K_T S_T (\theta_n - \theta_0) \quad (2-26)$$

Thay (2-25) vào (2-26) và tính đường kính dây dẫn, ta được:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4I_n^2 \rho_0 (1 + \alpha_T \theta_n)}{\pi^2 K_T (\theta_n - \theta_0)}} \quad (2-27)$$

Khi làm việc nên lấy nhiệt độ dài hạn thấp hơn trị số cho phép. Với dòng điện xoay chiều, tổn hao P_n sẽ lớn hơn vì có hệ số tổn hao phụ $K_{ph} > 1$, theo (2-5). Mặt khác khi điện áp thay đổi trong phạm vi cho phép (thường từ $0,85U_{dm}$ đến $1,1U_{dm}$) thì dòng điện cũng thay đổi theo. Vì vậy khi tính toán, đường kính dây dẫn phải lấy lớn hơn trị tính toán.

- Với thanh dẫn tiết diện hình chữ nhật kích thước $a \times b$, tương tự ta có:

$$a.b(a + b) = \frac{I_n^2 \rho_0 (1 + \alpha_T \theta_n)}{2K_T (\theta_n - \theta_0)} \quad (2-28)$$

Chọn tỷ số $a/b = m$, thay vào (2-28), ta được:

$$b = \sqrt[3]{\frac{I_n^2 \rho_0 (1 + \alpha_T \theta_n)}{m(m + 1).2K_T (\theta_n - \theta_0)}} \quad (2-29)$$

Các công thức (2-27) và (2-29) cho phép ta tính toán kích thước thanh dẫn trần theo dòng điện dài hạn và nhiệt độ cho phép dài hạn với nhiệt độ môi trường xung quanh θ_0 và điều kiện tỏa nhiệt K_T .

2- Sự phát nóng của dây dẫn có bọc cách điện

Xét dây dẫn tròn, chiều dài l , đường kính dây dẫn d , đường kính cả cách điện D (hình 2-5); hệ số dẫn nhiệt của lớp cách điện λ ; nhiệt độ phần

dẫn điện θ_1 , của bề mặt cách điện θ_2 và của môi trường θ_0 . Nhiệt chỉ truyền theo hướng ngang trục (hướng kính): Từ θ_1 đến θ_2 ta có quá trình dẫn nhiệt, còn từ θ_2 đến θ_0 , tỏa nhiệt bằng đối lưu và bức xạ.

Nhiệt thông dẫn từ ruột dây dẫn (nhiệt độ θ_1) ra bề mặt cách điện (nhiệt độ θ_2) được tính theo công thức:

$$\Phi = -\lambda \frac{d\theta}{dx} 2\pi x.l \quad (2-30)$$

trong đó: $\Phi = K_{ph}.I^2R$ là công suất tổn hao trong dây dẫn, truyền qua bề mặt $2\pi x.l$.

Từ (2-30) ta tính được:

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{K_{ph}.I^2.R}{2\lambda\pi.l} \ln \frac{D}{d} = \Phi.R_\lambda \quad (2-31)$$

trong đó:

$$R_\lambda = \frac{1}{2\lambda\pi.l} \ln \frac{D}{d} \quad (2-32)$$

R_λ là nhiệt trở theo dẫn nhiệt.

Quá trình tỏa nhiệt từ bề mặt cách điện của dây dẫn ra môi trường xung quanh được tính theo công thức:

$$\theta_2 - \theta_0 = \Phi R_T = \frac{I^2.R.K_{ph}}{K_T.\pi D.l} \quad (2-33)$$

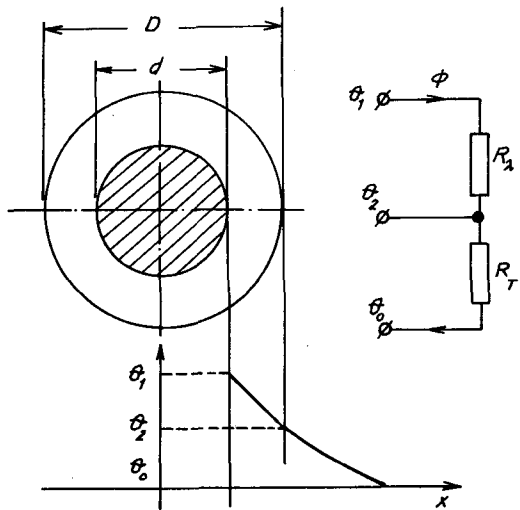
trong đó:

$$R_T = \frac{1}{K_T.S_T} = \frac{1}{K_T.\pi D.l} \quad (2-34)$$

R_T là nhiệt trở theo tỏa nhiệt (bằng đối lưu và bức xạ).

Kết hợp cả hai quá trình truyền nhiệt, ta có:

$$\tau = \theta_1 - \theta_0 = \Phi(R_\lambda + R_T) = K_{ph}.I^2.R \left(\frac{1}{2\lambda\pi.l} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{K_T.\pi D.l} \right) \quad (2-35)$$



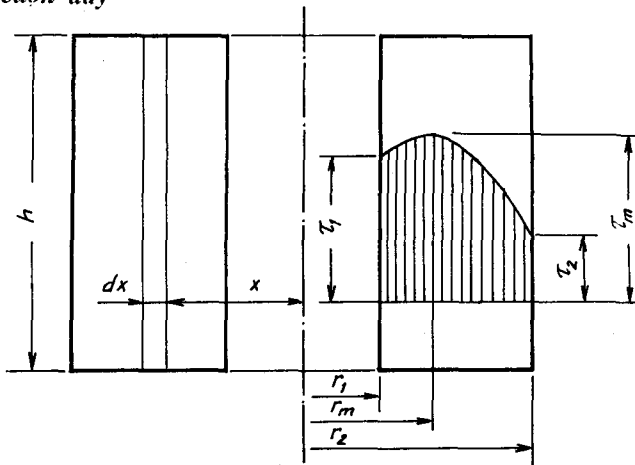
Hình 2-5. Sự phát nóng của dây dẫn có cách điện.

Mạch thay thế của (2-35) được trình bày ở hình 2-5.

3- Sự phát nóng của cuộn dây

Việc tính toán phát nóng của cuộn dây khá phức tạp bởi các nguyên nhân sau:

- Cuộn dây không phải là một khối đồng chất, vì ngoài đồng ra còn có các lớp cách điện, khe hở không khí giữa các vòng dây, lớp dây, nên hệ số dẫn nhiệt của cuộn



Hình 2-6. Sự phát nóng của cuộn dây.

lấy khi tính toán lấy theo trị số tương đương.

- Bề mặt tỏa nhiệt của cuộn dây gồm mặt trong và mặt ngoài, mặt trên và mặt dưới. Khi tính toán thường chỉ coi nhiệt truyền theo hướng thẳng chứ không theo hướng trục, có nghĩa là bỏ qua mặt trên và mặt dưới. Mỗi bề mặt có hệ số tỏa nhiệt khác nhau.

- Tổn hao nhiệt trong cuộn dây phân bố rải và không đều, vì những nơi có nhiệt độ cao hơn, điện trở lớn hơn nên tổn hao cũng lớn hơn. Khi tính toán, ta coi nguồn nhiệt phân bố đều trong toàn thể tích cuộn dây.

Xét cuộn dây hình trụ (hình 2-6):

r_1 - bán kính trong của cuộn dây

r_2 - bán kính ngoài

h - chiều cao cuộn dây

r_m - bán kính ứng với độ chênh nhiệt đại cực đại τ_m .

τ_1 - nhiệt chênh bề mặt trong so với môi trường.

τ_2 - nhiệt chênh mặt ngoài.

Phương trình cân bằng nhiệt tại khoảng cách x có dạng:

$$\frac{\partial \theta}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} + \frac{p_0}{\lambda} = 0 \quad (2-36)$$

trong đó: θ là nhiệt độ ở khoảng cách x kể từ trục cuộn dây.

p_0 là công suất tổn hao trong một đơn vị thể tích cuộn dây.

λ là hệ số dẫn nhiệt tương đương của cuộn dây.

Nếu coi nhiệt độ chỉ truyền theo hướng kính và thay $\tau = \theta - \theta_0$

($\theta_0 = \text{const}$ là nhiệt độ môi trường xung quanh) thì (2-36) có dạng:

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \cdot \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{p_0}{\lambda} = 0 \quad (2-37)$$

Nghiệm của (2-37) là:

$$\tau = - \frac{p_0 x^2}{4\lambda} + C_1 \ln x + C_2 \quad (2-38)$$

C_1, C_2 là hằng số tích phân được xác định như sau:

Với: $\frac{\partial \tau}{\partial x} = 0 \rightarrow \tau = \tau_{\max}; x = r_m$, suy ra:

$$C_1 = \frac{p_0}{2\lambda} r_m^2 \quad (2-39)$$

Thay C_1 vào (2-38), ta được:

$$\tau = - \frac{p_0 x^2}{4\lambda} + \frac{p_0}{2\lambda} r_m^2 \ln x + C_2 \quad (2-40)$$

Thay các điều kiện biên: $x = r_1 \rightarrow \tau = \tau_1$ và $x = r_2 \rightarrow \tau = \tau_2$ vào (2-40), ta có:

$$\tau_1 - \tau_2 = - \frac{p_0}{4\lambda} (r_1^2 - r_2^2) + \frac{p_0}{2\lambda} r_m^2 \ln \frac{r_1}{r_2} \quad (2-41)$$

Trong trường hợp cuộn dây có khung thì lớp nóng nhất sẽ ở trong cùng

$$\tau_m = \tau_1 = \tau_2 + \frac{p_0}{4\lambda} r_1^2 \ln \frac{r_1}{r_2} + \frac{p_0}{4\lambda} (r_2^2 - r_1^2) \quad (2-42)$$

Nhiệt chênh τ_2 được xác định theo công thức:

$$\tau_2 = \frac{P}{K_{T2} 2\pi r_2 h} = \frac{p_0 \pi (r_2^2 - r_1^2) h}{K_{T2} 2\pi r_2 h} \quad (2-43)$$

Thay (2-43) vào (2-42), ta được nhiệt chênh cực đại:

$$\tau_m = \frac{p_0 \pi (r_2^2 - r_1^2) h}{K_{T2} 2\pi r_2 h} + \frac{p_0}{2\lambda} r_m^2 \ln \frac{r_1}{r_2} + \frac{p_0}{4\lambda} (r_2^2 - r_1^2) \quad (2-44)$$

Với nhiệt thông $\Phi = P = p_0 V = p_0 \pi (r_2^2 - r_1^2) h$ và độ tăng nhiệt cực đại τ_m , ta xác định được nhiệt trở tương đương của mạch nhiệt:

$$R = \frac{\tau_m}{\Phi} = \frac{1}{K_{T2} 2\pi r_2 h} + \frac{r_m^2 \ln \frac{r_1}{r_2}}{2\lambda \pi (r_2^2 - r_1^2) h} + \frac{1}{4\pi \lambda h} \quad (2-45)$$

Nếu bề mặt trong tỏa nhiệt với hệ số K_{T1} thì việc tính toán trở nên phức tạp hơn.

Hệ số dẫn nhiệt tương đương của cuộn dây có thể tính theo công thức kinh nghiệm sau:

$$\lambda = 0,6 \lambda_d \frac{d}{2\delta} \quad (2-46)$$

trong đó: λ_d là hệ số dẫn nhiệt của dây quấn;

d là đường kính trần của dây quấn;

δ là bề dày của lớp cách điện.

Với dây quấn loại: $\Pi \partial A$, $\lambda_d = 0,13 \div 0,15$ W/m.deg.

$\Pi \partial B$, $\lambda_d = 0,15 \div 0,20$ W/m.deg.

2.5. QUÁ TRÌNH PHÁT NÓNG Ở CHẾ ĐỘ QUÁ ĐỘ

Bắt đầu làm việc, nhiệt độ của thiết bị điện tăng dần dần, sau một thời gian quá độ nó không tăng nữa và đạt trị số xác lập. Quá trình quá độ được mô tả bằng phương trình cân bằng nhiệt.

$$P dt = K_T S_T \tau dt + C_T d\tau \quad (2-46)$$

trong đó: P là công suất tổn hao của thiết bị;

$C_T = c.G$ là nhiệt dung của thiết bị;

c là suất nhiệt dung tương ứng cho một đơn vị khối lượng;

G là khối lượng thiết bị.

Số hạng thứ nhất của vế phải (2-46) là nhiệt lượng tỏa ra môi trường xung quanh với nhiệt độ $\theta_0 = \text{const}$, còn số hạng thứ hai là nhiệt lượng hấp thụ của thiết bị.

Nghiệm của phương trình vi phân (2-46) có dạng:

$$\tau = \tau_0 e^{-t/T} + \tau_\infty (1 - e^{-t/T}) \quad (2-47)$$

trong đó: τ là độ tăng nhiệt (nhiệt chênh) so với môi trường;

τ_0 là độ tăng nhiệt ban đầu ($t = 0$).

$$\tau_{\infty} = \frac{P}{K_T S_T} \text{ là độ tăng nhiệt xác lập.}$$

$$T = \frac{C_T}{K_T S_T} = R_T C_T \text{ là hằng số thời gian phát nóng.}$$

Nếu $\tau_0 = 0$, nghĩa là khi bắt đầu làm việc, nhiệt độ của thiết bị bằng nhiệt độ môi trường θ_0 thì:

$$\tau = \tau_{\infty}(1 - e^{-t/T}) \quad (2-48)$$

Quan hệ $\tau(t)$ được biểu diễn ở đồ thị hình 2-7, trong đó đường 1 ứng với (2-47), đường 2 ứng với (2-48). Nếu tại $t = 0$, kẻ tiếp tuyến với đường cong $\tau(t)$, ta có thể xác định T :

$$\left. \frac{d\tau}{dt} \right|_{t=0} = \frac{\tau_{\infty}}{T} = \operatorname{tg} \alpha$$

Nếu toàn bộ năng lượng tổn hao không tỏa ra xung quanh mà chỉ đốt nóng thì (2-46) có dạng: $P \cdot dt = CTdt$. Suy ra:

$$\tau = \frac{P}{C_T} t = \frac{\tau_{\infty} K_T S_T}{C_T} t = \frac{\tau_{\infty}}{T} t \quad (2-49)$$

Thay $t = T$ vào (2-49) ta được $\tau = \tau_{\infty}$.

Như vậy hằng số thời gian nhiệt T là quãng thời gian làm việc để nhiệt độ đạt tới trị xác lập nếu không có quá trình tỏa nhiệt. Nếu có cả quá trình tỏa nhiệt, thay $t = T$ vào (2-48) ta được:

$$\tau = \tau_{\infty}(1 - e^{-T/T}) = \tau_{\infty}(1 - e^{-1}) = 0,632\tau_{\infty}.$$

Quá trình nguội của thiết bị xảy ra khi ta cắt điện của nó, nhiệt độ của nó giảm dần đến nhiệt độ môi trường. Trong trường hợp này phương trình cân bằng nhiệt sẽ là:

$$K_T S_T \tau dt + C_T d\tau = 0 \quad (2-50)$$

Với điều kiện biên: $t = 0 \rightarrow \tau = \tau_{\infty}$ thì nghiệm của (2-50) là:

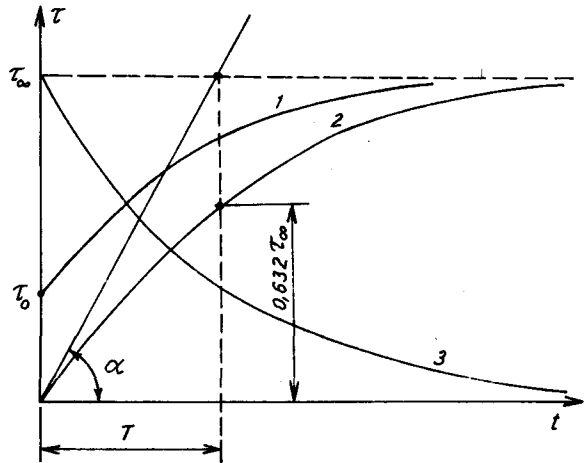
$$\tau = \tau_{\infty} e^{-t/T} \quad (2-51)$$

Đồ thị của quá trình nguội cho ở hình 2-7, đường 3.

Người ta phân ra ba chế độ làm việc của thiết bị điện: dài hạn, ngắn hạn và ngắn hạn lặp lại, tùy theo thời gian làm việc và độ tăng nhiệt τ . Ta sẽ lần lượt xét các chế độ làm việc đó.

- Chế độ làm việc dài hạn

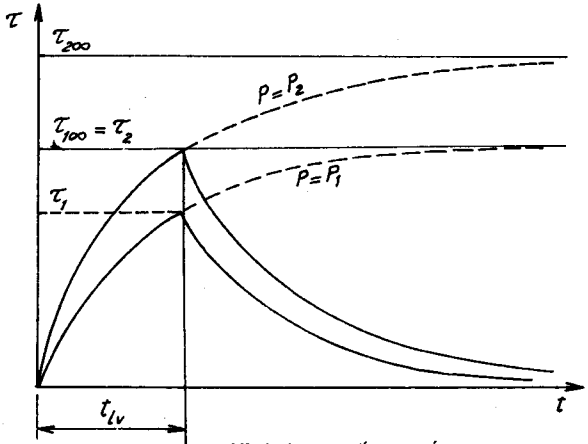
Ở chế độ làm việc dài hạn, thời gian làm việc đủ lớn để $\tau = \tau_{\infty}$ và thời gian nghỉ đủ dài để $\tau = 0$. Vì $\tau(t)$ là hàm mũ, nên về lý thuyết τ đạt τ_{∞} (khi phát nóng) và τ đạt 0 (khi nguội) với thời gian vô cùng. Trong thực tế, nếu $t \geq 4T$ thì có thể coi là chế độ làm việc dài hạn, hoặc độ tăng nhiệt theo thời gian $d\tau/dt \leq 2 \text{ }^{\circ}\text{C/h}$ cũng có thể coi đó là chế độ làm việc dài hạn. Đồ thị và quan hệ $\tau(t)$ ở chế độ dài hạn cho ở hình 2-7.



Hình 2-7. Đồ thị phát nóng ở chế độ dài hạn.

- Chế độ làm việc ngắn hạn

Ở chế độ làm việc này, thời gian làm việc chưa đủ lớn nên độ tăng nhiệt chưa đạt đến trị xác lập, còn thời gian nghỉ đủ dài để nhiệt độ thiết bị bằng nhiệt độ môi trường. Đồ thị của quá trình làm việc này được mô tả ở hình 2-8. Nếu thiết bị làm việc với công suất $P = P_1$



Hình 2-8. Chế độ ngắn hạn.

ứng với chế độ dài hạn, nghĩa là $\tau_{1\infty}$ bằng nhiệt chênh cho phép của thiết bị thì sau thời gian làm việc t_{lv} , nhiệt chênh đạt $\tau_1 < \tau_{1\infty}$, nghĩa là thiết bị làm việc còn non tải. Để tận dụng khả năng mang tải của thiết bị, ta có thể nâng công suất làm việc tới P_2 , sao cho sau $t = t_{lv}$, độ phát nóng đạt $\tau_2 = \tau_{1\infty} = \tau_{cph}$. Vậy ở chế độ ngắn hạn, thiết bị có thể quá tải, được đặc trưng bằng hệ số quá tải:

$$\text{Theo công suất: } K_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{1}{1 - \exp(-t_{lv}/T)} \quad (2-52)$$

- Theo dòng điện: $K_I = \sqrt{K_p} = \frac{1}{\sqrt{1 - \exp(-t_{lv}/T)}}$

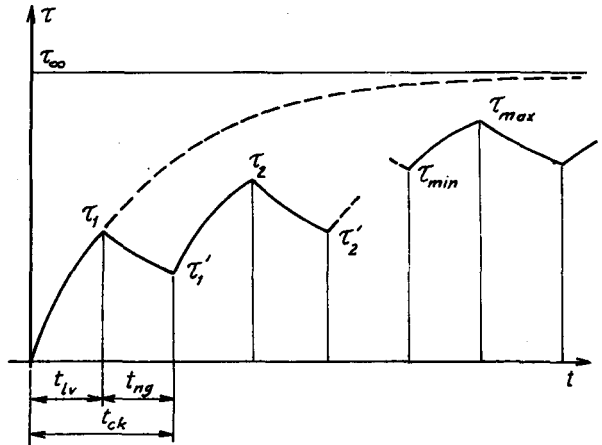
Từ (2-52) và (2-53) ta nhận thấy rằng, hệ số quá tải càng lớn khi thời gian làm việc càng bé và hằng số thời gian phát nóng càng lớn. Điều này liên quan đến việc chọn thiết bị khi làm việc ở chế độ ngắn hạn.

- *Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại*

Với chế độ này, mỗi chu kỳ được đặc trưng bằng thời gian làm việc và thời gian nghỉ:

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

Thời gian làm việc trong mỗi chu kỳ chưa đủ lớn nên độ tăng nhiệt chưa đạt đến trị xác lập, thời gian nghỉ chưa đủ dài nên nhiệt độ của thiết bị vẫn



Hình 2-9. Chế độ ngắn hạn lặp lại.

cao hơn nhiệt độ môi trường. Nếu số chu kỳ đủ lớn thì nhiệt chênh sẽ dao động quanh trị số $\tau_{\max}$ và $\tau_{\min}$ xác lập, còn gọi là trị số "xác lập giả định". Quá trình nhiệt này được cho ở đồ thị hình 2-9.

Ở chu kỳ đầu:

$$\tau_1 = \tau_{\infty}[1 - \exp(-t_{lv}/T)]; \tau'_1 = \tau_1 \cdot \exp(-t_{ng}/T) \quad (2-53)$$

Ở chu kỳ thứ hai:

$$\tau_2 = \tau_{\infty}[1 - \exp(-t_{lv}/T)] + \tau'_1 \exp(-t_{ng}/T); \tau'_2 = \tau_2 \exp(-t_{ng}/T).$$

Quá trình cứ lập đi lập lại đến trị số xác lập giả định:

$$\tau_{\max} = \tau_{\infty}[1 - \exp(-t_{lv}/T)] + \tau_{\min} \exp(-t_{ng}/T) \quad (2-54)$$

$$\tau_{\min} = \tau_{\max} \exp(-t_{ng}/T).$$

Từ (2-54), ta rút ra:

$$\tau_{\max} = \tau_{\infty} \frac{1 - \exp(-t_{lv}/T)}{1 - \exp(-t_{ck}/T)} \quad (2-55)$$

Từ (2-55) ta nhận thấy rằng, nếu độ phát nóng xác lập τ_{∞} bằng độ phát nóng cho phép của thiết bị τ_{cph} , thì $\tau_{\max} < \tau_{cph}$.

Để tận dụng hết khả năng quá tải của thiết bị, ta có thể nâng $\tau_{\max} = \tau_{\text{cph}}$, khi đó hệ số quá tải sẽ là:

$$\text{- quá tải theo công suất: } K_P = \frac{1 - \exp(-t_{\text{ck}})}{1 - \exp(-t_{\text{IV}}/T)} \quad (2-56)$$

$$\text{- quá tải theo dòng điện: } K_I = \sqrt{K_P} = \sqrt{\frac{1 - \exp(-t_{\text{ck}}/T)}{1 - \exp(-t_{\text{IV}}/T)}} \quad (2-57)$$

Hệ số quá tải càng lớn khi t_{IV} bé và t_{ck} lớn.

2.6. QUÁ TRÌNH PHÁT NÓNG KHI NGẮN MẠCH

Khi bị ngắn mạch, dòng điện chảy trong dây dẫn có trị số rất lớn, gấp vài chục lần dòng điện ở chế độ định mức, nhưng vì thời gian ngắn mạch không dài nên nhiệt độ phát nóng cho phép ở chế độ này thường lớn hơn ở chế độ dài hạn. Ví dụ với đồng có cách điện cấp A cho phép đến 250°C khi ngắn mạch, còn ở chế độ dài hạn là 105°C.

Vì thời gian ngắn mạch t_{nm} bé nên có thể coi quá trình nhiệt này là quá trình đoạn nhiệt, nghĩa là toàn bộ nhiệt lượng do thiết bị hấp thụ chứ không tỏa ra môi trường xung quanh. Do đó phương trình cân bằng nhiệt có dạng:

$$i^2 R \cdot dt = C_T \cdot d\theta \quad (2-58)$$

trong đó: R là điện trở của dây dẫn được tính theo công thức:

$$R = K_{\text{ph}} \cdot \rho_0 \cdot \frac{l}{q} (1 + \alpha_T \theta)$$

K_{ph} là hệ số tổn hao phụ tính đến hiệu ứng mật ngoài và hiệu ứng gần;

ρ_0 là điện trở suất của vật liệu ở 0°C;

α_T là hệ số nhiệt điện trở của vật liệu dây dẫn;

θ là nhiệt độ của dây dẫn;

l, q là chiều dài và tiết diện dây dẫn;

C_T là nhiệt dung của thiết bị:

$$C_T = c_0 (1 + \beta \cdot \theta) G$$

c_0 là nhiệt dung riêng của vật liệu ở 0°C;

β là hệ số nhiệt của nhiệt dung riêng;

G là khối lượng của vật dẫn.

Khối lượng vật dẫn có thể tính theo thể tích và khối lượng riêng:

$$G = \gamma.l.q. = \gamma.V$$

trong đó: γ là khối lượng riêng của vật liệu dây dẫn;

$V = l.q$ là thể tích vật dẫn.

Thay các đại lượng trên vào (2-58), ta được:

$$\frac{i^2}{q^2} dt = \frac{c_0 \gamma (1 + \beta.\theta)}{K_{ph} \rho_0 (1 - \alpha_T \theta)} d\theta \quad (2-59)$$

Tích phân hai vế của (2-59), với cận vế trái từ 0 đến t_{nm} , cận vế phải từ θ_0 đến θ_{nm} (θ_0 là nhiệt độ ban đầu, trước khi xảy ra ngắn mạch):

$$\int_0^{t_{nm}} \frac{i^2}{q^2} dt = \int_{\theta_0}^{\theta_{nm}} \frac{\gamma.c_0(1 + \beta.\theta)}{K_{ph} \rho_0 (1 - \alpha_T \theta)} d\theta \quad (2-60)$$

Nếu trị hiệu dụng của dòng điện trong suốt thời gian ngắn mạch là không đổi thì (2-60) có thể viết dưới dạng:

$$\frac{I_{nm}^2}{q^2} t_{nm} = j_{nm}^2 t_{nm} = A_{\theta_{nm}} - A_{\theta_0} \quad (2-61)$$

trong đó: $j_{nm} = \frac{I_{nm}}{q}$ là mật độ dòng điện khi ngắn mạch;

$A_{\theta_{nm}}, A_{\theta_0}$ là trị số của tích phân vế phải của (2-60).

Để đơn giản hóa việc tính toán, quan hệ $\theta = f(A_\theta)$ được cho dưới dạng đồ thị (hình 2-10) với các loại vật liệu dẫn điện khác nhau.

Nếu biết nhiệt độ ngắn mạch cho phép và nhiệt độ ban đầu của thiết bị, dựa vào (2-61) ta tìm được dòng điện ngắn mạch cho phép ứng với thời gian ngắn mạch t_{nm} . Độ bền nhiệt của thiết bị điện là khả năng chịu đựng dòng điện ngắn mạch trong thời gian ngắn mạch cho trước mà nhiệt độ phát nóng của thiết bị không vượt quá nhiệt độ phát nóng cho phép khi ngắn mạch. Thông thường t_{nm} được quy định là 1, 3, 5 và 10 giây.

Nếu biết I_{nm1} và t_{nm1} , ta có thể suy ra I_{nm2} với thời gian t_{nm2} theo quan hệ:

$$I_{nm1}^2 . t_{nm1} = I_{nm2}^2 . t_{nm2} \quad (2-62)$$

Khi ngắn mạch, nếu kể cả tác dụng nhiệt của thành phần không chu kỳ của dòng điện thì việc tính toán sẽ khá phức tạp. Phương pháp thường dùng để tính ảnh hưởng của thành phần không chu kỳ là dùng thời gian

ngắn mạch ảo:

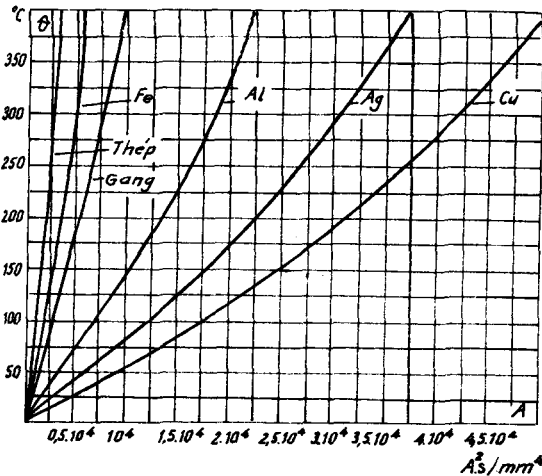
$$\int_0^{t_{nm}} i_{nm}^2 dt = I_{nm}^2 t_f \quad (2-63)$$

trong đó: I_{nm} là trị hiệu dụng của dòng ngắn mạch chu kỳ.

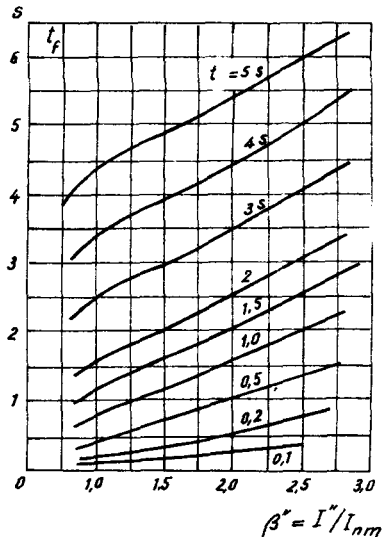
t_f là thời gian ngắn mạch ảo.

$$t_f = t_{f1} + t_{f2}$$

trong đó: t_{f1} tương ứng với dòng ngắn mạch xác lập I_{nm} (trị hiệu dụng) và phụ thuộc vào thời gian ngắn mạch t_{nm} , cũng như tỷ số giữa trị số $\beta'' = I''/I_{nm}$, mà I'' là trị số hiệu dụng của dòng ngắn mạch siêu quá độ). Quan hệ giữa t_{f1} và β'' cho ở đồ thị hình 2-10. t_{f2} là thành phần tương ứng với dòng không chu kỳ: $t_{f2} = 0,005(\beta'')^2$.



Hình 2-9. Quan hệ giữa nhiệt độ và trị số A.



Hình 2-10. Quan hệ giữa t_f và dòng ngắn mạch.

2.7. CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH NHIỆT ĐỘ BẰNG THỰC NGHIỆM

Trong lĩnh vực thiết bị điện, quá trình đo nhiệt độ thường gắn liền với quá trình khống chế để nhiệt độ không vượt quá trị cho phép như trong các lò gia nhiệt, máy biến áp... Một quá trình đo khác là đo để kiểm tra,

phát hiện hỏng hóc của thiết bị. Có nhiều cách đo nhiệt độ với những đặc điểm khác nhau. Sau đây ta sẽ khảo sát vài loại đo thông dụng.

- *Đo bằng nhiệt kế.* Loại nhiệt kế thường dùng là loại thủy ngân, có thể đo được tới 300°C . Ưu điểm chính của nó là đơn giản, trực tiếp, song tín hiệu đo không truyền đi xa được và khó đo nhiệt độ của các điểm, quán tính nhiệt lớn. Có loại nhiệt kế thủy ngân có tiếp điểm, thường gọi là nhiệt kế - công tắc thủy ngân, dùng để đo và khống chế nhiệt độ.

- *Đo nhiệt độ bằng nhiệt ngẫu (cặp nhiệt).* Nếu hai sợi kim loại khác nhau, được hàn một phía, điểm chung định ở nơi có nhiệt độ cao, còn phía tự do đặt ở nơi có nhiệt độ thấp thì sẽ xuất hiện một sức nhiệt điện động, tỷ lệ với nhiệt chênh và phụ thuộc vào bản chất của hai kim loại:

$$e_T = k.T = k.(\theta_1 - \theta_2).$$

trong đó: k là hệ số phụ thuộc vào vật liệu chế tạo nhiệt ngẫu.

Trong phạm vi nhất định của nhiệt độ, k là hằng số, vì vậy đo sức nhiệt điện động e_T ta biết được độ tăng nhiệt T . Thông thường e_T có trị số khá bé (cỡ vài chục milivôn cho 1000°C) nên ta thường phải dùng các bộ khuếch đại một chiều để khuếch đại tín hiệu cho chỉ thị và cho khống chế nhiệt độ.

Ưu điểm chính của phương pháp này là có thể đo nhiệt độ từng điểm, quán tính nhiệt bé, có thể đo được nhiệt độ đến 2000°C (tùy thuộc vào vật liệu làm nhiệt ngẫu) và tín hiệu đo có thể truyền đi xa.

- *Đo nhiệt độ bằng điện trở.*

Với kim loại khi nhiệt độ tăng thì điện trở của nó thay đổi theo quan hệ:

$$R_{\theta} = R_0(1 + \alpha_1\theta).$$

Nếu xác định R_0 và R_{θ} , ta có thể tính được θ .

Có hai phương pháp đo nhiệt độ qua điện trở: trực tiếp và gián tiếp.

Đo trực tiếp: Đo điện trở của cuộn dây (máy điện, máy biến áp...) trước khi làm việc (lúc nguội) và sau khi làm việc (lúc nóng). Qua đó ta có thể xác định được độ tăng nhiệt trung bình của cuộn dây. Cần lưu ý rằng phương pháp này chỉ thực hiện được khi thiết bị không làm việc. Với các thiết bị có điện trở bé, thường người ta dùng cầu để đo.

Đo gián tiếp: Người ta chế tạo các đầu đo bằng vật liệu có hệ số nhiệt điện trở lớn, tuyến tính và đặt đầu đo gần điểm cần đo, cách điện với các

phần mang điện của thiết bị. Phương pháp này có thể đo nhiệt độ của thiết bị khi đang làm việc, có thể truyền tín hiệu đi xa và dễ dàng tạo ra cách khống chế công suất để điều chỉnh nhiệt độ.

- *Đo nhiệt độ bằng phát xạ hồng ngoại*: Đây là phương pháp đo tiên tiến, thường dùng để kiểm tra nhiệt độ của các bộ phận của thiết bị điện trong trạng thái làm việc, nhất là với các thiết bị cao áp. Thiết bị đo nhận phát xạ hồng ngoại từ điểm cần đo, sau đó nó phân tích phổ và so sánh với phổ chuẩn, từ đó biết được nhiệt độ của điểm cần đo.

Ngoài các phương pháp đo trên, người ta còn dùng các miếng có phủ chất nhạy cảm nhiệt để dán lên các bộ phận của thiết bị. Khi nhiệt độ tăng đến một giá trị nào đó, miếng dán đó sẽ đổi màu, nhờ đó biết được nhiệt độ của thiết bị. Cách này hay dùng để kiểm tra nhiệt độ của các phần dẫn điện với điện áp $10 \div 35$ kV, thiết bị lắp đặt trong nhà.

Một phương pháp khác để xác định độ tăng nhiệt ổn định mà không cần kéo dài thời gian thử nghiệm đối với các thiết bị có hằng số thời gian lớn được tiến hành như sau: Dựng đường cong $\tau = f(t)$ theo số liệu thực nghiệm. Sau đó chia thời gian thành những đoạn Δt bằng nhau và tìm các $\Delta \tau$ tương ứng (hình 2-11). Với mỗi điểm, tính tỷ số $\Delta \tau_i / \Delta t$ và dựng các điểm đó trên hệ trục tọa độ $\Delta \tau_i / \Delta t$ và τ . Nối các điểm đó lại, và các điểm đó sẽ nằm trên đường thẳng cắt trục τ tại trị số τ_{0d} và trục hoành tại τ_{0d}/T .

Thật vậy, đạo hàm (2-48) theo thời gian, ta có:

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{\tau_{\infty}}{T} e^{-t/T} \quad (2-62)$$

Từ (2-48) suy ra $\tau_{\infty} - \tau = \tau_{\infty} - e^{-t/T}$ (2-63)

Thay (2-63) và (2-62) ta được:

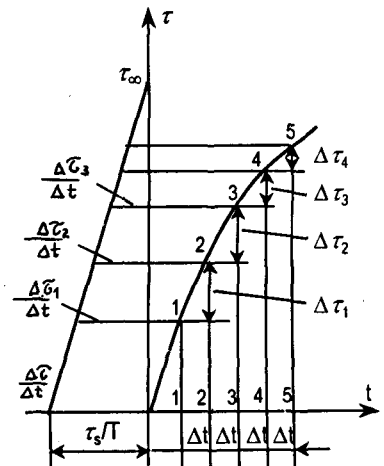
$$T \frac{d\tau}{dt} = \tau_{\infty} \text{ hoặc } \tau = \tau_{\infty} - T \frac{d\tau}{dt} \quad (2-64)$$

Phương trình (2-64) là phương trình đường thẳng của τ theo $d\tau/dt$, vì vậy các điểm đã dựng đều nằm trên đường thẳng.

Khi $d\tau/dt = 0 \rightarrow \tau = \tau_{\infty}$;

$$\tau = 0 \rightarrow \frac{d\tau}{dt} = \frac{\tau_{\infty}}{T}$$

Bằng cách này xác định được τ_{∞} mà tiết kiệm được thời gian thử nghiệm.



Hình 2-11. Xác định τ_{∞} bằng đồ thị.

2.8. VÍ DỤ VỀ TÍNH TOÁN NHIỆT

Ví dụ 1:

Cho thanh dẫn bằng đồng, đường kính $d = 35 \text{ mm}$, bọc lớp cách điện cấp A dày 1 mm . Tính dòng điện dài hạn cho phép và dòng ngắn mạch cho phép với thời gian ngắn mạch $t_{nm} = 5 \text{ giây}$, biết tần số dòng điện 50 Hz và nhiệt độ môi trường $\theta_o = 40^\circ\text{C}$.

Ở chế độ xác lập nhiệt truyền từ thanh dẫn ra môi trường bằng dẫn nhiệt qua lớp cách điện dày 1 mm và đối lưu, bức xạ với bề mặt tỏa nhiệt là bề mặt lớp cách điện. Độ tăng nhiệt τ được tính theo công thức Newton:

$$\tau_{cph} = \theta_{cph} - \theta_o = \Phi \cdot R = I^2 r \cdot K_m (R_\lambda + R_T)$$

trong đó: $R_\lambda = \frac{1}{2\pi\lambda l} \ln \frac{D}{d};$

$$R_T = \frac{1}{K_T \pi D \cdot l};$$

$$r = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$$

Với: $\theta_{cph} = 105^\circ\text{C}$ là nhiệt độ cho phép của cấp cách điện A; $\lambda = 0,114 \text{ W/m.deg}$ là hệ số dẫn nhiệt.

$$d = 35 \cdot 10^{-3} \text{ m}; D = (35 + 2) \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

$K_T = 12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{deg}$ là hệ số tản nhiệt.

$$\rho = \rho_o (1 + \alpha_T \theta_{cph}) = 1,55 \cdot 10^{-8} (1 + 0,004 \cdot 105) = 2,2 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}.$$

$K_m = 1,2$ là hệ số hiệu ứng mặt ngoài.

$$r = 0,23 \cdot 10^{-4} \Omega \text{ là với chiều dài } l = 1 \text{ m}.$$

Thay các đại lượng trên vào công thức Newton, tính dòng điện dài hạn:

$$I = \frac{(\theta_{cph} - \theta_o) 2\pi K_T \lambda D}{K_m r (2\lambda + K_T D \ln \frac{D}{d})} = 1690 \text{ A}$$

Mật độ dòng điện trong trường hợp này là:

$$j = \frac{I}{q} = \frac{1690 \cdot 4}{\pi \cdot 35^2} = 1,85 \text{ A/mm}^2.$$

Xác định dòng điện ngắn mạch 5 giây, với nhiệt độ cho phép khi ngắn mạch $\theta_{nm} = 250^\circ\text{C}$, nhiệt độ ban đầu $\theta_n = 105^\circ\text{C}$.

Dựa vào đồ thị ở hình 2-10 ta tìm được $A_{\theta nm} = 3,65 \cdot 10^4$, $A_{\theta n} = 2 \cdot 10^4$, $K_m = 1,15$ (ứng với $\theta_{nm} = 250^\circ\text{C}$).

Thay A_θ , q , K_m , t_{nm} vào phương trình cân bằng nhiệt ở chế độ ngắn mạch (2-61) để tính dòng điện ngắn mạch, ta được:

$$I_{nm} = \sqrt{\frac{(A_{\theta nm} - A_{\theta n})q^2}{K_T \cdot t_{nm}}} = 51500 \text{ A.}$$

Vậy với dây dẫn đồng $d = 35 \text{ mm}$ có cách điện cấp A dày 1 mm , dòng điện dài hạn cho phép (tính theo trị hiệu dụng) là 1690 A , còn dòng ngắn mạch 5 giây cho phép của nó là 51500 A .

Ví dụ 2:

Tính toán nhiệt độ phát nóng của cuộn dây NCD một chiều, quấn trên ống kim loại, có các thông số sau: $U = 110 \text{ V}$, $d = 0,29 \text{ mm}$, dây men, $w = 16.800$ vòng, $h = 86 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $r_1 = 18 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, $r_2 = 81 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ (hình 2-12).

Bài toán được xét với các điều kiện sau:

- Tại lớp dây quấn với bán kính r_m nhiệt chênh đạt trị cực đại τ_m , là lớp phân chia hai nhiệt thông: Φ_1 truyền vào bên trong và Φ_2 truyền ra bên ngoài.
- Diện tích tỏa nhiệt chỉ lấy bề mặt trong và bề mặt ngoài, bỏ qua diện tích hai đáy.

Định luật Ohm cho trường hợp này có dạng:

$$\theta_m - \theta_o = \tau_m = \Phi_2 R_2 = \Phi_1 R_1$$

trong đó: Φ_1 , Φ_2 là nhiệt thông truyền vào bề mặt trong và ra bề mặt ngoài (mặt đẳng nhiệt là lớp dây quấn với bán kính r_m với nhiệt chênh τ_m).

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{U^2}{r}$$

$$\Phi_1 = \Phi \frac{V_1}{V}; \quad \Phi_2 = \Phi - \Phi_1;$$

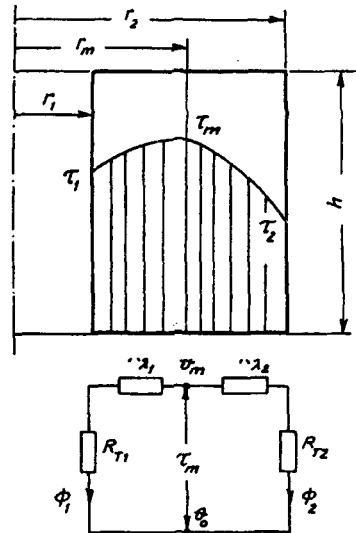
$$V_1 = \pi(r_m^2 - r_1^2)h$$

$$V = \pi(r_2^2 - r_1^2)h$$

Nhiệt trở theo Φ_1 :

$$R_1 = R_{\lambda 1} + R_{T1} = \frac{r_m^2 \ln \frac{r_m}{r_1}}{2\pi\lambda(r_m^2 - r_1^2)h} - \frac{1}{4\pi\lambda h} + \frac{1}{2\pi\lambda K_{T1}r_1 h}$$

Nhiệt trở theo Φ_2 :



Hình 2-12. Tính toán phát nóng của cuộn dây.

$$R_2 = R_{\lambda 2} + R_{T2} = \frac{1}{4\pi\lambda h} - \frac{r_m^2 \ln \frac{r_2}{r_m}}{2\pi\lambda(r_2^2 - r_m^2)h} + \frac{1}{2\pi\lambda K_{T2}r_2 h}$$

Thay vào $\Phi_1 R_1 = \Phi_2 R_2$ để tìm r_m , ta được:

$$r_m = \sqrt{\frac{\frac{1}{2}(r_2^2 - r_1^2) + \frac{\lambda r_2}{K_{T2}} + \frac{\lambda r_1}{K_{T1}}}{\ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{\lambda}{K_{T2}r_2} + \frac{\lambda}{K_{T1}r_1}}}$$

Với hệ số dẫn nhiệt tương đương của cuộn dây:

$$\lambda = 0,6\lambda_d \frac{d}{2\delta} = 0,6 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,29}{0,026} = 1,12 \text{ W/m.deg}$$

Hệ số tỏa nhiệt mặt ngoài và mặt trong:

$$K_{T2} = 12 \text{ W/m}^2.\text{deg}; K_{T1} = 1,7K_{T2} = 20,4 \text{ W/m}^2.\text{deg},$$

Thay vào biểu thức r_m , ta được:

$$r_m = 24,6 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

Điện trở cuộn dây:

$$r = \rho \frac{wl_{lb}}{q} = 0,022 \cdot 16.800 - \frac{\frac{2\pi}{2}(3,1 + 1,8) \cdot 10^{-2}}{\pi \cdot \frac{0,292}{4}} = 864 \Omega$$

$$\text{Dòng điện trong cuộn dây: } I = \frac{U}{R} = \frac{110}{864} = 0,127 \text{ A.}$$

Công suất tổn hao của cuộn dây:

$$P = U \cdot I = 110 \cdot 0,127 = 14 \text{ W.}$$

Nhiệt thông truyền ra bên ngoài:

$$\Phi_2 = \dot{P} \cdot \frac{V_2}{V} = P \cdot \frac{\pi(r_2^2 - r_m^2)h}{\pi(r_2^2 - r_1^2)h} = 7,56 \text{ W.}$$

Độ chênh nhiệt cực đại:

$$\tau_m = \Phi_2 R_2 = 7,56 \cdot 6,35 = 48,2^\circ\text{C} \rightarrow \theta_m = 88,2^\circ\text{C}$$

Độ chênh nhiệt của bề mặt ngoài:

$$\tau_2 = \Phi_2 R_{T2} = \Phi_2 \cdot \frac{1}{2\pi K_{T2} r_2 h} = 38^\circ\text{C} \rightarrow \theta_2 = 78^\circ\text{C}$$

Độ chênh nhiệt của bề mặt trong:

$$\tau_1 = \Phi_1 R_{T1} = (\Phi - \Phi_2) \cdot \frac{1}{2\pi K_{T1} r_1 h} = 33^\circ\text{C} \rightarrow \theta_1 = 73^\circ\text{C.}$$

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 2

1. Trình bày các ảnh hưởng của nhiệt độ phát nóng lên các thông số của thiết bị điện.
2. Các nhân tố ảnh hưởng đến tổn hao năng lượng trong TBĐ.
3. Đặc điểm các phương pháp trao đổi nhiệt trong TBĐ.
4. Các chế độ làm việc của khí cụ điện và đặc điểm của chúng.
5. Thế nào là độ bền nhiệt của TBĐ.
6. Trình bày đặc điểm của các phương pháp đo nhiệt độ.
7. Cho một cuộn dây điện từ một chiều với điện áp 220VDC, có các thông số sau: đường kính trong cuộn dây: $d = 30\text{mm}$, đường kính ngoài cuộn dây $D_2 = 50\text{mm}$, chiều cao 60mm, được quấn bằng dây bọc men (cách điện cấp B) với đường kính 0,15mm (không kể cách điện), số vòng 24780 vòng, điện trở suất $\rho = 0,02\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, nhiệt dung riêng $c = 386\text{J/kg}^\circ\text{C}$, hệ số tỏa nhiệt kích thước $= 16\text{W/m}^2,^\circ\text{C}$, nhiệt độ môi trường 40°C .
 - Tính nhiệt độ phát nóng của cuộn dây ở chế độ dài hạn.
 - Tính hằng số thời gian phát nóng của cuộn dây biết khối lượng riêng của đồng $\gamma = 8,9\text{kg/dm}^3$.

LỰC ĐIỆN ĐỘNG Ở KHÍ CỤ ĐIỆN

3.1. CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH LỰC ĐIỆN ĐỘNG

Mạch vòng dẫn điện của các thiết bị điện được liên kết bởi chi tiết dẫn điện có kích thước, hình dáng khác nhau, với các vị trí tương hỗ khác nhau. Khi có dòng điện chạy qua sẽ sinh ra lực cơ khí giữa các chi tiết của mạch vòng và giữa các mạch vòng gần nhau, gọi là lực điện động (LDD).

Ở chế độ làm việc xác lập, vì dòng điện định mức có trị số không lớn nên LDD được sinh ra không đáng kể. Nhưng ở chế độ ngắn mạch, dòng điện đạt trị số rất lớn, có thể làm hỏng hóc thiết bị điện, LDD đạt trị số lớn nhất khi trị số tức thời của dòng điện đạt lớn nhất, và được gọi là dòng điện xung kích.

Với điện xoay chiều, dòng điện xung kích được tính theo công thức:

$$I_{XK} = K_{XK} \sqrt{2} I_{nm}$$

trong đó: K_{XK} là hệ số xung kích của dòng điện, tính đến ảnh hưởng của thành phần không chu kỳ và thường lấy $K_{XK} = 1,8$; I_{nm} là trị hiệu dụng của dòng ngắn mạch xác lập.

Độ bền điện động của thiết bị điện là khả năng chịu được LDD do dòng ngắn mạch sinh ra. Việc tính toán LDD thường được tiến hành theo hai phương pháp: Theo định luật Bio - Xava - Laplace và theo phương pháp cân bằng năng lượng.

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

Nếu một đoạn mạch vòng dl_1 [m] có dòng điện i_1 [A] đi qua (hình 3-1a) được đặt trong từ trường với từ cảm B [T], thì sẽ có một lực dF [N] tác động lên dl_1 :

$$dF = i_1 dl_1 \times B = i_1 B \cdot dl_1 \sin \beta$$

trong đó: β là góc giữa B và dl_1 , hướng của dl_1 theo chiều của dòng điện i_1 .

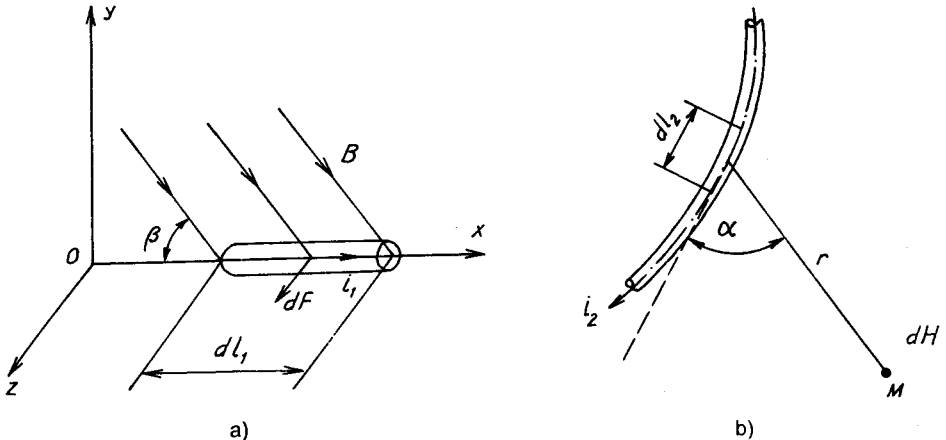
Lực điện động tác động lên đoạn mạch vòng với chiều dài l_1 [m] bằng tổng các lực thành phần.

$$F = \int_0^{l_1} dF = \int_0^{l_1} i_1 B \sin \beta \cdot dl_1 \quad (3-1)$$

Nếu mạch vòng nằm trong môi trường có độ từ thẩm cố định $\mu = \text{const}$, như trong chân không hoặc không khí, việc xác định từ cảm B tương đối thuận tiện khi sử dụng định luật Bio - Xava - Laplace. Theo định luật này cường độ từ trường dH tại điểm M bất kỳ cách dây dẫn dl_2 có dòng điện i_2 chạy qua (hình 3-1b) một khoảng r , được xác định theo công thức.

$$dH = \frac{i_2 \cdot dl_2 \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (3-2)$$

trong đó α là góc giữa vectơ dl_2 và bán kính r .



Hình 3-1. Tính LĐĐ bằng định luật Bio - Xava - Laplace.

Từ cảm ở điểm M sẽ là:

$$dB = \mu_0 dH = \frac{\mu_0 i_2 \sin \alpha \cdot dl_2}{4\pi r^2} \quad (3-3)$$

Thay $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m và tích phân hai vế của (3-3), ta có:

$$B = \int_0^{l_2} 10^{-7} \cdot \frac{i_2 \sin \alpha}{r^2} dl_2, \text{ T.} \quad (3-4)$$

Thay từ cảm B từ (3-4) vào (3-1). ta có:

$$F = 10^{-7} \cdot i_1 \cdot i_2 \int_0^{l_1} \int_0^{l_2} \frac{\sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot dl_1 \cdot dl_2}{r^2}, \text{ N} \quad (3-5)$$

trong đó: i_1, i_2 được tính bằng ampe, còn dl_1, dl_2 và r được tính bằng mét, F tính bằng niutơn. Từ công thức (3-5) ta nhận thấy rằng, biểu thức dưới dấu tích phân phụ thuộc vào các kích thước, hình dáng và khoảng cách giữa hai mạch vòng, nên có thể viết:

$$\int_0^{l_1} \int_0^{l_2} \frac{\sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot dl_1 \cdot dl_2}{r^2} = K_c \quad (3-6)$$

K_c - hệ số kết cấu của mạch vòng.

Thay (3-6) và (3-5), ta có:

$$F = 10^{-7} i_1 \cdot i_2 \cdot K_c \text{ [N]}$$

$$\text{hoặc:} \quad F = 1,02 \cdot 10^{-8} i_1 \cdot i_2 K_c \text{ [kG]} \quad (3-7)$$

Hướng của lực F được xác định theo tích vectơ của i_1 và B (hình 3-1a). Trong những trường hợp đơn giản, hướng của vectơ từ cảm được xác định theo quy tắc vận nút chai (quy tắc ren thuận), còn hướng của LDD theo quy tắc bàn tay trái.

Lực điện động được tính bằng phương pháp này nếu dễ dàng tính được hệ số kết cấu K_c .

3.1.2. Tính LDD theo phương pháp cân bằng năng lượng

Năng lượng điện từ của một hệ mạch vòng gồm 2 dây dẫn có dòng điện đi qua được mô tả bằng phương trình:

$$W = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M \cdot i_1 \cdot i_2 \quad (3-8)$$

trong đó: L_1, L_2 là điện cảm của 2 mạch vòng [H];

i_1, i_2 là dòng điện trong hai mạch vòng [A];

M là hồ cảm của hai mạch vòng [H].

Nếu hệ chỉ có một mạch vòng với điện cảm L và dòng điện i thì LDD tác dụng lên mạch vòng (do dòng điện chạy trong nó sinh ra) được tính theo công thức:

$$F = \frac{\partial W}{\partial x} = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L}{\partial x}, \text{ N} \quad (3-9)$$

Thay $L \cdot i = \Psi = w \cdot \Phi$ vào (3-9), ta được:

$$F = \frac{\partial W}{\partial x} = -\frac{1}{2} i \cdot w \frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad (3-10)$$

trong đó: Ψ là từ thông móc vòng [Wb]; Φ - từ thông [Wb]; w - số vòng dây.

Với hệ có hồ cảm M , lực điện động tương tác giữa hai mạch vòng sẽ là:

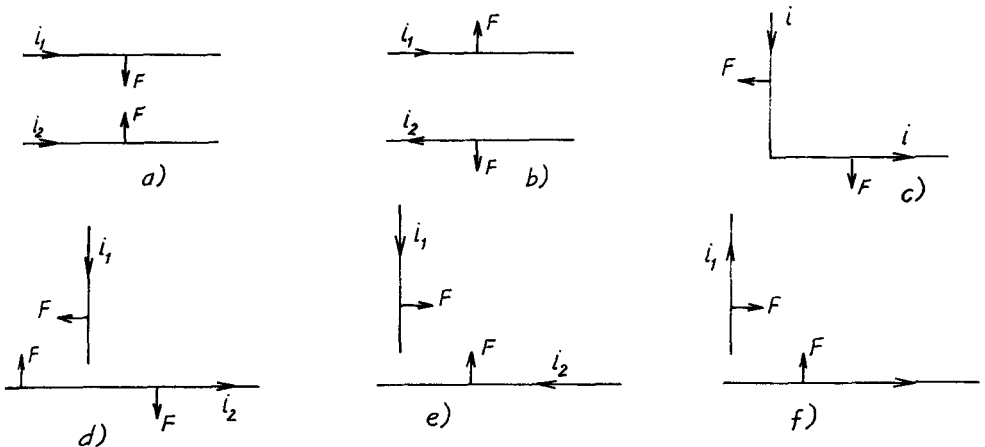
$$F = \frac{\partial W}{\partial x} = i_1 i_2 \frac{\partial M}{\partial x} \quad (3-11)$$

Trong (3-11) coi $\frac{\partial L_1}{\partial x} = \frac{\partial L_2}{\partial x} = 0$, tức điện cảm của mạch vòng không thay đổi).

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

3.1.3. Hướng của lực điện động

Trong trường hợp lực điện động tính theo định luật Bio - Xava - Laplace, trước tiên ta xác định hướng của vectơ từ cảm theo quy tắc vụn nút chai, sau đó xác định hướng của lực điện động theo quy tắc bàn tay trái. Trên cơ sở đó, ta tìm được hướng của lực điện động ở một số trường hợp thường gặp, trình bày ở hình 3-2.

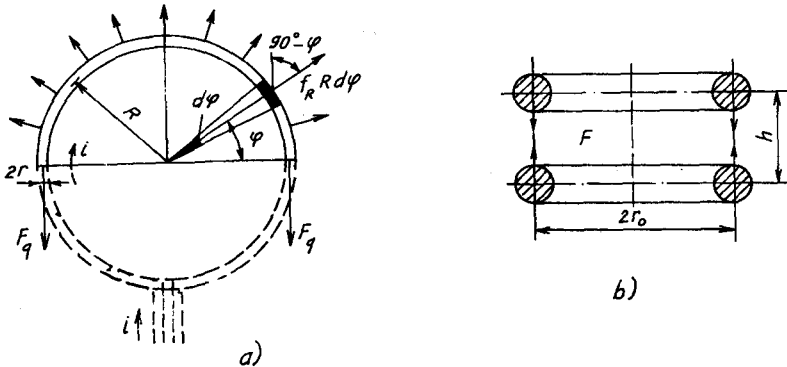


Hình 3-2. Hướng của LDD ở các trường hợp thông dụng.

Trường hợp hai dây dẫn song song có dòng điện cùng chiều (hình 3-2a), lực có xu hướng kéo chúng lại gần nhau; còn ở trường hợp hai dây dẫn song song có dòng điện ngược chiều nhau (hình 3-2b), LDD có xu hướng

đẩy chúng ra xa nhau. Ở trường hợp một dây dẫn vuông góc (hình 3-2c), LDD có xu hướng duỗi thẳng góc vuông ra; còn ở các trường hợp hai dây dẫn chéo nhau dưới một góc vuông (hình 3-2d, e, f), LDD có xu hướng khép kín góc vuông lại.

Trong trường hợp tính LDD theo phương pháp cân bằng năng lượng, hướng của nó làm năng lượng điện từ của mạch vòng hoặc hệ tăng lên, tức là từ thông của hệ đạt giá trị lớn hơn. Với trường hợp có một vòng dây (hình 3-3a), LDD có xu hướng kéo vòng dây to ra, còn trường hợp hai vòng dây của một cuộn dây (hình 3-3b), LDD do hổ cảm sinh ra, có xu hướng đẩy chúng lại gần nhau.

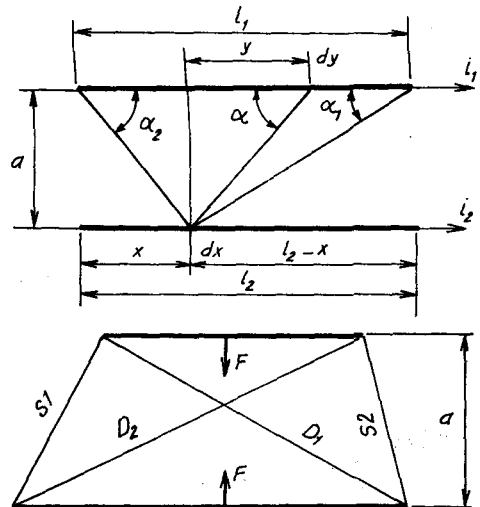


Hình 3-3. Hướng của LDD ở vòng dây (a) và bố trí dây (b).

3.2. TÍNH LDD Ở CÁC TRƯỜNG HỢP THƯỜNG GẶP

3.2.1. LDD ở các thanh dẫn song song

Trong trường hợp này LDD được tính theo định luật Bio - Xava - Laplace. Hướng của chúng phụ thuộc vào chiều dòng điện trong hai thanh dẫn, và đã được trình bày ở phần trước. Ta chỉ quan tâm đến độ lớn và điểm đặt của LDD.



Hình 3-4. Xác định LDD ở hai thanh dẫn song song.

Xét hai dây dẫn song song có đường kính rất bé so với chiều dài của chúng (hình 3-4) và có dòng điện i_1, i_2 , chiều dài tương ứng l_1, l_2 .

Từ cảm dB do dòng điện i_1 trong phân đoạn dy sinh ra tại phân đoạn dx trên dây dẫn l_2 với khoảng cách r (từ dy đến dx) được tính như sau:

$$dB = \mu_0 dH = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i_1 dy}{r^2} \sin \alpha \quad (3-12)$$

trong đó α là góc giữa dy và r.

Từ cảm do dòng điện i_1 trong dây dẫn l_1 tạo ra tại điểm dx trên l_2 là:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} i_1 \int_0^{l_1} \frac{\sin \alpha}{r^2} dy \quad (3-13)$$

Đặt các biến mới:

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

và thay chúng vào (3-13) ta được:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} i_1 \int_{\pi-\alpha_2}^{\alpha_1} \frac{\sin \alpha}{a} d\alpha = \frac{\mu_0}{4\pi} i_1 \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{a}$$

Lực điện động tác động tương hỗ giữa l_1 và dx là:

$$dF_x = B \cdot i_2 dx = \frac{\mu_0}{4\pi} i_1 i_2 \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{a} dx \quad (3-14)$$

Từ (3-14) suy ra công thức tính LDD giữa hai dây dẫn l_1 và l_2 , tác động lên dây dẫn thứ 2:

$$F_x = \int_0^{l_2} dF_x = \frac{\mu_0}{4\pi} i_1 i_2 \int_0^{l_2} \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{a} dx \quad (3-15)$$

$$\text{Thay } \cos \alpha_1 = \frac{l_1 - x}{\sqrt{(l_1 - x)^2 + a^2}}; \cos \alpha_2 = \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

và nếu $l_1 = l_2$, thì (3-15) có dạng:

$$F = 10^{-7} i_1 i_2 \frac{2l}{a} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} - \frac{a}{l} \right] \quad (3-16)$$

$$F = 10^{-7} i_1 i_2 \cdot K_c$$

trong đó: $K_c = \frac{2l}{a} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} - \frac{a}{l} \right]$ là hệ số kết cấu của mạch vòng.

Nếu $\frac{a}{l} \ll 1$, nghĩa là chiều dài dây dẫn rất lớn so với khoảng cách g

chúng thì $K_c = \frac{2l}{a}$. Vậy LDD lúc đó sẽ là:

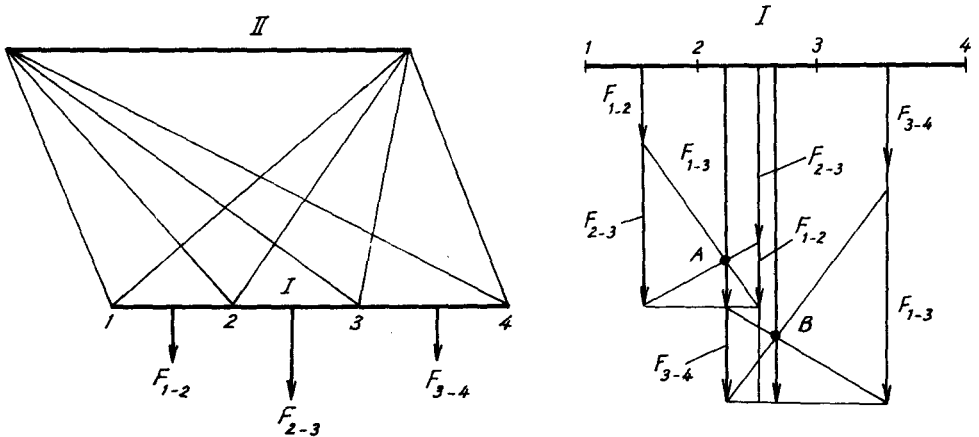
$$F = 10^{-7} \cdot \frac{2l}{a} \cdot i_1 \cdot i_2, \text{ N} \quad (3-17)$$

Trường hợp $l_1 \neq l_2$ và chúng đặt lệch nhau (hình 3-4b) thì hệ số kết cấu K_c có thể tính theo biểu thức sau:

$$K_c = \frac{\Sigma D_i - \Sigma S_i}{a} = \frac{(D_1 + D_2) - (S_1 - S_2)}{a} \quad (3-18)$$

trong đó: ΣD_i là tổng các đường chéo hình thang; ΣS_i là tổng các cạnh bên của hình thang; a là đường cao của hình thang.

Khi hai dây dẫn nằm lệch nhau thì điểm đặt của lực không nằm ở điểm giữa của dây dẫn mà được xác định bằng phương pháp giải tích - đồ thị (hình 3-5).



Hình 3-5. Xác định LDD bằng dựng hình.

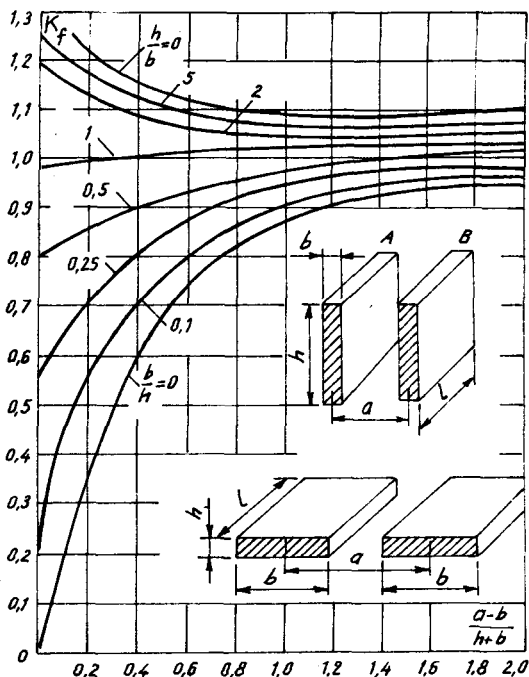
Trình tự xác định điểm đặt của LDD (hình 3-5) được tiến hành như sau : Chia dây dẫn II thành các phân đoạn, sao cho phân đoạn nào có LDD lớn thì chiều dài bé. Trên hình 3.5a, chia dây dẫn II thành 3 đoạn: 1-2, 2-3 và 3-4. Ta lần lượt tính LDD tác động lên các phân đoạn F_{1-2} , F_{2-3} và F_{3-4} theo công thức (3-16) và (3-18). Điểm đặt của các lực này nằm ở điểm giữa của các phân đoạn tương ứng. Tiếp theo ta xác định điểm đặt của lực

$F_{1-3} = F_{1-2} + F_{2-3}$ bằng cách sau: Đặt F_{2-3} nối tiếp với F_{1-2} và F_{1-2} nối tiếp với F_{2-3} (hình 3-5b). Hai đường chéo $F_{1-2} - F_{1-2}$ và $F_{2-3} - F_{2-3}$ cắt nhau tại A.

Từ A hạ đường vuông góc với dây dẫn II, cắt ở A_1 , A_1 chính là điểm đặt của lực F_{1-3} . Bằng cách tương tự, ta tìm được điểm đặt của F_{1-3} và F_{3-4} tại B_1 . Độ lớn của lực F_{1-4} sẽ bằng tổng các lực thành phần:

$$F_{1-4} = F_{1-2} + F_{2-3} + F_{3-4}.$$

Trong trường hợp tính lực giữa hai dây dẫn song song, ta bỏ qua kích thước mặt cắt (tiết diện) của thanh dẫn, nghĩa là coi dòng điện chỉ tập trung ở trục của thanh dẫn. Nhưng thực tế 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 LDD, và ảnh hưởng đó được thể hiện qua hệ số hình dạng K_f :



Hình 3-6. Quan hệ giữa hệ số hình dạng K_f và kích thước của vật dẫn.

$$F = 10^{-7} i_1 i_2 K_c K_f \quad (3-19)$$

Giá trị của K_f phụ thuộc vào khoảng cách, kích thước và vị trí tương hỗ giữa hai thanh dẫn và được cho ở đồ thị hình 3-6.

3.2.2. Lực điện động ở thanh dẫn vuông góc

Trong thiết bị điện, thường gặp trường hợp các chi tiết mạch vòng dẫn điện nằm vuông góc với nhau (hình 3-7).

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) và chiều dài thanh dẫn đứng rất lớn so với thanh dẫn ngang $l > a$ (hình 3-7).

Lực điện động tác động lên phân đoạn dx của thanh dẫn ngang được tính theo công thức:

$$dF_x = i.B_x dx \quad (3-10)$$

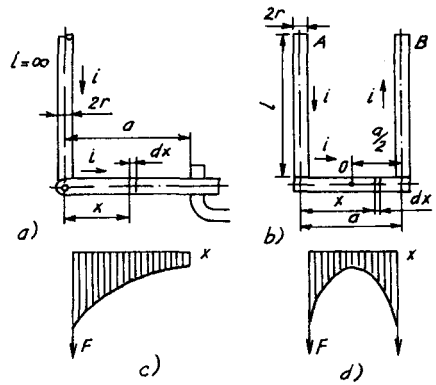
trong đó: $B_x = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i}{x}$ (3-20)

Thay (3-20) vào (3-19) ta được LDD tác động lên thanh dẫn ngang:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} i^2 \ln \frac{a}{r} \quad (3-21)$$

Nếu chiều dài l của thanh dẫn đứng là hữu hạn thì LDD sẽ bé hơn trị số ở biểu thức (3-21). Phân bố của LDD theo chiều dài thanh dẫn ngang được trình bày ở hình 3-7a.

Với mạch vòng có dạng như ở hình 3-7b (thường gặp ở máy cắt dầu và ở các thiết bị khác), tức là có hai thanh dẫn đứng và một thanh dẫn ngang thì LDD tác động lên thanh dẫn nằm ngang là tổng hợp của lực do thanh dẫn đứng phải và trái gây ra, nên độ lớn của nó sẽ gấp đôi độ lớn của lực một phía, còn sự phân bố lực theo chiều dài thanh dẫn ngang được cho ở hình 3-7b.



Hình 3-7. LDD ở thanh dẫn vuông góc.

3.2.3. Lực điện động ở vòng dây và bốt dây

Trong trường hợp này việc tính toán LDD được tính theo phương pháp cân bằng năng lượng.

- Lực điện động ở vòng dây với bán kính trung bình R , đường kính dây $2r$ với dòng điện chạy trong vòng dây là i (hình 3-3a). Với $r/R \leq 0,25$ thì điện cảm của vòng dây được tính theo công thức:

$$L = \mu_0 R \left(\ln \frac{8R}{r} - 1,75 \right) \quad (3-22)$$

Lực điện động tác dụng lên vòng dây theo hướng kính là:

$$F_R = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{dR} \quad (3-23)$$

Thay (3-22) vào (3-23) và biến đổi, ta có:

$$F_R = \frac{\mu_0}{2} i^2 \ln \left(\frac{8R}{r} - 0,75 \right) \quad (3-24)$$

Lực F_R phân bố đều trên toàn vòng dây với chiều dài $2\pi R$, vì vậy LDD

tác động lên một đơn vị chiều dài của vòng dây được tính bằng:

$$f_R = \frac{F}{2\pi R} = \frac{\mu_0}{4\pi R} i^2 \ln\left(\frac{8R}{r} - 0,75\right).$$

Thành phần lực F_q có xu hướng kéo đứt nửa vòng dây (hình 3-3b) là:

$$F_q = \int_0^{\pi/2} f_R R \sin\varphi \cdot d\varphi = 10^{-7} i^2 \ln\left(\frac{8R}{r} - 0,75\right) \quad (3-25)$$

- Lực điện động ở hai vòng dây song song (hình 3-8b) được tính theo phương pháp cân bằng năng lượng. Năng lượng từ do hồ cảm giữa hai vòng dây có dòng điện i_1, i_2 đi qua là:

$$W = i_1 i_2 M$$

Lực điện động tác động lên chúng theo chiều dọc trục sẽ là:

$$F = \frac{dW}{dh} = i_1 i_2 \frac{dM}{dh} \quad (3-26)$$

Với $\frac{h}{2R} < 0,2$ thì hồ cảm M có thể tính theo:

$$M = \mu_0 R \left(\ln \frac{8R}{h} - 2 \right) \quad (3-27)$$

Đạo hàm (3-27) thu khoảng cách h giữa 2 vòng dây, ta có:

$$\frac{dM}{dh} = \mu_0 \frac{R}{h}$$

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

$$F_h = \mu_0 i_1 i_2 \frac{R}{h} \quad (3-28)$$

Lực này càng lớn khi dòng điện lớn, khoảng cách giữa hai vòng dây h càng bé và bán kính bởi dây càng lớn. Trong một 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, nhất là khi có dòng ngắn mạch lớn, việc tìm biện pháp để giảm bớt lực điện động, tăng độ bền cơ của nó cần được lưu ý khi tính toán.

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

Khi tiết diện thanh dẫn thay đổi, thường gặp ở các trường hợp dòng điện đi từ chi tiết này đến chi tiết khác, đường đi của dòng điện bị biến

dạng, vì vậy ở đó xuất hiện LDD và lực này có xu hướng làm thẳng phần cong của dòng điện (hình 3-8). Xác định lực điện động ở trường hợp này theo định luật Bio - Xava - Laplace.

Nếu dòng điện phân bố đều trong tiết diện, thành phần dọc trục của LDD được tính theo công thức:

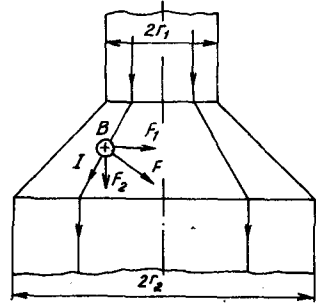
$$F_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} i^2 \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad (3-29)$$

hoặc:

$$F_2 = 10^{-7} i^2 \ln \sqrt{\frac{q_2}{q_1}}, \quad \text{N} \quad (3-30).$$

trong đó q_1 là tiết diện chỗ tiếp xúc; q_2 là tiết diện thanh dẫn.

Khi bị ngắn mạch, lực điện động ở (3-30) sẽ đẩy hai tiếp điểm cách xa nhau, tạo nên các hiện tượng phức tạp, phá hỏng tiếp điểm. Muốn tiếp xúc điện bền vững thì lực ép tiếp điểm phải lớn hơn lực điện động.



Hình 3-8. LDD ở thanh dẫn có tiết diện thay đổi.

3.2.5. Lực điện động giữa dòng điện và môi trường sắt từ

Xét một dây dẫn mang dòng điện i , cách môi trường sắt từ một quãng a (hình 3-9). LDD tác động giữa dòng điện và môi trường sắt từ có xu hướng kéo dây dẫn về phía môi trường sắt từ để từ thông móc vòng của chúng lớn hơn. Người ta có thể thay thế môi trường sắt từ bằng một dòng điện i' cùng chiều với i và cách mặt ngăn khoảng a' (phương pháp ảnh gương). Nếu từ thẩm của môi trường sắt từ là vô cùng lớn $\mu_{Fe} \gg \mu_0$ thì $i = i'$, $a = a'$ và LDD tác động lên dây dẫn tương đương với LDD giữa hai dây dẫn có cùng dòng điện, cách nhau một khoảng $2a$:

$$F = 10^{-7} i^2 \frac{2l}{a}, \quad \text{N}.$$

Buồng dập hồ quang kiểu dần dập ở các thiết bị điện đóng cắt dòng điện lớn dùng hiệu ứng LDD giữa dòng điện và môi trường sắt từ để dập hồ quang. Trên hình 3-10 mô tả mặt cắt của buồng dập, là tấm thép có độ từ thẩm cao, có cấu tạo hình V. Dòng điện hồ quang chạy trong khe hình V. Lực điện động kéo dài hồ quang được tính theo công thức:

$$F_x = \frac{dW}{dx} = \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} i \cdot \psi \right) = \frac{1}{2} i \frac{d\Phi_x}{dx} \quad (3-31)$$

Từ thông tại điểm x là:

$$d\Phi_x = I \cdot dG_x = \mu_0 I \frac{l \cdot dx}{\delta_x} \quad (3-32)$$

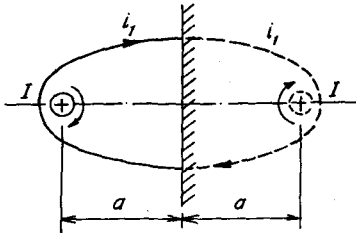
trong đó: i là dòng điện hồ quang; l là bề dày của tấm thép hình V; dG_x là từ dẫn tại vị trí δ_x .

Thay $d\Phi_x$ ở (3-32) vào (3-31), ta có:

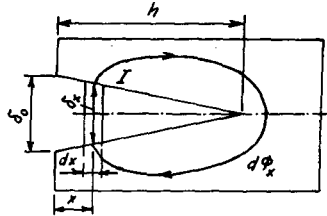
$$F_x = \frac{1}{2} I \frac{d\Phi_x}{dx} = \frac{1}{2} \mu_0 I^2 \frac{l}{\delta_x} = 2\pi \cdot 10^{-7} I^2 \frac{l \cdot h}{\delta_0 (h - x)}, \text{ N} \quad (3-33)$$

Từ công thức (3-33) ta nhận thấy rằng, lực kéo dài hồ quang lớn khi dòng điện lớn, x lớn và δ_0 bé, nghĩa là khe chữ V càng hẹp và hồ quang càng tiến dần đến tấm thép.

Khi tính toán hồ quang, công thức (3-33) chỉ có tính định hướng, vì hiện tượng hồ quang khá phức tạp.



Hình 3-9. Phương pháp ảnh gương.



Hình 3-10. Tấm thép non trong buồng dập hồ quang.

3.3. LỰC ĐIỆN ĐỘNG Ở ĐIỆN XOAY CHIỀU

Ở điện xoay chiều, vì dòng điện thay đổi tuần hoàn theo thời gian nên LDD cũng sẽ biến đổi theo quy luật nhất định. Ta sẽ lần lượt xét tới hai trường hợp thường gặp: mạch điện một pha và mạch điện ba pha.

3.3.1. Lực điện động ở mạch một pha

Ở chế độ xác lập, dòng điện chỉ có thành phần chu kỳ theo quy luật:

$$i = \sqrt{2} I_m \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

thì LDD giữa hai dây dẫn có dạng:

$$F = 10^{-7} K_c I_m^2 \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} F_m (1 - \cos 2\omega t) \quad (3-34)$$

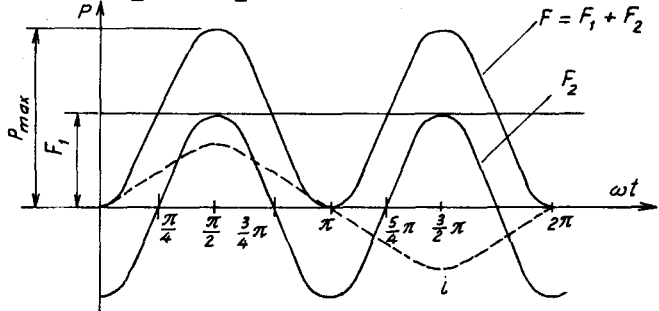
trong đó $F_m = 10^{-7} K_c I_m^2$ là trị biên độ của LDD, N; I_m là trị biên độ của dòng điện, A.

Từ (3-34) ta nhận thấy rằng, LDD có hai thành phần, thành phần không đổi F_1 và thành phần biến đổi F_2 :

$$F = F_1 + F_2 = \frac{F_m}{2} - \frac{F_m}{2} \cos 2\omega t$$

trong đó thành phần biến đổi F_2 có tần số gấp đôi tần số của dòng điện.

Trong một chu kỳ, trị số trung bình của LDD là:



Hình 3-11. LDD ở dòng điện xoay chiều ở chế độ xác lập.

$$F_{tb} = -\frac{1}{2} \int_0^T F \cdot dt = \frac{F_m}{2} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-7} K_c I_m^2 = 10^{-7} K_c I^2 \quad (3-35)$$

Đồ thị của LDD và dòng điện theo thời gian được cho ở hình 3-11.

Ở chế độ quá độ, dòng điện gồm hai thành phần: chu kỳ và không chu kỳ:

$$i = I_m(e^{-t/T} - \cos \omega t) \quad (3-36)$$

trong đó: $T = \frac{L}{R}$ là hằng số thời gian của mạch.

R, L là điện trở, điện cảm của mạch.

Sau thời gian $t = \frac{\pi}{\omega}$, dòng điện trong mạch đạt trị số lớn nhất, còn gọi là trị số xung kích của dòng điện:

$$i_{XK} = I_m(1 + e^{-\pi/\omega T}) = K_{XK} I_m \quad (3-37)$$

trong đó hệ số xung kích:

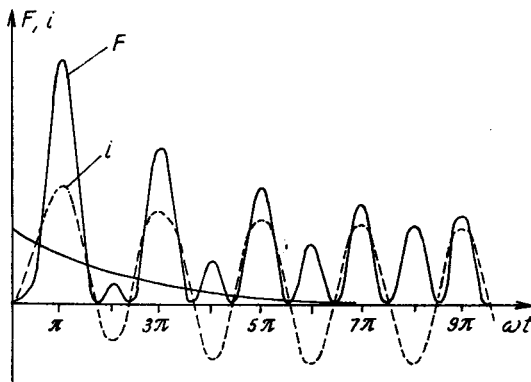
$$K_{XK} = 1 + e^{-\pi/\omega T} \quad (3-38)$$

Từ (3-38) ta nhận thấy rằng, khi tần số không đổi, K_{XK} phụ thuộc vào T: Nếu T lớn (L lớn, R bé) thì K_{XK} lớn. Thông thường khi tính toán lấy $K_{XK} = 1,8$. Vì vậy với trị số dòng xung kích, LDD sẽ đạt trị số lớn nhất khi $\omega t = \pi$:

$$F_m = 10^{-7} K_c (K_{XK} I_m)^2 = 3,24 \cdot 10^{-7} K_c I_m^2 \quad (3-39)$$

Quan hệ giữa dòng điện, LDD theo thời gian được trình bày ở hình 3-12 khi kể đến thành phần không chu kỳ của dòng điện.

Từ (3-39) ta nhận thấy rằng, LDD khi có cả thành phần không chu kỳ tăng 3,24 lần so với LDD chỉ có thành phần chu kỳ. Sau khi thành phần không chu kỳ tắt (sau khoảng 4 đến 5 chu kỳ), LDD chỉ còn do dòng điện chu kỳ tạo nên.



Hình 3-12. Dòng điện và LDD ở chế độ quá độ.

3.3.2. Lực điện động ở mạch điện ba pha

Xét ba dây dẫn của ba pha nằm trong cùng một mặt phẳng có các dòng điện i_A, i_B, i_C với $I_A = I_B = I_C$. Nếu không kể tới thành phần không chu kỳ thì dòng điện ở các pha lệch nhau một quá $2\pi/3$:

$$i_A = I_m \sin \omega t; i_B = I_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}); i_C = I_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

Lực điện động tác động lên từng dây dẫn được tính như sau:

$$\left. \begin{aligned} F_A &= F_{AB} + F_{AC} \\ F_B &= F_{BA} + F_{BC} \\ F_C &= F_{CA} + F_{CB} \end{aligned} \right\} \quad (3-40)$$

trong đó: $F_{pq} = F_{qp}$ là lực giữa các dây dẫn pha p và pha q.

$$\left. \begin{aligned} F_{AB} &= F_{BA} = C_I I_m^2 \sin \omega t \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ F_{AC} &= F_{CA} = \frac{1}{2} C_I I_m^2 \sin \omega t \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \\ F_{BC} &= F_{CB} = C_I I_m^2 \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{aligned} \right\} \quad (3-41)$$

$C_1 = 10^{-7} \cdot \frac{2l}{a}$, với l là chiều dài dây dẫn; a là khoảng cách giữa hai

pha cạnh nhau

Thay (3-41) vào (3-40) và tìm giá trị cực đại của F_A , F_B , F_C , ta thu được:

$$\left. \begin{aligned} F_{AmD} &= -0,805C_1 I_m^2; F_{AmK} = 0,055C_1 I_m^2 \\ F_{BmD} &= F_{BmK} = 0,870C_1 I_m^2 \\ F_{CmD} &= 0,805C_1 I_m^2; F_{CmK} = -0,055C_1 I_m^2 \end{aligned} \right\} \quad (3-42)$$

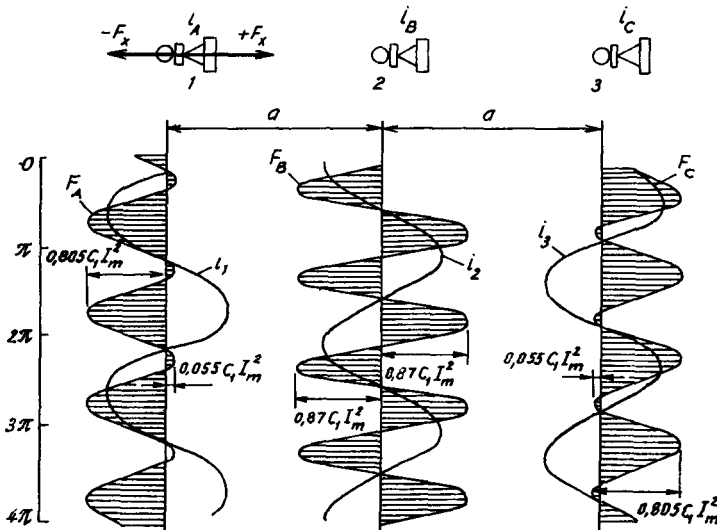
Ký hiệu "Đ" chỉ lực đẩy; "K" chỉ lực kéo, và ta nhận thấy rằng:

$$F_{AmD} = -F_{CmD}; F_{AmK} = -F_{CmK}; F_{BmD} = F_{BmK}$$

Quan hệ giữa dòng điện, LDD theo thời gian ở mạch ba pha được mô tả ở hình 3-13. Ở pha giữa (pha B), LDD có trị số lớn nhất và lực kéo bằng lực đẩy: $F_{Bm} = 0,870C_1 I_m^2$.

Còn ở hai pha cạnh, lực đẩy lớn: $F_{mD} = 0,805C_1 I_m^2$; lực kéo bé: $F_{mK} = 0,055C_1 I_m^2$.

Trong trường hợp có thành phần không chu kỳ (ở chế độ quá độ) thì trị số biên độ sẽ tăng lên bình phương dần hệ số xung kích, tức là $1,8^2 = 3,24$ lần.



Hình 3-13. LDD ở hệ ba pha.

3.3.3. Độ bền điện động của thiết bị điện

Khi bị ngắn mạch, LDD do dòng ngắn mạch sinh ra khá lớn, có thể gây ra hỏng hóc các thiết bị điện. Khả năng chịu LDD lớn nhất của thiết bị điện chính là độ bền điện động của thiết bị điện:

$$F_{TBD} \geq F_{LDDmax}$$

F_{TBD} - khả năng chịu lực (độ bền) của thiết bị điện;

F_{LDDmax} - trị số lớn nhất của LDD do dòng điện ngắn mạch sinh ra khi đi qua thiết bị điện.

Vậy độ bền điện động của thiết bị điện được cho dưới dạng dòng ngắn mạch xung kích. Khi chọn thiết bị điện 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.

3.3.4. Cộng hưởng cơ khí

Ở mạch điện xoay chiều, thành phần biến thiên của LDD dao động với tần số gấp đôi tần số của dòng điện, nên sẽ rất nguy hiểm đối với thiết bị điện khi tần số dao động riêng của hệ thống xấp xỉ bằng tần số dao động của LDD. Trong trường hợp hai tần số dao động bằng nhau sẽ xảy ra hiện tượng cộng hưởng, làm biên độ của LDD tăng lên nhiều lần, có thể phá hỏng kết cấu của thiết bị.

Để tránh hiện tượng cộng hưởng cơ khí không mong muốn này, người ta phải tính toán sao cho tần số dao động cơ khí của hệ khác xa tần số dao động của LDD.

Ở hệ thanh dẫn tiết diện chữ nhật hoặc tròn, tần số dao động riêng của chúng được tính theo công thức:

$$f_0 = \frac{K}{l^2} \sqrt{\frac{E.J}{\gamma.g.q}}$$

trong đó: γ là khối lượng riêng của vật liệu thanh dẫn, kg/m^3 ;

$g = 9,81\text{m/s}^2$ là gia tốc trọng trường;

E là môđun đàn hồi thanh dẫn, Pa;

J là mômen quán tính tiết diện thanh dẫn, m^4 ;

q là tiết diện thanh dẫn, m^2 ;

l là chiều dài thanh dẫn, m;

K là hệ số phụ thuộc vào cách cố định thanh dẫn: $K = 11,2$ với thanh dẫn bắt chặt cả hai đầu trên sứ cách điện; $K = 7,8$ với thanh dẫn một đầu bắt chặt, một đầu tự do nằm trên sứ đỡ; $K = 4,9$ với thanh dẫn có hai đầu tự do nằm trên sứ đỡ.

Từ công thức tính tần số dao động riêng của thanh dẫn ta nhận thấy rằng, có thể thay đổi f_0 bằng cách thay đổi l , thay đổi K và mômen quán tính J . Một trong những biện pháp để tránh cộng hưởng cơ khí là sử dụng dây dẫn mềm.

3.4. VÍ DỤ VỀ TÍNH TOÁN LỰC ĐIỆN ĐỘNG

Xác định LDD tác động lên thanh dẫn động của máy cắt dầu (hình 3-14), biết:

$$I_{nm} = 50 \text{ kA}; r = 1,75 \cdot 10^{-2} \text{ m};$$

$$a = 28 \cdot 10^{-2} \text{ m}; l = 50 \cdot 10^{-2} \text{ m}.$$

Trị xung kích của dòng điện ngắn mạch là:

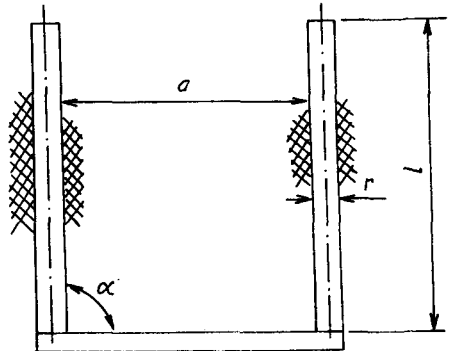
$$i_{XK} = K_{XK} \cdot I_{nm} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 50 \cdot 10^3 = 126,9 \cdot 10^3 \text{ A}$$

Lực điện động tác động lên thanh dẫn ngang:

$$F = 2 \cdot \frac{\mu_0}{4\pi} i^2 \ln \frac{a}{r(\sqrt{\frac{a^2}{l^2} + 1})}$$

Thay số vào ta được $F = 8502,7 \text{ N} = 834 \text{ kG}$.

Để tránh LDD lớn tác động lên thanh dẫn động, ở máy cắt dầu, thanh dẫn tĩnh thường cắt thanh dẫn động góc $\alpha > 90^\circ$.



Hình 3-14. Mạch vòng dẫn điện máy cắt dầu.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 3

1. Nguyên nhân sinh ra lực điện động. Tại sao cần quan tâm đến lực điện động trong các thiết bị điện công suất lớn?
2. Các phương pháp tính lực điện động và đặc điểm của chúng.
3. Cách xác định hướng của lực điện động, áp dụng cho trường hợp hai dây dẫn song song có dòng điện cùng chiều và ngược chiều.
4. Tại sao khi tính toán lực điện động, người ta chỉ quan tâm đến trị số lớn nhất của dòng điện chứ không quan tâm đến thời gian dòng điện đi qua?
5. Lực điện động ở dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều một pha khác nhau như thế nào?
6. Thế nào là độ bền điện động của thiết bị điện? Giải thích.
7. Khi nào xảy ra hiện tượng cộng hưởng cơ khí trong hệ thống các thanh dẫn điện? Các biện pháp tránh cộng hưởng cơ khí.
8. Tính lực điện động ở hai thanh dẫn có dòng điện ngược chiều nhau với các kích thước: chiều cao $l = 4000\text{mm}$, khoảng cách giữa chúng $a = 100\text{mm}$, bỏ qua hệ số hình dáng của thanh dẫn.
 - a) Trường hợp dòng điện một chiều $I_{\text{nm}} = 50\text{kA}$.
 - b) Trường hợp dòng điện xoay chiều 50Hz , $I_{\text{nm}} = 50\text{kA}$.

HỒ QUANG ĐIỆN

4.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ HỒ QUANG ĐIỆN

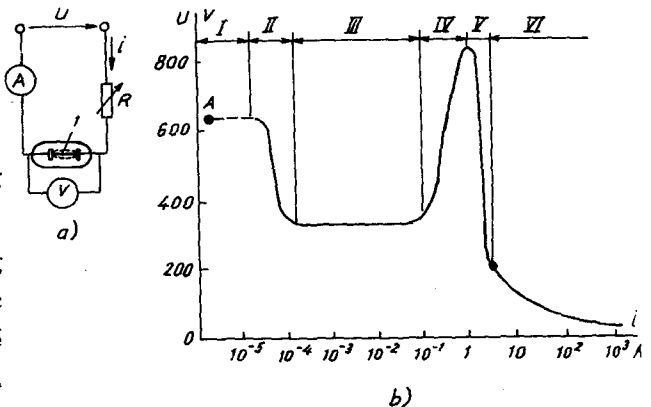
4.1.1. Quá trình phóng điện trong chất khí

Ở điều kiện bình thường, chất khí hầu như không dẫn điện và là môi trường cách điện tốt. Nếu đặt lên hai điện cực trong môi trường không khí một điện trường có cường độ đủ lớn thì có thể phá vỡ tính cách điện của chất khí: nó trở nên dẫn điện và có khả năng dẫn dòng điện lớn, phụ thuộc vào tính chất của chất khí, áp suất của nó, nhiệt độ môi trường, vật liệu làm điện cực, độ lớn của cường độ điện trường...

Mạch điện ở hình 4.1a đặc trưng cho quá trình phóng điện trong chất khí. Hai điện cực bằng kim loại đặt trong ống kín có chất khí với áp suất thấp được mắc nối tiếp với biến trở R và nối với nguồn điện áp U . Ampe mét đo dòng điện trong mạch, còn vôn mét đo điện áp trên hai cực. Đặc tính giữa điện áp và dòng điện được trình bày ở hình 4-1b và được gọi là đặc tính vôn - ampe tính của quá trình phóng điện trong chất khí.

Đặc tính này được chia làm 6 vùng (hình 4-1b) với những đặc trưng sau:

Vùng I là vùng phóng điện tối, được đặc trưng bằng dòng điện bé và chưa có hiệu ứng ánh sáng.



Hình 4-1. Quan hệ giữa dòng điện, điện áp trong chất khí.

- Vùng II là vùng quá độ từ phóng điện tối đến phóng điện vàng quang, được đặc trưng bằng sự tăng của dòng điện, sự giảm của điện áp và sự xuất hiện của hiệu ứng ánh sáng.

- Vùng III là vùng phóng điện vàng quang bình thường, được đặc trưng bằng điện áp không đổi trong khi dòng điện thay đổi.

- Vùng IV là vùng phóng điện vàng quang không bình thường được đặc trưng bằng sự thay đổi của điện áp và dòng điện.

- Vùng V là vùng quá độ từ phóng điện vàng quang đến phóng điện hồ quang, được đặc trưng bằng sự tăng nhanh chóng của dòng điện.

- Vùng VI là vùng phóng điện hồ quang, được đặc trưng bằng điện áp thấp, mật độ dòng điện lớn, nhiệt độ vùng hồ quang cao và hiệu ứng ánh sáng mạnh.

Hiện tượng hồ quang điện được phát minh bởi nhà bác học người Nga V. Petrov năm 1802.

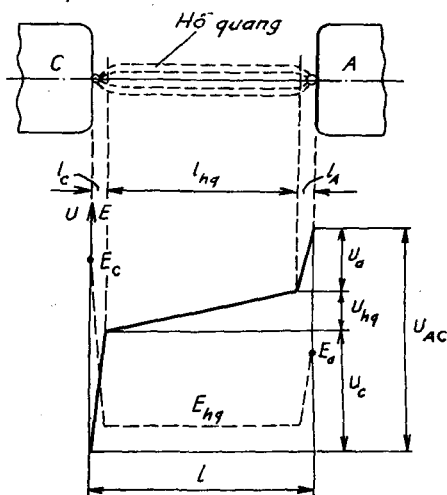
Hồ quang điện là hiện tượng phóng điện trong chất khí với mật độ dòng điện lớn (10^2 đến 10^3 A/mm²), điện áp rơi trên catốt bé (10 đến 20 V), nhiệt độ hồ quang cao (6000 đến 18000 °K) và kèm theo hiệu ứng ánh sáng. Hồ quang điện là quá trình điện và nhiệt liên quan mật thiết với nhau. Trên hình 4-2 trình bày sự phân bố điện áp, cường độ điện trường của hồ quang: vùng anốt, vùng catốt và vùng thân hồ quang:

$$U_{AC} = U_A + U_C + U_{hq}$$

Vùng catốt với khoảng cách ngắn (cỡ 10^{-3} mm) với U_C cỡ 10 đến 20 V, nên cường độ điện trường ở vùng này khá lớn, đến $20 \cdot 10^3$ V/mm*. Trị số này phụ thuộc vào vật liệu làm điện cực và đặc tính của chất khí.

Vùng anốt có điện áp rơi thấp, cỡ 5 đến 20 V và chiều dài cỡ 10^{-2} mm, vì vậy E_A thấp hơn nhiều so với E_C .

Vùng thân hồ quang có cường độ điện trường E_{hq} gần như không đổi, cỡ từ 1 đến 20 V/mm, phụ thuộc vào tính dẫn nhiệt, tốc độ chuyển động của các



Hình 4-2. Đặc tính hồ quang điện.

phần tử khí, vận tốc di chuyển của hồ quang. Điện áp rơi trên thân hồ quang U_{thq} phụ thuộc vào chiều dài của hồ quang và được tính theo công thức:

$$U_{thq} = E_{hq} \cdot l_{hq}$$

Trong công nghệ, hồ quang điện được sử dụng như là nhân tố hữu ích ở các quá trình hàn điện, lò hồ quang..., vì vậy ở đây cần hồ quang cháy ổn định. Trong các thiết bị điện đóng cắt, hồ quang phát sinh trong quá trình chuyển mạch điện, và là nhân tố không mong muốn, vì vậy cần phải giảm hồ quang tới mức tối thiểu. Muốn tìm hiểu kỹ hồ quang điện, ta phải khảo sát nguyên nhân phát sinh và dập tắt hồ quang: đó là quá trình ion hoá và phân ion trong vùng hồ quang.

4.1.2. Quá trình ion hoá

Ở điều kiện bình thường, môi trường khí gồm các phần tử trung hoà nên nó không dẫn điện. Nếu các phần tử trung hoà đó bị phân tích thành các điện tử tự do, các ion dương, ion âm thì nó trở thành dẫn điện. Quá trình tạo ra các điện tử tự do và các ion trong chất khí được gọi là quá trình ion hoá. Quá trình này có thể xảy ra dưới tác dụng của ánh sáng, nhiệt độ, điện trường, va đập... và có các dạng ion hoá sau:

- Tự phát xạ điện tử
- Phát xạ nhiệt điện tử
- Ion hoá do va chạm
- Ion hoá do nhiệt độ cao

Sau đây ta sẽ lần lượt xét các quá trình trên.

- *Tự phát xạ điện tử*, hay còn gọi là phát xạ nguội của điện tử. Nếu có một điện trường đủ mạnh đặt lên điện cực, các điện tử tự do được cấp thêm năng lượng và có thể bứt ra khỏi điện cực. Quá trình này phụ thuộc vào cường độ điện trường E và vật liệu làm điện cực:

$$J_{ac} = 120 \cdot E^2 \cdot e^{-b/E} \quad (4-2)$$

trong đó: J_{ac} - mật độ dòng điện do tự phát xạ điện tử sinh ra;

E là cường độ điện trường ở catốt;

b là thông số phụ thuộc vào vật liệu catốt.

- *Phát xạ nhiệt điện tử*. Khi nhiệt độ của catốt cao, các điện tử tự do

trong điện cực có động năng lớn, có thể thoát ra khỏi bề mặt kim loại, tạo nên dòng điện trong chất khí: đó là hiện tượng phát xạ nhiệt điện tử. Quá trình phát xạ nhiệt điện tử phụ thuộc vào nhiệt độ điện cực, vật liệu làm điện cực và được biểu diễn theo công thức:

$$J_{Te} = 120.T^2.e^{-b/T} \quad (4-2)$$

trong đó: J_{Te} là mật độ dòng điện do phát xạ nhiệt điện tử sinh ra; T là nhiệt độ tuyệt đối của catốt; b là thông số phụ thuộc vào kim loại làm điện cực.

Ở các đèn điện tử chân không, sợi đốt làm nhiệm vụ phát xạ nhiệt điện tử. Ở các tiếp điểm của các thiết bị điện đóng cắt, trong quá trình cắt, tiếp điểm động rời khỏi tiếp điểm tĩnh làm điện trở tiếp xúc tăng, tổn hao lớn, nhiệt độ tiếp điểm cao, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình phát xạ nhiệt điện tử. Tại thời điểm hai tiếp điểm mới tách nhau ra, cường độ điện trường giữa chúng khá lớn, thuận lợi cho việc tự phát xạ điện tử. Từ công thức (4-1) và (4-2) ta nhận thấy rằng, mật độ dòng điện do phát xạ điện tử càng lớn khi nhiệt độ điện cực cao và điện trường đặt lên nó lớn.

- *Ion hoá do va chạm*. Dưới tác dụng của điện trường với cường độ cao (cỡ 10^3 V/mm), các điện tử tự do chuyển động với vận tốc lớn, đủ để bắn phá các phân tử trung hoà, tạo ra các ion âm và ion dương mới, đó là quá trình ion hoá do va chạm. Quá trình này phụ thuộc vào cường độ điện trường, mật độ các phân tử trong vùng điện cực, lực liên kết phân tử, khối lượng của phân tử....

- *Ion hoá do nhiệt độ cao*: Khi nhiệt độ chất khí càng cao, chuyển động nhiệt của nó lớn, dễ va chạm và tách thành các ion, đó là quá trình ion hoá do nhiệt độ. Quá trình này phụ thuộc vào nhiệt độ vùng hồ quang, mật độ các phân tử khí và đặc tính của chất khí. Với không khí, nếu nhiệt độ thân hồ quang cỡ 8000 đến 9000°K thì ion hoá do nhiệt độ đóng vai trò chủ yếu. Vì vậy quá trình tạo nên hồ quang điện được gắn liền với quá trình nhiệt.

4.1.3. Quá trình phản ion

Quá trình phản ion là quá trình ngược lại với quá trình ion hoá, tức là quá trình suy giảm số lượng ion trong vùng hồ quang. Nguyên nhân chính của quá trình phản ion là tái hợp và khuếch tán.

- *Tái hợp*: là hiện tượng các hạt mang điện trái dấu va chạm nhau, tạo thành các phân tử trung hoà. Quá trình này phụ thuộc vào mật độ các

phần tử trong vùng hồ quang, nhiệt độ của hồ quang... Mức độ tái hợp có thể biểu diễn bằng công thức:

$$\left| \frac{dn}{dt} \right|_r = \alpha \cdot n^2 \quad (4-3)$$

trong đó: $\left| \frac{dn}{dt} \right|_r$ là tốc độ suy giảm các ion do tái hợp (r-recombination - tái hợp); α là hệ số tái hợp, phụ thuộc vào đặc tính của chất khí, áp suất, nhiệt độ; n là số lượng các ion cùng dấu trong vùng thân hồ quang (ở chế độ xác lập $n^+ = n^-$).

- *Khuếch tán* là hiện tượng di chuyển các ion ở vùng có mật độ cao tới vùng có mật độ thấp, làm giảm số lượng ion trong vùng hồ quang. Mức độ khuếch tán được biểu diễn qua công thức:

$$\left| \frac{dn}{dt} \right|_d = \frac{2D \cdot n}{r^2} \quad (4-4)$$

$|dn/dt|_d$ - tốc độ suy giảm các ion do khuếch tán (d-diffusion - khuếch tán); D là hệ số khuếch tán, phụ thuộc vào khoảng cách tự do λ của các ion và vận tốc trung bình v của chúng:

$$D = \frac{1}{3} \lambda \cdot v$$

n - số lượng ion cùng dấu trong vùng hồ quang; r - bán kính thân hồ quang.

Từ công thức (4-4) ta nhận thấy rằng, mức độ khuếch tán tăng khi bán kính r của thân hồ quang giảm, số lượng ion trong vùng hồ quang tăng và vận tốc trung bình của nó tăng.

Trong hồ quang điện, tồn tại song song hai quá trình ion hoá và phản ion. Nếu quá trình ion hoá lớn hơn quá trình phản ion, hồ quang sẽ phát sinh và phát triển mạnh, dòng điện hồ quang sẽ tăng. Nếu quá trình ion hoá cân bằng với quá trình phản ion, dòng điện hồ quang không tăng và hồ quang cháy ổn định. Nếu quá trình ion hoá bé hơn quá trình phản ion thì dòng điện hồ quang sẽ suy giảm và hồ quang sẽ tắt. Hồ quang điện là một điện trở phi tuyến có quan hệ khá phức tạp.

4-1-4. Mô hình toán học của hồ quang điện

1- Cân bằng năng lượng trong plasma

Thực tế, hồ quang điện được dập tắt trong máy cắt xảy ra rất phức tạp

và không thể giải thích chính xác về mặt định lượng. Tuy nhiên để sử dụng mô hình định lượng trên cơ sở những tính chất chung của trạng thái plasma hồ quang ở trên ta phải có những hiểu biết cơ bản về máy cắt điện.

Tính chất động của plasma hồ quang nằm trong mối quan hệ với năng lượng cân bằng được biểu diễn bằng công thức sau:

$$EI = \frac{dQ}{dt} - \text{div}(\vec{p}_u) - \text{div}(\vec{K} \cdot \text{grad}(\vec{T})) + \vec{u} \cdot \text{grad}(\vec{p}_h) + S(\vec{T}) \quad (4-5)$$

trong đó: EI- công suất vào trên đơn vị dài [W];

Q- năng lượng tích trữ trong hồ quang [J];

t- thời gian tính bằng giây [sec];

–div($\vec{p}_u$) - tổn thất năng lượng do giảm entropi [W];

div($\vec{K} \cdot \text{grad}(\vec{T})$) - tổn thất dẫn nhiệt [W];

$\vec{u} \cdot \text{grad}(\vec{p}_h)$ - tổn thất lưu lượng (tổn thất đối lưu) [W];

S(T)- tổn thất bức xạ [W].

Công thức (4-5) biểu thị nhiệt năng thoát ra là như nhau, độ tăng tổng năng lượng tích lũy bằng với tổn thất nhiệt.

Mô hình phân tích của Mayr và Cassie đã giải quyết những tính chất của hồ quang điện một cách tổng quát dựa trên những kết quả đã có. Trong những mô hình đó, hồ quang điện coi như một phần tử mạch mà có thể được biểu diễn bằng một điện trở R hoặc một điện dẫn G. Mô hình toán học của Mayr và Cassie được phác thảo ở bảng 4-1.

2- Mô hình hồ quang điện của Mayr

Trong mô hình hồ quang điện của Mayr, hồ quang được đồng nhất với một cột hình trụ có đường kính không đổi và chế độ dẫn của hồ quang quá độ sang ion hóa. Hơn nữa, một hằng số tổn thất nhiệt N_0 , giả sử nhiệt dẫn được đưa vào biểu thức cân bằng năng lượng. Điện dẫn của hồ quang G, mức độ ion hóa thu được từ biểu thức Saha và để cho thuận tiện biểu thức biểu diễn với một sai số chấp nhận được là:

$$G = K \exp\left(\frac{Q}{Q_0}\right) \quad (4-6)$$

trong đó: K và Q_0 là các hằng số.

Biểu thức tính năng lượng cân bằng:

$$EI = \frac{dQ}{dt} + N_0 \quad (4-7)$$

Từ đó, suy ra công thức Mayr:

$$\frac{1}{G} \frac{dG}{dt} = \frac{1}{\theta} \left(\frac{EI}{N_0} - 1 \right) \quad (4-8)$$

trong đó: $\theta = Q_0/N_0$ có thứ nguyên thời gian và được gọi là hằng số thời gian hồ quang. Nó xảy ra đồng thời với hằng số thời gian làm mát hồ quang khi nguồn nhiệt và hồ quang thoát đi. Mô hình hồ quang của Mayr phù hợp cho phân tích phạm vi dòng tương đối nhỏ.

3- Mô hình hồ quang điện của Cassie

Trong mô hình của Cassie, mức độ ion hóa hồ quang đủ lớn và sự chuyển trạng thái dẫn của hồ quang thay đổi theo mật cắt ngang. Công thức cân bằng năng lượng cây dựng trên giả thiết rằng tổn thất nhiệt N phụ thuộc chủ yếu vào tổn thất bức xạ và tỷ lệ với diện tích mặt cắt hồ quang A . Tương tự như vậy, diện dẫn của hồ quang G và nhiệt dự trữ Q tỷ lệ với tiết diện A . Xét trên một đơn vị chiều dài:

$$Q = hA \quad (4-9)$$

$$N = N'A \quad (4-10)$$

Trong đó h là entapi và N' là tổn thất nhiệt trên một đơn vị mặt cắt. Do đó, công thức cân bằng năng lượng (1-1) trở thành:

$$EI = h \frac{dS}{dt} + N'A \quad (4-11)$$

Thay thế A theo quan hệ:

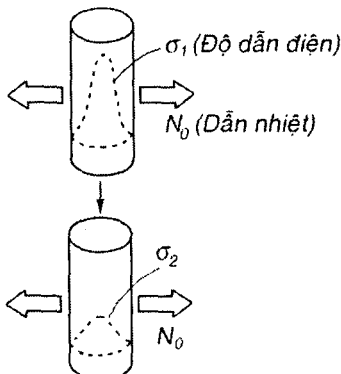
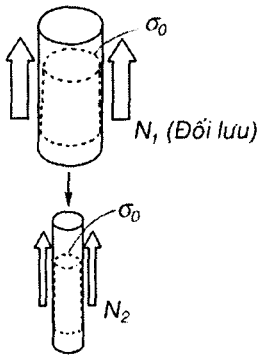
$$G = \sigma A \quad (4-12)$$

(trong đó σ là độ dẫn điện) ta được:

$$\frac{1}{G} \frac{dG}{dt} = \frac{1}{\theta} \left(\frac{E^2}{E_0^2} - 1 \right)$$

ở đây, $\theta = Q/N$ là hằng số thời gian hồ quang đã được định nghĩa ở (1-4). $E_0^2 = N/Q$ duy trì và tương ứng với điện áp hồ quang không đổi khi mà nhiệt phát sinh do hồ quang bằng nhiệt tổn thất. Mô hình hồ quang của Cassie phù hợp cho phân tích phạm vi dòng lớn.

Bảng 4.1. So sánh mô hình hồ quang điện của Mayr và Cassie

Tên mô hình	Mayr	Cassie
Điện dẫn của hồ quang	Thay đổi theo mức ion hóa	Thay đổi theo bán kính hồ quang
	$G \sim \exp\left(\frac{Q}{Q_0}\right)$	$G \sim Q$
Tổn thất nhiệt	Bằng dẫn nhiệt	Bằng đối lưu
	$N = N_0$	$N \sim Q$
Mô tả đặc tính động	$\frac{1}{G} \frac{dG}{dt} = \frac{1}{\theta} \left(\frac{EI}{N_0} - 1 \right)$	$\frac{1}{G} \frac{dG}{dt} = \frac{1}{\theta} \left(\frac{E^2}{E_0^2} - 1 \right)$
Biểu đồ	Miền dòng nhỏ	Miền dòng lớn
		

4- Mô hình toán học khác

Mô hình kinh điển mô tả hồ quang thường được sử dụng để nghiên cứu cơ chế dập hồ quang. Nó giải quyết khá tốt cơ chế ngắt về mặt định tính nhưng chưa được chính xác lắm. Cho ví dụ một máy cắt sử dụng khí SF_6 , kết quả tính toán cho thấy với mô hình kinh điển cho ra kết quả không tốt. Do vậy, một vài mô hình mới được thử nghiệm. Một trong số đó được trình bày sau đây.

Swanson và những cộng sự (1972) đã dẫn ra nhiệt thông S trên một cột hồ quang từ đó dẫn đến có thể mô tả bằng biểu thức những tính chất động của hồ quang điện giống như mô hình nhiệt hồ quang như là công thức Cassie và Mayr đã xây dựng khi độ dẫn điện thay đổi tuyến tính và theo

hàm mũ với nhiệt thông $S(S = \int_0^T k dT$, trong đó T là nhiệt độ và k là hệ số dẫn nhiệt). Trước tiên, ta có công thức cân bằng nhiệt sau:

Nhiệt tích lũy = nhiệt tổn thất do khuếch tán + nhiệt Joule

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial S}{\partial t} = (1 + \beta) \left(\frac{\partial^2 S}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial S}{\partial r} \right) + \frac{\sigma I^2}{(2\pi \int_0^{r_0} \sigma r dr)^2} \quad (4-14)$$

trong đó: I - dòng hồ quang;

r - tọa độ cực;

r_a - bán kính hồ quang ;

t - thời gian;

α - nhiệt khuếch tán ($\alpha = k/\rho C_p$, ρ là mật độ khí và C_p nhiệt dung riêng);

β - hệ số khuếch tán;

σ - độ dẫn điện (điện dẫn suất).

Để khai thác mô hình nhiệt hồ quang, Swanson và cộng sự đã giả thiết nhiệt thông và nhiệt dẫn đều phân phối theo phương trình Bassel. Công thức (4-14) dạng tổng quát:

$$\frac{d\tilde{S}}{dt} = -\frac{\tilde{S}}{\Theta} + \alpha \tilde{\sigma} E^2 \quad (4-15)$$

trong đó: $\tilde{S}$ - giá trị trung bình nhiệt thông;

E - điện áp hồ quang;

$\tilde{\sigma}$ - giá trị trung bình độ dẫn điện;

Θ - hằng số thời gian hồ quang.

5- Giá trị đo lường từ mô hình

Công nghệ đo lường dòng cận zero đã có nhiều tiến bộ, hằng số thời gian hồ quang không nhất thiết phải là hằng số nữa. Các mô hình khác được đề nghị bởi Regros, Hochrainer và cộng sự trong đó hằng số thời gian hồ quang, tổn thất hoặc các hằng số khác được xác định bằng hàm của các thông số (dòng, điện trở hồ quang,...) trên cơ sở các giá trị đo được.

Hochrainer và cộng sự đã nêu ra mối quan hệ giữa điện dẫn hồ quang g và điện dẫn hồ quang ở trạng thái ổn định G :

$$\frac{dG}{dt} = \frac{1}{\theta}(G - g) \quad (4-16)$$

trong đó: θ là hằng số thời gian hồ quang được xác định từ việc đo giá trị của g và dg/dt .

Mặt khác trong những mô hình này mối quan hệ giữa điện áp hồ quang V_a và dòng I từ đặc tính tĩnh của hồ quang và được tính là:

$$V_a = NI^{-\alpha} \quad (4-17)$$

Và hằng số thời gian θ có được từ đặc tính động của hồ quang:

$$\theta = \theta_0 R^{-n} \quad (4-18)$$

Trong đó: θ được giả thiết là hàm của điện trở hồ quang R trên cơ sở đo lường nhiều giá trị. Đặc tính của hồ quang được mô tả bởi bốn thông số N , α , θ_0 và n . Năng lượng tổn thất được cho là tỷ lệ theo hàm mũ của năng lượng tích lũy Q . Ta có:

$$\frac{dQ}{dt} = -kQ^m + VI \quad (4-19)$$

Từ các công thức (1-13)-(1-15), thu được đặc tính động của hồ quang:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{R}{\theta} \left[1 - \left(\frac{VI^\alpha}{V_a} \right)^{\frac{2}{1+\alpha}} \right] \quad (4-20)$$

Mô hình này cho thấy hằng số thời gian hồ quang là một hàm của nhiệt độ như ở công thức (1-14). Theo những phương pháp đó, việc mô phỏng đặc tính hồ quang có thể thực hiện bằng một mạch điện. Điện trở hồ quang có thể thu được bằng cách tính toán dòng chảy trong mạch nối tiếp một điện trở và một điện cảm với một chương trình phân tích mạch thông dụng. Khi đó đặc tính hồ quang được đưa vào chương trình phân tích mạch và việc phân tích thuộc tính ngắt dựa trên mạch điện sẽ trở nên dễ dàng.

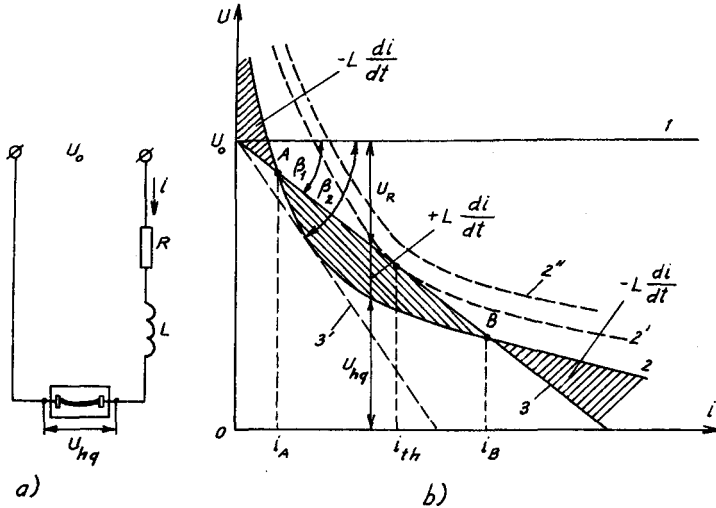
4.2. HỒ QUANG ĐIỆN MỘT CHIỀU

Mạch tạo hồ quang điện một chiều gồm điện trở R , điện cảm L và hai

điện cực hồ quang nối tiếp với nguồn điện U_0 , cho ở hình 4-3a. Phương trình cân bằng điện áp trong trường hợp này có dạng:

$$U_0 = U_R + U_L + U_{hq} = i.R + L.di/dt + U_{hq} \quad (4-5)$$

trong đó: U_0 - điện áp nguồn một chiều; U_R - điện áp giáng trên điện trở R ; U_L - điện áp giáng trên điện kháng; U_{hq} - điện áp hồ quang.



Hình 4-3. Đặc tính của hồ quang điện một chiều.

Đặc tính vôn - ampe của mạch điện trên được trình bày ở đồ thị hình 4-3b: đường 1 biểu diễn điện áp nguồn U_0 (coi công suất nguồn là vô cùng lớn), đường 2 là đặc tính tĩnh của hồ quang (coi dòng điện biến thiên chậm, chiều dài hồ quang ít thay đổi và môi trường cháy không biến động lớn), còn đường 3 là đặc tính U_R (còn gọi là đặc tính tải).

Xét trường hợp đặc tính hồ quang, đường 2 cắt đặc tính tải tại hai điểm A và B (hình 4-3b). Tại hai điểm này $L \frac{di}{dt} = 0$, hay $\frac{di}{dt} = 0$, nghĩa là trị số dòng điện ở hai điểm này không thay đổi.

Tại điểm A, nếu dòng điện suy giảm thì $L \frac{di}{dt} < 0$ (bên trái điểm A), dòng điện sẽ tiếp tục suy giảm về 0 và hồ quang tắt. Nếu dòng điện tăng thì $L \frac{di}{dt} > 0$ (bên phải A), dòng sẽ tiếp tục tăng đến điểm B. Vậy điểm A là điểm cân bằng không ổn định của hồ quang.

Xét điểm cân bằng B : Nếu dòng điện giảm (bên trái B), $L \frac{di}{dt} > 0$, sẽ đẩy dòng tăng lên đến B . Nếu dòng điện tăng (bên phải B), vì $L \frac{di}{dt} < 0$ nên sẽ kéo dòng điện quang về B : Vậy điểm B là điểm cân bằng ổn định của hồ quang điện.

Muốn có hồ quang một chiều cháy ổn định thì đường đặc tính của hồ quang phải cắt đường đặc tính tải. Nếu hai đường có một điểm chung (đường 2') thì ta có trường hợp tới hạn, còn nếu đặc tính hồ quang cao hơn đặc tính tải (đường 2''), hồ quang sẽ tắt. Người ta cũng có thể thay đổi đường đặc tính tải (đường 3' với góc β_2) để đường tải và hồ quang không cắt nhau.

Quan hệ giữa điện áp, dòng điện và chiều dài hồ quang điện một chiều cháy tự do trong không khí được biểu diễn bằng công thức kinh nghiệm:

$$U_{hq} = A + B.l_{hq} + \frac{C + D.l_{hq}}{I^n} \quad (4-6)$$

trong đó: A, B, C, D là các hằng số phụ thuộc vào vật liệu điện cực, điều kiện và môi trường cháy của hồ quang; I là dòng điện hồ quang; l_{hq} là chiều dài của hồ quang; n là hằng số, phụ thuộc vào nhiệt độ anốt.

Mặt khác, ta biết rằng :

$$U_{hq} = E_{hq}l_{hq} \quad (4-7)$$

Trong những điều kiện nhất định, cường độ điện trường của hồ quang E_{hq} ít phụ thuộc vào dòng điện và được coi như hằng, nên ta có thể nói rằng, muốn tăng điện áp hồ quang, chỉ việc tăng chiều dài hồ quang bằng các biện pháp đặc biệt.

Năng lượng hồ quang liên quan mật thiết đến quá trình dập tắt hồ quang và tổn hao năng lượng. Công suất hồ quang được tính theo công thức:

$$P_{hq} = U_{hq}I_{hq} = r_{hq}i_{hq}^2 \quad (4-8)$$

Việc xác định điện trở hồ quang r_{hq} khá phức tạp vì nó phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố.

Phương trình cân bằng điện áp trong mạch cắt có R, L như sau:

$$U = U_{hq} + i.R + L \frac{di}{dt}$$

Nhân hai vế của phương trình với $i.dt$ và tích phân từ 0 đến t , với dòng

điện từ i đến 0 (quá trình của hồ quang), ta được:

$$\int_0^t U.i.dt = \int_0^t U_{hq}.i.dt + \int_0^t i^2 R.dt + L \int_i^0 i.di$$

hoặc:

$$\int_0^t U_{hq}.i.dt = \int_0^t (U - i.R)i.dt + \int_0^i L.i.di$$

Đặt $\int_0^t U_{hq}.i.dt = A_{hq}$ là năng lượng hồ quang. Ta có:

$$A_{hq} = \int_0^t (U - i.R)i.dt + \frac{L.i^2}{2} \quad (4-9)$$

Từ (4-9) ta nhận thấy rằng, năng lượng hồ quang gồm hai thành phần: năng lượng tổn hao trên hồ quang khi cháy, thành phần này phụ thuộc vào thời gian cháy của hồ quang, điện áp nguồn, điện trở tải và dòng điện hồ quang. Thành phần thứ hai của năng lượng hồ quang là năng lượng từ dự trữ trong mạch, có độ lớn bằng $\frac{L.i^2}{2}$. Thông thường thành phần thứ hai lớn hơn nhiều so với thành phần thứ nhất, cho nên việc dập hồ quang ở các mạch có điện cảm lớn thường gặp khó khăn. Người ta thường sử dụng các biện pháp đặc biệt để nhanh chóng tiêu tán năng lượng từ này trong quá trình cắt.

- Quá điện áp khi cắt mạch một chiều:

Khi $i = 0$, ta có:

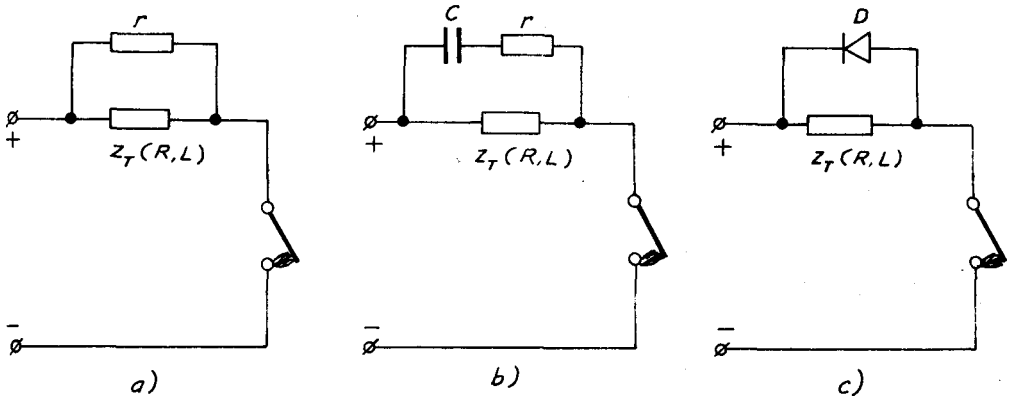
$$U_{hq} - U = -L \frac{di}{dt} = \Delta U \quad (4-10)$$

nếu L lớn và $\frac{di}{dt}$ lớn thì ΔU sẽ rất lớn.

Trong một số trường hợp, trị số quá điện áp có thể lớn gấp hàng chục lần điện áp nguồn, làm hỏng cách điện của thiết bị. Vì vậy vấn đề giảm quá điện áp luôn luôn được đặt ra với các mạch có L lớn, cũng như việc tiêu tán nhanh chóng năng lượng từ $L.i^2/2$ ở các tải này. Các biện pháp thường dùng được nêu ở hình 4-4.

Ở trường hợp trên hình 4-4a, người ta mắc một điện trở r song song

với tải, với trị số $r = (5 \div 7) R$. Tuy vậy trong quá trình làm việc, tổn hao trên điện trở phụ r lớn.



Hình 4-4. Các biện pháp giảm quá điện áp ở hồ quang điện một chiều.

Ở trường hợp trên hình 4-4b, người ta mắc song song với tải một tụ điện C và r . Ở chế độ xác lập, không có tổn hao ở r . Để tránh cộng hưởng sau khi cắt điện, phải thoả mãn điều kiện:

$$\frac{L}{C} < \left(\frac{R + r}{2} \right)^2$$

Còn ở trường hợp trên hình 4-4c, dùng một diode D mắc song song ngược với tải, năng lượng từ sẽ tiêu tán rất nhanh qua điện trở R . Cần lưu ý rằng dòng xung kích qua van rất lớn, phải chọn kích cỡ van thích hợp. Mặt khác nếu mắc nhầm chiều diode sẽ ngắn mạch nguồn.

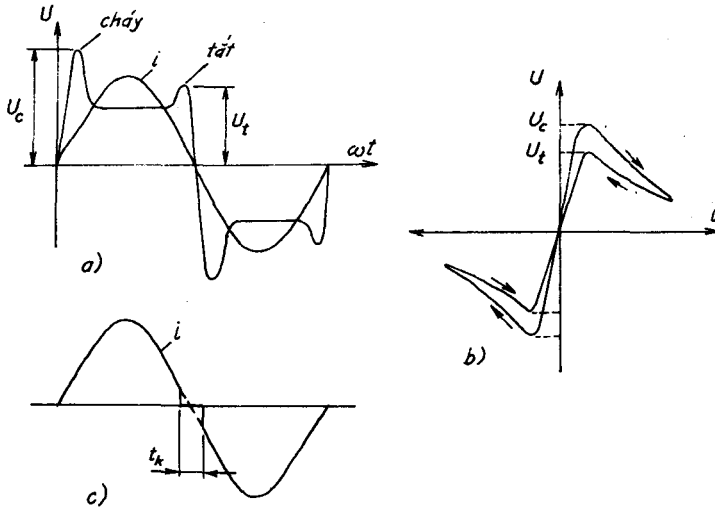
4.3. HỒ QUANG ĐIỆN XOAY CHIỀU

4.3.1. Đặc điểm của hồ quang điện xoay chiều

Ở hồ quang điện xoay chiều, dòng điện và điện áp nguồn biến thiên tuần hoàn theo tần số của lưới điện. Vì hồ quang là điện trở phi tuyến nên dòng điện và điện áp của hồ quang trùng pha nhau. Trên hình 4-5a trình bày dạng sóng của dòng điện và điện áp hồ quang, còn trên hình 4-5b trình bày đặc tính vôn - ampe của hồ quang điện xoay chiều.

Trong $1/4$ chu kỳ đầu, điện áp hồ quang tăng nhanh đến trị số cháy (theo điện áp nguồn). Khi hồ quang cháy, điện áp giảm dần. Dòng điện tăng từ 0 đến điểm cháy, dòng tăng mạnh và khi $t = T/4$, dòng điện đạt trị số

cực đại và điện áp hồ quang gần như không đổi. Ở $1/4$ chu kỳ sau, dòng điện giảm dần, đến thời điểm tắt, điện áp hồ quang tăng, sau đó suy giảm về 0 và dòng điện cũng trở về 0. Nếu hồ quang ổn định thì quá trình này sẽ được lặp lại ở nửa chu kỳ sau.



Hình 4-5. Đặc tính của hồ quang điện xoay chiều.

Tại thời điểm dòng điện đi qua 0, hồ quang không được cấp năng lượng nên quá trình phản ion xảy ra ở vùng điện cực rất mạnh và nếu điện áp đặt lên hai điện cực bé hơn trị số điện áp cháy thì hồ quang sẽ tắt hẳn. Cần lưu ý rằng khi dòng điện gần trị số 0, nó không còn theo quy luật hình sin liên tục nữa, vì lúc này quá trình phản ion mạnh nên điện trở hồ quang rất lớn, có thể coi dòng điện bằng 0 (hình 4-5c). Khoảng thời gian này cỡ micro giây, phụ thuộc vào đặc tính tải, dòng điện hồ quang... và gọi là thời gian không dòng điện của hồ quang.

4.3.2. Quá trình phục hồi độ bền điện và phục hồi điện áp

Khi cắt mạch điện, hai tiếp điểm tách rời nhau và giữa chúng sẽ sinh ra hồ quang. Khi dòng điện đi qua điểm 0, ở khu vực hồ quang đồng thời xảy ra hai quá trình: quá trình phục hồi độ bền điện và quá trình phục hồi điện áp.

Quá trình phục hồi độ bền điện được đặc trưng bằng quá trình phản ion mãnh liệt khi dòng điện đi qua 0 và nó làm khu vực hồ quang mất dần tính dẫn điện, tăng tính cách điện. Đại lượng đặc trưng cho mức độ cách

điện giữa hai điện cực là điện áp chọc thủng U_{ct} . Với $i = 0$, ta có U_{cto} và nó có trị số vào khoảng 150 đến 250 V ở môi trường không khí, hồ quang cháy tự nhiên. Với thời gian tăng, U_{ct} tăng tuyến tính, phụ thuộc vào môi trường cháy của hồ quang và trạng bị dập hồ quang (đặc tuyến $a-b$ ở hình 4-6).

Quá trình phục hồi điện áp là quá trình thành lập điện áp trên hai điện cực kể từ khi hồ quang tắt cho tới khi điện áp đạt trị số điện áp nguồn. Quá trình này diễn ra khá phức tạp và phụ thuộc vào đặc tính của mạch cắt: tải trở, tải cảm hay tải dung.

Sau thời điểm dòng điện bằng 0, nếu trị số của điện áp phục hồi thấp hơn trị số của điện áp chọc thủng thì hồ quang tắt hẳn. Vậy điều kiện để dập tắt hồ quang điện xoay chiều là đặc tuyến của quá trình phục hồi độ bền điện phải nằm cao hơn và không cắt đặc tuyến của quá trình phục hồi điện áp giữa hai tiếp điểm.

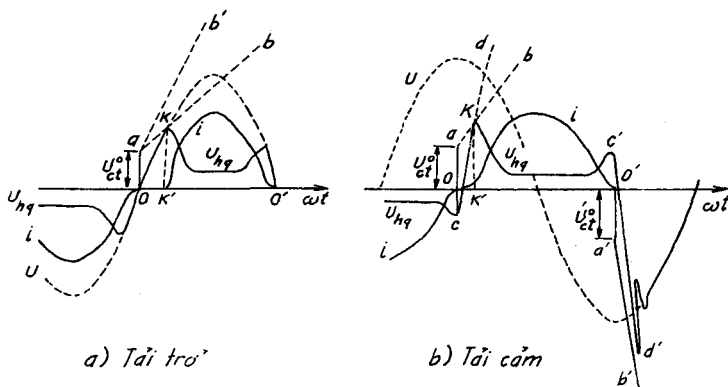
4.3.3. Ảnh hưởng của dòng điện tải đến quá trình dập hồ quang

Sau đây sẽ xem xét ba trường hợp tải đặc trưng thuần trở, thuần cảm và thuần dung.

Với tải thuần trở ($\cos\varphi = 1$), dòng điện hồ quang và điện áp nguồn trùng pha nhau. Quá trình cháy và tắt của hồ quang được trình bày ở hình 4-6a. Hồ quang phát sinh ở nửa chu kỳ thứ nhất, khi dòng điện hồ quang đi qua zêrô, giữa hai tiếp điểm có giá trị độ bền điện U_{ct}^0 và đặc tính quá trình phục hồi độ bền điện được biểu diễn bằng đường $a-b$ (thường là quan hệ tuyến tính theo thời gian). Nếu ab cắt đường cong phục hồi điện áp U tại K , hồ quang sẽ cháy lập lại. Nếu quá trình phản ion mạnh (đường ab'), đặc tuyến điện áp chọc thủng nằm cao hơn đặc tuyến phục hồi điện áp, hồ quang sẽ tắt hẳn. Với tải trở, vì dòng điện và điện áp lưới trùng pha nên dễ tạo được đặc tuyến phục hồi độ bền điện cao hơn đặc tuyến phục hồi điện áp, do đó hồ quang dễ dập tắt hơn.

Với tải cảm, quá trình cháy và tắt của hồ quang được trình bày ở hình 4-6b. Ở nửa chu kỳ thứ nhất, khi dòng điện đi qua điểm 0 thì điện áp nguồn lại có trị số đỉnh, do đó đường đặc tuyến độ bền điện ab cắt đường điện áp phục hồi, nên hồ quang cháy lập lại ở nửa chu kỳ thứ hai. Đến cuối chu kỳ thứ hai, vì khe hở giữa hai tiếp điểm tăng, quá trình phản ion (như thổi hồ quang, làm lạnh hồ quang) mạnh, vì vậy đặc tuyến phục hồi

độ bền điện $a'b'$ không cắt đặc tuyến phục hồi điện áp, nên hồ quang tắt hẳn. Nếu quá trình phục hồi điện áp là quá trình dao động với tần số dao động riêng f_0 , thì sẽ có quá điện áp cao (đến vài lần trị số biên độ của điện áp nguồn), nên hồ quang dễ phát sinh lập lại và quá điện áp lớn dễ phá hỏng cách điện của thiết bị. Trong trường hợp này, người ta phải dùng các biện pháp đặc biệt để giảm quá trình dao động của mạch cắt.



Hình 4-6. Hồ quang điện ở trở và tải cảm.

Với tải điện dung, dòng điện sớm pha hơn điện áp nguồn. Quá trình cắt tải dung được trình bày ở hình 4-7 và thường xảy ra quá điện áp cao. Khi hồ quang tắt (dòng điện đi qua trị số 0), trên tụ được nạp với trị số đỉnh của điện áp nguồn E . Sau thời gian nửa chu kỳ, điện áp nguồn đổi dấu nên điện áp phục hồi đặt lên hai tiếp điểm có giá trị bằng $2E$. Nếu tại thời điểm này xảy ra hiện tượng phóng điện (dòng điện cao tần) thì tụ điện sẽ được nạp thêm với điện áp $2E$ và điện áp đặt vào tụ điện có trị số $3E$. Đến nửa chu kỳ tiếp sau, điện áp phục hồi đặt lên hai tiếp điểm có trị số $5E$... Nếu quá trình có phóng điện lập lại, quá điện áp sẽ có trị số khá cao, làm hỏng cách điện của thiết bị. Để hạn chế sự quá điện áp này, người ta nối thêm điện trở R_s vào mạch cắt thứ hai.

Qua ba trường hợp tải ta nhận thấy rằng, với tải trở, hồ quang dễ dập tắt nhất. Với trường hợp cắt dòng điện bé tính cảm hay tính dung như máy biến áp lớn không tải hay đường dây dài không tải bằng các máy cắt mạch dạng tự thổi thể hệ trước năm 1980 (năng lượng thổi hồ quang phụ thuộc vào trị số dòng điện cắt như máy cắt dầu, máy cắt điện từ...) thì cần sử dụng các biện pháp phụ như nối thêm điện trở vào mạch cắt để giảm trị

số quá điện áp. Với các máy cắt hiện đại (thế hệ sau năm 1980) như SF₆, chân không, hiệu ứng dập hồ quang rất hiệu quả nên không cần sử dụng các biện pháp phụ.

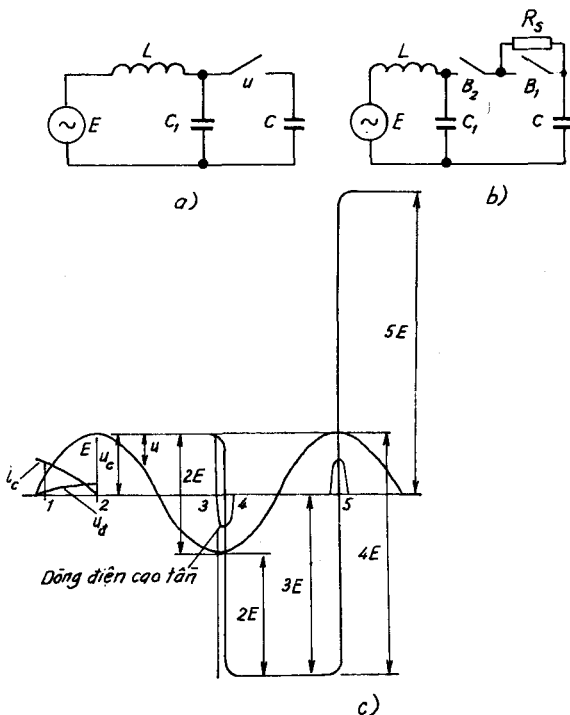
4.4. CÁC BIỆN PHÁP DẬP HỒ QUANG ĐIỆN

Để tăng quá trình phân ion, người ta thường dùng các biện pháp dập hồ quang sau: kéo dài hồ quang, phân đoạn hồ quang, thổi hồ quang bằng từ, cho hồ quang tiếp xúc với bề mặt phân ion, thổi hồ quang và làm nguội hồ quang bằng dầu biến áp, thổi hồ quang bằng khí nén, cho hồ quang cháy trong môi trường đặc biệt, nối điện trở shunt cho hồ quang.... Chúng ta sẽ lần lượt xét các biện pháp trên.

4.4.1. Kéo dài hồ quang bằng cơ khí

Khi hồ quang bị kéo dài, thân hồ quang bị nhỏ lại và dài ra, tăng bề mặt tiếp xúc của hồ quang với môi trường, vì vậy hồ quang bị toả nhiệt và khuếch tán nhanh, làm tăng quá trình phân ion. Muốn kéo dài hồ quang bằng cơ khí, ta phải tăng khoảng cách của hai tiếp điểm. Biện pháp này chỉ áp dụng cho các thiết bị đóng cắt điện có dòng điện bé và điện áp thấp (đến 250 V) như ở các role, các thiết bị điều khiển.

Với các thiết bị đóng cắt có dòng điện lớn hơn (cỡ vài chục ampe trở lên), chiều dài tự do của hồ quang khá lớn, ví dụ với $U = 250 \text{ V}$, $I = 150 \text{ A}$ thì chiều dài hồ quang là 25 cm, còn khi $U = 1500 \text{ V}$, $I = 150 \text{ A}$ thì chiều dài tự do của hồ quang trong không khí đạt tới 200 cm, nên không thể tăng khoảng cách tiếp điểm quá lớn được vì sẽ tăng kích thước thiết bị lên rất nhiều.

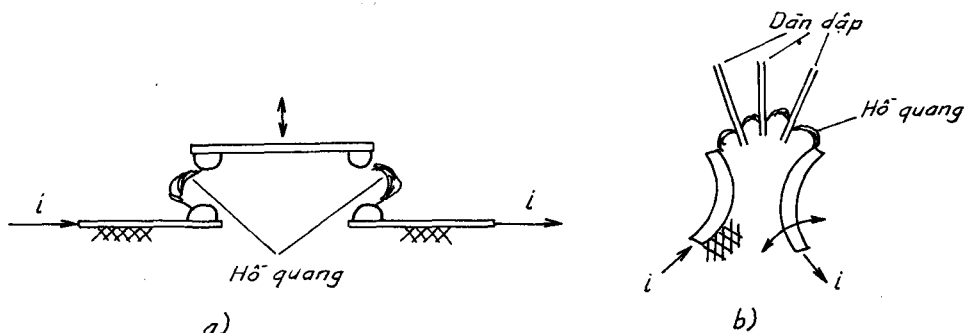


Hình 4-7. Hồ quang điện ở điện dung.

Với các thiết bị đóng, cắt điện áp trên 1000 V, có dòng điện bé (đóng, cắt dòng không tải của máy biến áp, của đường dây), người ta cũng dùng biện pháp kéo dài hồ quang bằng cơ khí như ở các dao cách ly cao áp.

4.4.2. Phân đoạn hồ quang

Phân đoạn hồ quang tức là chia hồ quang ra nhiều đoạn. Ở dòng điện xoay chiều trên mỗi phân đoạn có điện áp chọc thủng khi dòng điện đi qua trị số 0 đạt cỡ 150 đến 250 V, vì vậy với tiếp điểm dạng cầu (hình 4-8a) thường gặp ở dây công tác tơ xoay chiều có điện áp đến 500 V, vì mỗi pha được phân thành hai đoạn hồ quang nên hồ quang dễ dập tắt hơn. Với điện một chiều, khi phân đoạn hồ quang thì chiều dài tổng của thân hồ quang sẽ lớn hơn nhiều so với trường hợp không phân đoạn do tác dụng của lực điện động, lực khí động, cho nên hồ quang dễ dập tắt hơn. Trên hình 4-8b trình bày nguyên lý buồng dập hồ quang kiểu dần dập. Các tấm của dần dập thường làm bằng sắt non, mạ, có tác dụng phân đoạn hồ quang, kéo dài hồ quang và làm nguội hồ quang.



Hình 4-8. Phân đoạn hồ quang.

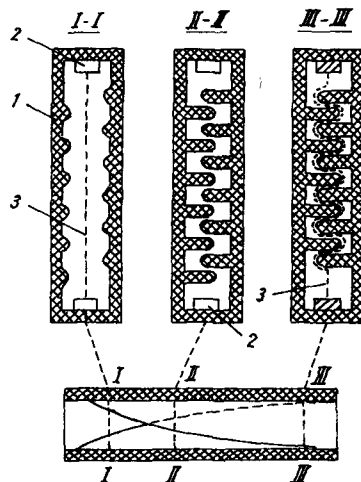
Dập hồ quang bằng phương pháp phân đoạn được sử dụng khá rộng rãi ở các thiết bị điện hạ áp. Ở các máy cắt điện áp cao (từ 110 kV trở lên), biện pháp phân đoạn hồ quang cũng được sử dụng rộng rãi, từ hai đoạn (cho máy cắt 330 kV) đến 4 đoạn (cho máy cắt siêu cao áp).

4.4.3. Thổi hồ quang bằng từ

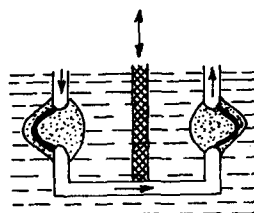
Xem "Lực điện động giữa dòng điện và môi trường sắt từ". Nguyên lý dập hồ quang này được dùng rất rộng rãi ở các thiết bị điện đóng cắt hạ áp cho mọi cỡ dòng điện, từ vài chục đến vài ngàn ampe. Với dòng điện

một chiều, vì hồ quang khó dập tắt hơn nên người ta còn dùng cuộn thổi từ nối tiếp với dòng điện hồ quang để thổi hồ quang. Khi dòng điện cắt càng lớn, lực điện động tác động lên hồ quang càng lớn (tỷ lệ với bình phương dòng điện), hiệu ứng thổi hồ quang càng mạnh.

Người ta còn có thể kéo dài hồ quang bằng cách thổi hồ quang (thổi từ) vào buồng dập có khe hẹp kiểu "ziczác" (hình 4-9c). Buồng dập hồ quang có thành buồng 1 bằng vật liệu cách điện, chịu nhiệt, có cấu tạo đặc biệt, phần dưới của buồng (mặt cắt I - I) có tiết diện rộng để tiếp điểm 2 dễ chuyển động. Càng lên phía trên của buồng dập (mặt cắt II - II, III - III) khe hở càng hẹp và có hình "ziczác" nên hồ quang 3 phải đi theo khe này. Vì vậy quá trình phân ion ở buồng dập xảy ra mạnh bởi: hồ quang bị kéo dài, tiếp xúc với bề mặt của buồng dập nên tái hợp nhanh. Loại buồng dập này thường kết hợp với cuộn dây thổi từ, dùng để dập hồ quang điện một chiều.



Hình 4-9C. Buồng dập kiểu khe.



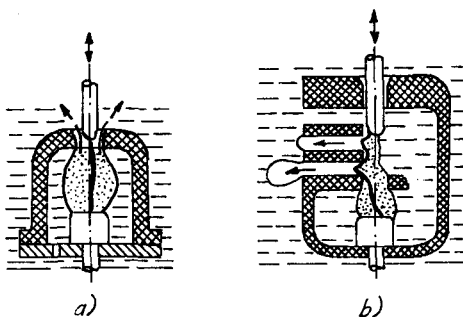
Hình 4-9. Hồ quang trong dầu biến áp.

4.4.4. Dập tắt hồ quang điện trong dầu biến áp

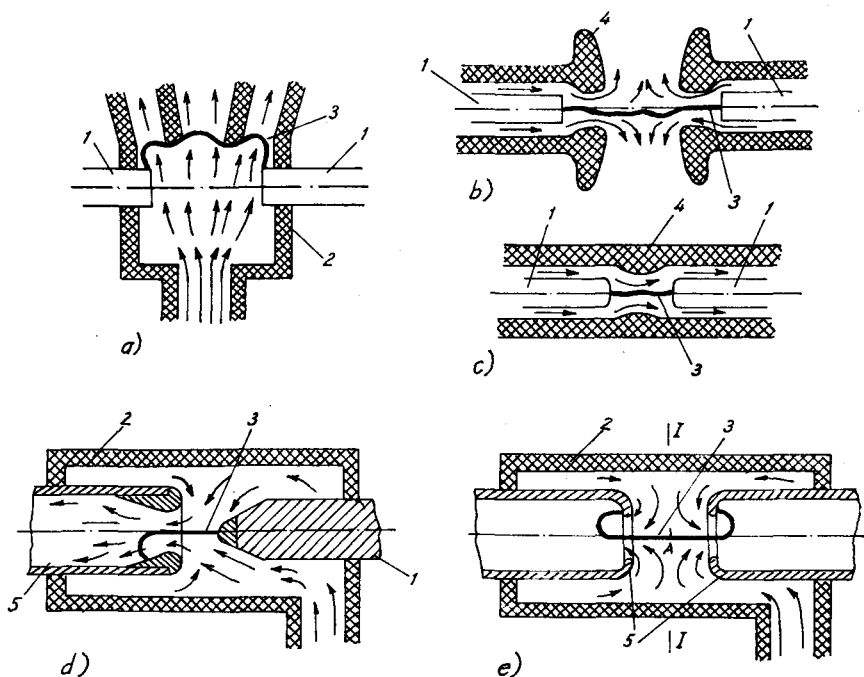
Ở các thiết bị điện đóng cắt điện áp cao và dòng điện lớn, môi trường cháy của hồ quang là dầu biến áp (như ở các máy cắt dầu, ít dầu, khá phổ biến cho đến những năm cuối của thế kỷ 20). Dầu biến áp có độ bền điện cao, dẫn nhiệt tốt. Khi hồ quang cháy trong dầu (hình 4-9), dưới tác dụng của nhiệt lượng hồ quang, dầu ở khu vực hồ quang bị phân tích thành hỗn hợp khí hơi có độ bền điện khá cao nên hồ quang dễ dập hơn. Người ta lợi dụng áp suất cao của hỗn hợp khí hơi để thổi hồ quang. Tùy theo hướng thổi, ta có thổi dọc (hình 4-10a) và thổi ngang (hình 4-10b). Khi tiếp điểm động rời khỏi tiếp điểm tĩnh nhưng vẫn chưa giải phóng lỗ

thổi của buồng dập, dầu bị hồ quang phân tích thành hỗn hợp khí hơi, tạo nên áp suất cao trong buồng dập hồ quang. Khi tiếp điểm động chuyển động ra khỏi buồng dập, lỗ thổi được giải phóng, áp suất khí hơi lớn trong buồng dập sẽ thổi hồ quang qua

các lỗ thổi này làm hồ quang bị tắt. Sau đó dầu biến áp lại tràn vào buồng dập. Nguyên lý thổi trình bày ở trên là tự thổi. Nguyên lý này còn được áp dụng trong buồng dập hồ quang bằng vật liệu rắn tự sinh khí. Có một



Hình 4-10. Thổi dọc (a) và thổi ngang (b).



Hình 4-11. Thổi hồ quang bằng khí nén.

số vật liệu cách điện rắn như thuỷ tinh hữu cơ, gỗ phíp..., khí hồ quang tác dụng vào thì bị phân tích thành hỗn hợp khí có độ bền điện cao và dùng hỗn hợp này để thổi hồ quang. Loại buồng dập hồ quang này có hiệu ứng dập không lớn nên chỉ sử dụng cho mức công suất trung bình như ở các cầu chì cao áp, dao cắt phụ tải.

4.4.5. Thổi hồ quang bằng khí nén

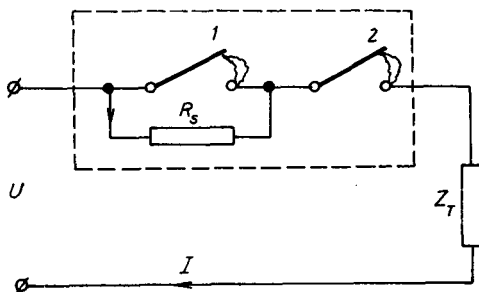
Đây là phương pháp thổi cưỡng bức. Không khí sạch, khô được nén với áp suất cao có độ bền điện lớn. Khi hồ quang xuất hiện, người ta dùng khí nén này thổi vào hồ quang để dập tắt nó. Với áp suất nén ở 10 đến 15 atm, độ bền điện đạt cỡ 40 KV/mm, với vận tốc thổi cỡ 200 m/s, tốc độ bền điện đạt (1,6 đến 2,4) kV/ μ s nên hiệu ứng dập hồ quang rất cao. Trên hình 4-11 trình bày các nguyên lý thổi ngang (4-11a), thổi dọc (4-11b, c) và thổi hỗn hợp (4-12d, e).

Nhược điểm chính của kiểu thổi này là cần thiết bị nén khí đi kèm nên khá cồng kềnh.

4.4.6. Dập hồ quang trong môi trường đặc biệt

- *Dập hồ quang trong khí SF₆*, đây là loại khí có độ bền điện cao gấp 2,5 đến 3 lần không khí ở áp suất bình thường. Khí SF₆ không độc. Ngoài độ bền điện cao, khí này có tốc độ phục hồi độ bền điện rất cao nên hồ quang nhanh chóng bị dập tắt. Với các ưu điểm đó ngày nay các thế hệ máy cắt điện áp cao, công suất lớn, loại SF₆ đang dần dần chiếm chỗ các loại máy cắt kinh điển loại dầu và khí nén.

- *Dập hồ quang trong chân không*. Ở môi trường chân không độ bền điện khá cao và khả năng ion hoá gần như không tồn tại, vì vậy dập hồ quang trong chân không có nhiều ưu việt. Ví dụ ở áp suất 10⁻⁶ mmHg, điện áp chọc thủng cỡ 100 kV/mm, nên kích thước thiết bị nhỏ, gọn, thời gian tác động nhanh. Một trong những ưu điểm của loại thiết bị này là không cần quan tâm đến vấn đề



Hình 4-12. Dùng điện trở song song R_s để dập hồ quang.

bảo dưỡng. Ngày nay các máy cắt chân không có điện áp đến 36 kV và dòng điện định mức cỡ ngàn ampe được sử dụng khá rộng rãi, vì công nghệ tạo ra buồng chân không đã đạt đến mức hoàn hảo.

4.4.7. Nối điện trở song song với hồ quang

Biện pháp này thường được dùng cho các máy cắt điện áp cao, có chỗ cắt trong một pha từ hai chỗ trở lên hoặc tổ hợp máy cắt - dao cách ly. Nguyên lý của biện pháp này được trình bày ở hình 4-12. Hai tiếp điểm nối tiếp nhau và nối tiếp với phụ tải Z_1 , tiếp điểm 1 cắt trước, tiếp điểm 2 cắt sau. Vì tiếp điểm 1 nối song song với điện trở R_s nên khi 1 cắt, dòng điện hồ quang ở tiếp điểm 2 cắt, dòng cắt sẽ giảm đi nhiều nên dập hồ quang dễ hơn.

Ngoài ra khi có R_s , tốc độ phục hồi điện áp trên tiếp điểm giảm và nếu chọn R_s thích hợp có thể thay đổi quá trình phục hồi điện áp từ dao động trở thành không dao động, giảm được trị cực đại của điện áp phục hồi, hạn chế khả năng cháy lặp lại của hồ quang.

Để tăng khả năng dập hồ quang, người ta thường kết hợp nhiều biện pháp dập hồ quang trong buồng dập hồ quang. Người ta còn gọi tên các thiết bị đóng cắt theo môi trường dập hồ quang như: máy cắt không khí, máy cắt dầu, máy cắt tự sinh khí, máy cắt khí nén, máy cắt chân không, máy cắt SF_6 .

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 4

1. Trình bày các nguyên nhân phát sinh, dập tắt hồ quang và các đặc điểm của hồ quang điện.
2. Các đặc trưng của hồ quang điện một chiều, các biện pháp giảm độ quá điện áp khi cắt dòng điện một chiều.
3. Các đặc trưng của hồ quang điện xoay chiều: quá trình phục hồi độ bền điện và phục hồi điện áp ở hồ quang điện xoay chiều.
4. Ảnh hưởng của phụ tải đối với việc dập hồ quang xoay chiều. hồ quang điện một chiều và hồ quang điện xoay chiều loại nào khó dập tắt hơn?
5. Trình bày các biện pháp dập tắt hồ quang.

TIẾP XÚC ĐIỆN

5.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ TIẾP XÚC ĐIỆN

Dòng điện đi từ vật dẫn này qua vật dẫn khác phải đi qua chỗ tiếp xúc. Bề mặt tiếp xúc cho dòng điện đi qua gọi là bề mặt tiếp xúc điện, còn các vật dẫn có bề mặt tiếp xúc điện gọi là tiếp điểm.

Dựa vào mối liên kết tiếp xúc, người ta chia tiếp xúc điện ra thành ba dạng: tiếp xúc cố định, tiếp xúc trượt và tiếp xúc đóng cắt.

Tiếp xúc cố định là loại tiếp xúc không tháo lắp giữa hai vật dẫn, được liên kết bằng ốc, vít, bulông, đinh tán, hàn, ép, kẹp như giữa thanh cái với nhau, thanh cái với dây dẫn, giữa dây dẫn với đầu cốt, giữa dây cáp với dây cáp điện.... Tiếp xúc cố định không những chỉ đảm bảo cho điện trở tiếp xúc bé, mà còn phải chịu lực, mômen khá lớn lên chỗ tiếp xúc như chỗ nối cáp-cáp, thanh cái...

Tiếp xúc trượt là tiếp xúc giữa vật dẫn chuyển động và vật dẫn tĩnh. Vật chuyển động dạng quay như ở cổ góp, vành trượt các máy điện, dạng tịnh tiến (lăn) như ở một số máy cắt điện cao áp, cầu trục, tàu điện... Tiếp xúc trượt thường gắn liền với hiện tượng phóng tia lửa điện.

Tiếp xúc đóng - cắt là tiếp xúc giữa tiếp điểm tĩnh và tiếp điểm động của các thiết bị đóng cắt và chuyển mạch điện cơ. Ở chế độ đóng, hai tiếp điểm tiếp xúc chặt với nhau, còn ở chế độ cắt, chúng tách rời nhau để cắt dòng điện. Những hiện tượng vật lý xảy ra trong quá trình đóng - cắt, chuyển mạch ở loại tiếp xúc này xảy ra khá phức tạp.

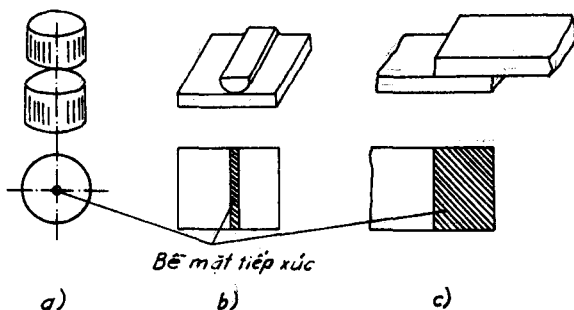
Dựa vào hình dạng chỗ tiếp xúc, người ta chia tiếp xúc điện thành ba loại: tiếp xúc điểm, tiếp xúc đường và tiếp xúc mặt, được cho ở hình 5-1.

Tiếp xúc điểm là tiếp xúc giữa mặt cầu - phẳng, cầu - cầu, thường gặp ở các thiết bị đóng cắt có dòng điện bé, dưới 10 A (hình 5-1a). Tiếp xúc đường (hình 5-1b) là tiếp xúc giữa mặt trụ - phẳng, giữa hai mặt trụ,

thường gặp ở các tiếp điểm có dòng điện trung bình cỡ vài chục đến hàng trăm ampe. Tiếp xúc mặt (hình 5-1c) là tiếp xúc giữa hai phần của mặt phẳng, thường gặp ở các dòng điện lớn đến hàng ngàn ampe.

Ở bất kỳ dạng tiếp xúc nào, muốn có tiếp xúc điện tốt, tức là điện trở tiếp xúc

bé, cần phải có lực đủ lớn tác động lên bề mặt tiếp xúc sạch, nhẵn. Lực này do bulông, ốc vít, đinh tán, kẹp ở tiếp xúc cố định và do lò xo, trọng vật... ở tiếp xúc trượt hoặc tiếp xúc đóng cắt tạo nên.

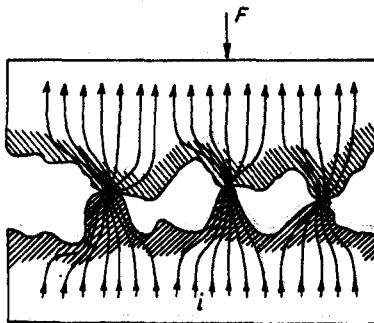


Hình 5-1. Bề mặt tiếp xúc

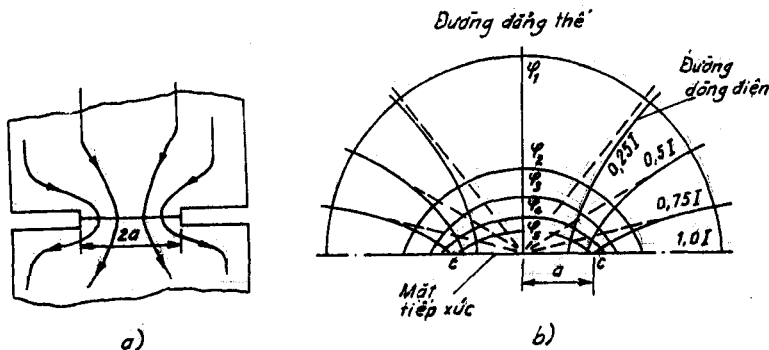
5.2. ĐIỆN TRỞ TIẾP XÚC

Khi hai vật dẫn rắn tiếp xúc với nhau, thực tế chỉ có một số điểm tiếp xúc (hình 5-2). Tại các điểm tiếp xúc này, mật độ dòng điện tang cao, tổn hao năng lượng lớn nên sụt áp và nhiệt độ ở tiếp xúc cao.

Xét trường hợp dòng điện đi qua chỗ tiếp xúc giữa hai hình trụ với bán kính tiếp xúc a , bé hơn nhiều so với



Hình 5-2. Tiếp xúc điện giữa hai vật dẫn.



Hình 5-3. Mô hình tiếp xúc điện.

bán kính của trụ (hình 5-3). Diện tích tiếp xúc được tính theo công thức:

$$S = \pi a^2 = \frac{F}{\sigma} \quad (5-1)$$

trong đó: F là lực ép tiếp điểm; σ là ứng suất biến dạng dẻo của vật liệu.

Vì tiết diện tiếp xúc điện bị thu nhỏ tại chỗ tiếp xúc nên đường đi của dòng điện bị cong và dài ra làm điện trở tăng. Vậy điện trở tiếp xúc là điện trở do hiện tượng đường đi của dòng điện bị kéo dài ra ở chỗ tiếp xúc tạo nên. Trên hình 5-3b trình bày đường sức của dòng điện và mật độ dòng điện j với trường hợp hai nửa hình trụ, tiếp xúc nhau theo hình tròn với bán kính a . Mật độ dòng điện có dạng mặt bán elip quay, còn đường sức dòng điện - các mặt hypebôn cùng tiêu cự. Trong trường hợp này điện trở tiếp xúc được tính theo công thức:

$$R_{TX} = \frac{\rho}{2a} \quad (5-2)$$

trong đó: ρ là điện trở suất của vật liệu tiếp điểm; a là bán kính tiếp xúc.

Ở đây phải coi bề mặt tiếp xúc rất sạch và điện trở suất của lớp phủ bề mặt bằng điện trở suất của vật dẫn.

Thay bán kính tiếp xúc a từ (5-1) vào (5-2), ta có:

$$R_{TX} = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{\pi \sigma}{F}} = \frac{K}{F^{1/2}} \quad (5-3)$$

Từ (5-3) ta nhận thấy rằng, với một điểm tiếp xúc, điện trở tiếp xúc tỷ lệ thuận với điện trở suất của vật liệu tiếp điểm, tỷ lệ thuận với căn bậc hai của ứng suất mềm và tỷ lệ nghịch với căn bậc hai của lực ép tiếp điểm.

Trên cơ sở công thức (5-3) cho một điểm tiếp xúc, người ta đưa ra công thức kinh nghiệm để tính điện trở tiếp xúc chung:

$$R_{lx} = \frac{K}{F^m} \quad (5-4)$$

trong đó: K là hệ số phụ thuộc vào vật liệu tiếp điểm và trạng thái bề mặt của nó.

m là hệ số phụ thuộc vào kiểu tiếp xúc. Với tiếp xúc điểm (cầu-cầu hoặc cầu-mặt phẳng) $m = 0,5$; với tiếp xúc đường thì $m = 0,5 \div 0,8$; còn với tiếp xúc mặt thì $m = 1$. Trong công thức (5-4), điện trở tính theo Ω ,

lực tính theo N , còn K tính theo $N^{1/2}/\Omega$.

Một số số liệu thực nghiệm của hệ số K được cho ở bảng 5-1 với tiếp xúc điểm, bề mặt tiếp xúc sạch.

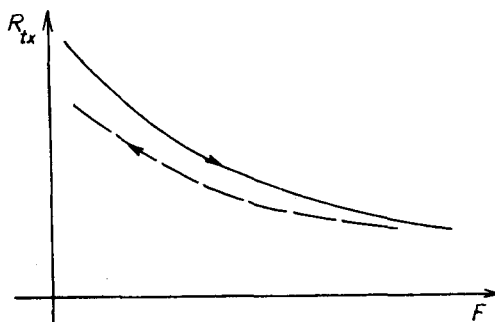
Bảng 5-1

Vật liệu tiếp điểm	K tiếp điểm dòng điện lớn [$N^{1/2}/\Omega$]	K tiếp điểm dòng điện bé [$N^{1/2}/\Omega$]
Đồng	$3,16 \cdot 10^{-4}$	$0,014 \div 0,0175$
Bạc	$1,58 \cdot 10^{-4}$	0,006
Chì	$15,8 \cdot 10^{-4}$	—
Đồng thau	$21,2 \cdot 10^{-4}$	—
Thép	$24,0 \cdot 10^{-4}$	—
Nhôm	$5,05 \cdot 10^{-4}$	—

Các yếu tố ảnh hưởng đến điện trở tiếp xúc gồm: độ cứng của vật liệu, điện trở suất vật liệu tiếp điểm, tình trạng bề mặt tiếp xúc, dạng bề mặt tiếp xúc, lực ép tiếp điểm và nhiệt độ tiếp điểm. Ta sẽ lần lượt điểm qua các yếu tố trên.

Nếu vật liệu tiếp điểm 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 (5-1) 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 nên giảm tuổi thọ tiếp điểm.

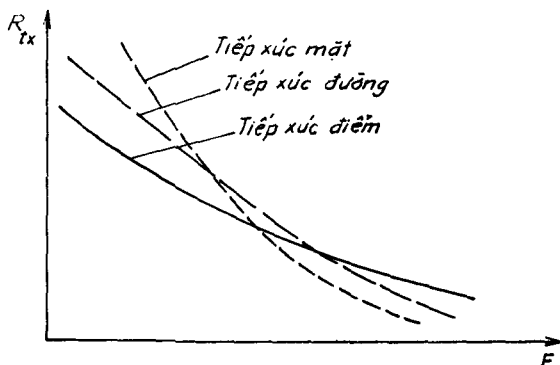
- Điện trở tiếp xúc giảm nếu lực tác động lên tiếp điểm tăng vì diện tích tiếp xúc tăng. Quan hệ giữa điện trở tiếp xúc và lực ép tiếp điểm được cho ở hình 5-4. Khi F tăng, R_{tx} giảm dần đến một trị số nào đó thì dừng lại, vì lúc này dù lực tăng nhưng diện tích tiếp xúc



Hình 5-4. Quan hệ giữa R_{tx} và lực nén F .

không tăng thêm được nữa. Đường nét liền là theo chiều tăng của lực, còn đường nét đứt theo chiều giảm. Sở dĩ hai đường đi và về không trùng nhau vì tính đàn hồi không tuyệt đối của vật liệu tiếp điểm.

- Điện trở tiếp xúc phụ thuộc vào dạng tiếp xúc: tiếp xúc điểm, tiếp xúc đường hay tiếp xúc mặt. Quan hệ giữa lực ép tiếp điểm và điện trở tiếp xúc của các loại tiếp điểm khác nhau được cho ở hình 5-5. Khi lực ép tiếp điểm bé, tiếp xúc điểm có điện trở tiếp xúc bé hơn, còn tiếp xúc đường và tiếp xúc mặt có điện trở lớn hơn. Khi lực lớn thì quan hệ ngược lại: tiếp xúc mặt có điện trở tiếp xúc bé nhất, rồi đến tiếp xúc đường, cuối cùng là tiếp xúc điểm. Vì vậy tiếp xúc mặt chỉ dùng cho dòng điện lớn, còn tiếp xúc điểm cho dòng điện bé.



Hình 5-5. Đặc tính R_{tx} của các dạng tiếp xúc khác nhau.

- Nhiệt độ tiếp điểm cũng ảnh hưởng tới điện trở tiếp xúc. Độ tăng nhiệt nơi tiếp xúc do đường đi của dòng điện bị biến dạng có thể tính theo công thức:

$$\Delta \tau_{tx} = \frac{\Delta U^2}{8\lambda \cdot \rho} \quad (5-5)$$

trong đó: $\Delta \tau_{tx}$ là độ tăng nhiệt nơi tiếp xúc; $\Delta U_{tx} = I \cdot R_{tx}$ là điện áp rơi trên tiếp xúc; λ là hệ số dẫn nhiệt vật liệu tiếp điểm; ρ là điện trở suất vật liệu tiếp điểm.

Nhiệt năng toả ra ở vùng tiếp xúc ($I^2 R_{tx} / 2$) được phân bố trên bề mặt tiếp xúc và toả ra môi trường xung quanh tạo nên độ tăng nhiệt $\Delta \tau$:

$$\Delta \tau = \frac{1}{2} I^2 R_{tx} \frac{1}{\sqrt{\lambda K_T \cdot p \cdot S}} \quad (5-6)$$

trong đó: K_T là hệ số toả nhiệt bề mặt; p , S là chu vi và tiết diện tiếp điểm.

Nhiệt độ của tiếp điểm τ_{tx} do dòng điện đi qua tạo nên:

$$\tau_{tx} = \frac{I^2 \rho}{K_T \cdot p \cdot S} \quad (5-7)$$

Nhiệt độ của vùng tiếp xúc được tính bằng:

$$\begin{aligned}\theta_{tx} &= \theta_o + \tau_{tx} + \Delta\tau + \Delta\tau_{tx} \\ \theta_{tx} &= \theta_o + \frac{I^2\rho}{K_T.p.S} + \frac{1}{2} I^2 R_{tx} \frac{1}{\sqrt{\lambda}.K_T.p.S} + \frac{(I.R)^2}{8\lambda.\rho}\end{aligned}\quad (5-8)$$

Khi nhiệt độ tiếp điểm tăng, điện trở tiếp xúc cũng tăng theo quan hệ:

$$R_{tx} = R_{txo} \left(1 + \frac{2}{3} \alpha_T \theta_{tx}\right) \quad (5-9)$$

trong đó: R_{txo} là điện trở tiếp xúc ở 0°C ; α_T là hệ số nhiệt điện trở của vật liệu.

Lớp ôxyt phủ bề mặt tiếp điểm ảnh hưởng khá lớn tới điện trở tiếp xúc. Thông thường lớp ôxyt có điện trở khá lớn làm nhiệt độ tiếp điểm tăng cao. Khi nhiệt độ cao, tiếp điểm càng dễ bị oxy hoá nên làm tăng điện trở tiếp xúc, làm tiếp điểm nóng thêm, dễ dẫn đến hỏng hóc tiếp điểm. Nếu hai tiếp điểm làm bằng hai kim loại khác nhau, khả năng oxy hoá lớn hơn nhiều so với trường hợp hai tiếp điểm làm từ cùng một kim loại. Độ ẩm, độ bẩn của môi trường xung quanh cũng làm điện trở tiếp xúc tăng. Với dòng điện một chiều, khả năng ăn mòn điện hoá cao. Để khắc phục các ảnh hưởng trên, người ta thường sử dụng các biện pháp như: phủ các lớp đặc biệt để chống tác động của môi trường, nâng cấp bảo vệ (độ kín, độ che chắn) của các thiết bị đóng cắt, dùng các tiếp điểm từ các vật liệu đẳng thế điện hoá và ít bị ôxy hoá...

5.3. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA TIẾP ĐIỂM

Tiếp điểm có bốn chế độ làm việc: đóng, cắt, quá độ đóng và quá độ cắt. Ta sẽ lần lượt xét các chế độ đó.

1. Chế độ đóng

Ở chế độ đóng ổn định, điện trở tiếp xúc tương đối bé. Nếu dòng điện đi qua tiếp điểm là dòng định mức, nhiệt độ tiếp điểm bé, thường vượt quá nhiệt độ thanh dẫn khoảng 5 đến 10°C và đây là chế độ làm việc dài hạn của tiếp điểm, không có hiện tượng gì phức tạp xảy ra.

Nếu trong chế độ đóng, mạch điện bị ngắn mạch, dòng ngắn mạch rất lớn đi qua tiếp điểm, gây ra các hiện tượng sau: điện áp rơi trên tiếp điểm lớn, nhiệt độ tiếp điểm tăng cao. Nếu lực điện động do dòng ngắn mạch

gây ra ngược chiều với lực ép tiếp điểm thì điện trở tiếp xúc tăng, nhiệt lượng toả ra ở tiếp điểm lớn, có thể làm tiếp điểm bị nóng chảy và gây ra hiện tượng hàn, dính tiếp điểm. Muốn khắc phục hiện tượng này cần phải có điện trở tiếp xúc bé ngay cả khi ngắn mạch.

2. Chế độ cắt

Ở chế độ cắt ổn định, dòng điện không đi qua tiếp điểm. Khoảng cách giữa hai tiếp điểm ở trạng thái cắt (với tiếp điểm thường mở) gọi là độ mở của tiếp điểm, phải đảm bảo khoảng cách không phóng điện an toàn và dập hồ quang đủ nhanh. Nếu độ mở tiếp điểm lớn, sẽ an toàn hơn cho cách điện và dập hồ quang, song lại dẫn đến tăng kích thước thiết bị. Việc xác định độ mở tiếp điểm tối ưu phải dựa vào khoảng cách cách điện và điều kiện dập hồ quang.

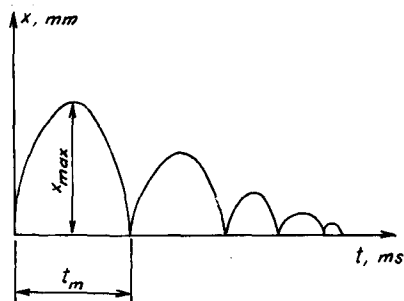
3. Quá độ đóng

Đây là quá trình gắn liền với các hiện tượng vật lý khá phức tạp. Bắt đầu quá trình đóng, tiếp điểm động chuyển động về phía tiếp điểm tĩnh với vận tốc tăng dần, đồng thời khoảng cách giữa hai tiếp điểm cũng giảm dần. Khi cường độ điện trường giữa hai tiếp điểm đủ lớn, sẽ xảy ra hiện tượng phóng điện. Dòng điện càng lớn, thời gian phóng điện dài (ứng với trường hợp đóng tải có dòng điện khởi động lớn như tải cảm, tải điện dung và tốc độ chuyển động của tiếp điểm bé) thì tiếp điểm bị ăn mòn do điện tích gây ra càng lớn.

Khi tiếp điểm động đập vào tiếp điểm tĩnh, phản lực của tiếp điểm tĩnh sẽ đẩy tiếp điểm động bật trở lại với biên độ x_m và thời gian t_m (hình 5-6). Hiện tượng này là hiện tượng rung của tiếp điểm trong quá trình đóng và thường kéo dài vài chu kỳ.

Biên độ rung x_m và thời gian rung t_m có thể xác định gần đúng theo công thức sau:

$$x_m = \frac{m \cdot v^2}{2F_0} ; t_m = \frac{x_m}{v} = \frac{m \cdot v}{2F_0} \quad (5-10)$$



Hình 5-6. Biên độ rung của tiếp điểm theo thời gian đóng.

trong đó: m là khối lượng phần động của thiết bị; v là vận tốc của tiếp điểm động tại thời điểm hai tiếp điểm va đập nhau; F_0 là lực ép tiếp điểm ban đầu.

Trong quá trình rung, nếu biên độ rung lớn hơn độ lún của tiếp điểm, nghĩa là tiếp điểm động lại bị tách khỏi tiếp điểm tĩnh thì hồ quang phát sinh, nhiệt độ tiếp điểm tăng cao. Mặt khác điện trở tiếp xúc trong thời gian rung bị biến động, thường lớn hơn so với điện trở tiếp xúc ở trạng thái đóng ổn định, nên nhiệt độ tiếp điểm lớn. Nếu dòng điện trong quá trình đóng lớn, thời gian quá độ của phụ tải kéo dài (như đóng động cơ điện có tải là các thiết bị có mômen quán tính lớn...) thì tiếp điểm rất dễ bị hàn dính. Trong trường hợp đóng lưới bị ngắn mạch, nếu thời gian tác động của thiết bị bảo vệ không nhanh thì khả năng hàn dính dễ xảy ra.

Từ (5-10) ta nhận thấy rằng, muốn giảm quá trình rung thì phải giảm khối lượng phần động của thiết bị đến mức tối đa cho phép và phải tăng lực ép tiếp điểm đầu F_0 . Phương án giảm vận tốc v của tiếp điểm không khả thi vì khi tiếp điểm chuyển động chậm, thời gian phóng điện dài, dẫn đến tiếp điểm bị mòn và hỏng hóc.

Dòng điện hàn dính của tiếp điểm có thể xác định sơ bộ theo công thức thực nghiệm:

$$I_{hd} = K\sqrt{F} \quad (5-11)$$

trong đó: I_{hd} là dòng điện hàn dính của tiếp điểm, A; K là hệ số thực nghiệm, phụ thuộc vào vật liệu và kiểu kết cấu của tiếp điểm, nó dao động từ 950 đến 1900 A/N^{1/2} và F là lực ép tiếp điểm, N.

Lực ép tiếp điểm của dạng tiếp xúc điểm cho dòng điện lớn có thể tính theo công thức:

$$F = I^2 \frac{B\pi H \cdot 10^7}{16\lambda^2 (\arccos \frac{T_0}{T_c})^2} \quad (5-12)$$

trong đó: F là lực tiếp điểm, tính bằng N;

I là trị số hiệu dụng của dòng điện, [A];

$B = 2,42 \cdot 10^{-8} \text{ V}^2/\text{°C}^2$ là hằng số Loren;

H là độ cứng Brinel [N/m²], bảng 5-2

λ là hệ số dẫn nhiệt, [W/m.°C].

T_0 là nhiệt độ thân tiếp điểm; T_c là nhiệt độ điểm tiếp xúc [°K];

Nhiệt độ của thân tiếp điểm là:

$$T_o = \left(\frac{I^2 \rho}{K_T p \cdot q} + \theta_o + 273 \right), \text{ } ^\circ\text{K} \quad (5-13)$$

trong đó: ρ là điện trở suất vật liệu tiếp điểm, [$\Omega \cdot m$];

K_T là hệ số toả nhiệt của tiếp điểm, $W/m^2 \cdot ^\circ C$;

p là chu vi của tiết diện tiếp điểm, [m];

q là tiết diện thân tiếp điểm, [m^2];

θ_o là nhiệt độ môi trường xung quanh, [$^\circ C$].

Công thức (5-12) cho phép tính lực tiếp điểm khi biết dòng điện đi qua nó và tỷ số $\frac{T_o}{T_c}$.

Nhiệt độ thân tiếp điểm có thể tính theo (5-13), còn độ tăng nhiệt giữa chỗ tiếp xúc và thân tiếp điểm ($T_c - T_o$) thường từ 5 đến $10^\circ C$.

Ở một số khí cụ điện đóng cắt làm chức năng cách ly như dao cách ly, dòng điện đi qua tiếp điểm trong quá độ đóng rất bé (dòng điện không tải của máy biến áp hoặc đường dây không tải) nên hiện tượng hàn dính và sự ăn mòn tiếp điểm do dòng điện đóng gây ra gần như không có, mà nó bị mòn do cơ khí: va đập, ma sát.... Ngược lại, với thiết bị đóng dòng ngắn mạch như dao ngắn mạch, dòng đóng là dòng ngắn mạch, nên khả năng hàn dính rất lớn, vì vậy tiếp điểm loại này phải có cấu tạo đặc biệt để chống hàn dính.

4. Quá độ cắt

Đây là quá trình ngược với quá độ đóng của tiếp điểm. Bắt đầu quá trình cắt, tiếp điểm động chuyển động theo chiều tách khỏi tiếp điểm tĩnh nên điện trở tiếp xúc tăng dần. Khi giữa hai tiếp điểm có khe hở, hồ quang phát sinh và sau một thời gian nhất định, hồ quang bị dập tắt. Dưới tác dụng của hồ quang, kim loại tiếp điểm bị nóng chảy, bay hơi nên tiếp điểm bị mòn nhiều và bề mặt tiếp điểm bị rỗ.

Độ mòn của tiếp điểm trong quá trình cắt phụ thuộc vào trị số dòng điện cắt, thời gian cháy của hồ quang và vật liệu làm tiếp điểm.

Với dòng điện cắt nhỏ hơn 5 A, có thể tính tuổi thọ của tiếp điểm theo công thức kinh nghiệm sau:

$$N = \frac{0,6.V_0\gamma}{\alpha.q_0} \quad (5-14)$$

trong đó: N là số lần cắt cho phép của tiếp điểm, hay còn gọi là tuổi thọ tiếp điểm;

V_0 là thể tích phần tiếp điểm bị mòn;

γ là khối lượng riêng của vật liệu tiếp điểm;

α là hệ số kinh nghiệm về độ mòn;

q_0 là điện lượng đi qua tiếp điểm cho một lần cắt:

$$q_0 = \int_0^{t_{hg}} i \cdot dt.$$

Với dòng điện cắt trên 5A, khối lượng kim loại bị mòn có thể tính theo công thức sau:

$$Q = 10^{-9} \cdot K_c \cdot N \cdot I^2 \quad (5-15)$$

trong đó: Q là khối lượng vật liệu tiếp điểm bị mòn, g;

N là số lần cắt;

K_c là hệ số kinh nghiệm về mòn theo cắt, g/A²;

I là dòng điện cắt của tiếp điểm, A.

Với các thiết bị điện làm việc ở chế độ cắt nặng như dòng cắt lớn, điện áp cao, tải dạng điện cảm, thì tiếp điểm bị mòn nhiều, nhất là khi cắt dòng ngắn mạch.

Để tăng tuổi thọ của tiếp điểm, giảm độ mòn khi cắt, người ta thường dùng các giải pháp về vật liệu, kết cấu tiếp điểm, trang bị dập hồ quang và nối thêm các phần tử phụ vào mạch cắt.

5.4. VẬT LIỆU TIẾP ĐIỂM

Các yêu cầu chính đối với vật liệu tiếp điểm là: dẫn điện, dẫn nhiệt tốt, không bị tác động của môi trường như oxy hoá, ăn mòn điện hoá, điện trở tiếp xúc bé, ít bị mòn về cơ và điện, chịu được nhiệt độ cao, trị số dòng điện, điện áp tạo hồ quang lớn, dễ gia công, giá thành hạ. Tất nhiên không thể có kim loại nào đáp ứng được tất cả các yêu cầu trên. Ví dụ muốn có điện trở tiếp xúc bé thì kim loại phải mềm để tăng diện tích tiếp xúc, nhưng yêu cầu này lại không thoả mãn yêu cầu tiếp điểm ít bị mòn....

Sau đây sẽ xét một số vật liệu kim loại màu thường làm tiếp điểm

thông dụng (xem thêm bảng 2-1, chương 2).

- Đồng là kim loại màu được dùng nhiều nhất trong các thiết bị điện. Ưu điểm chính của nó là: dẫn điện, dẫn nhiệt tốt, tương đối cứng, có trị số dòng điện, điện áp tạo hồ quang trung bình, dễ gia công, giá thành hạ.

Nhược điểm của đồng là: nhiệt độ nóng chảy thấp, dễ bị tác động của môi trường, nên bề mặt của lớp oxýt đồng có điện trở suất cao. Để giảm điện trở tiếp xúc, trong trường hợp tiếp điểm bằng đồng cần lực ép tiếp điểm lớn hoặc trong khi đóng phải có quá trình cọ sát giữa hai bề mặt tiếp xúc để loại trừ lớp ôxyt. Với các tiếp xúc ít đóng cắt có thể mạ bạc hoặc đắp thêm một miếng bạc lên mặt tiếp điểm.

Vì đồng ít chịu hồ quang nên không dùng để chế tạo các loại tiếp điểm thường xuyên đóng cắt với dòng điện lớn.

- Bạc có các ưu điểm chính là dẫn điện, dẫn nhiệt rất tốt, khó bị tác động của môi trường. Lớp ôxyt bạc mỏng, dễ bị phá vỡ vì có độ bền cơ kém. Điện trở tiếp xúc của bạc bé, ổn định nên không cần lực ép tiếp điểm lớn. Nhược điểm của bạc là ít chịu hồ quang, va đập, vì vậy nó không dùng để làm tiếp điểm thường xuyên đóng cắt với dòng điện lớn.

Các tiếp điểm hồ quang bé như ở các role và các tiếp điểm làm việc (không chịu hồ quang) ở các thiết bị đóng cắt có dòng điện lớn đến hàng chục ngàn ampe, thường được chế tạo bằng bạc.

- Nhôm với các ưu điểm là dẫn điện, dẫn nhiệt tốt, khối lượng riêng bé nên thường dùng làm dây dẫn điện. Người ra không dùng nhôm làm tiếp điểm đóng cắt vì lớp ôxyt nhôm có điện trở lớn, khá bền vững, nhiệt độ nóng chảy của nhôm thấp. Một vấn đề cần lưu ý là khi có tiếp xúc giữa nhôm với đồng, khả năng ăn mòn điện hoá cao.

- Vonfram là kim loại có nhiệt độ nóng chảy khá cao nên chịu được hồ quang. Kim loại này khó hàn, ít bị ôxy hoá, có độ cứng cao ít mòn nhưng có điện trở suất cao. Vì vậy nó thường dùng để làm tiếp điểm hồ quang ở các thiết bị đóng cắt công suất lớn.

- Kim loại gốm. Các kim loại nguyên chất không thể đáp ứng đầy đủ các yêu cầu của tiếp điểm mà yêu cầu cơ bản là dẫn điện, dẫn nhiệt tốt, ít mòn, chịu hồ quang. Với sự phát triển của công nghệ luyện kim, người ta đã tạo ra kim loại gốm từ bột các kim loại thành phần, gia công theo phương pháp đặc biệt. Các đặc tính vật lý của các kim loại thành phần ở

kim loại gồm vẫn được bảo toàn. Tùy theo yêu cầu của tiếp điểm, thành phần vật liệu của nó được pha trộn theo tỷ lệ thích hợp.

Trong bảng 5-2 cho một số kim loại gồm do Liên Xô (cũ) chế tạo, dùng trong công nghệ tiếp điểm.

Bảng 5-2. Vật liệu tiếp điểm bằng kim loại gồm

Ký hiệu vật liệu	Các thành phần cơ bản	Khối lượng riêng, kg/m ³	Điện trở suất, 10 ⁻⁸ Ωm	Độ cứng Brinel kG/mm ²
KMK - A10	Bạc, ôxyt cadimi	9.700	0,030	45 ÷ 75
KMK - A20	Bạc, ôxyt đồng	9.500	0,025	45 ÷ 60
KMK - A31	Bạc, niken	9.500	0,032	60 ÷ 80
KMK- A60	Bạc, niken, vonfram	13.500	0,041	120 ÷ 160
KMK - A61	Bạc, vonfram, niken	15.000	0,045	170 ÷ 210
KMK - B20	Đồng, vonfram, niken	12.100	0,060	170 ÷ 150
KMK - B21	Đồng, vonfram, niken	13.800	0,070	170 ÷ 200

Ở các khí cụ điện hạ áp, người ta thường dùng tiếp điểm từ vật liệu KMK - A10, A20 và A31. Đặc trưng của KMK - A10 là sự phân huỷ của CdO (ôxyt cadimi) thành hơi Cd và O, gây hồ quang chuyển động trên bề mặt tiếp điểm làm giảm nhiệt độ tiếp điểm, tăng khả năng phản ion, dễ dập tắt hồ quang. Các tiếp điểm từ KMK - A20 chịu ăn mòn tốt hơn loại KMK - A10.

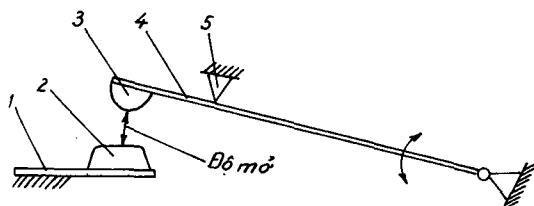
Kim loại gồm KMK - A31 có đặc điểm dễ gia công, chịu ăn mòn tốt, có điện trở tiếp xúc bé và ổn định nhưng khả năng chịu hàn dính kém hơn loại KMK - A10, A20.

Với các khí cụ điện đóng cắt cao áp, tiếp điểm của chúng thường được chế tạo từ các vật liệu mã hiệu KM-A60, A61; B-20 và B-21. Trong các vật liệu này có vonfram nên độ cứng lớn, chịu mài mòn và chịu hồ quang, ít bị hàn dính. Ngoài ra, các tiếp điểm bằng kim loại gồm gốc bạc - graphít và đồng - graphít cũng chịu được mài mòn, ít bị hàn dính và chịu hồ quang nên được sử dụng như tiếp điểm hồ quang.

5.5. KẾT CẤU TIẾP ĐIỂM

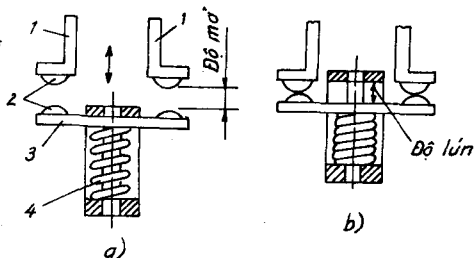
Tùy theo chức năng của thiết bị đóng cắt và công suất (dòng điện, điện áp) mà tiếp điểm phải chịu, người ta sử dụng những kết cấu thích hợp của tiếp điểm. Chúng ta sẽ lần lượt xét một số kết cấu tiếp điểm thông dụng.

1- *Tiếp điểm kiểu côngson* (hình 5-7a) thường dùng cho dòng điện bé (đến 5 A), tải nhẹ: Dạng tiếp xúc điểm không có lò xo tiếp điểm riêng mà lợi dụng tính đàn hồi của thanh dẫn động để tạo lực ép tiếp điểm. Ở các role trung gian, độ mở tiếp điểm cỡ 1 đến 3 mm cho điện áp 250 V xoay chiều, không có buồng dập hồ quang.



Hình 5-7

- 1- Thanh dẫn tĩnh; 2- Tiếp điểm tĩnh;
3 - Tiếp điểm động; 4- Thanh dẫn động;
5- Cũ chặn



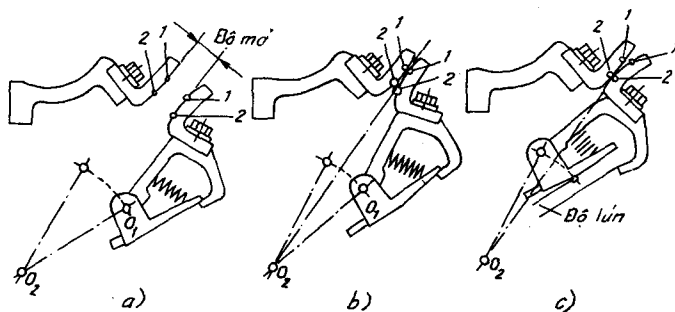
Hình 5-8

- 1- Thanh dẫn tĩnh; 2- Tiếp điểm;
3- Thanh dẫn động; 4- Lò xo tiếp điểm

2- *Tiếp điểm kiểu cầu* (hình 5-8) với đặc điểm một pha có hai chỗ cắt nên hồ quang bị phân đoạn. Tiếp điểm động chuyển động thẳng, lò xo ép tiếp điểm dạng xoắn, hình trụ, làm việc ở chế độ nén. Loại này không có dây dẫn mềm, kết cấu đơn giản. Kết cấu này thường dùng trong các công tác tơ, khởi động từ điều khiển động cơ điện, có dòng điện định mức từ hàng chục ampe đến vài trăm ampe (đến 800 A)

3- *Tiếp điểm kiểu ngón* (hình 5-9). Với tiếp điểm kiểu này, một pha có một chỗ cắt nên phần động chuyển động quay, vì vậy dùng dây dẫn mềm để nối với tiếp điểm động.

Từ hình 5-9 ta nhận thấy rằng, trong quá độ đóng phần mở của hai tiếp điểm (điểm 1-1) tiếp xúc trước, sau đó phần dưới (điểm 2-2) tiếp xúc sau. Quá trình cắt diễn ra ngược lại: các điểm 2-2 tách ra trước, còn các điểm 1-1 tách ra sau. Với kết cấu này, phần hồ quang phát sinh (điểm 1-1) khác phần tiếp xúc làm việc (điểm 2-2). Bằng kết cấu này, vùng tiếp xúc làm việc không bị hồ quang. Loại kết cấu này thường sử dụng trong các máy cắt hạ áp (aptômát) và các thiết bị đóng cắt có chế độ làm việc nặng nề. Trên hình 5-10 mô tả kết cấu của dạng tiếp điểm kiểu ngón.

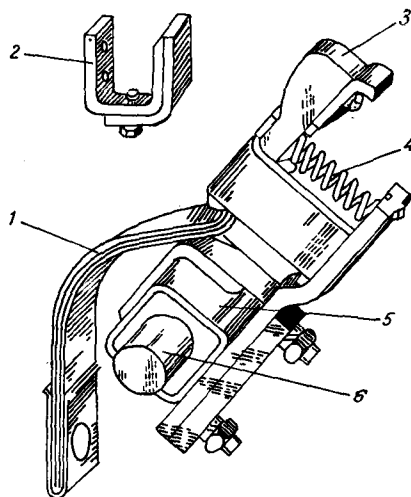


Hình 5-9

a- Trạng thái mở; b- Quá độ đóng; c- Đóng ổn định.

4- Tiếp điểm kiểu dao. Nguyên lý kết cấu của tiếp điểm loại này được trình bày ở hình 5-11.

Kết cấu ở hình 5-11a thường dùng cho cầu dao với dòng điện thấp (đến vài chục ampe). Lực ép tiếp điểm ở đây nhờ tính đàn hồi của đồng lá tiếp điểm tĩnh. Với dòng điện lớn, người ta dùng tấm thép lò xo dạng phẳng (hình 5-11b, c) để tạo lực ép tốt hơn. Với kết cấu này, khi bị ngắn mạch, lực điện động sẽ cùng chiều với lực ép tiếp điểm, bảo đảm tiếp xúc tốt. Loại tiếp điểm kiểu dao chỉ dùng đóng cắt không điện hoặc dòng điện thấp (dòng không tải), thường gặp ở cầu dao, dao cách ly.



Hình 5-10

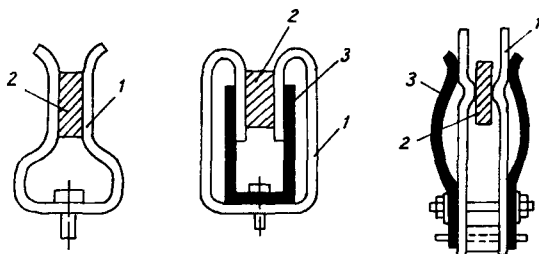
1- Dây dẫn mềm; 2- Tiếp điểm tĩnh; 3- Tiếp điểm động; 4- Lò xo tiếp điểm; 5- Giá đỡ; 6- Trụ truyền động

5- Tiếp điểm kiểu nôm được mô tả ở hình 5-12. Với kết cấu này cho phép dòng điện định mức lớn đi qua, nhưng dập hồ quang không lợi, vì dễ làm hỏng bề mặt tiếp xúc điện. Loại này thường dùng ở các dao cách ly điện áp cao.

6- Tiếp điểm

kiểu đối được trình bày ở hình 5-13.

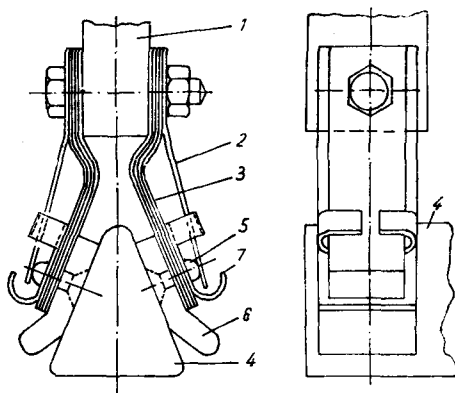
Tiếp điểm động 1 có dạng trụ rỗng, tiện cho việc thổi hồ quang. Tiếp điểm tĩnh 2 có dây dẫn mềm 4 và lò xo hoãn xung 3. Loại tiếp điểm này thường dùng ở các máy cắt cao áp như khí nén, dầu...



Hình 5-11

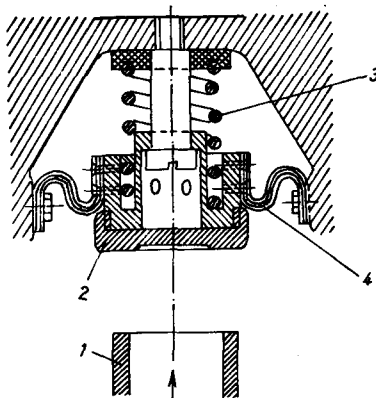
- 1- Tiếp điểm tĩnh; 2- Tiếp điểm động
3- Lò xo lá ép tiếp điểm

7- Tiếp điểm kiểu hou huê được cho ở hình 5-14. Tiếp điểm động 1 dạng hình trụ đặc, phần đầu hình cầu, bằng kim loại chịu hồ quang. Các cánh của tiếp điểm tĩnh 2 có lò xo tiếp điểm 3 tạo mối liên kết cơ và giá đỡ tiếp điểm 4 để đưa dòng điện qua tiếp điểm tĩnh. Vì các cánh tiếp điểm tĩnh song song với nhau từng đôi một nên khi có dòng điện ngắn mạch, lực điện động sẽ tăng lực ép tiếp điểm, tạo điện trở tiếp xúc bé. Với kết cấu này, vùng hồ quang cháy và vùng tiếp xúc làm việc khác nhau nên đảm bảo bề mặt tiếp xúc làm việc không bị hồ quang phá hỏng. Kết cấu này thường được sử dụng trong các máy cắt dòng



Hình 5-12

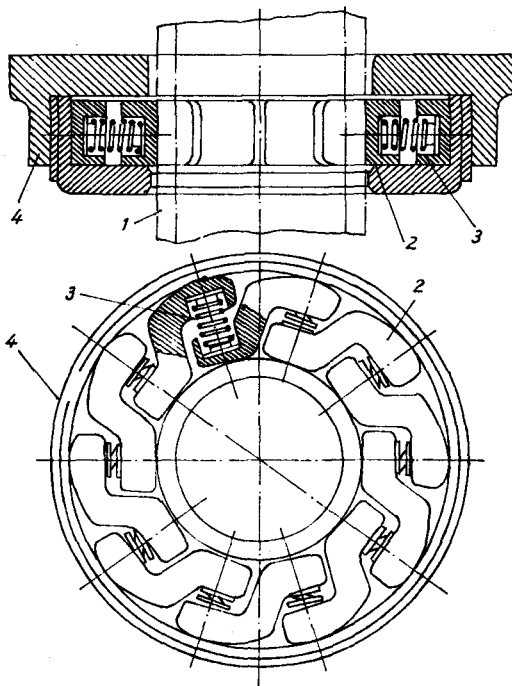
- 1- Thanh dẫn tĩnh; 2- Lò xo thép lá;
3- Đồng lá; 4- Tiếp điểm động; 5- Đinh tán; 6- Tiếp điểm tĩnh; 7- Củ chặn.



Hình 5-13

điện cỡ hàng ngàn ampe. Kết cấu này cũng thường được sử dụng trong các trạm đóng cắt trọn bộ, lắp ráp kiểu môđun.

Ngày nay với sự phát triển của công nghệ, trong các thiết bị đóng cắt dòng điện lớn, người ta thường dùng kết cấu tiếp điểm trong đó tiếp điểm làm việc và tiếp điểm hồ quang riêng biệt, tiếp điểm hồ quang đóng trước, cắt sau, còn tiếp điểm làm việc thì đóng sau, cắt trước.



Hình 5-14. Tiếp điểm kiểu hoa huệ.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 5

1. Đặc điểm của các loại tiếp xúc điện và yêu cầu của chúng.
2. Điện trở tiếp xúc phụ thuộc vào những yếu tố gì?
3. Nguyên nhân hàn dính của tiếp điểm và các biện pháp khắc phục.
4. Độ mòn của tiếp điểm phụ thuộc vào những yếu tố nào?
5. Các loại kết cấu của tiếp điểm và phạm vi ứng dụng.

CÁCH ĐIỆN TRONG KHÍ CỤ ĐIỆN

6.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Cách điện đóng một vai trò rất quan trọng trong khí cụ điện. Độ tin cậy, kích thước, khối lượng và giá thành của khí cụ điện phụ thuộc vào cách điện, nhất là với các thiết bị điện có điện áp từ 1000 V trở lên. Trong thiết bị điện có các loại cách điện sau: cách điện giữa các pha, cách điện giữa pha với đất (là phần vỏ kim loại không dẫn điện được nối đất), cách điện giữa tiếp điểm động và tiếp điểm tĩnh của một pha. Vật liệu cách điện thường dùng có ba loại: cách điện rắn, cách điện lỏng (như dầu biến áp), cách điện khí (không khí, khí SF₆ hay chân không) hoặc tổ hợp của các loại trên.

Cách điện của thiết bị điện phụ thuộc vào điện áp định mức của chúng. U_{dm} là điện áp dây của hệ thống điện ba pha, được tính theo trị hiệu dụng mà thiết bị điện có cấp điện áp tương ứng phải làm việc lâu dài ở hệ thống điện đó. Với các thiết bị điện một chiều, điện áp định mức được hiểu là điện áp của nguồn cấp cho thiết bị.

Với điện áp đến 1000 V, ta thường gặp các trị số điện áp định mức sau:

6; 12; 24; 36; 48; 60; 110; 220; 380; 440; 660 V.

Với điện áp trên 1000 V, các cấp điện áp định mức thường gặp là:

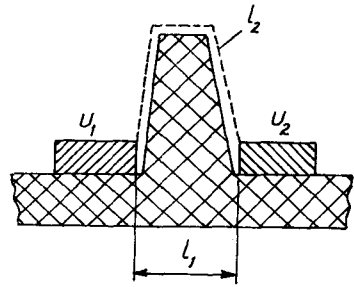
3; 6; 10; 15; 20; 24; 35; 36; 75; 110; 150; 220; 330; 500; 750 kV.

Trong lưới điện với điện áp dưới 36 kV gọi là lưới trung áp, còn trên 36 kV đến 330 kV là lưới cao áp, còn khi điện áp cao hơn nữa gọi là siêu cao áp.

Tuỳ theo đường đi của dòng điện qua cách điện, khoảng cách cách điện được chia làm hai loại: khoảng cách phóng điện và khoảng cách theo dòng

diện bề mặt (hình 6-1). Khoảng cách phóng điện là khoảng cách gần nhất giữa hai chi tiết kim loại có điện áp khác nhau (l_1), còn khoảng cách theo bề mặt là đường đi ngắn nhất theo bề mặt (l_2) từ chi tiết này đến chi tiết kia.

Cách điện theo l_1 gọi là cách điện bên trong của cách điện, còn cách điện theo l_2 còn gọi là cách điện ngoài của cách điện.



Hình 6-1. Khoảng cách phóng điện.

Cách điện trong phụ thuộc vào bề dày và các đặc tính của vật liệu cách điện, còn cách điện ngoài phụ thuộc vào chiều dài l_2 và môi trường làm việc của cách điện như: bụi, bẩn, độ ẩm, các hoá chất xâm thực.

Đặc trưng cho cách điện là khi có một điện áp đủ lớn đặt lên nó với thời gian xác định, sẽ có sự phóng điện giữa hai điện cực làm cách điện bị hỏng và sẽ tạo ra cầu dẫn điện giữa chúng. Quá trình phóng điện có thể đánh thủng chất điện môi hoặc phóng trên bề mặt cách điện, phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như: đặc tính, kích cỡ của chất điện môi, trạng thái bề mặt của cách điện, độ lớn của điện áp, dạng sóng của nó, thời gian duy trì điện áp. ...

6.2. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN CÁCH ĐIỆN

Khi làm việc, cách điện bị các tác động sau:

- Tác động của điện trường do điện áp gây nên, đó là điện áp định mức của lưới điện, quá điện áp do thao tác và quá điện áp có nguồn gốc khí quyển.
- Tác động nhiệt do sự thay đổi nhiệt độ của môi trường và nhiệt độ do tổn hao công suất trong thiết bị điện gây nên.
- Tác động cơ học lên cách điện do phương pháp cố định cách điện, mối liên kết cơ học của cách điện với các phần tử khác, lực điện động khi ngắn mạch tác động lên cách điện....
- Tác động của môi trường như độ ẩm, bụi, bẩn, các tác nhân hoá học, áp suất khí quyển...

Sau đây chúng ta sẽ lần lượt xét các tác động đó.

1- Quá điện áp - Quá điện áp do hai nguyên nhân: quá điện áp khí

quyển và quá điện áp do thao tác gây nên. Quá điện áp khí quyển thường do sét đánh trực tiếp vào đường dây tải điện hoặc điện áp cảm ứng do sét đánh gần đường dây. Quá điện áp sẽ tác động lên cách điện của đường dây và cách điện của thiết bị điện nối với đường dây. Trị số quá điện áp khí quyển khá lớn, có thể đến hàng ngàn kilôvôn. Quá điện áp khí quyển là sóng dạng xung truyền trên đường dây nên bị suy giảm tương đối nhanh theo chiều dài đường dây, bởi dòng điện rò và các thiết bị bảo vệ quá điện áp như thiết bị chống sét đặt trước trạm biến áp.

Quá điện áp do thao tác gây ra bởi các quá trình đóng cắt trong lưới điện. Dạng quá điện áp này không những chỉ xuất hiện ở chế độ ngắn mạch, mà còn xuất hiện cả ở chế độ bình thường với thời gian cỡ một nửa chu kỳ tần số công nghiệp. Quá điện áp do thao tác thường xảy ra khi:

- Một pha chạm đất, với trị số quá điện áp đạt tới 3,5 lần điện áp pha của lưới điện.

- Cắt tải điện áp lớn như khi cắt biến áp công suất lớn không tải. Ở lưới điện từ 3 kV đến 6 kV, quá điện áp trong trường hợp này có thể đạt tới 7 lần, còn với cấp điện áp từ 10 đến 35 kV, trị số này có thể tới 4 lần điện áp pha của lưới.

- Khi cắt dòng điện một chiều của các thiết bị chỉnh lưu công suất lớn.

- Khi cắt tải điện dung hoặc đường dây dài không tải.

Trong lưới điện, trị số quá điện áp phụ thuộc vào chế độ làm việc của điểm trung tính của lưới (trung tính của máy phát hoặc máy biến áp): trung tính cách ly, trung tính nối đất trực tiếp, nối đất qua điện trở hay nối đất qua cuộn dập hồ quang.

Với lưới điện có trung tính cách ly, cho phép làm việc kể cả khi một pha chạm đất, xong nếu điện dung giữa pha và đất lớn, trị số quá điện áp sẽ cao, gây nguy hiểm cho cách điện. Vì vậy, hệ thống điện có trung tính cách ly chỉ sử dụng cho cấp điện áp đến 35 kV vì có độ dự trữ cách điện lớn và điện dung so với đất bé. Với lưới điện đến 35 kV có điện dung so với đất lớn (như cáp ngầm), trung tính thường được nối đất qua cuộn kháng dập hồ quang để bù với dòng điện dung pha đất, tăng quá trình dập hồ quang và giảm thời gian tác động của quá điện áp.

Với lưới điện có trung tính nối đất (4 dây, ba dây pha và một dây trung tính), khi bị ngắn mạch một pha, dòng ngắn mạch rất lớn, thiết bị bảo vệ

tác động, loại trừ sự cố nên cách điện không bị quá điện áp nhưng cung cấp điện bị gián đoạn.

2- Tác động nhiệt lên cách điện. Khi nhiệt độ tăng, độ bền điện của cách điện giảm, góc tổn hao điện môi tăng, làm giảm tuổi thọ cách điện. Mặt khác khi nhiệt độ thay đổi, ở rất nhiều vật liệu cách điện rắn xuất hiện ứng suất cơ học, gây ra rạn nứt, hỏng hóc cục bộ lớp cách điện.

Ở cách điện lỏng hoặc khí, việc thay đổi nhiệt độ, nhất là khi nhiệt độ tăng trong một phạm vi nào đó, nước bị bốc hơi, làm tăng độ bền điện.

Tóm lại tác động nhiệt lên cách điện có thể thay đổi đặc tính của cách điện theo chiều giảm, và đôi khi theo cả chiều tăng độ bền điện.

3. Tác động cơ học lên cách điện do nguyên nhân các lực kết cấu, cố định cách điện và lực điện động.

Dưới tác dụng của các lực cơ học, sẽ gây ra ứng suất cơ học trong cấu trúc vật liệu cách điện, làm thay đổi hằng số điện môi và độ dẫn điện của chất điện môi. Sự thay đổi này phụ thuộc vào dạng ứng suất và độ lớn của ứng suất như ứng suất nén, ứng suất kéo hoặc ứng suất xoắn... Nếu dạng và độ lớn của ứng suất thích hợp, có thể làm tăng độ bền điện. Nếu trị số và dạng ứng suất không thích hợp (quá lớn) có thể gây ra thương tích cho cách điện, làm tăng quá trình ion hoá tại các chỗ hư hại này, kể cả ở điện áp định mức, làm hỏng cách điện.

4- Tác động của môi trường: Đó là nhiệt độ môi trường, áp suất khí quyển, độ ẩm không khí, nắng, gió, mưa. Các nhân tố này tác động chủ yếu lên bề mặt của cách điện và còn gây ra những ứng suất cơ khí trong cấu trúc của vật liệu cách điện.

Tác động của môi trường như: độ ẩm, mưa, gió khi thì làm giảm độ bền điện bề mặt, nhưng có lúc lại làm tăng độ bền điện vì nó tẩy rửa các bụi, bẩn, muối khoáng bám trên bề mặt cách điện. Vì vậy tác động của môi trường lên cách điện có ảnh hưởng khá phức tạp.

Khi nắm vững các nhân tố tác động đến cách điện, ta có thể thiết kế, lựa chọn cách điện thích hợp, tăng độ tin cậy và tuổi thọ cho các thiết bị điện.

6.3. ĐIỆN ÁP THỬ NGHIỆM CỦA KHÍ CỤ ĐIỆN

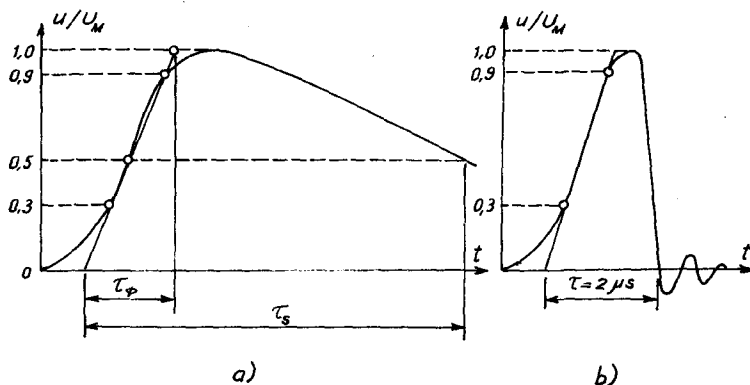
Mỗi thiết bị điện được chế tạo để làm việc ở giá trị điện áp định mức

và quá điện áp trong những điều kiện nhất định. Điện áp lớn nhất đặt vào thiết bị điện mà không gây hư hại cho cách điện của nó được gọi là điện áp thử nghiệm.

Điện áp thử nghiệm thường có những dạng sau: điện áp với tần số công nghiệp, với sóng chuẩn và với sóng cắt. Dạng của điện áp thử nghiệm xác định đặc tính phân bố của điện trường. Với điện áp xoay chiều, sự phân bố điện trường phụ thuộc vào hằng số điện môi của các vật liệu cách điện; còn với điện áp một chiều xác lập, sự phân bố của điện trường phụ thuộc vào độ dẫn điện của vật liệu cách điện.

Với điện áp thử nghiệm tần số công nghiệp, cần chú ý thời gian duy trì điện áp thử nghiệm trên thiết bị và tốc độ tăng điện áp theo thời gian. Đặc tính điện áp thử nghiệm theo thời gian được gọi là đặc tính vôn - giây của cách điện - điện áp mà cách điện chịu đựng được phụ thuộc vào thời gian thử nghiệm, vì quá trình phóng điện cần phải có một thời gian nhất định. Nếu thời gian thử nghiệm quá ngắn thì cách điện chịu được điện áp thử nghiệm cao hơn. Thông thường với điện áp tần số công nghiệp, thời gian thử nghiệm là 1 phút.

Với các khí cụ điện có điện áp định mức đến 500 V, điện áp thử nghiệm tần số công nghiệp với thời gian 1 phút là 2000 V. Hình dáng của sóng điện áp thử nghiệm dạng xung được cho ở hình 6-2: dạng sóng toàn phần (hình 6-2a) với độ dài sườn trước $\tau_f = 1,5 \pm 0,2 \mu s$ và độ dài xung là $\tau_x = 40 \pm \mu s$; dạng sóng cắt (hình 6-2b) có độ dài $\tau = 2 \mu s$.



Hình 6-2. Các dạng điện áp thử nghiệm.

Thông thường trị số điện áp thử nghiệm dạng xung thường lớn hơn vài lần so với trị số điện áp thử nghiệm dạng tần số công nghiệp với thời gian

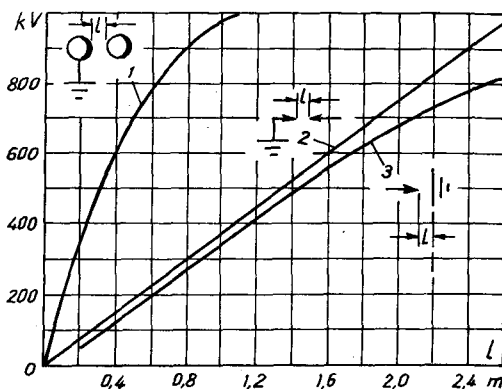
thử nghiệm 1 phút. Ở bảng 6-1 cho các trị số điện áp thử nghiệm với các vị trí cách điện khác nhau của dao cách ly, làm việc ở điều kiện khí quyển bình thường.

Điện áp định mức kV	Điện áp thử nghiệm 1 phút, tần số công nghiệp		Điện áp thử nghiệm xung với sóng $\pm 14/40 \mu s$	
	Giữa hai tiếp điểm một pha khi mở, kV	Pha - pha và pha - đất, KV	Giữa hai tiếp điểm pha - pha một pha khi mở và pha - đất, kV	
3	25	21	52	45
6	35	27	70	60
10	45	35	85	75
20	75	55	145	125
35	100	75	195	170
60	190	140	375	325
110	310	230	630	550
220	620	460	1210	1050

6.4. KHOẢNG CÁCH CÁCH ĐIỆN

Việc xác định khoảng cách cách điện tối ưu có ảnh hưởng không nhỏ đến kích cỡ và giá thành của thiết bị điện. Khoảng cách cách điện tối thiểu là khoảng cách đảm bảo an toàn cho thiết bị điện trong quá trình làm việc, không xảy ra hiện tượng phóng điện.

Với cách điện là không khí, độ bền điện của loại điện môi này phụ thuộc vào dạng của điện cực (hình 6-3). Nếu điện trường giữa hai điện cực là đều, thì độ bền điện của không khí ở điều kiện chuẩn đạt cỡ 3000 V/mm. Vì vậy với các khí cụ điện có điện áp định mức đến 1000 V, khe hở không khí cho cách điện chỉ cần cỡ 1 đến 2 mm là đủ. Cần lưu ý rằng trong quá trình làm việc, bụi bẩn, hơi



Hình 6-3. Quan hệ giữa điện áp phóng điện và khoảng cách phóng điện của các dạng điện cực khác nhau.

nước có thể xuất hiện ở khe hở này, vì vậy tùy theo cấp bảo vệ (độ kín) của thiết bị (IP), phải tăng khe hở tối thiểu để đảm bảo an toàn cho cách điện. Bề mặt của cách điện thường bị bụi, bẩn, ẩm... làm tăng nhanh dòng điện rò, dẫn đến khả năng phóng điện bề mặt. Vì vậy khoảng cách cách điện theo dòng điện rò thường phải lấy lớn hơn khoảng cách phóng điện. Người ta thường tăng khoảng cách cách điện theo dòng điện rò bằng cách làm các vách ngăn, gờ, "mái hiên" ở các chi tiết cách điện như nhựa, sứ....

Một trong các vấn đề cần lưu ý là khi chọn khoảng cách cách điện nối tiếp giữa các vật liệu cách điện có hệ số điện môi khác nhau. Giả sử có n lớp cách điện nối tiếp nhau, được đặt trong điện trường có điện áp U , ta có biểu thức:

$$U = E_1\Delta_1 + E_2\Delta_2 + \dots + E_n\Delta_n \quad (6-1)$$

trong đó: Δ_i là bề dày của lớp cách điện thứ i ; E_i là cường độ điện trường ở lớp cách điện i .

Với điện trường đều, điện cảm D ở các lớp cách điện là giống nhau:

$$D_1 = D_2 = \dots = D_n \quad (6-2)$$

$$\text{hoặc } \varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_2 E_2 = \dots = \varepsilon_n E_n \quad (6-3)$$

Từ (6-3) ta có quan hệ:

$$\frac{E_i}{E_{i+1}} = \frac{\varepsilon_{i+1}}{\varepsilon_i} \quad (6-4)$$

Vậy tỉ số cường độ điện trường của hai lớp cách điện tỷ lệ nghịch với tỷ số hằng số điện môi của chúng. Nếu vật liệu cách điện có hằng số điện môi bé thì cường độ điện trường của nó sẽ lớn, dễ dẫn đến phá hỏng lớp cách điện đó.

Sau đây sẽ xét một ví dụ minh họa. Nếu ta có khoảng cách cách điện là không khí với $\Delta_a = 10$ mm, cường độ điện trường phóng điện của lớp cách điện không khí đó là $E_a = 3,5$ kV/mm, vậy điện áp của cách điện sẽ là:

$$U_a = E_a \Delta_a = 3,5 \cdot 10 = 35 \text{ kV}$$

Ta đặt một tấm bakêlít với $\Delta_b = 5$ mm, $\varepsilon_b = 5$, $\varepsilon_a = 1$, theo (6-4), ta được:

$$\frac{E_a}{E_b} = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = \frac{5}{1} \Rightarrow E_a = 5E_b$$

Vì cường độ điện trường ở không khí lớn gấp 5 lần cường độ điện trường ở bakêlít, nên điện áp mà cách điện hỗn hợp (không khí, bakêlít) chịu đựng được là:

$$U = \Delta_a E_a + \Delta_b E_b = \Delta(E_a + 0,2E_a) = 5(3,5 + 0,7) = 21 \text{ kV}$$

Nếu chỉ có riêng bakêlít thì điện áp chọc thủng của lớp cách điện này là:

$$U_b = E_b \cdot \Delta_b = 15 \cdot 5 = 75 \text{ kV}$$

Ta nhận thấy rằng, với 10 mm không khí, điện áp nó chịu đựng được là 35 kV, còn khi có cách điện hỗn hợp 5 mm không khí và 5 mm bakêlít, điện áp của nó chỉ là 21 kV.

Tất nhiên sau khi lớp không khí bị đánh thủng, lớp bakêlít vẫn làm việc nhưng cần lưu ý rằng, khi lớp không khí bị đánh thủng, quá trình ion hoá tăng nhanh, sẽ phá hỏng dần lớp bakêlít.

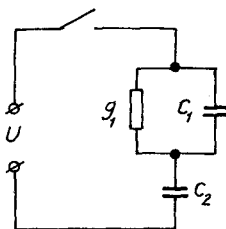
Vì vậy với các cách điện hỗn hợp, phải rất chú ý cường độ điện trường trên các lớp cách điện khác nhau.

6.5. KIỂM TRA CÁCH ĐIỆN Ở CÁC THIẾT BỊ ĐIỆN CAO ÁP

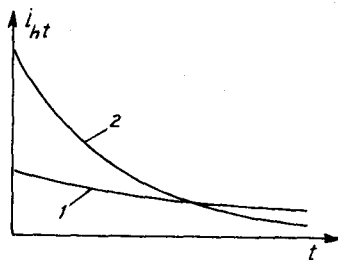
Trong các thiết bị điện cao áp, cách điện là thông số rất quan trọng và thường xuyên phải kiểm tra, đánh giá định kỳ chất lượng của cách điện. Phương pháp cơ bản để kiểm tra cách điện là đo điện trở cách điện và góc tổn hao điện môi. Ngoài ra, có thể dùng điện áp thử nghiệm đặt lên cách điện.

Chất lượng cách điện được kiểm tra sơ bộ bằng cách đo điện trở cách điện bằng megaôm mét (loại điện áp 2500 V, vì là cách điện cao áp) hoặc các bộ cầu chỉnh lưu điện áp cao.

Khi ta đặt một điện áp lên cách điện, dòng điện chạy trong cách



Hình 6-4. Sơ đồ thay thế của cách điện.



Hình 6-5. Quan hệ giữa dòng điện hấp thụ và thời gian.

điện có thể phân tích thành ba thành phần: dòng nạp tụ điện không gian, dòng hấp thụ do hồng học trong cách điện sinh ra và dòng điện rò.

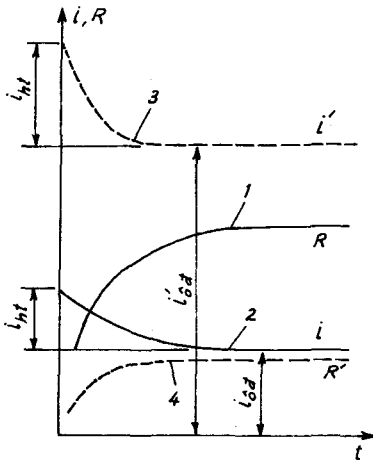
Sơ đồ điện thay thế của cách điện có hồng học cục bộ được trình bày ở hình 6-4. Trong đó điện dung C_2 là điện dung của phần cách điện tốt điện dung, C_1 là điện dung của phần cách điện có hồng học, g_1 - điện dẫn của phần cách điện có điện dung C_1 .

Khi đặt điện áp một chiều U lên cách điện, dòng điện nạp tụ không gian $\frac{C_1, C_2}{C_1 + C_2}$ tương đối lớn, sau đó giảm dần cho tới khi các tụ được nạp đầy. Song song với quá trình nạp tụ, ở mạch ngoài có dòng điện hấp thụ, được xác định theo công thức:

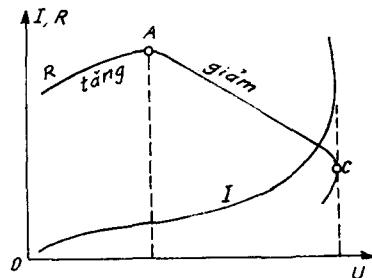
$$i_{ht} = U.g_1 \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 e^{-t/T}$$

trong đó:
$$T = - \frac{C_1 + C_2}{g_1}$$

Điện dẫn g_1 thường là điện dẫn do độ ẩm tạo nên. Nếu độ ẩm lớn, dòng điện hấp thụ lớn nhưng hằng số thời gian T lại giảm. Trên hình 6-5 cho quan hệ giữa dòng điện hấp thụ và thời gian. Ở đường cong 1, điện dẫn g_1 bé hơn điện dẫn ở đường cong 2 tới 3 lần. Ngoài dòng điện hấp thụ (chỉ tồn tại trong thời gian quá độ) còn tồn tại dòng điện rò sau khi kết



Hình 6-6. Quan hệ giữa dòng điện, điện trở R của cách điện và thời gian.



Hình 6-7. Quan hệ giữa dòng điện, điện trở theo điện áp.

thúc quá trình quá độ. Dòng điện rò do điện dẫn của cách điện tạo nên. Quan hệ của dòng điện qua cách điện và điện trở cách điện theo thời gian được cho ở hình 6-6.

Trên hình 6-6, đường 1 và đường 2 là đặc tính của cách điện chất lượng tốt, còn đường 3 và 4 - chất lượng xấu. Người ta dùng hệ số hấp thụ để đánh giá mức độ ẩm ướt của cách điện:

$$K_{ht} = \frac{R_{t2}}{R_{t1}}$$

trong đó: R_{t2} là điện trở cách điện tại thời điểm $t = 60$ s;

R_{t1} là điện trở cách điện tại thời điểm $t = 15$ s.

Hệ số hấp thụ K_{ht} còn phụ thuộc vào nhiệt độ, vì vậy thường đo điện trở ở khoảng 20 đến 40°C.

Nếu cách điện có chất lượng cao, điện trở của nó ít phụ thuộc vào điện áp, còn cách điện chất lượng thấp có điện trở phụ thuộc vào điện áp. Quan hệ của điện trở và dòng điện với điện áp được cho ở hình 6-7.

Khi điện áp thấp, bé hơn trị số tới hạn U_{kp} , chưa xuất hiện hồng hóc trong cách điện nên điện trở cách điện R có thể tăng, và dòng điện tăng không đáng kể. Khi điện áp lớn hơn trị số tới hạn, điện trở cách điện giảm, dòng điện rò tăng và dẫn tới trường hợp đánh thủng cách điện.

Một trong những biện pháp hiệu quả để kiểm tra chất lượng cách điện là đo góc tổn hao điện môi tg δ . Quan hệ tg δ và (U) cho phép xác định giới hạn bền nhiệt của cách điện. Khi nhiệt độ cách điện cao, điện trở của nó giảm nên dòng điện rò tăng, dẫn đến tăng tổn hao, tăng nhiệt độ cách điện. Quá trình đó cứ tăng mãi làm cách điện bị chọc thủng do nhiệt. Ở điện áp định mức, quá trình nhiệt được cân bằng nên nhiệt độ của cách điện không vượt quá trị số tới hạn. Đo tg δ xác định được trị tới hạn của điện áp, từ đó đánh giá được chất lượng cách điện.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 6

1. Các yếu tố ảnh hưởng tới cách điện của thiết bị điện.
2. Các loại cách điện và điện áp thử nghiệm.
3. Cách chọn vật liệu cách điện tổ hợp.

PHẦN HAI

CÁC LOẠI KHÍ CỤ ĐIỆN

CHƯƠNG 7

ROLE

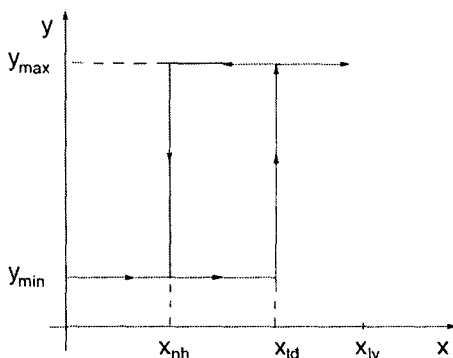
7.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ ROLE

Role là loại KCD hạ áp tự động mà tín hiệu đầu ra thay đổi nhảy cấp khi tín hiệu đầu vào đạt những giá trị xác định. Role được sử dụng rất rộng rãi trong mọi lĩnh vực của khoa học công nghệ và cuộc sống hàng ngày.

Role có nhiều chủng loại với nguyên lý làm việc, chức năng khác nhau như role điện từ, role phân cực, role cảm ứng, role nhiệt, role điện tử tương tự, role điện tử số, role dòng điện, role điện áp, role tổng trở, role áp lực...

- Đặc tính cơ bản của role

Đặc tính role là đặc tính "vào - ra" cho ở hình 7-1. Khi đại lượng đầu vào x tăng đến giá trị tác động x_{td} , đại lượng đầu ra y thay đổi nhảy cấp từ 0 (y_{min}) đến 1 (y_{max}). Theo chiều giảm của x , đến trị số nhỏ x_{nh} , đại lượng đầu ra sẽ nhảy cấp từ 1 xuống 0: đây là quá nhả của role.



Hình 7-1. Đặc tính "vào - ra".

- Hệ số nhả của role:

$$k_{nh} = \frac{x_{nh}}{x_{td}} \quad (7-1)$$

trong đó: x_{nh} - trị số nhả của đại lượng đầu vào;
 x_{td} - trị số tác động của đại lượng đầu vào.

Từ (7-1) ta nhận thấy rằng $k_{nh} < 1$. Hệ số nhả lớn thường dùng cho role bảo vệ, còn hệ số nhả bé thường dùng cho role điều khiển.

- Hệ số dự trữ của role: $k_{dt} = \frac{x_{lv}}{x_{td}}$ (7-2)

trong đó: x_{lv} - trị số làm việc dài hạn của đại lượng đầu vào.

Nếu k_{dt} càng lớn, thiết bị làm việc càng an toàn.

- Hệ số điều khiển (hệ số khuếch đại) của role:

$$k_{dk} = \frac{P_{ra}}{P_{vào}} \quad (7-3)$$

trong đó: P_{ra} - công suất phía đầu ra của role;

$P_{vào}$ - công suất tác động của đầu vào.

$P_{vào}$ khoảng từ cỡ milioát đến vài oát, còn P_{ra} cỡ từ vài chục oát đến hàng ngàn oát, do đó k_{dk} của role có trị số khá lớn, có thể đạt 10^6 , tùy theo chủng loại role.

- Thời gian tác động của role, là khoảng thời gian từ khi có x_{td} đến khi đạt được y_{max} , hoặc từ khi $x = x_{nh}$ đến khi đầu ra đạt y_{min} . Đây là một tham số quan trọng của role. Tùy theo chức năng, ta có thời gian tác động nhanh ($t < 10^{-3}s$), tác động bình thường (cỡ $10^{-2}s$), tác động chậm ($10^{-1} \div 1s$) và role thời gian ($t > 1s$).

- Các yêu cầu chính đối với role là: tính chọn lọc, độ nhạy và độ tin cậy.

Chúng ta sẽ lần lượt khảo sát một số loại role thông dụng như role điện từ, role cảm ứng, role nhiệt, role thời gian, role kỹ thuật số và các loại role khác.

7.2. ROLE ĐIỆN TỪ

Role điện từ làm việc theo nguyên lý điện từ, có cấu tạo gồm nam châm điện có phần động gắn với cơ cấu đầu ra. Tùy theo công dụng, có các loại role điện từ khác nhau như role trung gian, role dòng điện, role điện áp, role tín hiệu, role thời gian,...

7.2.1. Role trung gian

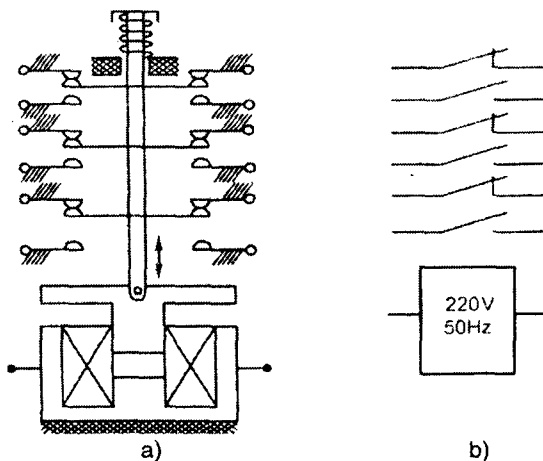
Loại role này được dùng rất rộng rãi trong các sơ đồ bảo vệ hệ thống điện và các sơ đồ điều khiển tự động. Đặc điểm của role trung gian là số lượng tiếp điểm lớn (cả tiếp điểm thường đóng và tiếp điểm thường mở) với

khả năng chuyển mạch lớn và công suất nuôi cuộn dây bé nên nó được dùng để truyền và khuếch đại tín hiệu, hoặc chia tín hiệu của role chính đến nhiều bộ phận khác nhau của mạch điều khiển và bảo vệ. Trên hình 7-2a trình bày nguyên lý cấu tạo của một role trung gian, còn trên hình 7-2b là sơ đồ điện của nó. Nếu cuộn dây của role được cấp điện áp định mức (qua tiếp điểm của role chính), sức từ động do dòng điện trong cuộn dây sinh ra (i_w) sẽ tạo ra trong mạch từ từ thông, hút nắp làm đóng các tiếp điểm thường mở và mở các tiếp điểm thường đóng. Khi cắt điện của cuộn dây, lò xo nhả sẽ đưa nắp và các tiếp điểm về vị trí ban đầu. Vì dòng điện qua tiếp điểm thường có giá trị bé (đến 5A) nên hồ quang khi chuyển mạch không đáng kể, vì vậy không cần buồng dập hồ quang.

Role trung gian thế hệ cũ (sản xuất trước những năm 1970-1980, thường gặp các sản phẩm của Liên Xô, Trung Quốc và các nước Đông Âu) có kích thước, khối lượng lớn, công suất tiếp điểm đạt 5A, 400V, công suất tiêu thụ cuộn dây khá lớn (dưới 10W), giá lắp, đấu dây phức tạp.

Role trung gian thế hệ mới có kích thước nhỏ, gọn, số lượng tiếp điểm đến 4 cặp thường mở liên động, công suất tiếp điểm cỡ 5A, 250VAC, 28VDC, công suất tiêu thụ cuộn dây cỡ (1÷2)W, thường có đèn LED báo trạng thái làm việc của role, lắp ráp dạng đế và chân cắm, rất tiện lợi cho sử dụng. Nó được chế tạo cho nguồn một chiều 6, 9, 12, 24, 40VDC và 24, 48, 110, 220VAC; hệ số nhả của role bé hơn 0,4; thời gian tác động dưới 0,05 s; tuổi thọ tiếp điểm đạt $10^6 \div 10^7$ lần đóng cắt, cho phép tần số thao tác tới 1200 lần/h.

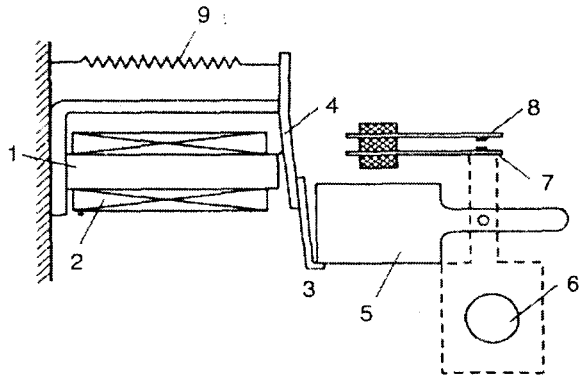
Cần lưu ý rằng ở role điện xoay chiều, vì công suất của nam châm điện khá bé (cỡ 1 ÷ 2VA), mạch từ được chế tạo bằng vật liệu từ thể khối như ở mạch từ một chiều, chỉ khác mạch từ một chiều là có vòng ngắn mạch đặt ở cực từ để chống rung.



Hình 7-2. Role trung gian.

7.2.2. Role tín hiệu

Role tín hiệu được sử dụng trong các sơ đồ bảo vệ hệ thống điện, để chỉ rõ các role và các thiết bị bảo vệ khác đã tác động. Nguyên lý cấu tạo của role tín hiệu được trình bày ở hình 7-3. Ở trạng thái bình thường (không có sự cố), cuộn dây 2 của role không có dòng điện. Khi có sự cố, các thiết bị bảo vệ tác động, đồng thời tín hiệu được truyền đến cuộn dây 2, lực điện từ hút nắp 4 làm nhả khớp 3, cờ 5 rơi xuống vị trí thẳng đứng, đồng thời đuôi cờ gạt tiếp điểm động 7 làm tiếp điểm 7 đóng vào tiếp điểm tĩnh 8. Lúc này người vận hành nhìn qua lỗ quan sát 6 trên nắp khe, thấy màu của cờ, biết role đã tác động. Sau khi khắc phục sự cố, cuộn dây 2 mất điện. Muốn đưa cờ về trạng thái ban đầu thì phải quay núm phục hồi trên nắp role, và tiếp điểm 7-8 lại trở về trạng thái mở. Nếu sự cố chưa được khắc phục, cuộn dây 2 vẫn có điện, vì vậy khi quay núm phục hồi xong, role lại tác động và cờ lại rơi.



Hình 7-3. Role tín hiệu

- 1- Mạch từ; 2- Cuộn dây; 3- Khớp giữ;
4- Nắp hút; 5- Cờ; 6- Lỗ quan sát;
7- Tiếp điểm động; 8- Tiếp điểm tĩnh; 9- Lò xo nhả.

Thông thường role này có loại cờ rơi thẳng (theo trọng lực của cờ) và cờ quay (nhờ lò xo). Công suất cuộn hút cỡ dưới 1W, khả năng chuyển mạch của tiếp điểm đến 50W điện một chiều và 200VA điện xoay chiều.

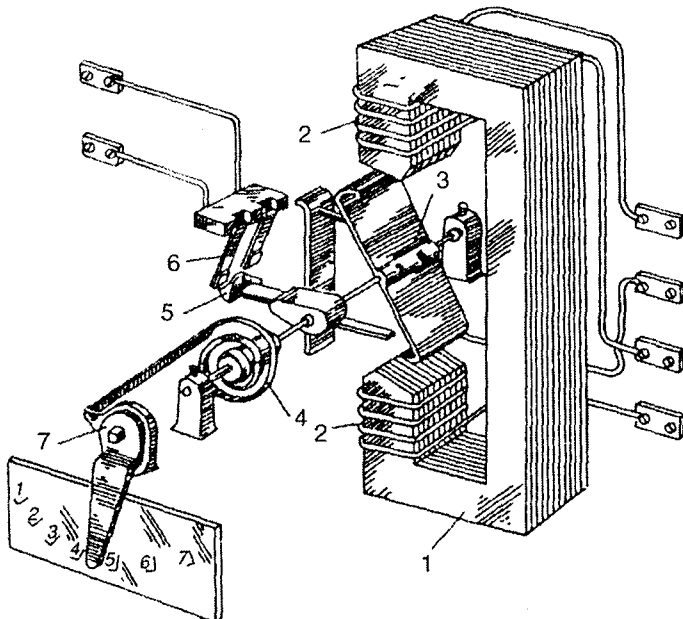
7.2.3. Role dòng điện kiểu điện từ

Role dòng điện kiểu điện từ có cuộn dây mắc nối tiếp trực tiếp với phụ tải hoặc qua máy biến dòng điện. Khi dòng điện qua phụ tải đạt tới trị số đặt, sức từ động do cuộn dây sinh ra đủ lớn nên từ thông trong mạch từ tạo nên lực điện từ lớn hơn lực cản làm role tác động tức thời.

Role dòng điện được sử dụng rộng rãi để bảo vệ quá dòng điện, dùng trong tự động điều khiển, mở máy động cơ điện. Các loại role dòng điện thông dụng gồm: role dòng điện cực đại, role dòng điện điều khiển truyền động điện, role dòng điện khởi động động cơ không đồng bộ một pha.

a) Role dòng điện cực đại

Loại role này dùng để bảo vệ lưới điện, các thiết bị điện có công suất lớn khi dòng điện vượt quá trị số chỉnh định. Trên hình 7-4 trình bày nguyên lý cấu tạo của loại role này. Mạch từ 1 hình chữ C làm bằng các lá thép kỹ thuật điện để giảm tổn hao trong lõi thép. Cuộn dây 2 gồm hai nửa giống nhau, có thể nối song song hoặc nối tiếp để thay đổi dải làm việc của dòng điện. Phần ứng 3 hình chữ Z, làm bằng vật liệu dẫn từ và gắn trên trục quay. Phân ứng 4 hình chữ Z, làm bằng vật liệu dẫn từ và gắn trên trục quay. Tay đòn chỉnh dòng điện 7, độ căng của lò xo 4 thay đổi nên thay đổi được dòng điện tác động. Loại role này dùng được cả cho dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều.



Hình 7-4. Role dòng điện cực đại

- 1- Mạch từ; 2- Cuộn dây; 3- Phần ứng hình Z; 4- Lò xo nhỏ;
5- Tiếp điểm động; 6- Tiếp điểm tĩnh; 7- Tay đòn chỉnh dòng điện.

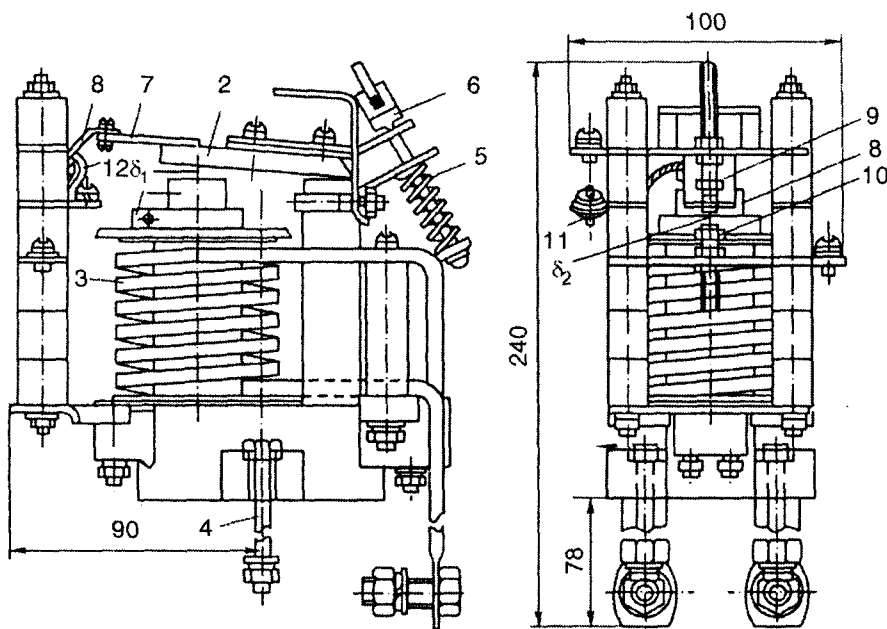
Khi dòng điện trong cuộn dây đạt tới trị số tác động, từ thông trong mạch đủ lớn, mômen điện từ do nó sinh ra làm quay phần ứng theo chiều kim đồng hồ làm tiếp điểm động 5 đóng vào tiếp điểm tĩnh 6: role tác động.

Kết cấu phân động kiểu quay làm phần ứng chóng bão hòa và cho phép tạo ra đặc tính mômen điện từ và đặc tính mômen cản của lò xo xoắn ốc một đầu gắn lên trục quay, còn đầu kia gắn lên tay đòn 7, do đó khi quay 7, độ căng của lò xo 4 thay đổi nên thay đổi được dòng điện tác động. Loại role này dùng được cả cho dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều,

dòng điện dài hạn qua cuộn dây đến 10A nên phải đấu qua biến dòng với tỷ số thích hợp. Công suất tiêu thụ dưới 1W, công suất cắt của tiếp điểm đến 50W điện một chiều và 400VA với điện xoay chiều. Thời gian tác động khoảng $(0,02 \div 0,03)s$ nếu trị số dòng tác động đạt hai lần dòng đặt, độ chính xác đạt $\pm 5\%$.

b) Role dòng điện điều khiển truyền động điện

Trên hình 7-5 trình bày cấu tạo role điện một chiều kiểu PJB có hệ số nhả tương đối cao, thường sử dụng bảo vệ trong truyền động điện động cơ điện một chiều. Mạch từ 1 kiểu hút chập, lõi tròn. Nắp từ phẳng, quay trên cạnh rãnh trụ đảm bảo độ chống mòn cao. Cuộn dây dòng điện 3 quấn trên lõi có tiết diện lớn, tương ứng với cấp dòng điện của dây động cơ. Đai ốc 6 để điều chỉnh lực căng của lò xo nhả 5. Nắp 2 nối với tiếp điểm động 8 qua tấm cách điện 7. Vít 4 để cố định role.



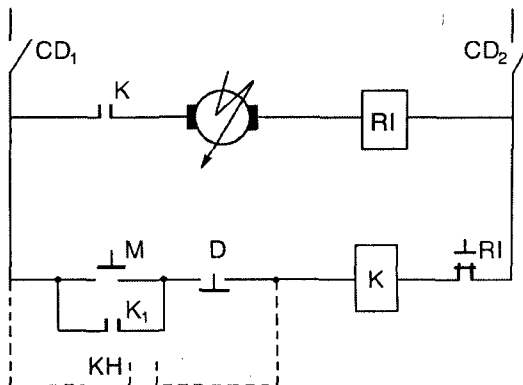
Hình 7-5. Role dòng điện PJB.300

- 1- Mạch từ; 2- Phần ứng (nắp từ); 3- Cuộn dây dòng; 4- Vít lắp đặt; 5- Lò xo nhả;
6- Vít điều chỉnh; 7- Thanh cách điện; 8- Tiếp điểm động; 9- Tiếp điểm tĩnh thường đóng;
10- Tiếp điểm tĩnh thường mở; 11- Đầu nối; 12- Dây dẫn mềm.

Role có hệ số nhả cao nhờ khe hở dư của mạch từ lớn (đến 5mm) mà độ chuyển dời của nắp lại nhỏ (dưới 1mm). Điều chỉnh dòng điện tác động bằng cách thay đổi độ căng của lò xo nhả 5 qua vít chỉnh 6.

Trên hình 7-6 trình bày sơ đồ đơn giản bảo vệ động cơ điện một chiều khi bị ngắn mạch.

Khi bị ngắn mạch, dòng điện đi qua động cơ, role dòng điện RI tác động, tiếp điểm thường kín của nó trên mạch cuộn hút của công tắc tơ K hở mạch làm công tắc tơ K thả, cắt điện cấp cho động cơ, đồng thời cuộn dây RI mất điện, tiếp điểm role thông mạch nhưng mạch cuộn hút của công tắc tơ bị hở ở nút ấn "chạy". Trong trường hợp mạch cuộn hút của công tắc tơ không dùng nút ấn mà dùng công tắc, để tránh trường hợp khi role nhả, động cơ lại được cấp điện, người ta chế tạo thêm một bộ phận đặc biệt, không cho nắp role trở về vị trí ban đầu khi nó mất điện: đây là loại role không tự phục hồi.



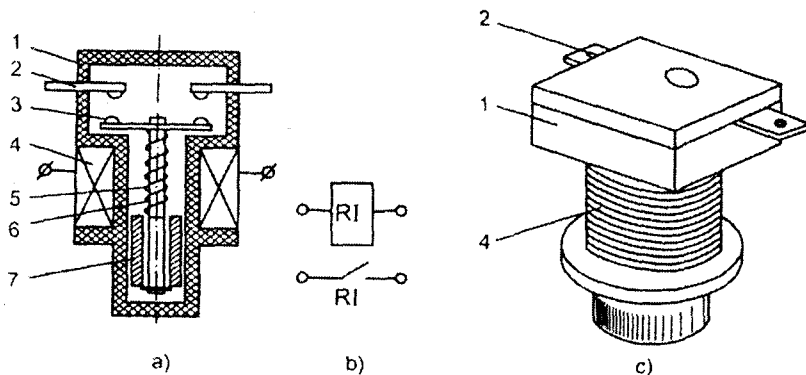
Hình 7-6. Bảo vệ động cơ một chiều khi ngắn mạch.

Kiểu role này cũng dùng cho dòng điện xoay chiều để bảo vệ dòng ngắn mạch như phân tử cắt từ trong các loại aptômát. Vì dòng điện định mức rất bé so với dòng ngắn mạch nên không cần có vòng ngắn mạch.

c) Role dòng điện khởi động động cơ không đồng bộ một pha

Trên hình 7-7 trình bày cấu tạo, sơ đồ điện và hình dạng bên ngoài của role này. Loại role này không có mạch từ tĩnh. Phần động của mạch từ là lõi sắt từ hình trụ, trên có gắn tiếp điểm động và lò xo tiếp điểm. Cuộn dây dòng điện được quấn trên khung cách điện, nằm cao hơn phần động của mạch từ. Khi dòng điện trong cuộn dây đủ lớn, lực điện từ do nó sinh ra sẽ kéo lõi thép lên phía trên làm tiếp điểm động đóng vào tiếp điểm tĩnh. Khi trị số dòng điện giảm, trọng lực của phần động sẽ kéo tiếp điểm động xuống phía dưới, cắt điện đi qua tiếp điểm.

Với kiểu kết cấu mạch từ hở, role có hệ số nhả khá cao (đến 0,9) nên thích hợp cho việc khởi động động cơ một pha công suất bé cần mômen khởi động lớn như ở tủ lạnh gia đình. Trên hình 7-8 cho mạch khởi động động cơ một pha có tự khởi động C_{kd} .

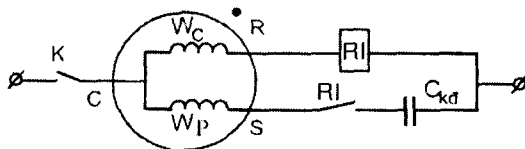


Hình 7-7. Role dòng điện khởi động động cơ một pha

a) Cấu tạo; b) Sơ đồ điện; c) Hình dáng bên ngoài.

- 1- Nắp; 2- Tiếp điểm tĩnh; 3- Tiếp điểm động; 4- Cuộn dây dòng;
5- Lò xo tiếp điểm; 6- Giá tiếp điểm; 7- Lõi sắt.

Khi đóng khóa K, cuộn dây chính W_C nối tiếp với cuộn dây dòng điện RI của role có điện. Vì động cơ đứng yên nên dòng điện lúc này khá lớn ($5 \div 7$ lần dòng điện định mức của động cơ), sức từ động của role lớn, làm lõi sắt bị hút lên, đóng điện cho cuộn phụ W_P , nối tiếp với tụ C_{kd} . Lúc này trong động cơ có hai từ thông lệch pha nhau (do hai dòng điện đi qua W_C và W_P tạo nên), sinh ra mômen quay lớn, động cơ tăng tốc nhanh, và dòng điện vào động cơ giảm dần. Khi tốc độ động cơ đạt cỡ 75% tốc độ định mức, dòng điện trong RI giảm tới trị số nhỏ, lõi thép rơi xuống, cắt mạch điện của cuộn dây phụ. Thời gian mở máy thường dưới 2 giây, nên nếu tiếp điểm bị kẹt, dễ cháy cuộn dây khởi động.



Hình 7-8. Sơ đồ khởi động động cơ một pha bằng role dòng và tụ điện.

d) Role điện áp kiểu điện từ

Role điện áp kiểu điện từ được dùng để bảo vệ thiết bị điện, lưới điện khi điện áp tăng quá phạm vi cho phép. Về cấu tạo role gần giống role dòng điện cực đại (hình 7-4), có hai nửa cuộn dây điện áp, được nối qua chỉnh lưu cầu và đấu nối tiếp với hai điện trở R_1 và R_2 (hình 7-9). Vì có chỉnh lưu nên điện kháng của cuộn dây không ảnh hưởng đến độ lớn của dòng điện mà trị

số dòng điện chỉ phụ thuộc vào độ lớn điện áp nguồn. Role có hai tiếp điểm: một thường kín, một thường hở. Role có hai dải điện áp làm việc. Ở dải điện thấp, cuộn dây role nối tiếp với điện trở R_1 (chân số 12 và chân số 8), còn ở dải điện cao, cuộn dây role nối tiếp với cả hai điện trở R_1 và R_2 (chân 12 và chân 6). Điều chỉnh trị số tác động của điện áp bằng cách điều chỉnh độ căng của lò xo phản lực.

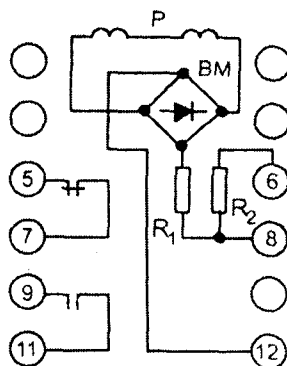
Sau đây là các thông số của role điện áp cực đại loại PH-53 của Liên Xô:

Hệ số nhả không bé hơn 0,8.

Công suất tiêu thụ không lớn hơn 1VA.

Thời gian tác động không lớn hơn 0,1s.

Công suất tiếp điểm: 2A, 250V.

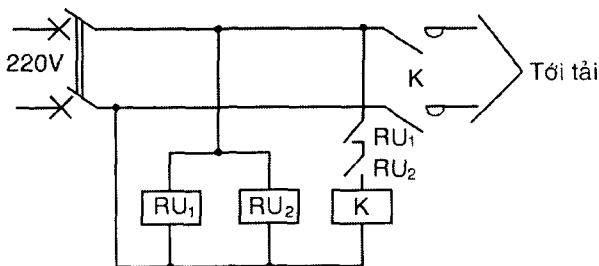


Hình 7-9. Sơ đồ điện của role điện áp cực đại.

Dải điện áp	I		II	
Role	$U_{đ} [V]$	$U_{đm} [V]$	$U_{đ} [V]$	$U_{đm} [V]$
PH 53/60	15 - 30	30	30 - 60	60
PH 53/200	50 - 100	100	100 - 200	200
PH 53/400	100 - 100	200	200 - 400	400

Role điện áp cực tiểu dùng để bảo vệ thiết bị khi điện áp giảm quá mức cho phép. Người ta cũng có thể dùng role điện áp cực đại nhưng giá trị tác động bé để sử dụng bảo vệ điện áp thấp.

Trên hình 7-10 là sơ đồ bảo vệ điện áp cao và điện áp thấp cho tải định mức 220V. Role điện áp thấp RU_1 có điện áp đặt là 180V, còn role RU_2 bảo vệ điện áp cao có điện áp đặt là 250V.



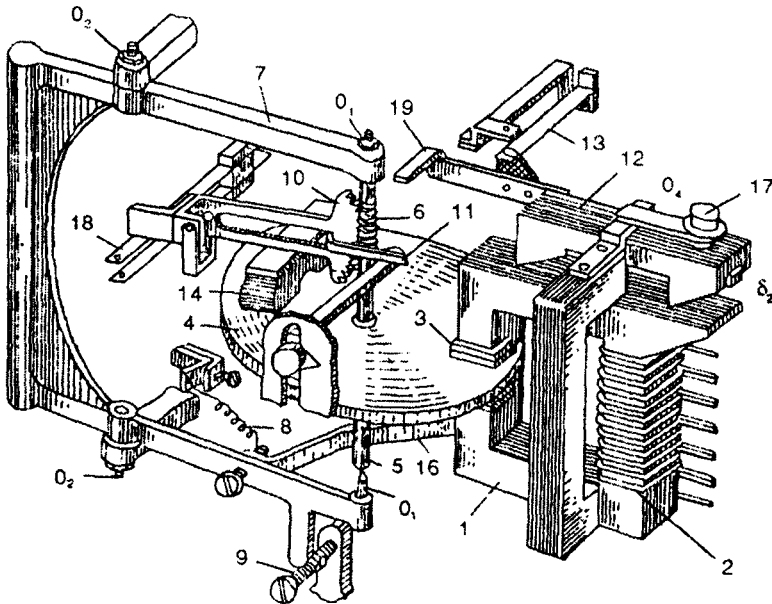
Hình 7-10. Bảo vệ điện áp cao và thấp.

Tiếp điểm thường mở RU_1 đấu nối tiếp với tiếp điểm thường đóng của RU_2 và nối tiếp với cuộn dây của công tắc tơ K, còn tiếp điểm động lực của công tắc tơ được đấu nối tiếp với tải. Với sơ đồ này, tải chỉ được cấp nguồn trong dải điện áp từ 180 đến 250V.

Một trong những nhược điểm của role điện áp kiểu điện từ là khi điện áp biến động trong một quãng thời gian ngắn (dưới 1 giây) role tác động, tải bị cắt điện, mặc dù biến động điện áp với thời gian bé có thể coi như nhiễu, chưa ảnh hưởng lớn để phải cắt tải.

7.3. ROLE CẢM ỨNG

Role cảm ứng làm việc trên nguyên lý cảm ứng nên chỉ dùng cho điện xoay chiều. Phần động của role có dạng hình đĩa, hình trụ rỗng (cốc) mỏng bằng nhôm nên khối lượng nhẹ, dẫn điện tốt để giảm quán tính cơ.



Hình 7-11. Role cảm ứng dòng điện cực đại

- 1- Mạch từ; 2- Cuộn dây dòng; 3- Vòng ngắn mạch; 4- Đĩa nhôm; 5- Trục quay; 6- Vít vô tặn; 7- Khung nhôm; 8- Lò xo nhả; 9- Chốt định vị; 10- Bánh răng rẻ quạt; 11- Tay đòn ngang; 12- Nắp từ; 13- Tiếp điểm tác động chậm; 14- Nam châm vĩnh cửu; 15- Vít điều chỉnh thời gian; 16- Shunt từ; 17- Vít điều chỉnh δ_2 ; 18- Tiếp điểm tác động tức thời; 19- Thanh truyền.

Loại đĩa (tương tự như công tơ điện kiểu cơ) có cấu tạo đơn giản, mômen quay lớn nhưng tác động tương đối chậm nên thường được chế tạo cho các

role tác động có thời gian trễ như role cảm ứng dòng điện cực đại.

Loại cốt quay có mạch từ với 4 cuộn dây tín hiệu vào, quán tính bé, mômen quay nhỏ, thời gian tác động mạnh (đến 0,02 s) nên được dùng cho role công suất, role tổng trở,...

Dưới đây sẽ khảo sát role cảm ứng dòng điện cực đại dùng bảo vệ mạch điện xoay chiều khi bị quá tải và ngắn mạch. Nguyên lý cấu tạo của role này được cho ở hình 7-11.

Role bao gồm hai phần: phần cảm ứng để bảo vệ quá tải và phần điện từ để bảo vệ ngắn mạch.

Phần cảm ứng gồm 1 mạch từ 1 hình chữ C, có cuộn dây dòng điện 2 với nhiều đầu ra để thay đổi dòng điện tác động. Trên mỏm cực từ có đặt vòng ngắn mạch 3 để tạo mômen quay trên đĩa nhôm 4, gắn chặt với trục quay 5. Trên trục được cố định vít vô tận 6. Đĩa có trục quay O_1O_1 cố định trên khung 7, khung này lại có trục O_2O_2 . Khi dòng điện trong cuộn dây bé hơn dòng chỉnh định, trục O_1O_1 vẫn quay nhưng bánh răng rẻ quạt 10 không khớp với vít vô tận 6, role không tác động. Khi dòng điện lớn hơn dòng chỉnh định, mômen điện từ lớn, đĩa quay nhanh hơn, lực ly tâm thắng lực kéo của lò xo 8, làm vít vô tận khớp với bánh răng quạt 10 và bánh răng được nâng lên cao dần làm tay đòn 11 gạt vào thanh 19, giảm khe hở không khí δ_2 của nắp từ 12, đến khi δ_2 đủ bé, lực điện từ hút nắp 12 làm tiếp điểm 12 chuyển trạng thái: role tác động. Phần điện từ gồm mạch từ hình C đặt vuông góc với mạch từ của phần cảm ứng. Mạch từ phần điện từ có một đầu gắn với mạch từ cảm ứng, còn đầu kia gắn với nắp từ 12. Nắp từ này có tâm quay O_4 đặt lệch về phía phải, nên vít 17 để điều chỉnh độ lớn khe hở không khí δ_2 . Khi dòng quá tải đi qua cuộn dây, vì từ trở lớn nên từ thông của phần điện từ bé, không đủ sức hút nắp 12, mà phải nhờ phần cảm ứng giảm khe hở δ_2 , tăng từ dẫn thì mới hút được (như đã trình bày ở phần cảm ứng).

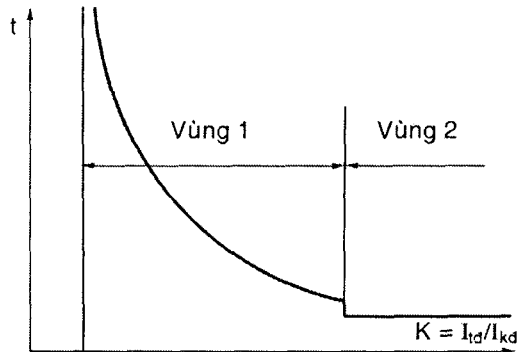
Khi có dòng điện quá tải lớn hay dòng ngắn mạch, từ thông phần điện từ đủ lớn nên lực điện từ hút nắp tức thời, không phụ thuộc vào phần cảm ứng.

Đặc tính bảo vệ của role cảm ứng dòng điện cực đại được cho ở hình 7-12. Đặc tính này gồm 2 phần: phần cảm ứng 1 có thời gian phụ thuộc vào dòng điện tác động, còn phần điện từ 2 tác động tức thời.

Muốn thay đổi dòng điện tác động, ta thay đổi số vòng dây của cuộn dây dòng điện (có 4 cấp). Muốn thay đổi thời gian tác động khi có dòng điện quá

tải, ta thay đổi góc tiếp xúc ban đầu của bánh răng quạt 10 và vít vô tận 6. Muốn thay đổi trị số dòng ngắn mạch (phần bảo vệ điện từ) thì vặn vít 17, sẽ thay đổi khe hở không khí δ_2 .

Role cảm ứng dòng điện cực đại thường dùng để bảo vệ lưới điện và các thiết bị điện công suất lớn (phải nối qua máy biến dòng). Role này có kích thước khá cồng kềnh, dễ bị sai lệch khi có rung động cơ khí. Vì vậy hiện nay loại role này không cạnh tranh được với các role kỹ thuật số.



Hình 7-12. Đặc tính bảo vệ của role cảm ứng dòng điện cực đại.

7.4. ROLE NHIỆT

Nguyên lý làm việc của role nhiệt là dựa vào sự thay đổi kích thước của vật thể khi nhiệt độ của nó thay đổi.

Một thanh kim loại với hệ số giãn nở nhiệt α , có chiều dài l_1 và nhiệt độ θ_1 , khi nhiệt độ tăng tới θ_2 , độ dài của nó tăng thêm Δl :

$$\Delta l = l_1 \cdot \alpha(\theta_2 - \theta_1) \quad (7-4)$$

Nếu hạn chế sự giãn nở dài thì thanh kim loại sẽ sinh ra ứng lực và có thể dùng ứng lực này để tác động lên tiếp điểm. Vậy đại lượng đầu vào của role nhiệt là nhiệt điện, còn đại lượng đầu ra là trạng thái tiếp điểm của role.

Dựa vào chức năng của role nhiệt, chúng được chia thành hai loại: role nhiệt bảo vệ và role nhiệt điều chỉnh nhiệt độ.

7.4.1. Role nhiệt bảo vệ

Theo dõi nhiệt độ của đối tượng và phát tín hiệu cho mạch bảo vệ khi nhiệt độ đối tượng vượt quá nhiệt độ cho phép. Phần tử nhạy cảm nhiệt là tấm kim loại kép, còn gọi là lưỡng kim hoặc bimetan. Nếu hai thanh kim loại có hệ số giãn nở khác nhau α_1 và α_2 , được gắn chặt với nhau bằng cán

dính, khi ở nhiệt độ môi trường nó ở trạng thái thẳng (hình 7-13), còn khi nhiệt độ cao với độ tăng nhiệt τ , nếu một đầu cố định, còn một đầu tự do (kết cấu kiểu côngson), đầu tự do sẽ bị cong và nếu nó bị cản trở thì sẽ sinh ra lực tác dụng lên vật cản. Độ dôi f_0 và lực tác dụng F_0 lên vật cản được tính bằng công thức:

$$f_0 = \frac{4}{3} \frac{\alpha_1}{\delta} \alpha_2 l^2 \tau \quad (7-5)$$

$$F_0 = \frac{3}{16} (\alpha_2 - \alpha_1) \frac{b \delta^2}{l} E \tau \quad (7-6)$$

trong đó: f_0 - độ dôi của đầu tự do tấm kim loại kép nếu không bị cản trở (hình 7-13b);

F_0 - lực tác dụng lên đầu cuối nếu nó bị cản trở hoàn toàn. Trong trường hợp này $f = 0$ (hình 7-13c);

α_1, α_2 - hệ số giãn nở nhiệt của tấm chủ động và tấm bị động;

δ - độ dày của tấm kim loại kép;

l - chiều dài;

b - chiều rộng tấm kim loại kép;

$E = \frac{E_1 + E_2}{2}$ - mô đun đàn hồi của tấm kim loại kép;

τ - độ tăng nhiệt của tấm kim loại kép so với khi nó thẳng.

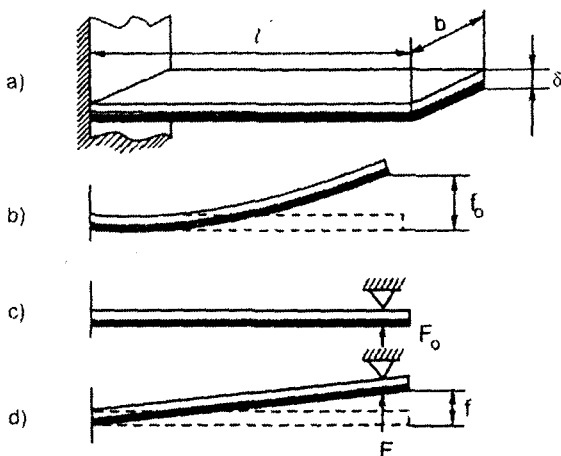
Nếu để kim loại kép cong đi một đoạn rồi mới cản (hình 7-13d) thì lực tác dụng sẽ là:

$$F = F_0 \frac{f_0 - f}{f_0} \quad (7-7)$$

Ở role nhiệt bảo vệ, người ta lợi dụng độ dôi f và lực F để thay đổi trạng thái của tiếp điểm.

Tấm kim loại kép được đốt nóng bằng dòng điện phụ tải. Có ba phương pháp đốt nóng:

trực tiếp, gián tiếp và hỗn hợp (hình 7-14). Đốt nóng trực tiếp được



Hình 7-13. Tấm kim loại kép.

thực hiện bằng dòng điện phụ tải trực tiếp đi qua tấm kim loại kép (hình 7-14a); đốt nóng gián tiếp được thực hiện bằng một phần tử nhiệt có dòng điện tải đi qua, đặt gần kim loại kép (hình 7-14b), còn đốt nóng hỗn hợp, kết hợp cả hai hình thức trên (hình 7-14c). Đốt nóng trực tiếp có hằng số thời gian nhiệt bé, nhưng lại phức tạp cho việc chế tạo lưỡng kim vì khi dòng điện định mức thay đổi, kích thước của tấm kim loại kép cũng phải thay đổi. Đốt nóng gián tiếp có hằng số thời gian nhiệt lớn, nhưng lại tiện cho việc chế tạo role, vì khi dòng điện định mức thay đổi, ta chỉ việc thay đổi phần tử đốt nóng.

Năng lượng nhiệt mà phần tử nhạy cảm nhiệt thu nhận phụ thuộc vào tổn thất điện năng trên phần tử đốt nóng:

$$W = I^2 \cdot R \cdot t \quad (7-8)$$

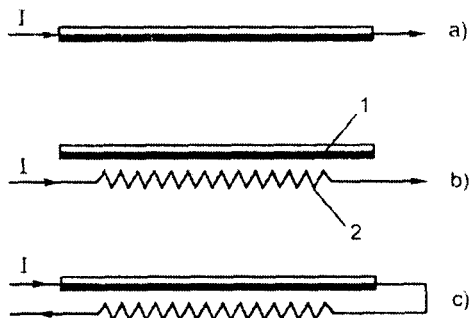
trong đó: I - dòng điện của phụ tải; R - điện trở phần tử đốt nóng; t - thời gian làm việc của phụ tải.

Từ (7-8) ta nhận thấy rằng, quan hệ giữa thời gian tác động t và dòng điện tác động I (còn gọi là đặc tính bảo vệ của role nhiệt) $t = f(I)$ có dạng hàm hypebôn bậc hai, cho ở hình 7-15.

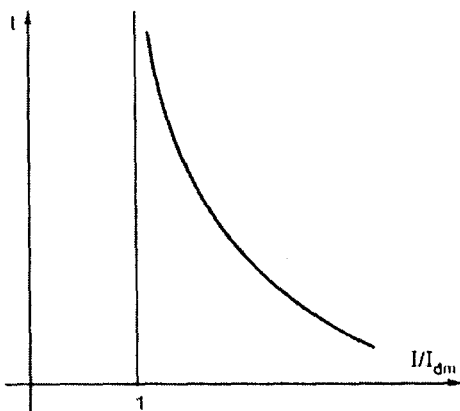
Khi $I < I_{dm}$, role không tác động, vì nhiệt độ thấp, độ chuyển dời của kim loại kép bé, chưa tạo được lực cần thiết nên tiếp điểm chưa thay đổi trạng thái. Khi dòng điện càng tăng, thời gian tác động càng giảm.

Nhiệt độ làm việc của kim loại kép trong các role nhiệt nằm trong khoảng 90° đến 150°C .

Role nhiệt bảo vệ được dùng

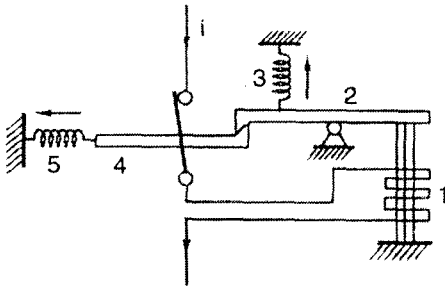


Hình 7-14. Các phương pháp đốt nóng.



Hình 7-15. Đặc tính bảo vệ của role nhiệt.

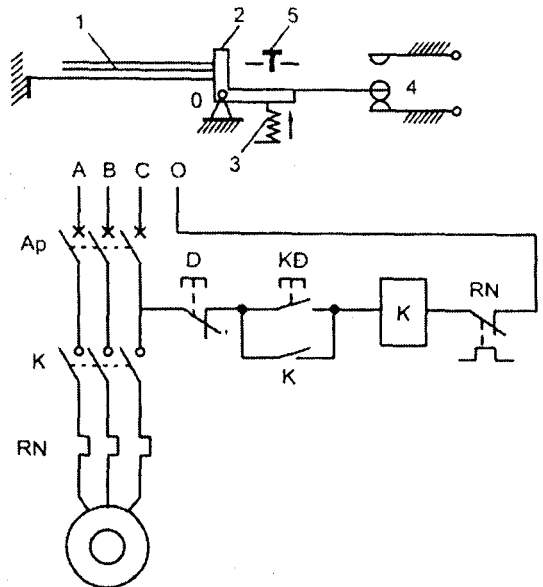
để bảo vệ quá dòng trong các aptômat định hình, phần bảo vệ nhiệt và dùng để bảo vệ quá tải cho các động cơ điện trong khởi động từ.



Hình 7-16. Phần tử bảo vệ nhiệt trong aptômat.

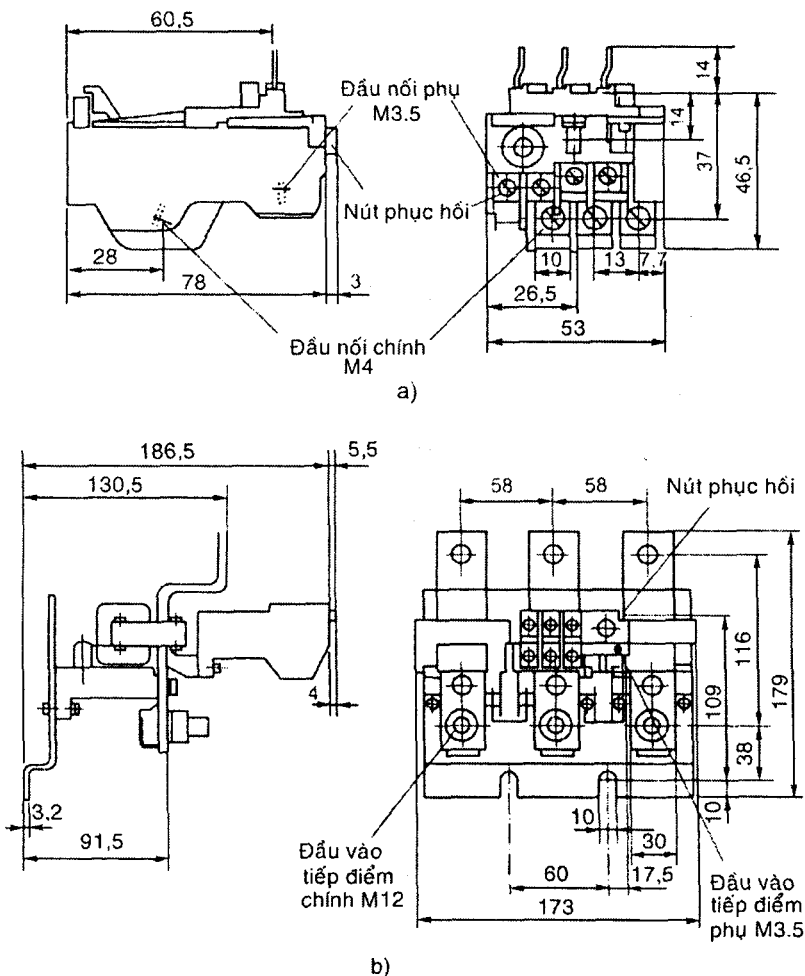
động 4 nên lò xo cắt 5 kéo tiếp điểm động tách khỏi tiếp điểm tĩnh: mạch điện bị cắt.

Trên hình 7-17 trình bày nguyên lý làm việc của role nhiệt dùng trong khởi động từ để bảo vệ quá tải cho động cơ điện. Khi động cơ bị quá tải phần tử nhạy cảm nhiệt 1 (kim loại kép) được đấu nối tiếp với động cơ bị cong, nên thanh 2 bị mất cân bằng, lò xo 3 đẩy làm thanh 2 quay đi một góc quanh trục O làm tiếp điểm thường đóng 4 bị hở, cắt điện cuộn hút K của công tắc tơ làm cắt điện mạch động lực. Muốn cho tiếp điểm 4 đóng trở lại, phải ấn nút phục hồi 5 sau khi lưỡng kim nguội.



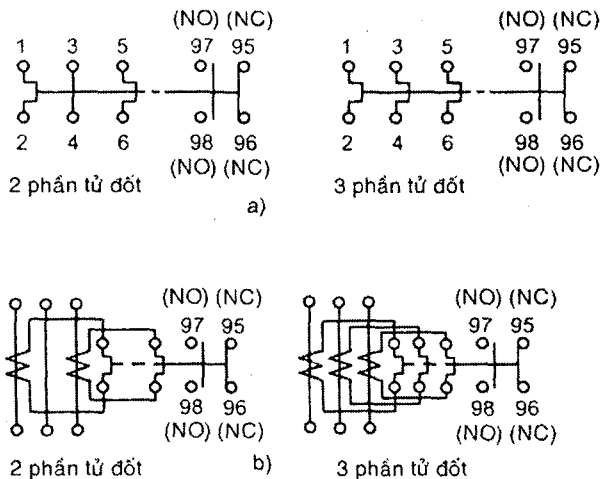
Hình 7-17. Role nhiệt của khởi động từ để bảo vệ quá tải cho động cơ điện.

Role nhiệt trong khởi động từ được dùng rất rộng rãi để bảo vệ quá tải cho động cơ điện. Để đảm bảo tuổi thọ và độ tin cậy cho động cơ, đường đặc tính bảo vệ của role nhiệt phải nằm thấp hơn đặc tính của động cơ. Trị số dòng điện tác động của role nhiệt có thể thay đổi được trong một phạm vi hẹp.

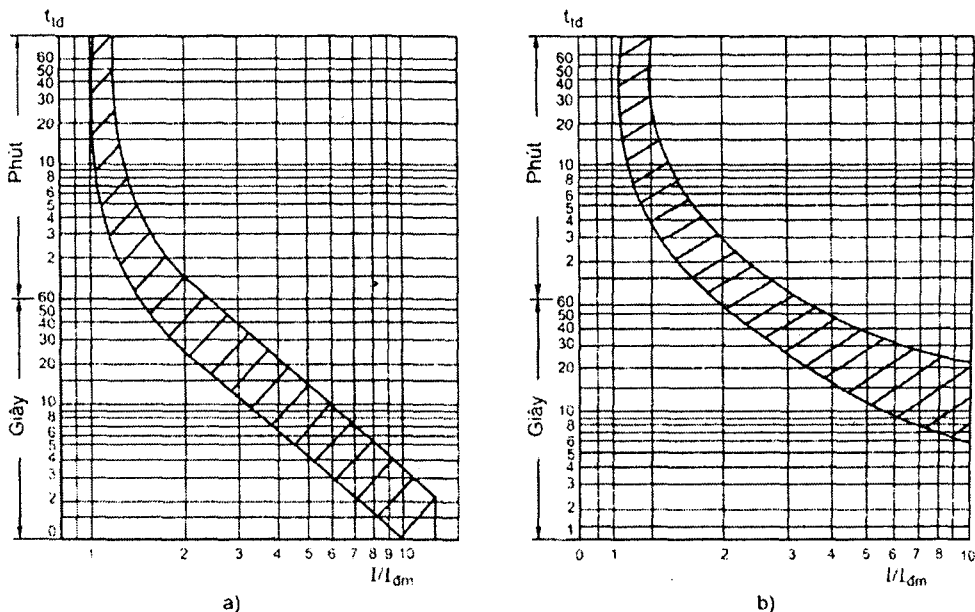


Hình 7-18. Cấu tạo của rơle nhiệt
a) Loại trực tiếp; b) Loại có máy biến dòng.

Rơle nhiệt có loại hai phần tử đốt nóng và loại ba phần tử đốt nóng. Với các động cơ điện có công suất lớn, dòng điện làm việc khá lớn nên người ta còn chế tạo rơle nhiệt có máy biến dòng để giảm kích thước, giảm tổn hao ở phần tử đốt nóng. Các phần tử đốt nóng ở rơle không có biến dòng được đấu nối tiếp với mạch động lực, còn ở loại có máy biến dòng điện, mạch động lực đấu nối tiếp với biến dòng. Mỗi rơle thường có một cặp tiếp điểm thường đóng (NC) và một cặp thường mở (NO), công suất cắt khoảng 5A, 250V. Trên hình 7-18 cho kết cấu của rơle nhiệt, trên hình 7-19 là các sơ đồ điện, còn trên hình 7-20 là đặc tính bảo vệ của chúng.



Hình 7-19. Sơ đồ điện của rơle nhiệt
a) Loại trực tiếp; b) Loại có máy biến dòng.



Hình 7-20. Đặc tính bảo vệ của rơle nhiệt
a) Loại đốt nóng trực tiếp; b) Loại đốt nóng qua máy biến dòng điện.

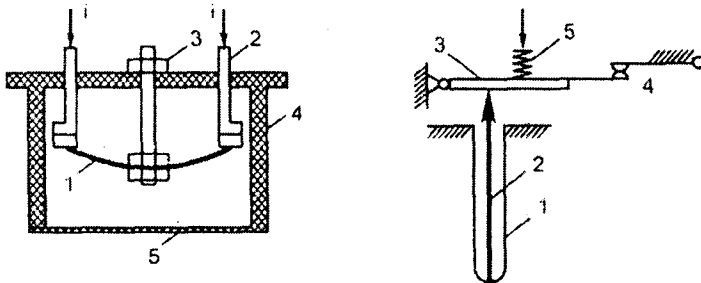
Người ta có thể kiểm tra rơle nhiệt bằng cách cho dòng điện cỡ hai lần dòng định mức đi qua nó, nếu thời gian tác động khoảng từ 40 giây đến 60 giây đối với loại đốt nóng không có máy biến dòng và từ 1 phút đến 2 phút đối với loại có biến dòng là được.

7.4.2. Role nhiệt điều chỉnh nhiệt độ

Chức năng của loại role này là theo dõi nhiệt độ của đối tượng. Khi nhiệt độ đạt giá trị đặt, role phát tín hiệu cho mạch điều khiển nhằm duy trì nhiệt độ của đối tượng trong phạm vi cho trước. Loại này thường được sử dụng trong các lò sấy, bình đun nước nóng, bàn là... Yêu cầu của loại này là cần độ nhạy cao, hệ số nhả lớn để duy trì nhiệt độ trong phạm vi dao động bé.

Trên hình 7-21 trình bày nguyên lý cấu tạo của hai loại role điều chỉnh nhiệt độ thường gặp: role kiểu đồng tiến và role kiểu ống.

Ở role nhiệt kiểu đồng tiến (hình 7-21a), tấm kim loại kép 1 hình đồng tiến (hình tròn) được uốn lõm về một phía và trên nó có gắn hai tiếp điểm động. Ở nhiệt độ bình thường, mạch điện từ hai cọc nối điện 2 đi qua hai tiếp điểm và tấm kim loại kép. Vít điều chỉnh 3 dùng để điều chỉnh nhiệt độ tác động. Vỏ 4 bằng nhựa cách điện, còn mặt tiếp xúc 5 được tiếp xúc trực tiếp với vỏ thiết bị công tác. Khi nhiệt độ thiết bị công tác cao, nhiệt độ của role tăng cao làm lưỡng kim bị cong và bật phía lõm về hướng ngược lại làm cắt mạch điện. Loại role này thường sử dụng trong bình đun nước nóng, trong lò sưởi,...



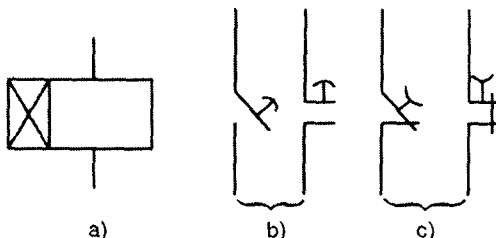
Hình 7-21. Role điều chỉnh nhiệt độ

a) Kiểu đồng tiến; b) Kiểu ống.

Ở role nhiệt kiểu ống (hình 7-21b), ống 1 làm bằng đồng thau có hệ số giãn nở α lớn, còn đầu 2 làm bằng kim loại invar có hệ số giãn nở nhiệt không đáng kể. Một đầu của đầu 2 được gắn chặt với đáy của ống 1, còn đầu kia tựa vào thanh 3 với tiếp điểm động. Khi nhiệt độ thấp, tiếp điểm động sẽ tiếp xúc với thanh 3, mạch điện thông. Khi nhiệt độ cao, ống 1 dài ra phía đầu tự do nên kéo đầu 2 xuống phía dưới, lò xo 5 đẩy thanh 3 làm tiếp điểm động tách khỏi tiếp điểm tĩnh nên mạch điện bị cắt. Loại role này có phạm vi điều chỉnh nhiệt độ tới 200°C , thường dùng trong các tủ sấy.

7.5. RƠLE THỜI GIAN

Trong các quá trình công nghệ, tự điều khiển và bảo vệ, cần có những khoảng thời gian xác định giữa các thời điểm thao tác của các thiết bị. Để tạo khoảng thời gian cần thiết đó, người ta dùng rơle thời gian. Vậy rơle thời gian là loại rơle mà tín hiệu đầu ra tác động chậm một khoảng thời gian xác định so với tín hiệu đầu vào. Yêu cầu chung đối với rơle thời gian là thời gian phải chính xác, ổn định, ít phụ thuộc vào sự dao động của điện áp nguồn, môi trường và công suất điều khiển đầu ra càng lớn càng tốt. Trên hình 7-22 cho sơ đồ điện của rơle thời gian.



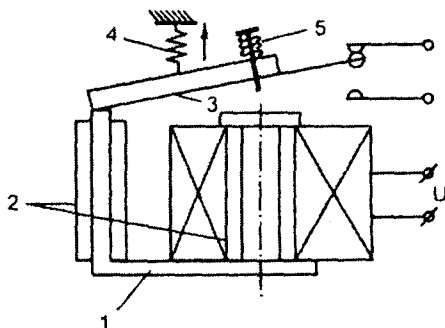
Hình 7-22. Sơ đồ điện rơle thời gian

- a) Cuộn dây; b) Tiếp điểm thường mở đóng chậm;
c) Tiếp điểm thường đóng mở chậm.

Có nhiều loại rơle thời gian với nguyên lý làm việc khác nhau với dải thời gian chậm khác nhau. Sau đây ta sẽ xét đến một số loại rơle thời gian thông dụng.

7-5-1. Rơle thời gian kiểu điện từ

Loại rơle này dùng để duy trì thời gian nhả chậm và chỉ dùng được cho điện một chiều. Nguyên lý cấu tạo của rơle được trình bày trên hình 7-23. Mạch từ 1 làm bằng thép từ armkô, nhánh phải tiết diện tròn, nhánh trái tiết diện chữ nhật. Trên cả hai nhánh đều đặt vòng ngắn mạch 2 bằng đồng dạng ống trụ rỗng. Trên nắp 3 có gắn tiếp điểm động của rơle. Lò xo nhả 4 để đưa phần động rơle về trạng thái ban đầu khi cắt điện cuộn dây, còn lò xo 5 tạo nên lực tách nắp 3 khỏi cực từ khi nắp hút.



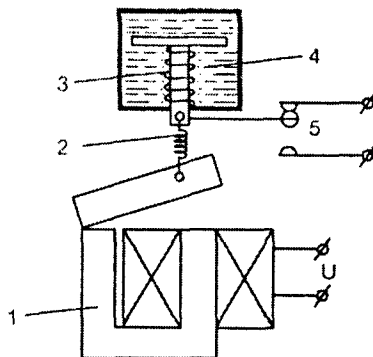
Hình 7-23. Rơle thời gian kiểu điện từ.

Trong quá trình đóng hay ngắt, trong vòng ngắn mạch sẽ sinh ra dòng điện cảm ứng, từ thông của dòng điện này sẽ chống lại sự biến

thiên của từ thông chính nên làm thời gian tác động của role chậm lại. Role thời gian kiểu điện từ dùng chủ yếu để duy trì thời gian mở chậm của tiếp điểm thường mở khi cắt điện cuộn dây. Muốn thay đổi thời gian này, ta thay đổi độ căng của lò xo nhỏ, độ căng của lò xo tách nắp và độ lớn của khe hở phụ. Thời gian chậm của loại role này đến vài giây. Loại role này hiện nay ít được sử dụng vì kích thước và khối lượng lớn.

7.5.2. Role thời gian kiểu thủy lực

Nguyên lý cấu tạo role như trên hình 7-24, gồm nam châm điện 1, lò xo kéo 2, lò xo nhỏ 3, hệ thủy lực 4 và tiếp điểm 5. Hệ thống thủy lực gồm xilanh kín, trong chứa dầu nhớt và pittông có khe hở bé với xilanh. Khi cấp điện cho cuộn dây nam châm điện 1, lực điện từ hút nắp và lò xo kéo 2 bị giãn với tốc độ lớn. Pittông bị dầu nhớt cản lại nên chuyển động chậm, do đó tiếp điểm 5 chuyển trạng thái chậm so với thời điểm đưa điện vào cuộn dây. Khi cắt điện, lò xo nhỏ 3 sẽ dần dần đưa phần động của role (nắp, tiếp điểm động, pittông) về vị trí ban đầu. Điều chỉnh thời gian trễ bằng cách thay đổi hành trình của pittông. Loại role này có thể tạo thời gian trễ từ 0,4 đến 180 giây, có thể sử dụng nam châm điện một chiều và nam châm điện xoay chiều. Thời gian trễ của role không phụ thuộc vào sự dao động của điện áp nguồn, nhưng lại ảnh hưởng bởi nhiệt độ môi trường, vì nó làm thay đổi độ nhớt của dầu. Có thể bố trí cả các tiếp điểm tác động tức thời trên role bằng cách gắn một tay gạt vào nắp của nam châm điện để tay gạt này đóng mở một công tắc hành trình bé.



Hình 7-24. Role thời gian kiểu thủy lực.

7.5.3. Role thời gian kiểu đồng hồ

Với thời gian chậm bé (đến 20 giây), role gồm một nam châm điện (xoay chiều hoặc một chiều) và hệ thống bánh răng, cơ cấu cóc phức tạp gần như trong đồng hồ cơ khí. Khi đưa điện áp vào cuộn dây nam châm điện, phần ứng bị hút làm hệ thống bánh răng chuyển động. Nhờ cơ cấu cóc nên tay gạt tiếp điểm chuyển động chậm nên tiếp điểm tác động chậm lại. Thay đổi thời gian tác động bằng cách thay đổi hành trình của tay gạt. Loại role này

không thể vận hành với tần số thao tác lớn vì hệ thống cơ khí chóng bị mòn.

Với thời gian trễ dài (hàng vài chục phút tới vài giờ), người ta dùng role thời gian kiểu động cơ. Về cấu tạo nó gồm một động cơ điện bé, công suất vài oát (có thể là động cơ lồng sóc một pha hay động cơ bước), nối trực với một hộp số có hệ số truyền lớn cơ cấu cam tác động vào tiếp điểm, qua khớp ly hợp điện từ. Khi cắt điện, lò xo nhả đưa hệ thống động trở về vị trí ban đầu. Loại này thường được dùng trong các thiết bị hẹn giờ gia dụng.

7.5.4. Role thời gian kiểu điện tử

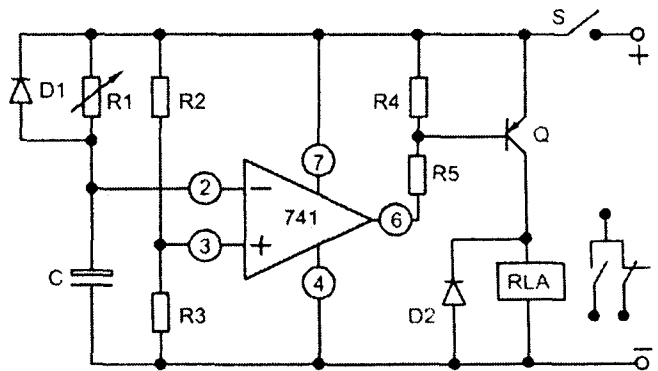
Thời gian trễ trong loại role này thường sử dụng thời gian nạp tụ điện qua điện trở (mạch nạp RC):

$$t_d = T \ln \frac{U_0}{U_{td}} = RC \ln \frac{U_0}{U_{td}} \quad (7-9)$$

trong đó: U_0 - điện áp nguồn;

U_{td} - trị số tác động của mạch điện tử.

Khi điện áp trên tụ C đạt trị số U_{td} , mạch điện tử phía sau sẽ tác động làm role trung gian đầu ra hút. Trên hình 7-25 trình bày mạch role thời gian kiểu này. Đóng khóa S, tụ điện C được nạp qua biến trở R_1 , có trị số lớn theo hàm mũ. Khi trị số điện áp nạp trên tụ C lớn hơn điện áp trên cực dương của khuếch đại thuật toán, nó chuyển sang trạng thái bão hòa dương làm tranzito Q chuyển sang trạng thái dẫn, role RLA hút. Khi cắt khóa S, tụ điện C nhanh chóng phóng điện qua diốt điện và hai điện trở nhỏ R_2 và R_3 , đưa role về trạng thái nhả. Thay đổi thời gian tác động của mạch này bằng cách thay đổi điện trở R_1 . Trị số R_1 cỡ $1M\Omega$, tụ $C_1 = 100\mu F$, cho thời gian trễ đến 100 giây. Ưu điểm của loại role này là kích thước nhỏ gọn,



Hình 7-25. Role thời gian kiểu điện tử.

công suất tiêu thụ bé, công suất điều khiển đầu ra lớn (do tiếp điểm của role trung gian đầu ra), nhưng thời gian phụ thuộc vào độ lớn của điện áp nguồn và sự thay đổi của trị số R, C. Để tăng độ chính xác của thời gian trễ, người ta thêm vào mạch phần bù nhiệt độ, nguồn ổn áp, thêm vào cả các tiếp điểm tác động tức thời, các đèn hiệu... loại role này được dùng tương đối thông dụng để tạo thời gian trễ đến vài phút.

Trong các role bảo vệ đa chức năng thường gặp các bộ lọc thành phần đối xứng.

Các bộ lọc thành phần đối xứng

Ở các chế độ sự cố làm việc không bình thường không đối xứng trong các đại lượng điện như công suất, dòng điện, điện áp, ngoài thành phần thứ tự thuận có thể xuất hiện các thành phần đối xứng thứ tự nghịch và thứ tự không. Các bảo vệ phản ứng theo các thành phần chỉ xuất hiện trong chế độ sự cố và làm việc không bình thường này thường có độ nhạy và độ chọn lọc cao hơn những bảo vệ phản ứng theo đại lượng toàn phần hoặc theo thành phần thứ tự thuận. Các bảo vệ làm việc theo thành phần đối xứng được nối với hệ thống 3 pha thông qua các bộ lọc thành phần đối xứng.

1- Bộ lọc dòng điện thứ tự nghịch (LI_2)

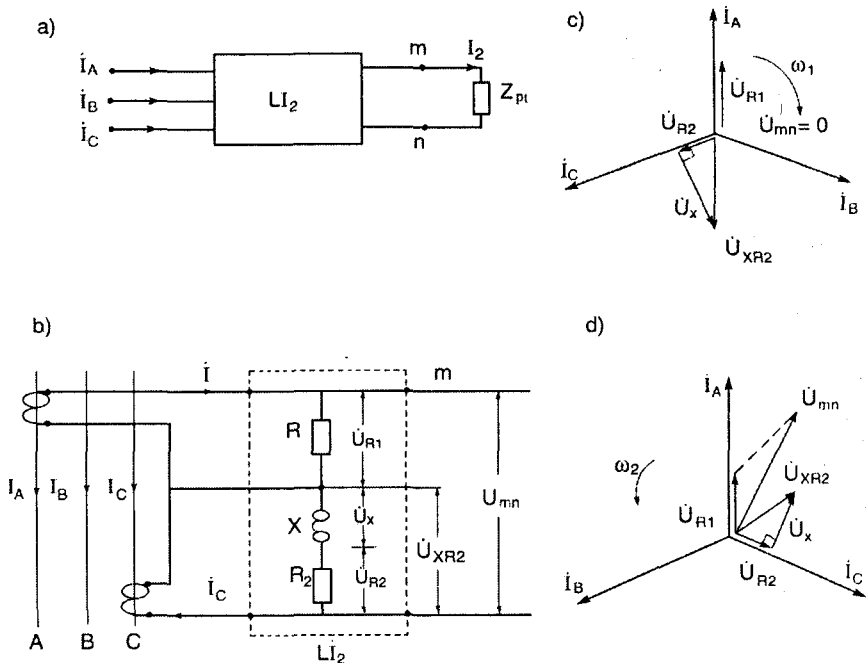
Bảo vệ quá dòng thứ tự nghịch thường được sử dụng để bảo vệ các máy phát điện đồng bộ có trung điểm không nối đất.

Trên hình 7-26 trình bày sơ đồ nguyên lý của bộ lọc dòng điện thứ tự nghịch (LI_2) đấu vào phía thứ cấp của hai máy biến dòng điện đặt trên hai pha A và C của hệ thống 3 pha. Sơ đồ gồm hai điện trở tác dụng R_1 , R_2 và cảm kháng X. Dòng điện thứ cấp của BI pha A là I_{TA} chạy qua R_1 , dòng điện thứ cấp của BI pha C là I_{TC} chạy qua R_2 và X mắc nối tiếp nhau. Các dòng điện này gây nên các thành phần điện áp giáng tương ứng là U_{R1} , U_{R2} và U_X . Ở đầu ra của bộ lọc LI_2 ta có (hình 7-26,b):

$$\dot{U}_{mn} = \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{XR2},$$

trong đó: $\dot{U}_{XR2} = \dot{U}_{R2} + \dot{U}_X$

Trị số của các điện trở R_1 , R_2 và cảm kháng X được chọn sao cho trong chế độ đối xứng ta có $|\dot{U}_{R1}| = |\dot{U}_{XR2}|$ và $|\dot{U}_{mn}| = 0$ (hình 7-26,c). Khi xuất hiện thành phần dòng điện thứ tự nghịch, điện áp ở đầu ra của bộ lọc U_{mn} có trị lớn (hình 7-26,d).



Hình 7-26. Bộ lọc dòng điện thứ tự nghịch LI_2

- a) Sơ đồ cấu trúc; b) Mạch điện; c) Đồ thị vectơ với thành phần thứ tự thuận;
d) Đồ thị vectơ với thành phần thứ tự nghịch.

2- Bộ lọc điện áp thứ tự nghịch (LU_2)

Bảo vệ quá dòng điện có khóa điện áp thấp ở một số chế độ sự cố, đặc biệt khi ngắn mạch không đối xứng, xa nơi đặt bảo vệ có thể không đủ độ nhạy về điện áp. Để tăng độ nhạy của phần khóa điện áp, thay vì việc sử dụng role điện áp cực tiểu nối trực tiếp vào điện áp phía thứ cấp của BU, có thể sử dụng role điện áp cực đại nối ở đầu ra của bộ lọc điện áp thứ tự nghịch LU_2 .

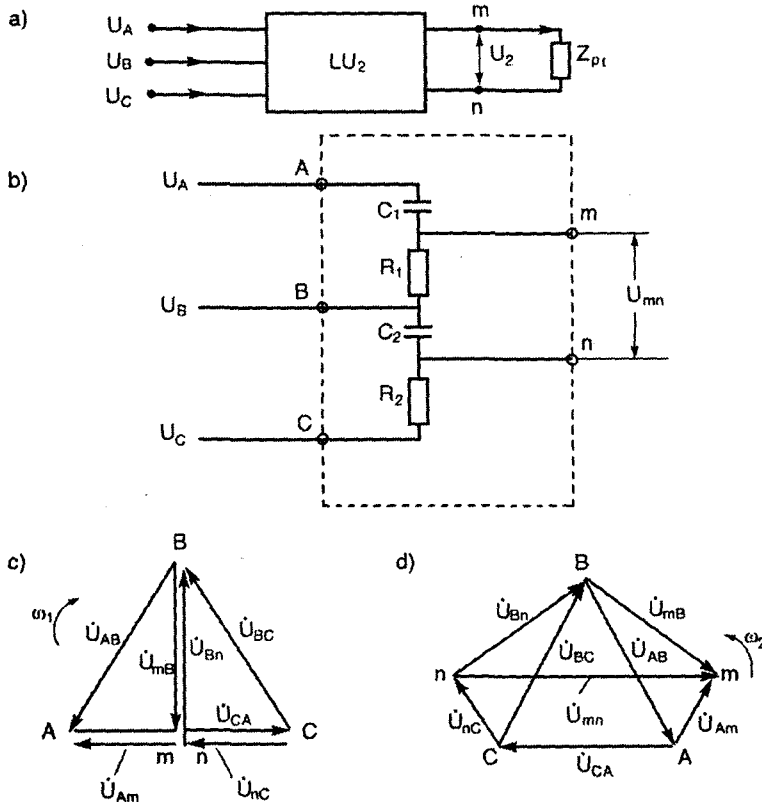
Trên hình 7-27,b trình bày sơ đồ nguyên lý của bộ lọc điện áp thứ tự nghịch sử dụng các điện trở tác dụng R_1 , R_2 và tụ C_1 , C_2 đấu vào hệ thống điện áp dây ở phía thứ cấp của máy biến điện áp. Thông số của tụ điện và điện trở được chọn theo quan hệ sau:

$$\left. \begin{aligned} \omega C_1 &= \frac{\sqrt{3}}{R_1} \\ \omega C_2 &= \frac{1}{\sqrt{3}R_2} \end{aligned} \right\}$$

Điện áp ở đầu ra của bộ lọc $U_{mn} = 0$ đối với chế độ điện áp đối xứng bình thường (chỉ có thành phần điện áp thứ tự thuận U_1 , hình 7-27, c). Đối với hệ thống điện áp 3 pha thứ tự nghịch U_2 (hình 7-27, d) điện áp đầu ra của LU_2 bằng:

$$U_{mn} = \sqrt{3}U_T$$

trong đó: U_T là điện áp dây phía thứ cấp của BU.



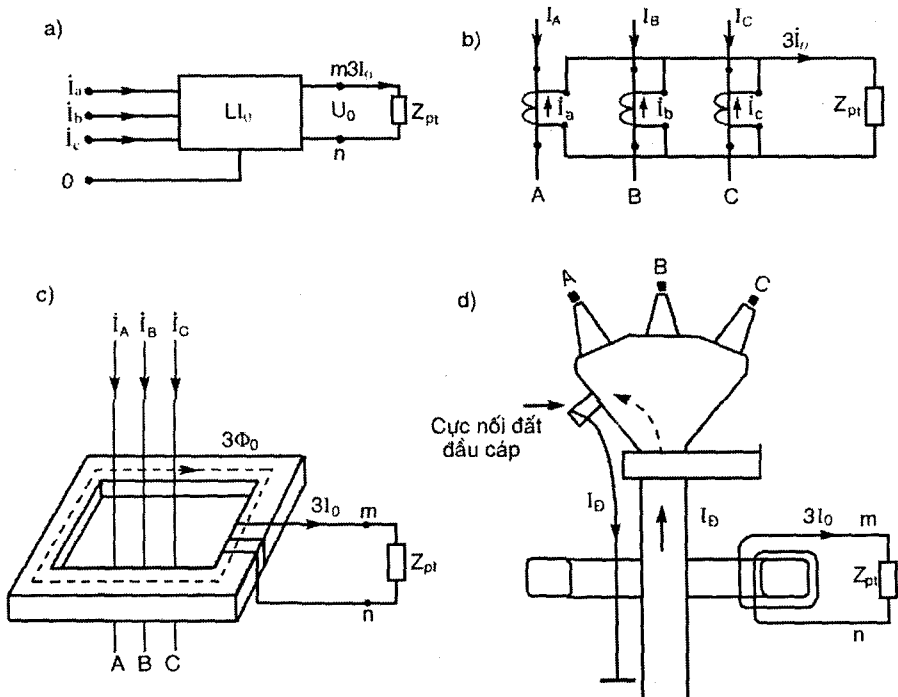
Hình 7-27. Bộ lọc điện áp thứ tự nghịch LU_2

- a) Sơ đồ cấu trúc; b) Mạch điện; c) Đồ thị vectơ đối với thành phần thứ tự thuận;
d) Đồ thị vectơ đối với thành phần thứ tự nghịch.

3. Bộ lọc dòng điện thứ tự không (LI_0)

Để lọc dòng điện thứ tự không, người ra có thể cộng trực tiếp dòng điện thứ cấp của ba pha (sơ đồ dùng ba máy biến dòng điện hình 7-28,b hoặc cộng từ thông của ba pha dòng điện xoay chiều (sơ đồ dùng máy biến dòng thứ tự không, hình 7-28,c và 7-28,d).

Sơ đồ lọc dòng điện thế tự không dùng ba máy biến dòng **thường** được dùng trong lưới điện có dòng chạm đất lớn. Các BI có thể sử dụng kết hợp cho nhiều mục đích đo lường và bảo vệ khác nhau. Nhược điểm của sơ đồ này là dòng không cân bằng ở đầu ra của bộ lọc trong chế độ làm việc bình thường khá lớn do đặc tính của các BI sử dụng làm bộ lọc có thể khác nhau.



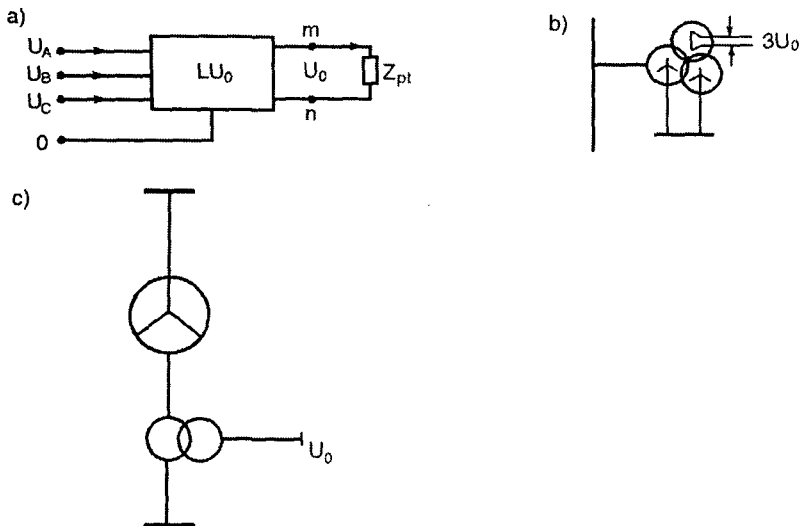
Hình 7-28. Bộ lọc dòng điện thứ tự không (LI_0)

- a) Sơ đồ cấu trúc; b) Bộ lọc dùng ba máy biến dòng (còn gọi là mạch HOLMGREN);
 c) Bộ lọc một máy biến dòng dùng cho đường dây trên không;
 d) Bộ lọc một máy biến dòng dùng cho đường dây cáp.

Vì thế để dùng vào mục đích bảo vệ chống chạm đất trong lưới điện có dòng chạm đất bé (lưới có trung điểm không nối đất trực tiếp hoặc nối đất qua điện kháng hoặc điện trở lớn), người ta dùng các biến dòng thứ tự không làm việc theo nguyên lý cộng từ thông của ba pha dòng điện sơ cấp (hình 7-28,c). Đối với lưới cáp, loại máy biến dòng thứ tự không này được lắp đặt rất tiện lợi (hình 7-28,d), cho xuyên qua bên trong vòng xuyên của mạch từ để khử thành phần từ thông do dòng điện phân bố trong đất có thể chạy qua vỏ cáp và dây nối đất gây nên.

4. Bộ lọc điện áp thứ tự không (LU_0)

Để lọc điện áp thứ tự không U_0 , thường người ta dùng ba máy biến điện áp mmojt pha hoặc ba pha năm trụ với các cuộn thứ cấp được đấu thành hình tam giác hở. Đôi khi người ta dùng một máy biến điện áp một pha có cuộn sơ cấp nối vào trung điểm của cuộn dây biến áp lực hoặc máy phát điện trong hệ thống có trung điểm không nối đất trực tiếp.



Hình 7-29. Bộ lọc điện áp thứ tự không (LU_0)

- a) Sơ đồ cấu trúc; b) Bộ lọc dùng ba máy biến điện áp một pha hoặc một máy biến điện áp ba pha năm trụ có cuộn thứ cấp đấu tam giác hở;
c) Bộ lọc dùng BU một pha đấu vào trung điểm máy phát điện.

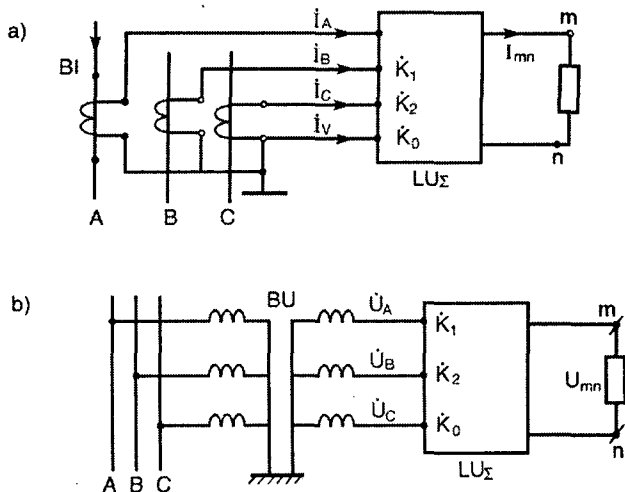
5. Bộ lọc tổng hợp các thành phần đối xứng

Một số loại bảo vệ có thể phản ứng theo tổ hợp một vài thành phần đối xứng của dòng và áp. Dòng điện và điện áp ở đầu ra của bộ lọc tổ hợp các thành phần đối xứng trong trường hợp chung bằng:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{mn} &= \dot{K}_1 I_1 + \dot{K}_2 I_2 + \dot{K}_0 I_0, \\ \dot{U}_{mn} &= \dot{K}'_1 \dot{U}_1 + \dot{K}'_2 \dot{U}_2 + \dot{K}'_0 \dot{U}_0, \end{aligned} \quad (7-10)$$

trong đó: $\dot{K}_1$, $\dot{K}_2$, $\dot{K}_0$ và $\dot{K}'_1$, $\dot{K}'_2$, $\dot{K}'_0$ tương ứng là các hệ số tỷ lệ của các thành phần thứ tự thuận, nghịch và không trong các bộ lọc tổ hợp dòng điện và điện áp (hình 7-30, a và b).

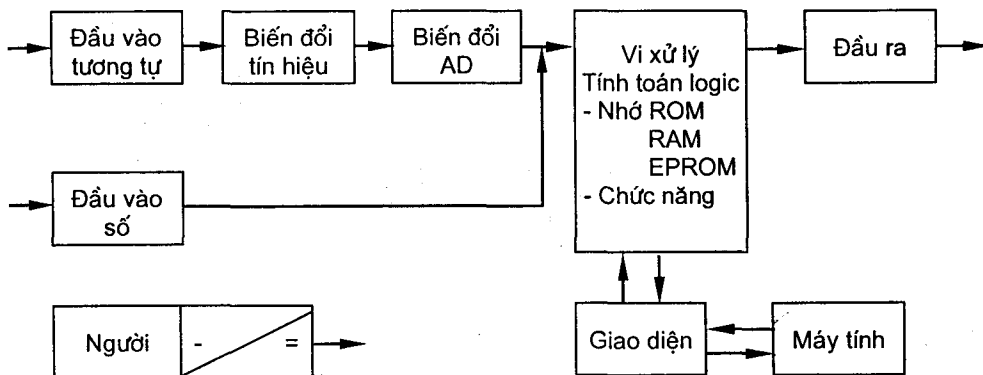
Các bộ lọc từng thành phần đối xứng có thể được xem là trường hợp riêng của bộ lọc tổ hợp khi hệ số tỷ lệ của các thành phần đối xứng khác được lấy bằng không.



Hình 7-30. Bộ lọc tổ hợp các thành phần đối xứng
a) Dòng điện LU_{Σ} ; b) Điện áp LU_{Σ} .

7.6. ROLE KỸ THUẬT SỐ

Role số là loại role mà việc xử lý các tín hiệu trong các bộ phận chức năng của role được thực hiện theo kỹ thuật số. Trên hình 7-31 trình bày sơ đồ khối của một role kỹ thuật số. Các khối chức năng gồm khối đầu vào (thường là hai đầu vào: tương tự và số), khối vi xử lý, khối đầu ra, khối giao diện và khối nguồn.



Hình 7-31. Sơ đồ khối của role số.

Khối đầu vào thường có hai dạng: số và tương tự. Đầu vào số nhận tín hiệu số từ các bộ phận phía trước. Đầu vào tương tự nhận tín hiệu tương tự từ các phần tử đo lường, kiểm tra thông số trạng thái của đối tượng và chuyển nó tới khâu biến đổi tín hiệu. Ở đây tín hiệu được gia công để phù hợp với khối sau và chuyển nó vào khối biến đổi tương tự số (chuyển đổi AD). Các tín hiệu số từ khối đầu vào được chuyển tiếp tới khối vi xử lý.

Khối vi xử lý ghi nhớ dữ liệu của khối đầu vào và thực hiện các phép tính toán logic và so sánh kết quả với trị số đặt của role. Bộ vi xử lý được trang bị các tính toán cơ bản như AND, OR, NOT, NOR, XOR, NAND... và các hàm như ON-DELAY, OFF-DELAY, đếm, phát xung nhịp... và các bộ nhớ như ROM, RAM, PROM... Số lượng các phần tử càng nhiều, năng lực làm việc của role càng lớn.

Khối đầu ra chuyển các tín hiệu từ khối vi xử lý tới thiết bị đầu ra. Khối này thường là các phần tử chuyển mạch bằng bán dẫn hoặc bằng các phần tử điện cơ như role trung gian.

Khối giao diện gồm bàn phím, máy tính... để người sử dụng thực hiện cài đặt, hiệu chỉnh các thông số, chức năng của role.

Khối nguồn cung cấp là điện lưới, được biến đổi và ổn định để cấp cho các khối chức năng của role. Với các role đa chức năng dùng trong hệ thống SCADA (hệ thống kiểm tra, điều khiển và thu thập dữ liệu), ngoài nguồn lưới còn có nguồn dự phòng là UPS (bộ lưu điện) vì yêu cầu của hệ thống SCADA là nguồn nuôi không bao giờ được gián đoạn.

Ưu điểm chính của role số là độ tin cậy, chính xác cao, tác động nhanh, đa chức năng, kết nối được với máy tính, kích thước nhỏ gọn, điện năng tiêu thụ rất bé.

Vì giá thành của role số đa chức năng là khá cao, nên người ta vẫn sử dụng các role số đơn giản kết hợp với role tương tự để điều khiển, bảo vệ các thiết bị điện đơn lẻ, công suất không lớn.

Dưới đây là hai loại role số kiểu đơn giản, dùng để bảo vệ dòng điện và điện áp cho tải ba pha điện áp thấp.

7.6.1. Role quá tải dòng điện kiểu điện tử (EOCR)

Cấu trúc của role gồm khối vi xử lý và các vi mạch chuyên dùng với ba máy biến dòng điện đầu vào.

Chức năng của role gồm:

- Bảo vệ quá dòng điện, mất pha, đảo pha, mất cân bằng pha...
- Hiển thị các dòng điện làm việc, trạng thái sự cố.
- Khả năng chọn lọc đặc tính bảo vệ.
- Chính định độc lập thời gian khởi động và thời gian tác động.

Thường gặp ba loại role quá dòng:

- Loại EOCR - 3DD: cảnh báo tải.
- Loại EOCR - 3DS: bảo vệ dòng ngắn mạch.
- Loại EOCR - 3DZ: cảnh báo chạm đất.

Thông số, sơ đồ nối dây của các loại role này được cho ở phần phụ lục 8.

7.6.2. Role điện áp kiểu điện tử (EVR)

Loại role này có cấu trúc trên cơ sở khối vi xử lý và các mạch chuyên dùng. Đây là role điện tử ba pha đa chức năng, có hai loại: loại tương tự và loại số. Chức năng của chúng gồm:

- Bảo vệ quá điện áp có trễ.
- Bảo vệ sụt áp có trễ.
- Bảo vệ mất pha và đảo pha.

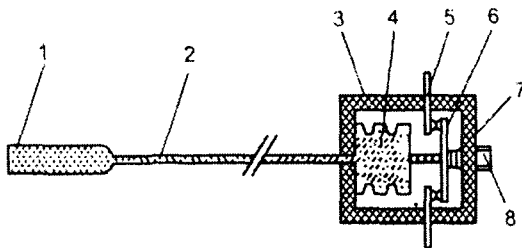
Riêng loại role số còn có thêm chức năng bảo vệ không cân bằng pha và có thêm chức năng hiển thị điện áp các pha và thời gian chỉnh định lớn hơn. Thông số, sơ đồ nối dây của các loại role này được cho ở phụ lục 8.

7.7. CÁC LOẠI ROLE KHÁC

7.7.1. Role áp lực

Đầu vào của role là áp lực của chất lỏng hoặc chất khí, còn đầu ra là trạng thái của tiếp điểm. Trên hình 7-32 mô tả nguyên lý cấu tạo của loại role này.

Bầu cảm biến 1 được nối



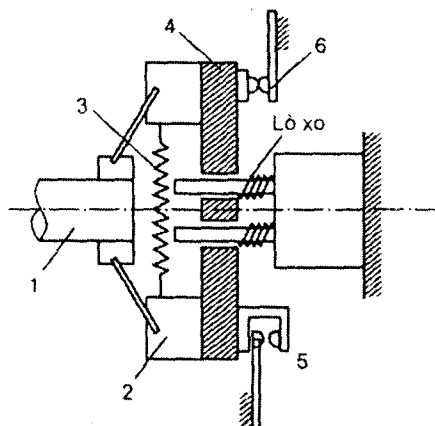
Hình 7-32. Role áp lực.

thông với đường ống dẫn lỏng hoặc khí, còn đầu kia nối với ống dẫn 2, dẫn môi chất vào buồng giãn nở kiểu xếp 4, đặt trong vỏ kín 3, được liên động với hệ thống tiếp điểm động 6. Khi áp suất trong đường ống thấp, lò xo 7 đẩy tiếp điểm động đóng vào tiếp điểm tĩnh 5. Khi áp suất môi chất lớn, buồng giãn nở đẩy tiếp điểm động tách khỏi tiếp điểm tĩnh nên mạch điện bị cắt. Núm vặn 8 dùng để chỉnh độ căng lò xo 7 nên chỉnh được áp lực tác động. Role áp lực được dùng khá rộng rãi trong kỹ thuật.

Role nhiệt kiểu khí nén có cấu tạo tương tự, chỉ khác là trong hệ thống được nạp ga và bầu cảm biến 1 đặt gần giàn lạnh, để điều chỉnh nhiệt độ trong thiết bị lạnh như tủ lạnh.

7.7.2. Role tốc độ

Đầu vào của role này là tốc độ quay của thiết bị công tác, còn đầu ra là trạng thái tiếp điểm. Trên hình 7-33 trình bày nguyên lý cấu tạo của role tốc độ kiểu ly tâm. Trên trục quay 1 được gắn hai quả nặng 2 và lò xo kéo 3. Khi tốc độ quay bé, lò xo kéo 3 kéo hai quả nặng làm chúng tỳ lên đĩa cách điện 4 làm tiếp điểm 5 mở ra, còn tiếp điểm 6 đóng vào. Khi tốc độ quay cao lực ly tâm đủ lớn, thắng được lực kéo của lò xo 3 nên lò xo đẩy 7 đẩy đĩa 4 làm tiếp điểm 6 mở ra, tiếp điểm 5 đóng lại.



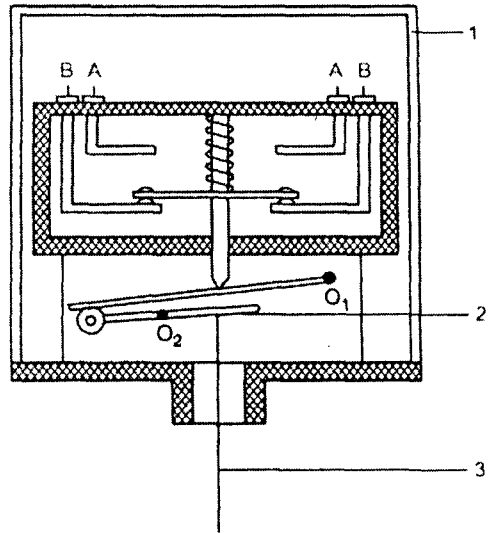
Hình 7-33. Role tốc độ kiểu ly tâm.

Role tốc độ dùng để mở máy động cơ một pha, điều chỉnh và ổn định tốc độ quay của động cơ nổ...

7.7.3. Role mức chất lỏng

Role này được dùng để khống chế mức chất lỏng trong các bình chứa. Trên hình 7-34 trình bày nguyên lý cấu tạo của role kiểu công tắc phao, thường dùng trong bơm nước tự động. Hộp công tắc 1 bằng vật liệu cách điện, bên trong có bộ công tắc hành trình với một cặp tiếp điểm thường mở (đầu nối A-A) và một cặp tiếp điểm thường đóng (đầu nối B-B). Đầu mút của tay đòn 2 được nối với dây treo phao 3, phao thường là một ống trụ kín, bên trong có nước, gồm hai phao treo trên cùng một dây treo, cách nhau đoạn l .

Hộp công tắc được gắn trên nóc bình chính, còn phao nằm trong bình. Khi nước trong bình cạn dưới mức cho phép, trọng lượng của hai quả phao kéo xuống, hệ thống tay đòn O_2 và O_1 đẩy lên phía trên, thắng được lực lò xo nhả làm tiếp điểm A-A thông mạch. Khi cả hai phao cùng nổi (nước được bơm vào bình chứa), dây phao bị chùng, lò xo đẩy tiếp điểm động nên tiếp điểm A-A bị cắt điện, còn tiếp điểm B-B lại thông mạch. Khi mức nước ở vị trí trung gian (một trong hai phao nổi), tiếp điểm vẫn ở vị trí ban đầu.



Hình 7-34. Công tắc phao.

Với nguyên lý trên, tiếp điểm A-A dùng để khống chế mực nước bể trên, còn tiếp điểm B-B dùng để khống chế mực nước bể ngầm: bể trên bơm đầy thì dừng, còn bể dưới cạn nước cũng dừng máy bơm.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 7

- 1- Đặc tính "vào - ra" và các thông số của rơle.
- 2- Nguyên lý làm việc, sơ đồ điện và ứng dụng của rơle trung gian.
- 3- Các loại rơle dòng điện kiểu điện từ: nguyên lý làm việc, đặc tính, ứng dụng.
- 4- Nguyên lý làm việc, sơ đồ điện và ứng dụng của rơle điện áp kiểu điện từ.
- 5- Nguyên lý làm việc, đặc tính của rơle cảm ứng. So sánh rơle cảm ứng dòng điện với rơle dòng điện cực đại kiểu điện từ.
- 6- Nguyên lý làm việc, đặc tính rơle nhiệt bảo vệ quá tải.
- 7- Chức năng của rơle điện áp và rơle dòng điện kiểu điện từ.

CÁC KHÍ CỤ ĐIỆN PHÂN PHỐI ĐIỆN NĂNG

Nhóm khí cụ điện (KCTĐ) phân phối điện năng hạ áp có đặc điểm là dòng điện tương đối lớn, tần suất thao tác bé và tuổi thọ về điện không cao. Những thiết bị đại diện cho nhóm này là cầu dao, cầu dao đổi nối, cầu chì, máy cắt hạ áp.

8.1. CẦU DAO VÀ CẦU DAO ĐỔI NỐI

8.1.1. Cầu dao

Cầu dao là KCTĐ đóng cắt bằng tay, dùng để đóng cắt không thường xuyên mạch điện một chiều và xoay chiều đến 660V. Nguyên lý cấu tạo của cầu dao khá đơn giản, được trình bày ở hình 8-1a. Tiếp điểm động 1 (thân dao) có một đầu gắn với giá đỡ tiếp điểm 2, còn đầu kia có tay cầm bằng vật liệu cách điện. Tiếp điểm tĩnh 3 (má dao) và giá đỡ tiếp điểm 2 gắn trên đế bằng vật liệu cách điện. Các tiếp điểm của cầu dao được làm bằng đồng và mạ bạc. Khi đóng, lực ép tiếp điểm giữa tiếp điểm của cầu dao nhờ lực đàn hồi của má dao ép vào thân dao (hình 8-1b). Trong quá trình cắt, hồ quang xuất hiện giữa hai tiếp điểm động và tĩnh và được dập tắt nhờ kéo dài hồ quang bằng cơ khí và lực điện động hướng kính tác động lên hồ quang.

Để tăng khả năng cắt của cầu dao, ở một vài loại người ta có lắp thêm dao phụ và buồng dập hồ quang (hình 8-1c). Khi đóng, dao phụ đóng trước, dao chính đóng sau, còn khi cắt, dao chính cắt trước, dao phụ cắt sau nhờ lò xo kéo nên dao phụ cắt tốc độ nhanh, giảm được thời gian cháy của hồ quang. Để tăng khả năng an toàn khi thao tác, người ta còn chế tạo cầu dao hộp, có cần thao tác bên ngoài hộp.

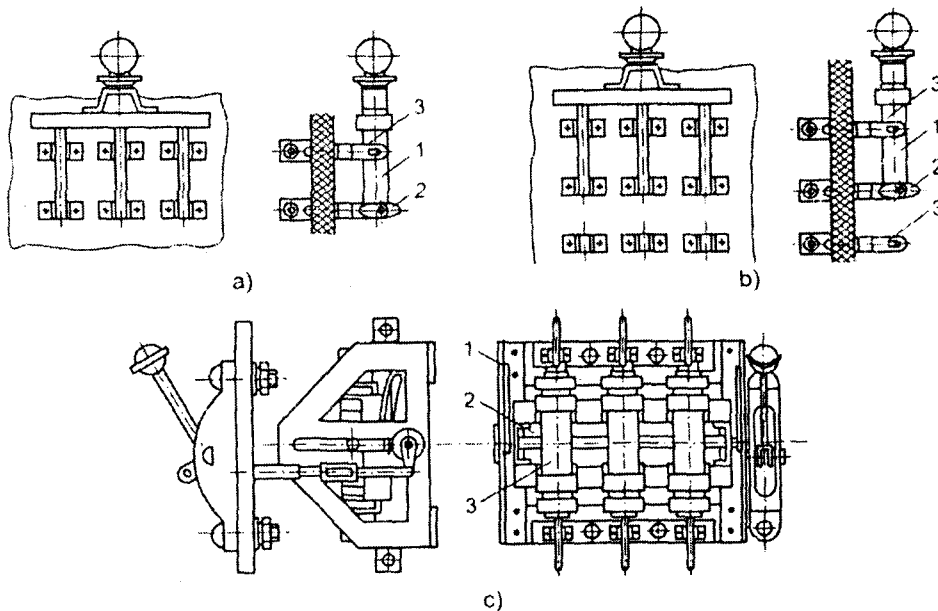
Khả năng cắt của cầu dao không lớn. Với loại cầu dao không có buồng dập hồ quang, đóng cắt trực tiếp, thì khả năng cắt chỉ đạt $20 \div 30\%$ dòng điện định mức, vì vậy loại này chỉ dùng cắt dòng điện không tải của mạch điện. Với loại cầu dao hộp có buồng dập hồ quang, khả năng cắt đạt đến 120% dòng điện định mức nên còn gọi là cầu dao phụ tải, chủ yếu dùng để

đóng cắt dòng điện phụ tải của các tòa nhà cơ quan, văn phòng, nhà chung cư,... với nhiều phụ tải bé và hệ số công suất lớn. Cầu dao thường đi kèm cầu chì để đóng cắt và bảo vệ mạch điện khi bị quá dòng điện.

8.1.2. Cầu dao đổi nối

Tương tự như cầu dao nhưng cầu dao đổi nối có hai hệ thống tiếp điểm tĩnh đấu với hai mạch điện khác nhau. Điện được đưa vào tiếp điểm động. Nếu đóng tiếp điểm động vào phía tiếp điểm tĩnh nào thì mạch phía đó có điện. Người ta cũng dùng cầu dao đổi nối để cấp điện cho tải từ hai nguồn: hai nguồn điện đấu vào hai hệ tiếp điểm tĩnh, còn tải đấu vào tiếp điểm động. Khi một nguồn có sự cố thì chuyển tải về nguồn kia.

Trên hình 8-1 cho nguyên lý cấu tạo của các loại cầu dao và cầu dao đổi nối.



Hình 8-1. Cầu dao và cầu dao đổi nối

a) Cầu dao; b) Cầu dao đổi nối; c) Cầu dao hộp và cầu chì.

8.2. CẦU CHÌ

8.2.1. Khái niệm chung về cầu chì

Cầu chì (còn gọi là cầu chảy) là loại KCD bảo vệ, nó tự động cắt mạch điện khi có sự cố quá tải hay ngắn mạch. Cầu chì là loại KCD đơn giản, về

cấu tạo gồm ba phần chính: dây chảy, vỏ và tiếp điểm. Dây chảy là bộ phận chính của cầu chì, được đặt trong vỏ bằng vật liệu cách điện. Dây chảy được nối với các điện cực và các điện cực này nối với mạch điện qua các dạng tiếp xúc như liên kết ốc vít, bulông, ngàm.

Dây chảy khi có dòng điện lớn đi qua sẽ bị nóng chảy và bị đứt, nên cắt mạch điện. Dây chảy thường làm bằng đồng, bạc, thiếc, chì.

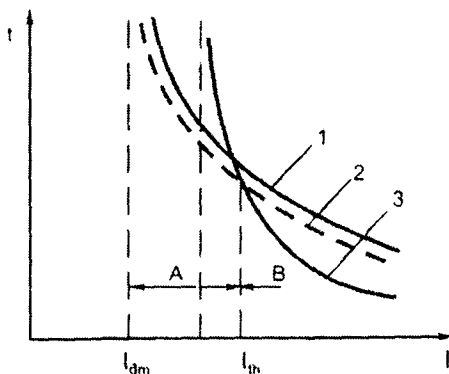
Vỏ của cầu chì có nhiệm vụ cách điện, ngăn chặn không khí nóng khi cầu chì tác động và là buồng dập hồ quang. Vỏ thường làm bằng nhựa cách điện, sứ hay thủy tinh.

Yêu cầu chung đối với cầu chì là:

- Đặc tính bảo vệ của cầu chì phải thấp hơn đặc tính của đối tượng cần bảo vệ.
- Độ tin cậy và tính bảo vệ chọn lọc cao.
- Khả năng cắt của cầu chì lớn.
- Dễ thay thế, bảo dưỡng.

Quá trình tác động của cầu chì được chia thành ba giai đoạn: Giai đoạn một từ thời điểm xảy ra sự cố đến thời điểm dây chảy bắt đầu nóng chảy; giai đoạn hai là từ cuối giai đoạn một đến khi hồ quang xuất hiện, còn giai đoạn ba là thời gian cháy của hồ quang.

Trên hình 8-2 cho đặc tính bảo vệ (ampe - giây) của cầu chì và của đối tượng cần bảo vệ: đường 1 là của đối tượng, đường 2 là đặc tính lý thuyết của cầu chì, còn đường 3 là đường đặc tính thực tế của cầu chì. Khi dòng điện đi qua dây chảy lớn hơn trị số dòng điện tới hạn I_{th} , dây chảy sẽ nóng chảy, cầu chì sẽ cắt mạch. Từ hình 8-2 ta nhận thấy rằng khi dòng điện tăng, thời gian tác động giảm. Mặt khác, trong vùng dòng điện quá tải bé (vùng A), cầu chì không tác động, nó chỉ bảo vệ được đối tượng ở vùng dòng điện lớn (vùng B).



Hình 8-2. Đặc tính bảo vệ của cầu chì.

Để tránh cho các phần tử của cầu chì bị đốt nóng quá mức khi dòng điện gần bằng dòng tới hạn, thường chọn dòng điện định mức của dây chảy bé hơn dòng điện tới hạn. Theo kinh nghiệm:

$$\frac{I_{th}}{I_{dm}} = 1,6 \div 2 \text{ với dây chảy bằng đồng;}$$

$$\frac{I_{th}}{I_{dm}} = 1,25 \div 1,45 \text{ với dây chảy bằng chì;}$$

$$\frac{I_{th}}{I_{dm}} = 1,15 \text{ với dây chảy bằng thiếc.}$$

Người ta còn sử dụng hai biện pháp để hạn chế sự quá nhiệt của cầu chì khi làm việc ở dòng quá tải bé: dùng dây chảy dẹt có những chỗ thắt nhỏ lại và dùng hiệu ứng luyện kim với dây chảy tiết diện tròn. Dây chảy dẹt có diện tích tỏa nhiệt tốt. Với dây chảy tròn, người ta hàn các giọt kim loại có nhiệt độ nóng chảy thấp hơn như hàn các giọt thiếc lên dây chảy bằng đồng tròn. Khi quá tải bé, các chỗ yếu (tiết diện thu nhỏ ở dây chảy dẹt và các giọt thiếc trên dây chảy đồng) sẽ bị nóng chảy trước. Cần lưu ý rằng các biện pháp này chỉ có tác dụng đối với dòng điện quá tải, không có tác dụng đối với dòng ngắn mạch.

Để tăng khả năng dập hồ quang của cầu chì, người ta còn dùng chất nhồi (thường là cát thạch anh) cho cầu chì vỏ sứ hoặc thủy tinh, và dùng loại vỏ nhựa thuộc vật liệu tự sinh khí.

8.2.2. Các loại cầu chì

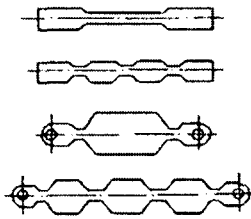
a) Cầu chì hạ áp: có điện áp định mức đến 660V, dòng điện định mức theo dây, từ 5A đến 1000A.

- Cầu chì hở: không có vỏ bọc, thường là dây chảy dạng tròn hay dẹt, bắt trực tiếp vào các điện cực như ở cầu dao có cầu chì. Loại này chỉ dùng cho dòng điện bé, đến 60A.

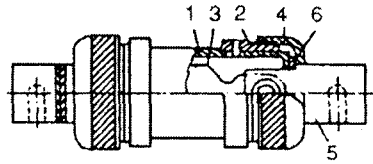
- Loại vặn: có phần động vặn vào đế. Thường vỏ bằng sứ, bên trong có chất nhồi. Loại này chỉ dùng cho dòng điện bé, đến 60A.

- Loại ống: có vỏ bằng ống cách điện dạng tròn hoặc hộp, dây chảy dạng dẹt, đặt bên trong. Nếu vỏ bằng nhựa dạng vật liệu tự sinh khí thì bên trong không có chất nhồi, còn vỏ bằng sứ hay thủy tinh thì bên trong có chất nhồi. Loại này thường dùng cho dòng điện lớn.

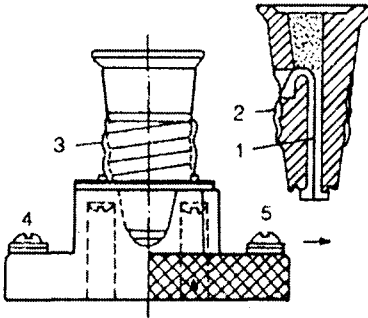
Trên hình 8-3 trình bày nguyên lý cấu tạo của các loại cầu chì này.



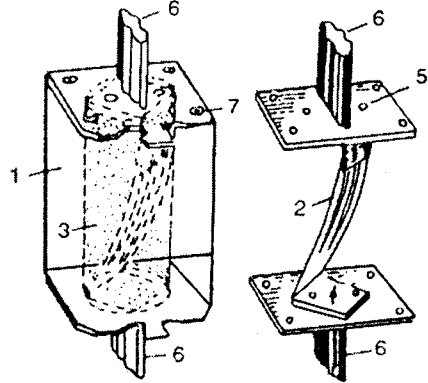
a) Cầu chì dây chảy



c) Cầu chì ống vỏ nhựa



b) Cầu chì vặn



d) Cầu chì ống vỏ sứ

Hình 8-3. Các loại cầu chì hạ áp.

b) Cầu chì cao áp: Cầu chì có điện áp định mức từ 1000V trở lên. Quá trình tác động của cầu chì cao áp cũng tương tự như ở cầu chì hạ áp, nhưng việc dập hồ quang ở cầu chì cao áp khó khăn hơn, do đó dây chảy thường dùng bằng đồng, bạc vì có điện trở suất bé nên tiết diện nhỏ, khi chảy lượng hơi kim loại ít, thuận tiện cho việc dập tắt hồ quang hơn. Mặt khác khi hồ quang tắt điện áp phục hồi trên hai điện cực của cầu chì có giá trị lớn, vì vậy chiều dài của cầu chì cao áp cũng lớn hơn.

Cầu chì cao áp thường có hai loại: loại có chất nhồi và loại không có chất nhồi.

Trên hình 8-4 trình bày cấu tạo của hai loại cầu chì có chất nhồi, điện áp từ 6 đến 10kV. Trên ống sứ 1 có gắn hai vành đồng 2, là hai điện cực của cầu chì. Cát thạch anh được đưa vào cầu chì trước khi hàn miếng bịt 3. Ở cầu chì có dòng điện không lớn (dưới 7,5A) dây chảy 5 được quấn trên khung 4, mục đích để tăng chiều dài dây chảy và tăng hiệu quả hạn chế dòng điện.

Ở cầu chì có dòng điện định mức lớn hơn 7,5A, dây chảy được chế tạo dạng lò xo xoắn, nối song song nhiều dây để dòng điện tổng có thể đạt tới hàng trăm ampe.

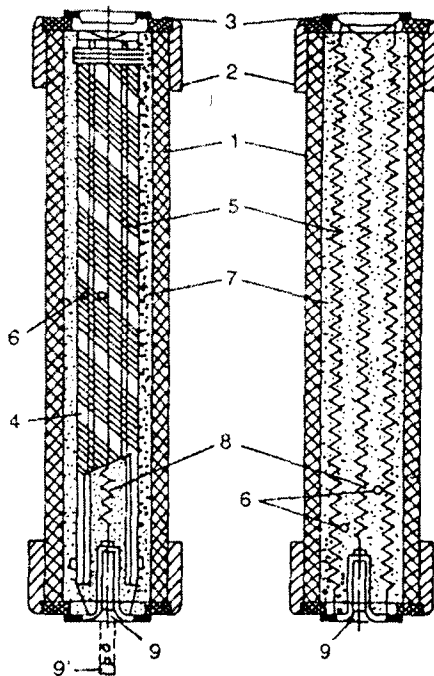
Trên dây chảy có hàn các giọt kim loại 6 có nhiệt độ nóng chảy thấp hơn dây chảy. Dây chính là hiệu ứng luyện kim để giảm sự quá nhiệt khi dòng điện quá tải lâu dài và tăng tính hạn chế dòng điện khi tác động. Nút chỉ thị tác động 9 được nối với dây chảy đặc biệt 8, và dây chảy này đứt sau dây chảy chính 5.

Loại cầu chì có chất nhồi dùng để bảo vệ các máy biến điện áp đo lường (loại dòng điện bé) và các phụ tải khác (loại dòng điện lớn) như tụ điện, máy biến áp phân phối...

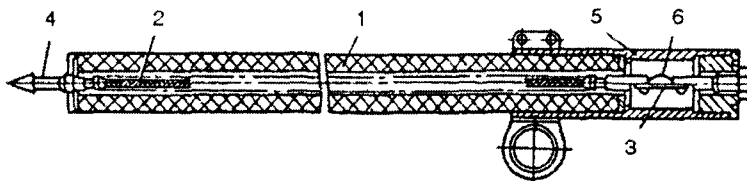
Trên hình 8-5 trình bày cấu tạo của loại cầu chì không có chất nhồi kiểu tụ rơi (còn gọi là cầu chì bắn) được sử dụng rộng rãi để bảo vệ dòng điện phía cao áp của các máy biến áp phân phối.

Bên trong ống cách điện bằng vật liệu tự sinh khí 1 đặt dây dẫn mềm 2, một đầu nối với dây chảy 3, còn đầu kia nối với điện cực 4. Điện cực này chịu tác động của tay đòn dạng ngàm, có lò xo kéo (không biểu thị trên hình vẽ) điện cực theo chiều mũi tên.

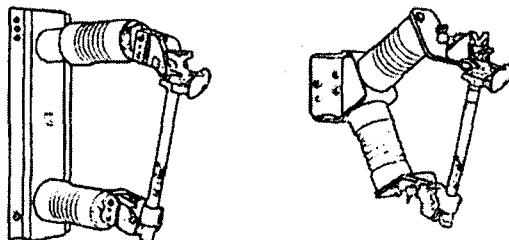
Dây chảy gồm hai phần tử uốn song song: sợi dây thép 3 và sợi dây đồng 6, được nối với điện cực 5 dạng ống. Ở chế độ định mức, dòng điện chủ yếu đi qua dây chảy đồng vì nó có điện trở bé, còn dây chảy thép 3 giữ điện cực 4 không bị lò xo kéo ra. Khi có sự cố, dây đồng đứt trước, dây thép đứt sau, lò xo kéo điện cực 4 và dây dẫn mềm làm hồ quang chạy vào ống 1, ống bị sinh khí làm hồ quang tắt nhanh. Thời gian cháy của hồ quang khoảng 0,04 giây với dòng điện lớn còn với dòng điện bé, thời gian này dài hơn, khoảng 0,3 giây.



Hình 8-4. Cầu chì cao áp có chất nhồi.



a) Cấu tạo của cầu chì tự rơi



b) Các kiểu lắp đặt

Hình 8-5. Cầu chì kiểu tự rơi.

8.2.3. Tính toán cầu chì

Việc tính toán cầu chì dẫn đến giải hai bài toán:

- Tìm dòng điện tối hạn của dây chảy khi biết vật liệu và kích thước của nó.
- Tìm quan hệ phụ thuộc giữa thời gian và dòng điện tác động của cầu chì: $t = f(I)$.

Khi làm việc với dòng điện tối hạn I_{th} , phương trình cân bằng nhiệt ở chế độ xác lập nhiệt của dây chảy có dạng:

$$RI_{th}^2 = k_T S_T (\theta_{nc} - \theta_0) \quad (8-1)$$

trong đó: R - điện trở của dây chảy, $[\Omega]$;

k_T - hệ số tỏa nhiệt của dây chảy, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$;

S_T - diện tích tỏa nhiệt của dây chảy, $[m^2]$;

θ_{nc} , θ_0 , - nhiệt độ nóng chảy của dây chảy và nhiệt độ của môi trường xung quanh, $[^\circ C]$.

Điện trở của dây chảy được tính bằng công thức:

$$R = \rho_0 (1 + \alpha \theta_{nc}) \frac{l}{S} \quad (8-2)$$

trong đó: ρ_0 - điện trở suất vật liệu dây chảy ở $0^\circ C$;

α - hệ số nhiệt điện trở của vật liệu dây chảy;

l - chiều dài dây chảy; S - tiết diện dây chảy.

Diện tích tỏa nhiệt của dây chảy được theo công thức:

$$S_T = p.l \quad (8-3)$$

trong đó: p - chu vi của tiết diện dây chảy.

Thay (8-2), (8-3) vào (8-1) và giải phương trình theo I_{th} . Nếu dây chảy có tiết diện tròn, ta được:

$$I_{th} = \sqrt{\frac{\pi^2 k_T (\theta_{nc} - \theta_0)}{4 \rho_0 (1 + \alpha \theta_{nc})}} d^3 \quad (8-4)$$

Để đơn giản hóa việc tính toán, người ta thường dùng công thức kinh nghiệm:

$$I_{th} = A_0 d^{3/2} \quad (8-5)$$

trong đó: A_0 - hệ số kinh nghiệm phụ thuộc vào vật liệu;
 d - đường kính dây chảy tính theo mm.

Trị số A_0 của vật liệu dây chảy như sau:

Vật liệu	Bạc	Đồng	Chì	Thiếc
A_0	44	60	28	24,6

Bài toán thứ hai là tìm quan hệ $t = f(I)$ của cầu chì.

Thời gian tác động t của cầu chì có thể chia ra ba giai đoạn:

- t' - từ khi sự cố đến khi dây chảy đạt nhiệt độ nóng chảy θ_{nc} ;
- t'' - từ khi dây chảy đạt θ_{nc} đến thời điểm phát sinh hồ quang;
- t''' - thời gian cháy của hồ quang.

Để đơn giản hóa việc tính toán, quá trình tác động của cầu chì được coi là quá trình đoạn nhiệt (chỉ dùng với trường hợp ngắn mạch), nghĩa là toàn bộ nhiệt năng do dòng điện cung cấp chỉ đốt nóng dây chảy chứ không tỏa nhiệt ra xung quanh. Do đó phương trình cân bằng nhiệt có dạng:

$$RI^2 dt = c.\gamma.V.d\theta \quad (8-6)$$

trong đó: c - tỷ nhiệt của vật liệu dây chảy, $[J/kg.^{\circ}C]$;

γ - khối lượng riêng vật liệu dây chảy, $[kg/m^3]$;

$V = S.l$ - thể tích của dây chảy, $[m^3]$.

$$R = \rho_0 (1 + \alpha \theta_{nc}) \cdot \frac{l}{S}, [\Omega] - \text{điện trở dây chảy.}$$

Biến đổi phương trình (8-6) ta được:

$$dt = \frac{S^2}{I^2} \cdot \frac{\gamma \cdot c}{\rho_0 (1 + \alpha \theta_{nc})} d\theta \quad (8-7)$$

Tích phân (8-7), cận thời gian từ 0 đến t' , còn cận nhiệt độ từ θ_0 đến θ_{nc} , ta được:

$$t' = \frac{S^2}{I^2} \cdot \frac{\gamma \cdot c}{\alpha \rho_0} \ln \frac{1 + \alpha \theta_{nc}}{1 + \alpha \theta_0} \quad (8-8)$$

Đặt: $A' = \frac{\gamma \cdot c}{\alpha \rho_0} \ln \frac{1 + \alpha \theta_{nc}}{1 + \alpha \theta_0}$, cho nên:

$$t' = A' \cdot \frac{S^2}{I^2} \quad (8-9)$$

Giai đoạn hai t'' là thời gian từ khi nhiệt độ dây chảy bắt đầu nóng chảy đến khi hồ quang xuất hiện. Trong giai đoạn này quá trình nóng chảy ban đầu chỉ xảy ra trên một phân đoạn ngắn của dây chảy, và nhiệt lượng do dòng điện cung cấp tiếp tục làm dây chảy nóng chảy thêm cho tới lúc đứt mạch.

Phương trình cân bằng nhiệt trong trường hợp này có dạng:

$$dW_1 = dW_2 \quad (8-10)$$

trong đó:

+ dW_1 là năng lượng do dòng điện cung cấp cho dây chảy:

$$dW_1 = I^2 R dt = (R_1 + R_2) I^2 dt \quad (8-11)$$

$$R_1 = \rho_1 \frac{l - l_{nc}}{S}; R_2 = \rho_{nc} \frac{l_{nc}}{S}$$

R_1 - điện trở đoạn dây chưa nóng chảy; R_2 - điện trở đoạn dây đã nóng chảy.

+ dW_2 là năng lượng hấp thụ của dây chảy:

$$dW_2 = c_{nc} \cdot \gamma \cdot S \cdot dl_{nc} \quad (8-12)$$

c_{nc} - tỷ nhiệt của vật liệu dây chảy; γ - khối lượng riêng của vật liệu dây chảy.

Thay (8-11) và (8-12) vào (8-10), ta được:

$$dt = \frac{S^2}{I^2} \cdot \frac{c_{nc} \cdot \gamma}{l} \cdot \frac{1}{\rho_1 + (\rho_{nc} - \rho_1) \frac{l_{nc}}{l}} \cdot dl_{nc} \quad (8-13)$$

Tích phân hai vế của (8-13), ta tìm được t'' khi $l = l_{nc}$

$$t'' = \frac{S^2}{I^2} \cdot \frac{c_{nc} \cdot \gamma}{\rho_{nc} - \rho_1} \ln \frac{\rho_{nc}}{\rho_1} \quad (8-14)$$

Đặt $A'' = \frac{c_{nc} \cdot \gamma}{\rho_{nc} - \rho_1} \ln \frac{\rho_{nc}}{\rho_1}$, ta có:

$$t'' = A'' \cdot \frac{S^2}{I^2} \quad (8-15)$$

Thời gian cháy của hồ quang t''' phụ thuộc vào nhiều yếu tố nên việc tính toán thường khó khăn và thường được đánh giá theo kinh nghiệm.

Thời gian tác động của cầu chì được tính toán theo công thức kinh nghiệm sau:

$$\text{- Cầu chì hở: } t = (1,2 \div 1,3) \left(A' + \frac{A''}{3} \right) \cdot \frac{S^2}{I^2} \quad (8-16)$$

$$\text{- Cầu chì có chất nhồi: } t = (1,7 \div 2) (A' + A'') \cdot \frac{S^2}{I^2} \quad (8-17)$$

Các hằng số vật lý của các vật liệu dây chảy làm cầu chì dùng để xác định thời gian tác động của cầu chì cho ở bảng 8-1.

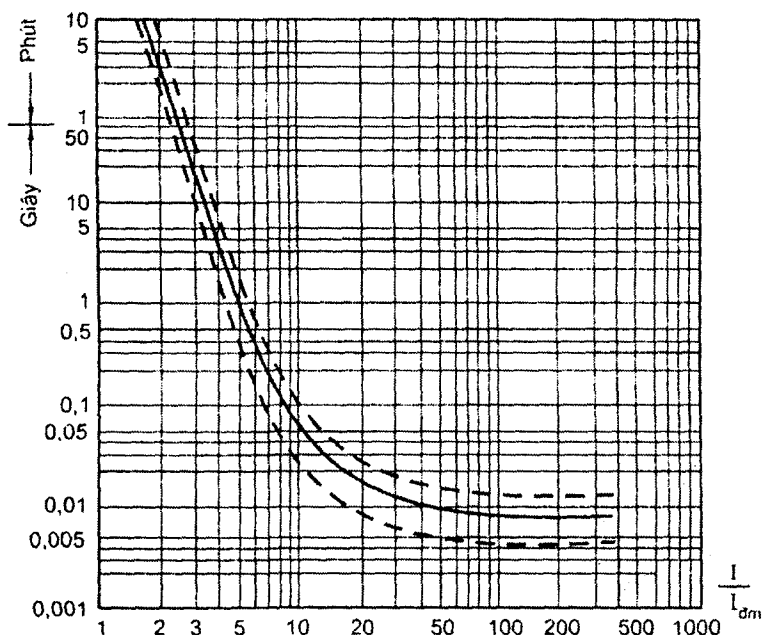
Bảng 8-1

Vật liệu	ρ_0 [Ωmm ² /m]	θ_{cp} [°C]	θ_{nc} [°C]	A' [A ² s/mm ⁴]	A'' [A ² s/mm ⁴]	$A' + A''$ [A ² s/mm ⁴]
Đồng	0,0153	250	1038	80.000	11.600	91.600
Bạc	0,0147	250	961	62.000	8.000	70.000
Chì	0,217	200	961	9.000	3.000	12.000
Kẽm	0,059	150	420	1.200	400	1.600

8.2.4. Chọn cầu chì

Đặc tính bảo vệ của cầu chì cho ở hình 8-6. Cầu chì được chọn sao cho khi làm việc ở chế độ dòng điện dài hạn, nhiệt độ phát nóng của dây chảy bé

hơn trị số cho phép, còn ở chế độ quá độ như khi mở máy động cơ điện, cầu chì không được tác động. Mặt khác, việc chọn cầu chì phải đáp ứng được yêu cầu bảo vệ chọn lọc, nghĩa là cầu chì ở xa nguồn (gần tải) phải tác động trước so với cầu chì ở gần nguồn (xa tải).



Hình 8-6. Đặc tính bảo vệ của cầu chì.

Đối với cầu chì bảo vệ động cơ điện phải thỏa mãn hai điều kiện:

$$I_{cc} \gg I_{tt} \geq \frac{I_{kd}}{C} \quad (8-18)$$

trong đó: I_{cc} - dòng điện định mức của dây chảy;

I_{tt} - dòng điện tính toán tương ứng với công suất tính toán của phụ tải;

I_{kd} - dòng điện khởi động lớn nhất của tải;

C - hằng số phụ thuộc vào chế độ khởi động của tải.

$C = 2,5$ đối với động cơ có thời gian khởi động bé ($3 \div 10s$).

$C = (1,6 \div 2)$ với động cơ có thời gian khởi động lớn (đến $40s$).

8.3. MÁY CẮT HẠ ÁP (ÁP TÔMÁT)

8.3.1. Khái niệm chung

Máy cắt hạ áp (còn được gọi là áp tômát) là khí cụ điện tự động cắt mạch điện khi có sự cố như: quá tải, ngắn mạch, điện áp thấp, dòng điện rò, công suất ngược... Đôi khi nó cũng được dùng để đóng cắt không thường xuyên các mạch điện ở chế độ bình thường.

Yêu cầu chung đối với máy cắt hạ áp là:

- Ở chế độ làm việc dài hạn với trị số dòng điện định mức đi qua, nhiệt độ phát nóng của áp tômát phải bé hơn nhiệt độ phát nóng cho phép.

- Ở chế độ sự cố, trong đó sự cố nguy hiểm nhất là ngắn mạch, dòng điện ngắn mạch không được làm hư hỏng các bộ phận của áp tômát, tức là nó phải có độ bền điện động và độ bền nhiệt cao.

- Khả năng cắt của áp tômát phải lớn.

- Thời gian tác động của áp tômát càng bé càng tốt. Nếu thời gian cắt bé, nó sẽ hạn chế được dòng điện cắt, tăng được khả năng cắt.

Thời gian tác động của máy cắt gồm ba thành phần:

$$t_{td} = t_0 + t_1 + t_2$$

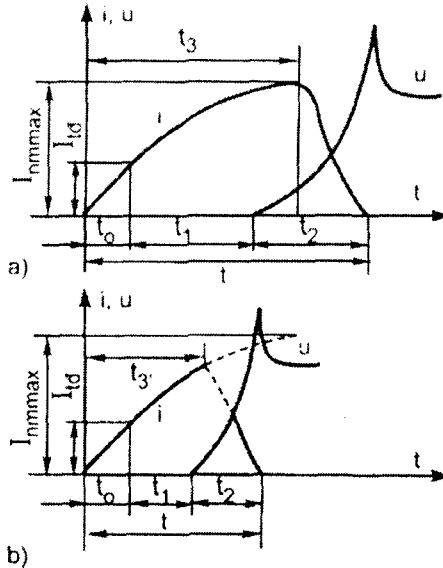
trong đó: t_0 - từ thời điểm xảy ra sự cố đến khi dòng điện đạt trị số tác động

I_{td} . Thời gian này phụ thuộc vào giá trị đặt I_{td} và $\frac{di}{dt}$ - thông số mạch;

t_1 - thời gian từ khi dòng điện bằng trị số tác động đến lúc hồ quang phát sinh. Thời gian này phụ thuộc vào các phần tử của máy cắt hoặc quán tính của máy cắt;

t_2 - thời gian cháy của hồ quang, phụ thuộc vào giá trị dòng điện cắt và biện pháp dập hồ quang.

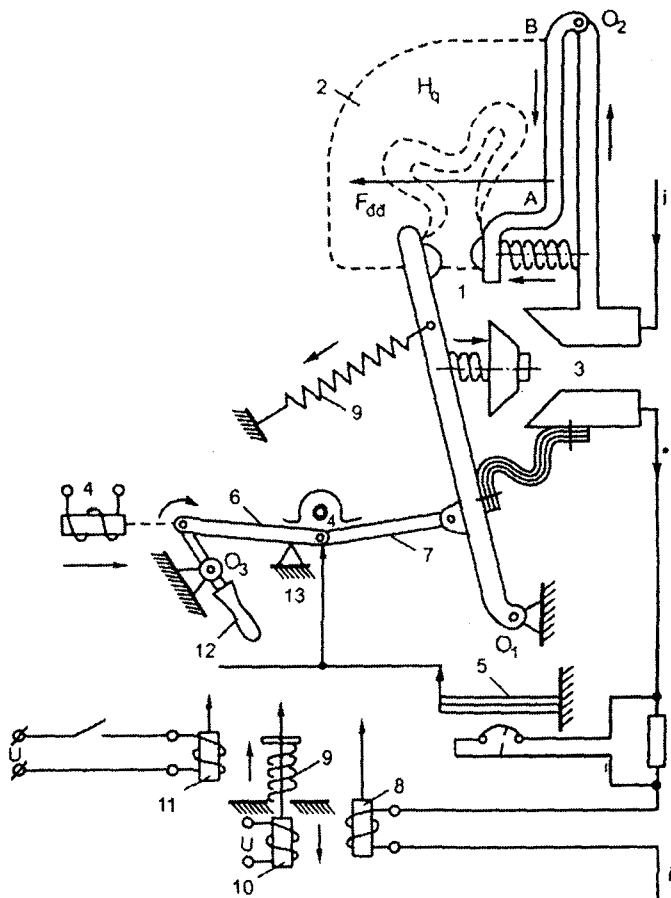
Trên hình 8-7 trình bày dạng dòng điện và điện áp trên tiếp điểm trong quá trình cắt của máy cắt. Với máy cắt tác động nhanh (hình 8-7b) vì thời gian t_1 bé nên hạn chế được dòng điện cắt, vì hai tiếp điểm tách nhau khi dòng điện còn bé hơn nhiều so với trị số ngắn mạch xác lập nên năng lượng cắt không lớn, nâng cao được tuổi thọ cũng như khả năng cắt.



Hình 8-7. Thời gian tác động của máy cắt.

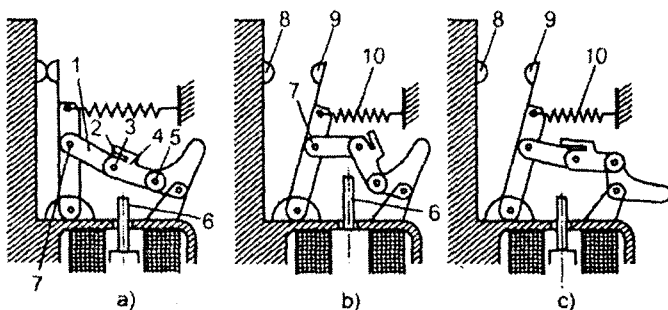
8.3.2. Các bộ phận chính của aptomat

Áptomat gồm có hệ thống tiếp điểm, hệ thống dập hồ quang, cơ cấu truyền động và các phần tử bảo vệ. Trên hình 8-8 trình bày nguyên lý cấu tạo của aptomat vận hành ở trạng thái cắt. Hệ thống mạch vòng dẫn điện gồm tiếp điểm hồ quang 1, tiếp điểm làm việc 3 với các lò xo tiếp điểm tương ứng. Hệ thống dập hồ quang 2 thường là loại buồng dập hồ quang kiểu dàn dập, đặt ở phía tiếp điểm hồ quang. Trong quá trình đóng, tiếp điểm hồ quang đóng trước, tiếp điểm làm việc đóng sau. Trong quá trình cắt, tiếp điểm làm việc cắt trước còn tiếp điểm hồ quang cắt sau, vì vậy hồ quang chỉ cháy ở tiếp điểm hồ quang. Các phần tử bảo vệ gồm bảo vệ quá tải bằng role nhiệt 5, bảo vệ ngắn mạch bằng role dòng điện cực đại 8, bảo vệ điện áp thấp bằng role điện áp 10, bộ phận cắt từ xa bằng nam châm điện 11. Cơ cấu truyền động gồm các thanh 6, 7, cần thao tác 12 được nối với thanh dẫn động mà trên nó gắn các tiếp điểm động. Nam châm điện 4 dùng để đóng từ xa... Lò xo cắt 9 dùng để cắt các tiếp điểm bằng cách kéo thanh dẫn động về phía trái.



Hình 8-8. Nguyên lý cấu tạo của aptomat.

Khâu truyền động trung gian dùng phổ biến nhất ở aptomat là cơ cấu tự do tuột khớp, có nguyên lý làm việc được mô tả trên hình 8-9.



Hình 8-9. Cơ cấu tự do tuột khớp

a) Trạng thái đóng; b) Trạng thái cắt sự cố; c) Trạng thái chuẩn bị đóng.

O trạng thái đóng, các thanh 2 và 4 được nối cứng vì tâm quay 3 nằm thấp hơn đoạn thẳng nối hai tâm quay 5 và 7. Lúc này mấu đỡ 3 giữ không cho thanh 2 và thanh 4 gập lại được, do đó hệ thống ở vị trí chết.

Khi bị sự cố, nam châm điện hút làm chốt 6 gắn trên phần ứng đẩy vào thanh 4, mấu đỡ 3 thoát khỏi vị trí chết, hai thanh 2 và 4 không được nối cứng nữa. Dưới tác dụng của lò xo cắt 10, tiếp điểm động 9 rời khỏi tiếp điểm tĩnh 8 với vận tốc lớn: máy cắt tác động.

Muốn đóng lại aptômát, ta phải kéo tay cầm xuống phía dưới để hai thanh 2 và 4 duỗi thẳng (hình 8-9c).

Với kết cấu của cơ cấu tự do tuột khớp, aptômát nhớ được trạng thái cắt nếu cắt bình thường, vị trí tay cầm nằm phía dưới, còn khi cắt sự cố (tự động cắt) tay cầm nằm ở vị trí trung gian giữa đóng và cắt.

8.3.3. Các loại aptômát

Có nhiều loại aptômát, dưới đây đề cập một số loại aptômát vận năng, aptômát định hình, aptômát chống điện giật.

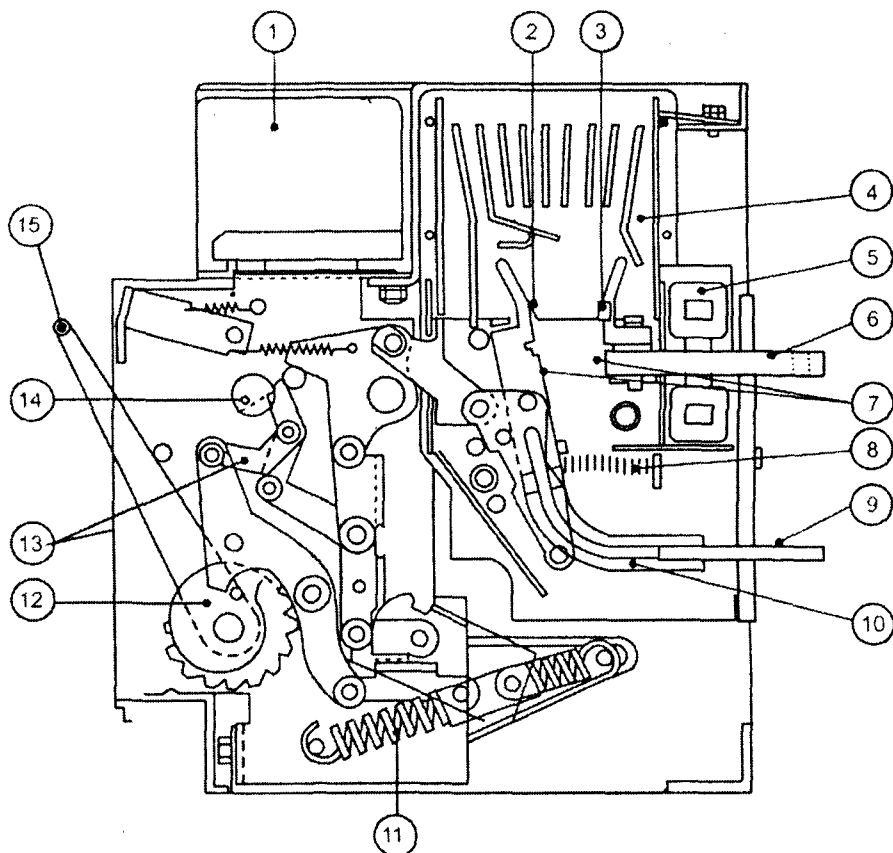
- *Aptômát vận năng*: là loại được chế tạo cho mạch điện hạ áp công suất lớn, có nhiều loại bảo vệ và có thể chỉnh định trong một phạm vi rộng. Loại này thường có kết cấu hở, dập hồ quang trong môi trường không khí tự nhiên bằng buồng dập kiểu giàn, thường được gọi là ACB (Air Circuit Breaker). Loại này có điện áp định mức đến 660V, dòng điện định mức 630A, 800A, 1000A, 1250A, 1600A, 2500A, 3200A, 4000A, 5000A và 6300A với hai kết cấu: 3 cực và 4 cực. Khối bảo vệ là các vi mạch nên có khả năng điều chỉnh thông số trong phạm vi rộng, vì vậy loại máy cắt này còn có tên là máy cắt điện tử.

Trên hình 8-10 trình bày nguyên lý cấu tạo của aptômát này.

Các nút đóng (ON hoặc 1) và cắt (OFF hoặc 0) được bố trí cùng các bộ phận thao tác, chỉnh định ở mặt trước của máy cắt. Trên hình 8-11 trình bày bảng các thông số đặt trị số tác động, các núm thao tác, còn trên hình 8-12 cho dạng đặc tính bảo vệ của máy cắt loại này. Mũi tên chỉ trên hình 8-12b chỉ dải điều chỉnh của các thông số bảo vệ.

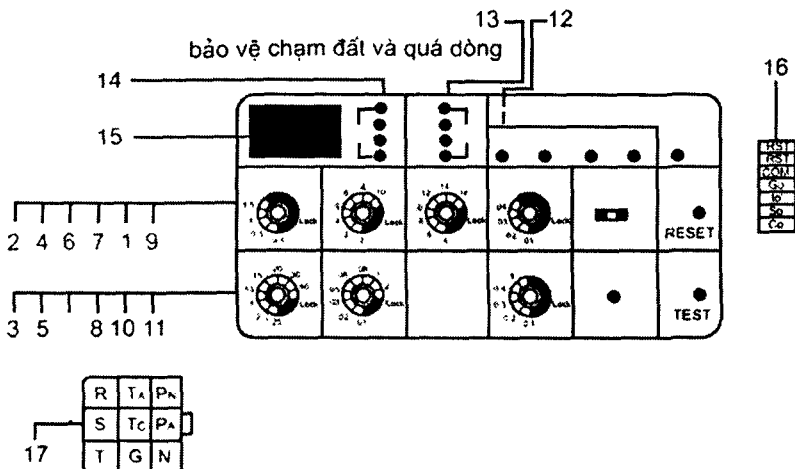
Muốn đóng máy cắt, trước tiên phải nạp năng lượng cho lò xo đóng qua tay cầm 15 hoặc bằng mô tơ nạp. Khi năng lượng được nạp đủ, chốt giữ lò xo đóng giữ lò xo ở trạng thái sẵn sàng đóng. Muốn đóng máy cắt, ta ấn nút

ON, tác động lên chốt giữ lò xo đóng. Năng lượng trong lò xo đóng được giải phóng, tác động vào các thanh truyền, làm các tiếp điểm động được đóng vào các tiếp điểm tĩnh, đồng thời lò xo cắt được nạp năng lượng chuẩn bị cho cắt. Muốn cắt, chỉ cần tác động vào chốt giữ lò xo cắt, năng lượng tích trữ trong lò xo cắt được giải phóng, sẽ kéo các tiếp điểm động rời khỏi tiếp điểm tĩnh với vận tốc lớn. Việc tác động vào chốt giữ lò xo cắt có thể thực hiện bằng tay (khi ấn nút OFF), hoặc tự động khi có sự cố, thì hệ thống bảo vệ, tín hiệu sự cố sẽ cấp nguồn điều khiển nam châm điện cắt, giải phóng chốt hãm lò xo cắt.



Hình 8-10. Các bộ phận của aptômát vạn năng

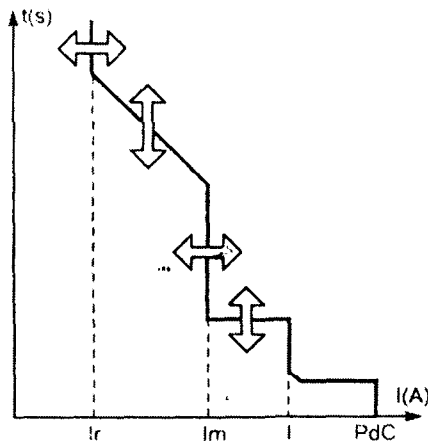
- 1- Khối các phần tử bảo vệ; 2- Tiếp điểm động hồ quang; 3- Tiếp điểm tĩnh hồ quang;
- 4- Buồng dập hồ quang; 5- Máy biến dòng điện; 6- Thanh cái đầu vào; 7- Tiếp điểm chính;
- 8- Lò xo tiếp điểm; 9- Thanh cái đầu ra; 10- Dây dẫn mềm; 11- Lò xo đóng;
- 12- Cơ cấu nạp năng lượng cho lò xo đóng; 13- Thanh truyền; 14- Chốt cắt;
- 15- Cần nạp năng lượng bằng tay.



Hình 8-11. Bảng các thông số đặt trị số tác động, các nút thao tác

1- Nút đặt dòng điện tiêu chuẩn; 2- Nút đặt dòng điện dài hạn; 3- Nút đặt thời gian cắt dài; 4- Nút đặt dòng điện ngắn hạn; 5- Nút đặt thời gian cắt ngắn; 6- Nút đặt giá trị dòng điện tức thời; 7- Nút đặt dòng điện bảo vệ chạm đất; 8- Nút đặt thời gian cắt bảo vệ chạm đất; 9- Công tắc phục hồi; 10- Công tắc kiểm tra dòng các pha; 11- Công tắc thử; 12- Chỉ thị tác động; 13- Chỉ thị bắt đầu tác động; 14- Công tắc chọn dòng điện các pha; 15- Chỉ thị dòng thứ cấp; 16- chuyển đổi tín hiệu bên ngoài; 17- Cầu nối.

- *Áp tômát định hình*, còn gọi là MCB, là loại máy cắt có vỏ nhựa định hình, thao tác bằng cần gạt hoặc nút vận, thường có dòng điện định mức từ 6A đến 1600A. Loại máy cắt này được dùng rất thông dụng và không cần bảo trì. Nó thường dùng để bảo vệ quá tải và ngắn mạch cho các phụ tải gia dụng - công nghiệp và các loại tải khác. Về kết cấu, nó thường có loại 1 cực, 2 cực, 3 cực và 4 cực. Trên hình 8-13 trình bày nguyên lý cấu tạo của áp tômát định hình loại 3



Hình 8-12. Đặc tính bảo vệ của máy cắt

I_r - Dòng điện quá tải; I_m - Dòng điện ngắn mạch;
PdC - Khả năng cắt của máy cắt.

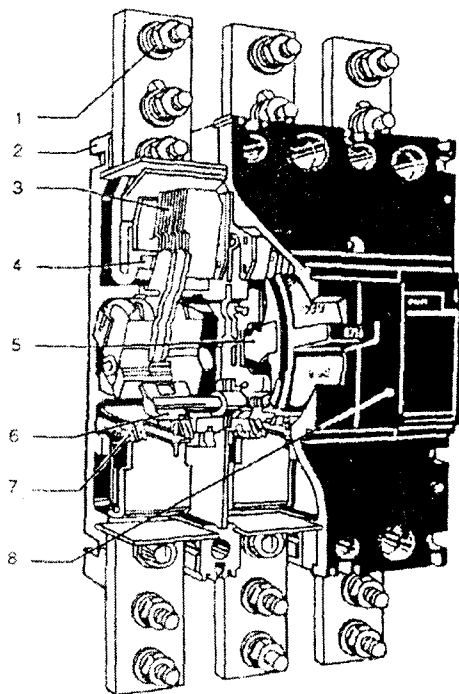
cực. Khi bị sự cố bất cứ pha nào, máy cắt sẽ cắt cả 3 pha, vì vậy sẽ không có hiện tượng mất pha như ở tổ hợp cầu dao và cầu chì ba pha khi một pha bị sự cố. Đường đặc tính bảo vệ của loại máy cắt này cho ở hình 8-14.

Phần cắt nhiệt có thời gian phụ thuộc vào dòng điện, còn phần cắt từ (khi ngắn mạch) có thời gian tác động rất nhanh, dưới 0,01s. Tùy theo phụ tải, trị số dòng cắt từ so với dòng định mức của tải được chia làm ba loại: B, C và D tương ứng cho chế độ dòng quá độ nhẹ, trung bình và nặng:

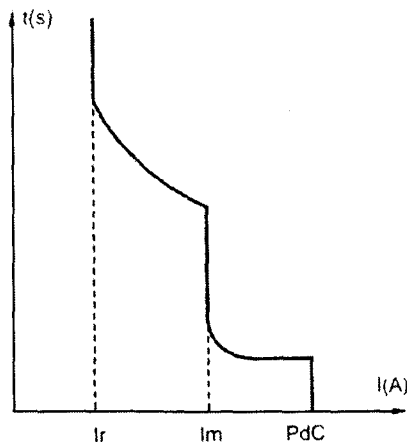
Loại	B	C	D
I_m/I_{dm}	3 ÷ 5	5 ÷ 10	10 ÷ 20

Trên hình 8-15 trình bày cấu tạo của loại áptômát 1 cực dùng để bảo vệ phụ tải một pha, có phần tử bảo vệ từ và nhiệt, dùng để bảo vệ ngắn mạch và quá tải. Đây là thiết bị thể hệ mới, lắp ráp theo môđun, có dòng điện định mức đến 63A, dùng cho các điện một chiều và điện xoay chiều.

Ở áptômát thế hệ cũ, khi có ngắn



Hình 8-13. Áptômát định hình 3 cực
1- Đầu nối; 2- Vỏ nhựa; 3- Buồng dập hồ quang;
4- Tiếp điểm; 5- Cơ cấu đóng; 6- Rôle nhiệt bảo vệ quá tải; 7- Rôle dòng bảo vệ ngắn mạch; 8- Nút cắt.



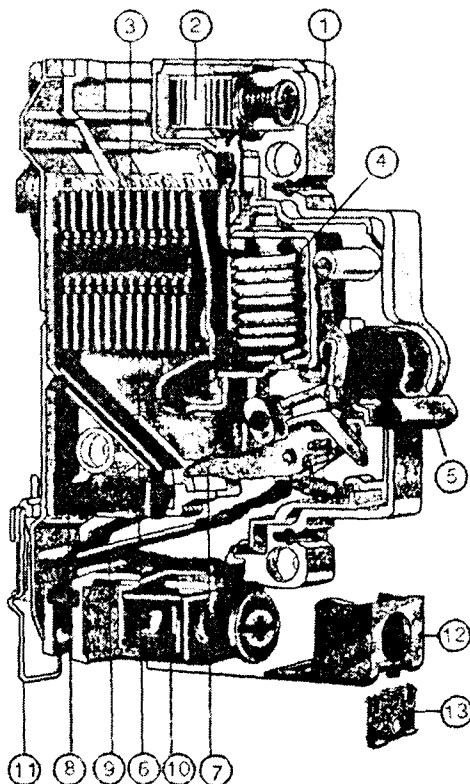
Hình 8-14. Đặc tính bảo vệ của loại máy cắt định hình
 I_r - Cắt nhiệt; I_m - Cắt từ; PdC - Khả năng cắt.

mạch, lực điện từ do cuộn dây dòng điện sinh ra sẽ tác động vào cơ cấu tự do tuột khớp, lò xo cắt sẽ cắt máy cắt, vì vậy thời gian từ lúc có sự cố đến lúc tiếp điểm động chuyển động bị chậm lại chút ít, do đó dòng điện ngắn mạch đạt đến trị số lớn.

Ở aptomat thế hệ mới, lực điện từ của nam châm điện được tác động trực tiếp lên tiếp điểm động, không phụ thuộc vào các khâu truyền động trung gian, do đó giảm được thời gian cắt đáng kể, tăng vận tốc cắt của tiếp điểm, hạn chế được trị số dòng điện cắt, giảm khả năng nóng chảy và hàn dính của tiếp điểm, tăng khả năng cắt của tiếp điểm lên tới ba lần so với thiết bị cùng cỡ thế hệ cũ.

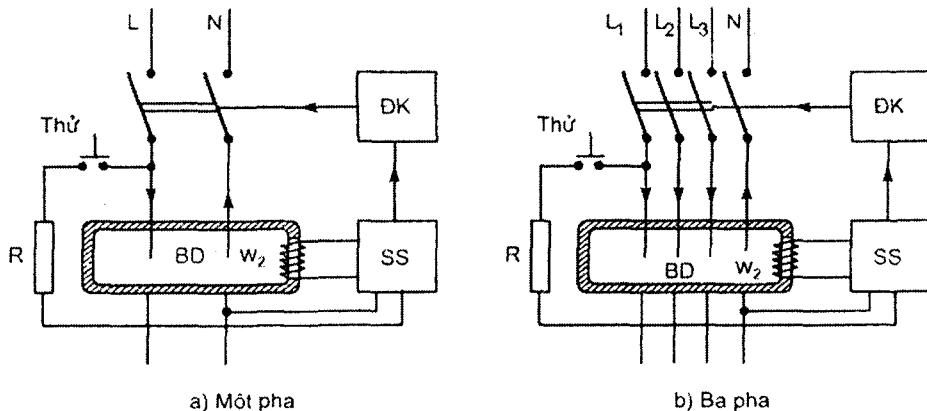
- *Aptomat chống điện giật*: còn gọi là thiết bị chống dòng điện rò hay aptomat vi sai, là thiết bị tự động cắt mạch điện khi dòng điện rò (dòng điện chạy từ dây dẫn xuống đất rồi trở về nguồn) đạt tới trị số nguy hiểm cho cơ thể người (từ 30mA trở lên), hoặc có thể gây ra phóng tia lửa điện (cỡ 500mA), gây ra hỏa hoạn.

Trong quá trình làm việc hoặc không làm việc, cách điện của các thiết bị điện sẽ bị già hóa theo thời gian, do tác động của nhiệt độ, môi trường,... nên điện trở cách điện của chúng bị giảm, dòng điện rò tăng. Trị số dòng rò không lớn nên thiết bị bảo vệ theo dòng điện (quá tải, ngắn mạch) không tác động. Nếu vỏ thiết bị bằng kim loại không nối đất, khi điện rò, người chạm vào vỏ sẽ rất nguy hiểm. Aptomat chống điện giật sẽ tác động, cắt phụ tải ra



Hình 8-15. Cấu tạo của aptomat một cực
 1- Vỏ; 2- Đầu nối vào; 3- Buồng dập hồ quang;
 4- Cuộn dây dòng điện; 5- Cán gạt; 6- Tiếp điểm tĩnh; 7- Tiếp điểm động; 8- Thanh dẫn hồ quang;
 9- Thanh lưỡng kim nhiệt; 10- Đầu nối ra;
 11- Cơ cấu kẹp thanh ray; 12- Nắp khe;
 13- Mặt đánh dấu ngõ vào.

khởi lưới, bảo vệ an toàn cho con người. Nguyên lý làm việc của aptomat chống giật loại 2 cực (dây pha và dây trung tính) và loại 4 cực (3 dây pha và dây trung tính) được trình bày trên hình 8-16.



Hình 8-16. Nguyên lý của aptomat chống giật.

Bộ phận nhạy cảm với dòng điện rò là một máy biến dòng vi sai (còn gọi là biến dòng thứ tự không) với cuộn dây sơ cấp là các dây của mạch lực. Khi không có dòng điện rò, dòng điện đi sẽ bằng dòng điện về trên các dây dẫn mạch lực qua lõi thép của biến dòng, do đó trong mạch từ của BD sẽ không có từ thông, đầu ra của cuộn dây w_2 không có tín hiệu. Khi xuất hiện dòng điện rò, dòng điện đi (từ các dây pha) và dòng điện về (dây N) khác nhau, nên trong lõi thép của máy BD có từ thông, sinh ra tín hiệu mẫu ở cơ cấu SS, nếu đủ lớn, nó được truyền tới cơ cấu điều khiển ĐK để cơ cấu này cắt máy cắt. Điện trở R và nút ấn thử nghiệm dùng để kiểm tra chế độ làm việc của thiết bị.

Các aptomat chống giật được chế tạo loại 2 cực và 4 cực, với các trị số dòng điện rò định mức là 30, 100, 300mA với dòng điện định mức 25A, 40A và 60A dùng cho gia dụng, còn các loại 4 cực cho công nghiệp.

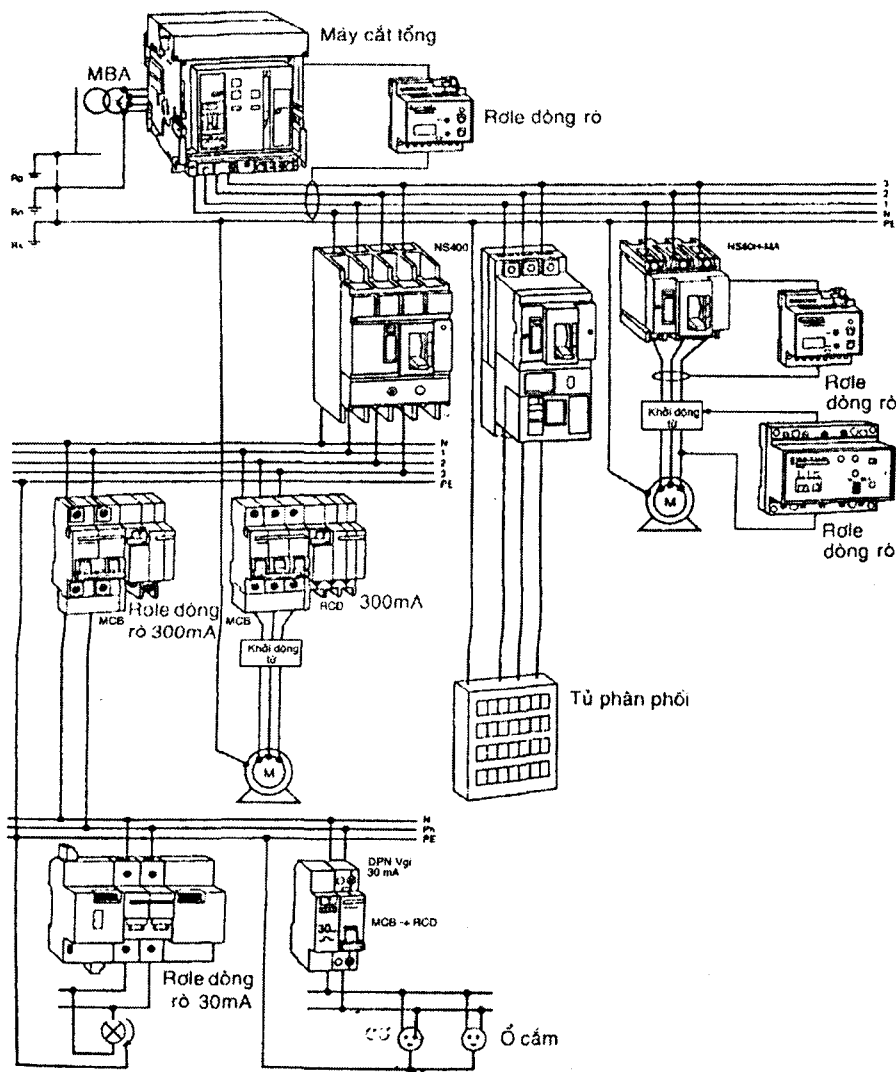
Cần lưu ý rằng aptomat chống giật không bảo vệ được quá tải và ngắn mạch, vì vậy nó được đặt sau cầu chì hoặc aptomat bảo vệ quá dòng.

Hiện nay đã có tổ hợp aptomat bảo vệ dòng điện rò và aptomat bảo vệ quá dòng điện đặt chung một vỏ, rất tiện lợi cho việc bảo vệ các phụ tải gia dụng như bình nóng lạnh, bếp điện,...

8.3.4. Lựa chọn aptômát

Tùy theo thông số, kết cấu của phụ tải, mức độ bảo vệ để chọn loại, thông số của aptômát. Nguyên tắc lựa chọn aptômát như sau: điện áp định mức của aptômát phải ít nhất bằng điện áp định mức của lưới điện, còn dòng điện định mức của aptômát phải lớn hơn dòng điện định mức của tải khoảng $(1,1 \div 1,2)$ lần. Tùy theo dạng tải, chọn loại với dòng cắt từ B, C hoặc D.

Trên hình 8-17 trình bày sơ đồ bảo vệ dùng các loại aptômát cho hệ phân phối có trung tính làm việc N và dây nối đất an toàn PE.



Hình 8-17. Sơ đồ bảo vệ dòng điện hạ áp nổi đất trung tính.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 8

- 1- Trình bày nguyên lý cấu tạo, đặc điểm, cách lựa chọn cầu dao.
- 2- Trình bày nguyên lý làm việc, đặc điểm, đặc tính bảo vệ và các nhân tố ảnh hưởng thời gian tác động của cầu chì. Thế nào là cầu chì hạn chế dòng điện, giải thích.
- 3- Trình bày đặc điểm của các loại aptômát.
- 4- So sánh cụm cầu dao cùng cầu chì và aptômát định hình.
- 5- Một bình đun nước nóng điện một pha, 220V, công suất 2500W. Hãy chọn các thiết bị bảo vệ nó.
- 6- Một máy biến áp phân phối ba pha có công suất 400kVA điện áp sơ cấp 22kV, điện áp thứ cấp 0,4kV, tổ nối dây "tam giác - sao không".
 - Trình bày các phương án bảo vệ máy biến áp.
 - Chọn các loại thiết bị bảo vệ quá dòng điện cho phía cao áp và phía hạ áp.

CÁC KHÍ CỤ ĐIỆN ĐIỀU KHIỂN

9.1. CÁC KHÍ CỤ ĐIỆN ĐIỀU KHIỂN BẰNG TAY

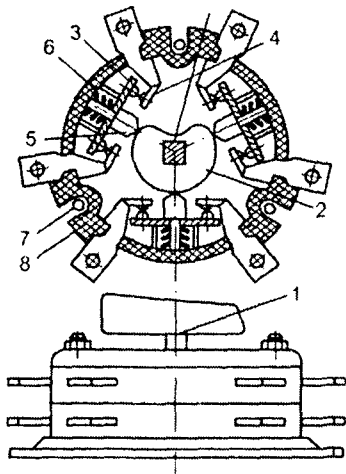
9.1.1. Cái chuyển mạch

Cái chuyển mạch là thiết bị đóng cắt dòng điện bằng tay, dùng để đóng cắt, chuyển mạch không thường xuyên các mạch điện điều khiển và động lực hạ áp.

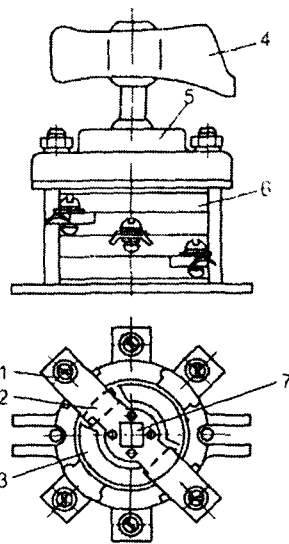
Trên hình 9-1 trình bày hình dạng của một chuyển mạch kiểu hộp, có dòng điện định mức đến vài chục ampe. Khi xoay núm 4, nhờ lò xo xoắn nằm trong ổ 5 xoắn lại, lực lò xo làm trục quay. Các tiếp điểm động 2 gắn trên trục 7 sẽ chêm vào các tiếp điểm tĩnh 1. Lực ép tiếp điểm nhờ lực đàn hồi của hai má tiếp điểm tĩnh.

Mỗi tầng được ngăn cách với nhau bằng

đĩa cách điện 6. Các miếng đệm 3 bằng vật liệu cách điện, có tính dẫn hướng cho tiếp điểm chuyển động dễ dàng. Loại trên hình vẽ có ba pha, hai vị trí đóng và cắt. Nó được dùng cho nguồn ba pha công suất bé.



Hình 9-2. Chuyển mạch kiểu cam.



Hình 9-1. Chuyển mạch ba pha.

Nhược điểm chính của loại này là hệ thống tiếp điểm chóng bị mòn, tuổi thọ đạt khoảng $2 \cdot 10^4$ lần đóng cắt.

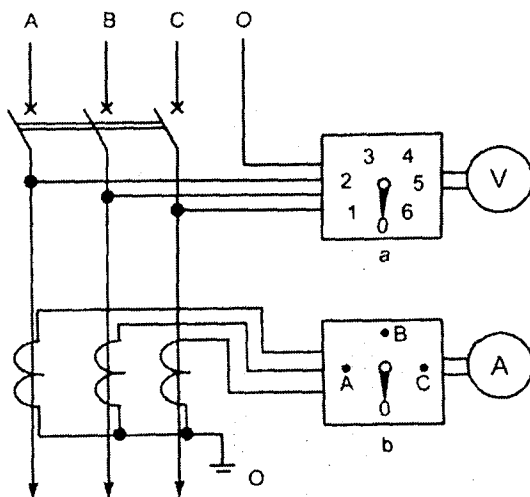
Đối với dòng điện định mức lớn hơn,

dùng cơ cấu truyền động kiểu cam có lò xo tiếp điểm. Trên hình 9-2 trình bày kết cấu của loại chuyển mạch này. Trên vỏ 8 bằng vật liệu cách điện được gắn các tiếp điểm tĩnh 4. Khi quay trục 1, cam 3 quay theo làm đóng mở các tiếp điểm tương ứng. Loại này tuổi thọ gấp mười lần loại trên vì có lò xo tiếp điểm.

Chuyển mạch đo điện áp và chuyển mạch đo dòng điện được dùng phổ biến trong các tủ bảng điện ba pha.

Chuyển mạch đo điện áp (còn gọi là chuyển mạch vôn) có bốn đầu vào cho ba pha và dây trung tính, có hai đầu ra đấu với vôn mét. Với bảy nấc chuyển mạch, ta có thể kiểm tra ba điện áp pha, ba điện áp dây, còn nấc thứ 7 là cắt vôn mét. Sơ đồ đấu dây của loại chuyển mạch này được cho ở hình 9-3.

Chuyển mạch đo dòng điện (còn gọi là chuyển mạch ampe) dùng để kiểm tra dòng điện của các pha. Dòng điện định mức đi qua tiếp điểm của loại chuyển mạch dòng điện là 16A. Với các tải lớn, dòng điện đo qua các máy biến dòng điện. Sơ đồ đấu dây của chuyển mạch dòng điện cho ở hình 9-3.



Hình 9-3. Sơ đồ đấu dây của loại chuyển mạch V, A
a) Chuyển mạch V; b) Chuyển mạch A.

Ở chuyển mạch điện

áp, khi đo điện áp của pha nào thì vôn mét được nối với pha đó, còn các pha khác hở mạch. Còn ở chuyển mạch dòng điện, khi đo dòng của pha nào thì thứ cấp của máy biến dòng pha đó được nối với ampe mét, còn thứ cấp của hai biến dòng còn lại được nối ngắn mạch. Vì vậy không được dùng chuyển mạch áp cho đo dòng và chuyển mạch dòng cho đo áp.

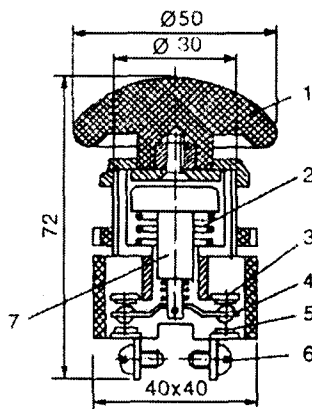
9.1.2. Nút ấn và công tắc hành trình

- *Nút ấn* là khí cụ điện điều khiển bằng tay, dùng để điều khiển từ xa các khí cụ điện đóng cắt bằng điện từ, điện xoay chiều và điện một chiều hạ áp.

Nút ấn thường dùng để khởi động, dừng và đảo chiều quay các động cơ dòng điện bằng cách đóng, cắt các cuộn dây nam châm điện của công tắc tơ, khởi động từ.

Trên hình 9-4 trình bày cấu tạo của một nút ấn. Khi ấn núm 1, tiếp điểm động kiểu cầu gắn trên trục 7 sẽ mở tiếp điểm thường kín 3 và đóng tiếp điểm thường hở 5. Khi không ấn nữa, lò xo nhả 2 sẽ đưa tiếp điểm động về trạng thái ban đầu. Điện được đưa vào và lấy ra qua các vít 6.

Các loại nút ấn thông dụng có dòng điện định mức 5A, dòng điện định mức 400V, tuổi thọ điện đến 200000 lần đóng cắt, tuổi thọ cơ đến 1000000 lần đóng cắt. Các nút ấn hiện đại đều có hai cặp tiếp điểm độc lập, một thường hở và một thường kín, có cấp bảo vệ chống bụi và nước cao. Nút ấn màu đỏ thường dùng để dừng máy, còn màu xanh dùng cho khởi động máy.



Hình 9-4. Nút ấn.

- Công tắc hành trình

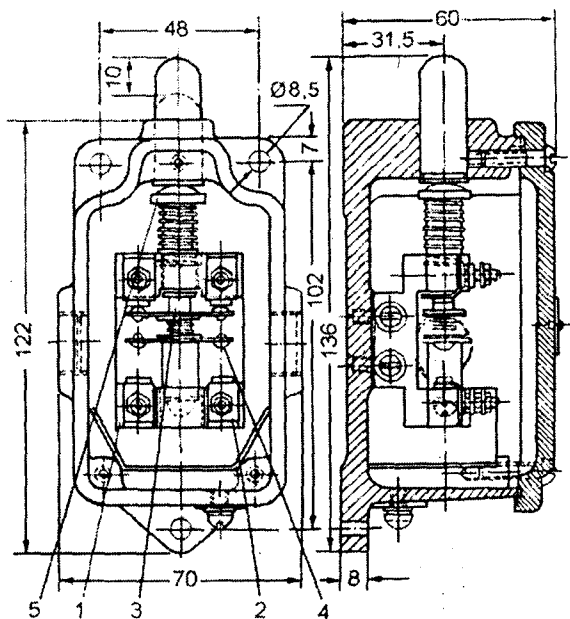
Công tắc hành trình dùng để đóng, cắt, chuyển mạch điều khiển trong truyền động điện tự động theo tín hiệu "hành trình" của các cơ cấu truyền động cơ khí nhằm tự động điều khiển hành trình làm việc hoặc cắt điện ở cuối hành trình để đảm bảo an toàn. Loại công tắc này được dùng rất rộng rãi trong công nghiệp cũng như trong các thiết bị gia dụng như công tắc phanh của xe cơ giới, công tắc cửa tủ lạnh, các công tắc tầng của thang máy, cầu trục.

Yêu cầu đối với công tắc hành trình là độ tin cậy, tuổi thọ cao, tốc độ cắt của tiếp điểm động phải lớn để tránh phát sinh hồ quang khi đóng cắt và phải đủ độ bền cơ, chịu va đập khi làm việc.

Tùy theo kết cấu và vị trí lắp đặt, ta có các loại công tắc hành trình khác nhau.

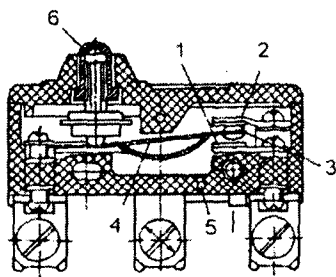
Trên hình 9-5 trình bày cấu tạo của công tắc hành trình kiểu nút ấn, dòng điện 6A, điện áp 500V. Trên đế cách điện 1 được lắp các cặp tiếp điểm tĩnh và tiếp điểm động. Vỏ và đầu hành trình đều làm bằng kim loại nên

chịu lực va đập cao. Hành trình của công tắc này đạt 10mm. Khi tác động lên đầu hành trình 6, trục 3 sẽ bị đẩy xuống dưới làm mở cặp tiếp điểm thường đóng phía trên và đóng cặp tiếp điểm thường mở phía dưới. Khi hết tín hiệu hành trình (không còn lực ấn lên đầu hành trình) lò xo nhả sẽ đưa phần động về vị trí ban đầu. Tiếp điểm động có lò xo tiếp điểm, đảm bảo tiếp xúc điện tốt. Loại công tắc hành trình kiểu này thường đặt ở cuối hành trình.

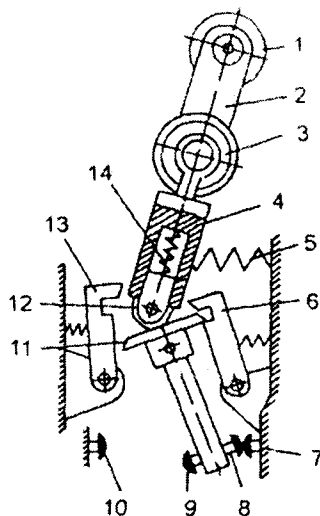


Hình 9-5. Công tắc hành trình kiểu nút ấn.

Trên hình 9-6 cho kết cấu của công tắc hành trình tế vi, loại cần hành trình bé, chính xác (dưới 1mm). Trên hình 9-7 cho nguyên lý kết cấu của công tắc hành trình kiểu đòn.



Hình 9-6. Công tắc hành trình tế vi.



Hình 9-7. Công tắc hành trình kiểu đòn.

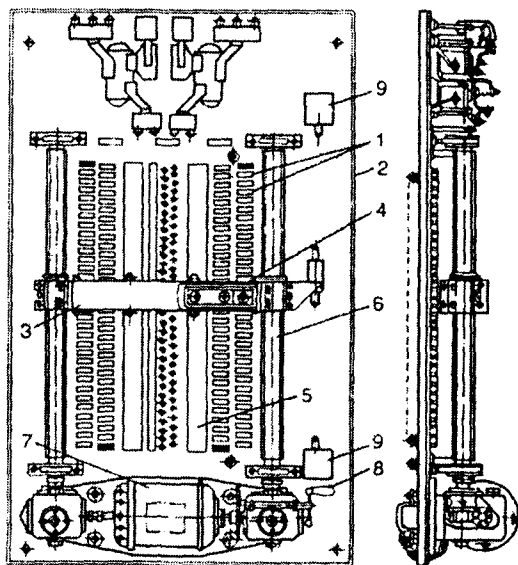
8.1.3. Các bộ khống chế và điều khiển

Các bộ khống chế và điều khiển là loại khí cụ điện chuyển mạch bằng tay gạt hay vô lăng, dùng để thực hiện gián tiếp hoặc trực tiếp các chuyển mạch phức tạp để điều khiển, khởi động, điều chỉnh tốc độ, đảo chiều quay của các phụ tải điện năng và các thiết bị công tác.

Tùy theo cấu tạo, các bộ khống chế chia thành kiểu phẳng, kiểu trống hoặc kiểu cam. Trên hình 9-8 cho cấu tạo bộ khống chế kiểu phẳng, điều khiển bằng động cơ điện và cũng có thể điều khiển bằng tay quay. Bộ khống chế kiểu phẳng có nhiều tiếp điểm, điều khiển được nhiều đối tượng. Tuy vậy hạn chế của loại này là khả năng tải của tiếp điểm bé.

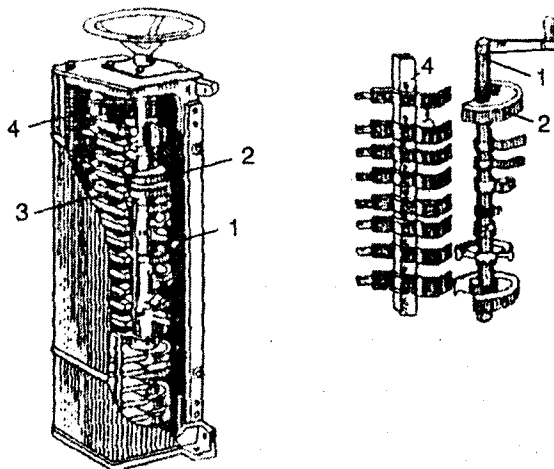
Công tác hành trình đặt ở đầu và cuối của hành trình xà ngang 4, không cho phép xà này vượt quá giới hạn hành trình cho phép.

Bộ khống chế kiểu trống được cho ở hình 9-9. Trên trục 1 bọc cách điện được cố định các cung bằng đồng 2 có độ lớn khác nhau. Các



Hình 9-8. Các bộ khống chế kiểu phẳng

- 1- Tiếp điểm tĩnh; 2- Đế cách điện; 3- Xà ngang;
4- Tiếp điểm động; 5- Thanh dẫn điện; 6- Vít truyền động; 7- Động cơ; 8- Tay quay; 9- Công tắc điểm cuối.



Hình 9-9. Bộ khống chế kiểu trống.

lượng, có nhiệt độ nóng chảy cao, hệ số nhiệt điện trở bé, không bị môi trường ăn mòn, dễ gia công và giá thành hạ.

Những vật liệu thường dùng để chế tạo điện trở được cho ở bảng 9-1.

Bảng 9-1

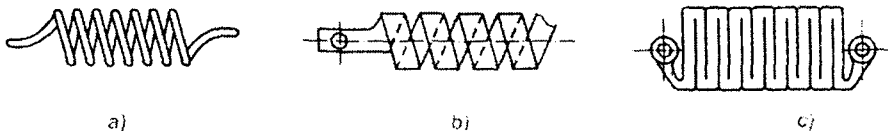
Vật liệu	Thành phần, [%]	Điện trở suất ở 20°C, [Ωmm ² /m]	Hệ số nhiệt độ, [1/°C]	Nhiệt độ cho phép, [°C]
Constantan	Cu60, Ni40	0,42 - 0,48	0,00003	500
Nicrôm A	Ni87; Cr11; Mn2	0,87	0,00017	1000
Nicrôm B	Ni61; Cr15; Fe20; Mn4	1,13	0,00017	1000
Fecran	Fe80; Cr15; Al15	1,18	0,00008	850
Gang	Fe92,8; C3,6; Si1,72; Mn0,75	0,8	0,001	400
Nikeline	Cu62; Ni18; Zn20	0,42	0,0003	200
Dây thép		0,11 - 0,13	0,0024 - 0,0048	200 - 300
Thép lá kỹ thuật điện		0,3	0,002	150 - 200

Thép có điện trở suất bé, đã bị oxy hóa, vì vậy chỉ làm cho biến trở ngâm dầu. Gang có điện trở lớn nhưng dễ gãy vì giòn, thường làm điện trở dạng gang đúc để mở máy. Constantan có điện trở suất tương đối lớn, chịu ăn mòn, hệ số nhiệt điện trở bé nhưng nhiệt độ nóng chảy thấp nên thường làm điện trở cho mục đích đo lường, thí nghiệm. Nicrom có điện trở suất cao, nhiệt độ làm việc lớn nên được dùng làm các phần tử gia nhiệt như lò nung. Fecran có điện trở suất lớn, nhiệt độ làm việc thấp hơn Nicrôm nhưng giá thành hạ nên được dùng khá phổ biến.

b) Kết cấu của điện trở

Điện trở có hai loại: phần tử không có khung và loại có khung.

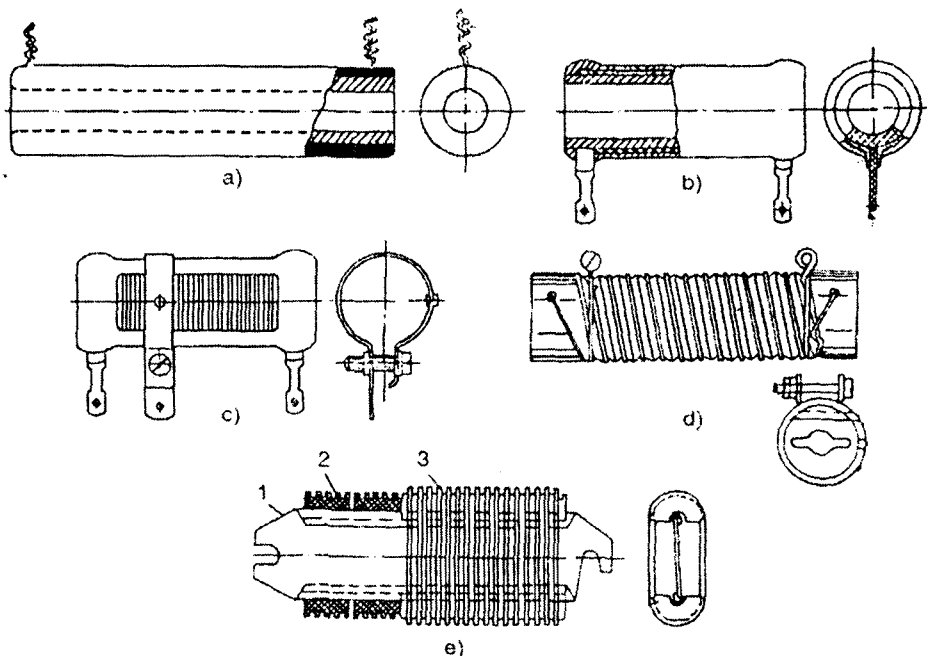
Ở loại không có khung, dây điện trở được quấn theo dạng xoắn ốc, vòng nọ sát vòng kia trên một lõi quấn hoặc định hình kiểu zíc zắc. Để tạo khoảng cách cách điện giữa hai vòng, phải kéo hai đầu bằng móc vào sứ cách điện. Trên hình 9-11 trình bày loại phần tử không có khung. Ưu điểm của loại này là cấu tạo đơn giản, hệ số tỏa nhiệt tốt nên có thể chọn mật độ dòng điện lớn. Nhược điểm của kết cấu này là dễ bị rung khi làm việc ở nhiệt độ cao và các vòng chạm nhau gây ngắn mạch cục bộ.



Hình 9-11. Phần tử điện trở không có khung
a) Dạng xoắn ốc (dây tròn); b) Dây dẹt; c) Dạng zíc zắc.

Ở loại phần tử điện trở có khung, dây điện trở dạng tròn hay dẹt được quấn trên khung bằng vật liệu cách điện chịu nhiệt như sứ, samốt... Ưu điểm chính của loại có khung là kết cấu chắc chắn, nhiệt độ làm việc được nâng cao mà không sợ bị ngắn mạch giữa các vòng dây cạnh nhau. Tuy vậy, vì có khung nên bề mặt tỏa nhiệt bị hạn chế.

Trên hình 9-12 trình bày kết cấu vào loại điện trở có khung.



Hình 9-12. Các phần tử điện trở có khung
1- Cốt thép; 2- Khung cách điện; 3- Dây điện trở.

Loại khung sứ không có rãnh (hình 9-12a, b) thường để quấn dây điện trở có đường kính bé, bên ngoài có tráng cách điện chịu nhiệt (tương tự như dây men quấn động cơ điện), có công suất từ vài oát đến hàng trăm oát, điện trở từ vài ôm đến hàng chục kilôm, nhiệt độ làm việc đến 150°C .

Loại khung sứ có rãnh (hình 9-12e) có ốp 2 bên nẹp có rãnh bằng sứ hoặc samôt, có thể quấn dây điện trở dạng tròn hoặc dẹt. Loại này có cường độ cơ khí tốt, tỏa nhiệt tốt hơn, dùng cho công suất lớn.

c) Các loại biến trở

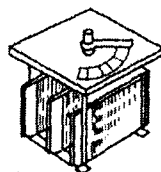
Tùy theo môi trường làm việc của phần tử điện trở, ta có biến trở khô (biến trở không khí), biến trở dầu và biến trở dung dịch.

Biến trở khô có các phần tử điện trở đặt trong không khí. Vỏ hộp của biến trở có cấu tạo thuận lợi cho luồng không khí đối lưu tự nhiên làm sạch và làm mát các phần tử đốt nóng. Nhiệt độ lớn nhất của vỏ biến trở không được vượt quá 60°C , còn nhiệt độ chỗ tiếp xúc không vượt quá 110°C .

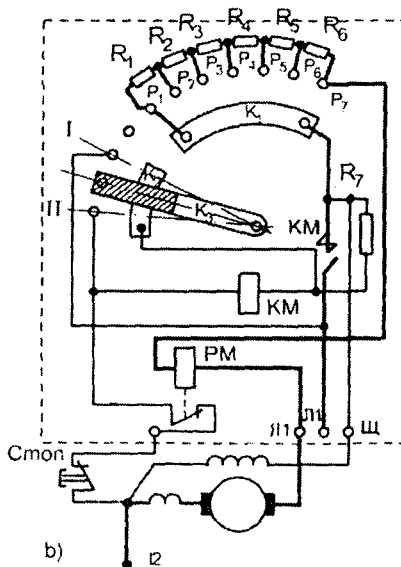
Trên hình 9-13 trình bày hình dạng bên ngoài của một biến trở không khí và sơ đồ điện của biến trở mở máy động cơ điện một chiều với 6 cấp điện trở từ R_1 đến R_6 .

Khi mở máy, tay quay K_3 được quay theo chiều kim đồng hồ, theo chiều giảm dần của các cấp điện trở, hạn chế dòng điện mở máy của động cơ. Khi dừng máy, tay quay K_3 quay theo chiều ngược lại làm điện trở nối với phần ứng động cơ tăng dần, giảm dòng điện trong động cơ, thuận tiện cho việc cắt điện (vì dòng điện bé nên hồ quang bé).

Trên hình 9-14 trình bày các bộ phận bên trong của một biến trở dầu. Các phần tử điện trở được ngâm trong dầu cách điện nên điều kiện làm mát tốt hơn vì dầu có độ dẫn nhiệt và nhiệt dung riêng lớn hơn không khí. Biến trở dầu thích hợp với chế độ làm việc ngắn hạn. Nhược điểm của loại này là có thể gây cháy nổ. Nó thường dùng làm biến trở mở máy động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn từ 50 đến 500kW.



a)

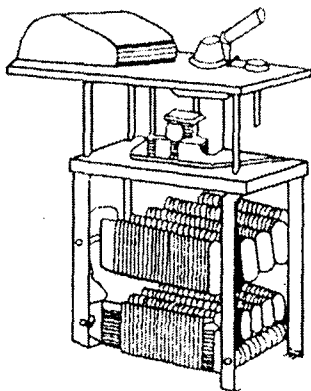


b)

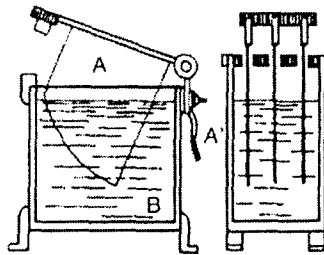
Hình 9-13. Biến trở khô

a) Hình dạng bên ngoài;

b) Ứng dụng làm biến trở mở máy.



a)



b)

Hình 9-14. Biến trở lòng
a) Biến trở dầu; b) Biến trở dung dịch.

Trên hình 9-14b cho cấu tạo của biến trở dung dịch. Ở loại biến trở này, phần tử điện trở là dung dịch (chất lỏng điện giải hoặc nước muối). Trị số điện trở của loại biến trở này phụ thuộc vào khoảng cách giữa các bản cực, phần tiết diện của bản cực ngập trong dung dịch (được điều chỉnh bằng tay quay) và nồng độ của dung dịch. Vì điện trở suất của dung dịch phụ thuộc vào nhiệt độ nên phải hiệu chỉnh sao cho nhiệt độ dung dịch không thay đổi quá lớn. Biến trở dung dịch có thể chế tạo với công suất lớn. Nhược điểm chính của loại này là điện cực dễ bị ăn mòn điện hóa.

9.2.2 Kháng điện

a) Khái niệm chung về kháng điện

Kháng điện là phần tử điện cảm, dùng để hạn chế dòng điện trong mạch điện.

Theo công dụng, kháng điện có các loại như kháng điện điều chỉnh điện áp để thay đổi tốc độ động cơ điện, kháng điện mở máy, kháng điện hạn chế dòng ngắn mạch trong lưới điện cao áp.

Theo kết cấu, ta có kháng điện có lõi thép, kháng điện không lõi thép, kháng điện một pha, kháng điện ba pha.

Theo môi trường làm việc, ta có cuộn kháng không khí (còn gọi là cuộn kháng khô) và cuộn kháng dầu. Cuộn kháng khô thường chế tạo cho cấp điện áp thấp (dưới 10kV), vì không khí không có độ cách điện cao. Cuộn kháng ngâm dầu thường được chế tạo cho điện áp cao trên 10kV.

Yêu cầu chung đối với kháng điện là:

- Trị số điện cảm của cuộn kháng phải là hằng hoặc ít thay đổi theo dòng điện đi qua nó.
- Cuộn kháng không được làm méo sóng điện hình sin.
- Tổn hao năng lượng tác dụng trong cuộn kháng phải bé.

b) Các loại kháng điện

- *Kháng điện điều chỉnh tốc độ động cơ xoay chiều.*

Đây là cuộn kháng có lõi bằng thép lá kỹ thuật điện.

Trên hình 9-15 trình bày nguyên lý cấu tạo của loại kháng điện này. Lõi thép của mạch từ phải có khe hở phi từ tính để đảm bảo mạch từ tính không bão hòa. Cuộn dây có nhiều đầu ra mắc nối tiếp với tải. Khi thay đổi số vòng dây, điện cảm của kháng điện sẽ thay đổi theo quan hệ:

$$L = w^2 G \quad (9-1)$$

trong đó: w - số vòng cuộn dây;

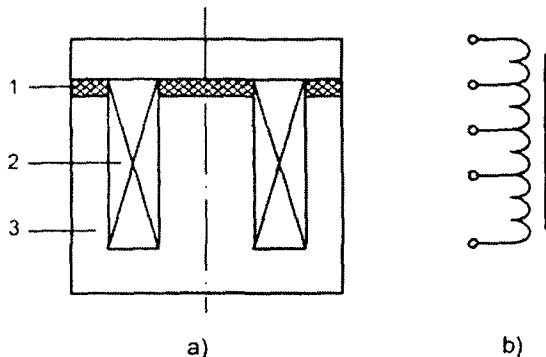
G - từ dẫn của mạch từ.

Vì cuộn kháng mắc nối tiếp với phụ tải nên mỗi loại phụ tải nhất định cần có thông số của cuộn kháng phù hợp.

- *Kháng điện mở máy động cơ điện xoay chiều.*

Về nguyên lý cấu tạo, kháng điện hạn chế dòng điện mở máy động cơ điện xoay chiều cũng tương tự như kháng điện điều chỉnh tốc độ động cơ, tức là loại có lõi thép. Ở kháng điện ba pha, tiết diện ba trụ của mạch từ là như nhau, còn trên mỗi trụ có cuộn dây với ba nấc điều chỉnh.

Ở kháng điện mở máy, vì thời gian mở máy thường bé (cỡ hàng chục



Hình 9-15. Kháng điện một pha

a) Cấu tạo; b) Sơ đồ điện

1- Mạch từ; 2- Cuộn dây; 3- Khe hở phi từ tính.

giây) nên mật độ dòng điện trong dây quấn có thể lấy lớn gấp nhiều lần loại kháng điện làm việc dài hạn. Cần nhớ rằng điện kháng của kháng điện không được thay đổi trong dải biến động của dòng điện mở máy.

Với động cơ hạ áp, các kháng điện này thường được chế tạo dạng khô, còn với các động cơ cao áp công suất lớn, nó được chế tạo dạng ngâm dầu, tương tự như máy biến áp dầu.

- Kháng điện hạn chế dòng điện ngắn mạch trong lưới điện.

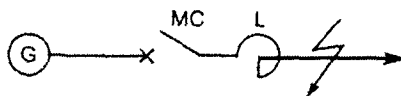
Trong kỹ thuật truyền tải điện năng, kháng điện được mắc nối tiếp trên đường dây nhằm hạn chế dòng điện ngắn mạch, duy trì điện áp trên thanh cái, tăng độ tin cậy cho cung cấp điện.

Ở loại kháng điện này, vì dòng điện đi qua cuộn kháng biến đổi trong một phạm vi rất rộng (từ không tải, tải định mức đến ngắn mạch), kháng điện được chế tạo dạng không lõi thép để đảm bảo điện cảm không đổi. Vì điện trở thuần R của cuộn dây rất bé so với điện kháng $R \ll X_L$, nên có thể coi kháng điện là phần tử thuần kháng. Yêu cầu chung với loại kháng điện này là:

+ Ở chế độ dòng điện định mức, sụt áp trên kháng điện không đáng kể và nhiệt độ của dây quấn không vượt quá trị số cho phép.

+ Ở chế độ ngắn mạch, kháng điện phải có đủ độ bền điện động và bền nhiệt, phải hạn chế được dòng điện ngắn mạch cần thiết.

Sơ đồ điện của tổ hợp máy phát điện, máy cắt và kháng điện được cho ở hình 9-16. Khi chưa có kháng điện, dòng điện ngắn mạch của máy phát sẽ là:



Hình 9-16.

Mạch máy phát có kháng điện.

$$I_{nm1} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}X_G} \quad (9-2)$$

trong đó: U_{dm} - điện áp định mức của máy phát;

X_G - điện kháng của máy phát.

Khi có cuộn kháng L , dòng điện ngắn mạch sẽ là:

$$I_{nm2} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}(X_G + X_L)} \quad (9-3)$$

Nếu $X_L = X_G$ thì $I_{nm2} = \frac{1}{2} I_{nm1}$, tức dòng điện ngắn mạch giảm đi hai lần.

Điện kháng tương đối (tính theo phần trăm) của cuộn kháng là:

$$x^* = \frac{I_{dm} \cdot X_L}{U_{pha}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{3} I_{dm} \cdot X_L}{U_{dm}} \cdot 100\% \quad (9-4)$$

Độ sụt áp tương đối trên cuộn kháng ở chế độ tải định mức:

$$\Delta U^* = \frac{\Delta U \cdot \sqrt{3}}{U_{dm}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{3} I_{dm} X_L}{U_{dm}} \cdot \sin \varphi \cdot 100\% \quad (9-5)$$

hoặc $\Delta U^* = x^* \cdot \sin \varphi \quad (9-6)$

trong đó: φ - góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp.

Với tải định mức, $\cos \varphi$ khá lớn nên $\sin \varphi$ rất bé, vì vậy sụt áp trên điện kháng là rất bé, có thể bỏ qua.

Điện cảm của cuộn dây có thể tính bằng:

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{U_{dm} x^*}{2\pi f \sqrt{3} I_{dm}} \quad (9-7)$$

Với cuộn dây không có lõi thép, điện cảm L có thể tính theo công thức kinh nghiệm:

$$L = 10,5 \cdot w^2 \cdot D \left[\frac{D}{2(b+h)} \right]^p \cdot 10^{-4} \quad (9-8)$$

trong đó: L - điện cảm của cuộn dây, [H];

w - số vòng của cuộn dây;

D - Đường kính trung bình của vòng dây, [m];

h - chiều cao của cuộn dây, [m];

b - chiều dày của cuộn dây, [m].

$$p = \frac{3}{4} \text{ khi } 0,3 \leq \frac{D}{2(b+h)} \leq 1$$

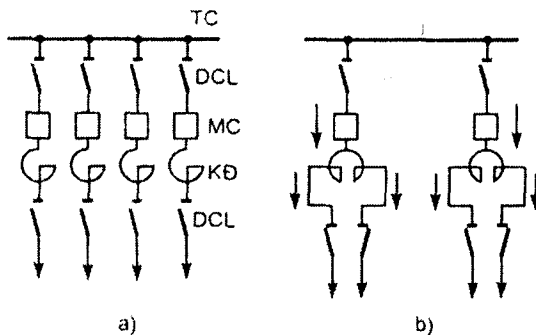
$$p = \frac{1}{2} \text{ khi } 1 \leq \frac{D}{2(b+h)} \leq 3$$

Dung lượng định mức của cuộn kháng ba pha sẽ là:

$$Q_{dm} = 3 I_{dm}^2 X_L \quad (9-9)$$

Tùy theo kết cấu, ta có cuộn kháng đơn và cuộn kháng kép. Tùy theo môi trường cách điện, ta có cuộn kháng bê tông (môi trường cách điện là không khí, còn bê tông để cố định cấu trúc của cuộn kháng) và cuộn kháng ngâm dầu.

Cuộn kháng đơn dùng cho một mạch nhánh, còn cuộn kháng kép dùng cho trường hợp hai mạch nhánh nhưng chung một máy cắt. Sơ đồ điện của trường hợp cuộn kháng đơn và cuộn kháng kép cho ở hình 9-17.



Hình 9-17. Sơ đồ nối kháng điện

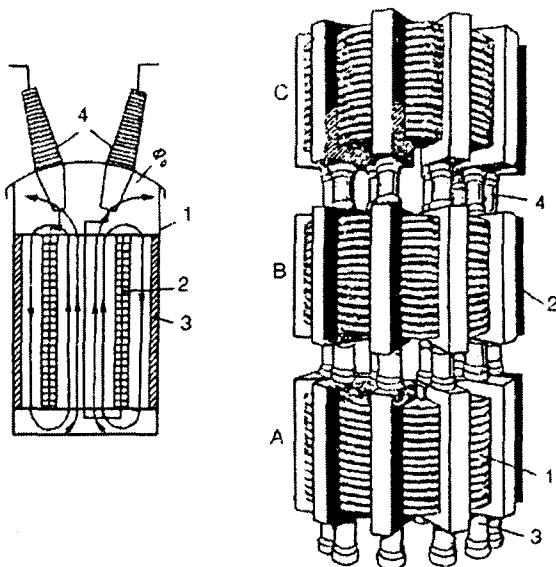
a) Kháng điện đơn; b) Kháng điện kép;

TC- Thanh cái; MC- Máy cắt; KD- Kháng điện;

DCL- Dao cách ly.

Trên hình 9-18 cho sơ đồ kết cấu của cuộn kháng dầu và cuộn kháng bê tông. Cuộn kháng bê tông chỉ dùng cho điện áp đến 36kV, còn cuộn kháng dầu dùng cho điện áp trên 36kV.

Ở cuộn kháng dầu, tuy cuộn dây không có lõi thép nhưng vỏ thùng lại bằng thép. Để giảm tổn hao thép trong vỏ thùng, người ta đặt màn chắn bằng kim loại màu không dẫn từ. Màn chắn tạo thành vòng ngắn mạch, tăng từ kháng và giảm từ thông đi vào vỏ thùng.



Hình 9-18.

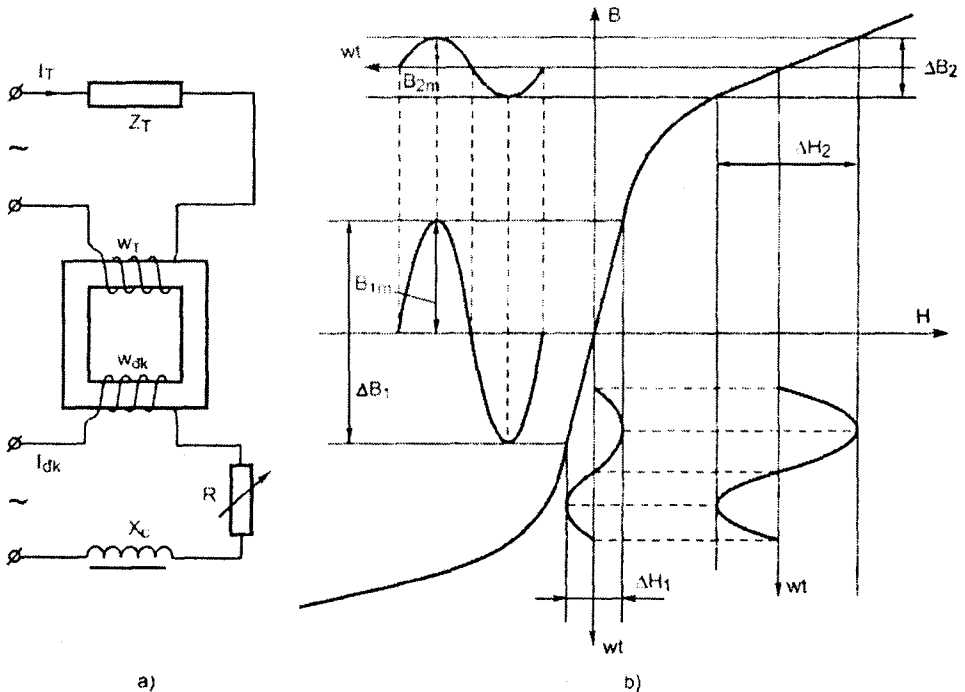
a) Kháng điện dầu: 1- Vỏ thùng; 2- Cuộn dây; 3- Màn chắn; 4- Cách điện.

b) Kháng điện bê tông: 1- Cuộn dây; 2- Khung bê tông; 3, 4- Cách điện.

9.3. KHUẾCH ĐẠI TỪ

9.3.1. Khái niệm chung về khuếch đại từ

Khuếch đại từ (KĐT) là khí cụ điện mà tín hiệu đầu ra được khuếch đại nhờ sự thay đổi điện kháng bằng cách thay đổi dòng điện điều khiển của nó. Sơ đồ nguyên lý của một KĐT đơn giản được trình bày ở hình 9-19a. Trên mạch từ không có khe hở không khí được quấn hai cuộn dây: cuộn điều khiển w_{dk} với cuộn tải w_T . Cuộn dây w_{dk} được đấu nối tiếp với biến trở R và cuộn kháng chặn X_c (để hạn chế ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều cảm ứng từ phía cuộn dây tải w_T) và nối với nguồn điện áp một chiều. Cuộn dây w_{dk} được đấu nối tiếp với phụ tải Z_T và đấu vào nguồn điện xoay chiều. Đường cong từ hóa của nó được cho ở hình 9-19b.



Hình 9-19. Khuếch đại từ đơn giản
a) Sơ đồ điện; b) Đường cong từ hóa.

Khi không có dòng điều khiển ($I_{dk} = 0$), điện kháng của cuộn dây xoay chiều w_T là:

$$X_T = \omega L_T = 2\pi f w_T \frac{\Delta \Phi}{\Delta I} = 2\pi f w_T^2 \mu_{Fe} \frac{S}{l} \quad (9-10)$$

trong đó: X_T - điện kháng của cuộn dây w_T ;

L_T - điện cảm của cuộn dây w_T ;

f - tần số của dòng điện xoay chiều;

$\mu_{Fe} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta I} = \frac{\Delta B}{\Delta H}$ - độ từ thẩm của mạch từ;

S - tiết diện mạch từ;

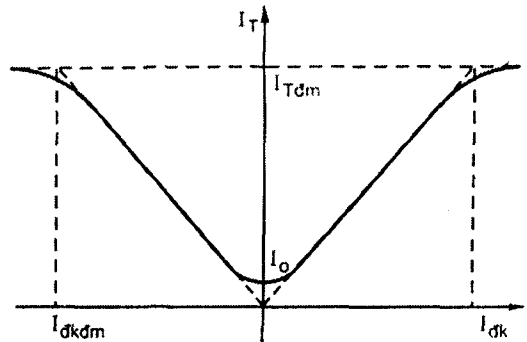
l - chiều dài trung bình của mạch từ;

$\Delta \Phi$ - gia số của từ thông;

ΔI - gia số của dòng điện.

Ở vùng mạch từ chưa bão hòa (vùng 1), từ thẩm của sắt từ μ_{Fe} có trị số rất lớn, vì vậy điện kháng của cuộn dây w_T rất lớn so với tổng trở của tải: $X_L \gg Z_T$, cho nên dòng điện trong mạch tải rất bé.

Khi tăng dòng điện điều khiển I_{dk} đến trị số định mức, vùng làm việc chuyển từ vùng 1 (tuyến tính) sang vùng 2 (bão hòa) của đường cong từ hóa $B(H)$. Ở vùng bão hòa, trị số của μ_{Fe} rất bé, vì vậy nên điện kháng X_T giảm đột ngột, $X_L \ll Z_T$, do đó dòng điện I_T chỉ phụ thuộc vào trị số của tổng trở tải Z_T .



Hình 9-19c. Đặc tính "vào - ra" của khuếch đại từ.

Hai trường hợp xét ở trên $I_{dk} = 0$ và $I_{dk} = I_{dkdm}$ là hai trường hợp tới hạn:

$$I_{dk} = 0 \rightarrow I_T = 0$$

$$I_{dk} = I_{dkdm} \rightarrow I_T = I_{dm}$$

Khi I_{dk} tăng dần, I_T cũng tăng dần. Đặc tính $I_T = f(I_{dk})$ được cho ở hình 9-19c. Đặc tính này còn có tên là đặc tính "vào - ra" của KĐT. Với KĐT lý tưởng khi $I_{dk} = 0$ thì $I_T = 0$. Còn ở KĐT thực tế thì $I_T = I_0$.

Phương trình cơ bản của KĐT lý tưởng là:

$$I_t \cdot w_T = I_{dk} \cdot w_{dk} \quad (9-11)$$

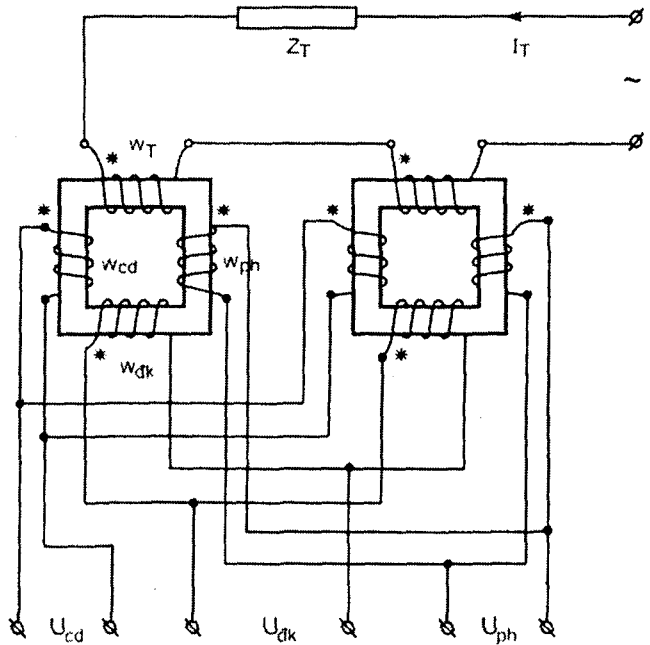
hoặc:
$$I_T = \frac{w_{dk}}{w_T} I_{dk} = I'_{dk} \quad (9-12)$$

Vì công suất tiêu thụ trên công suất điều khiển bé hơn nhiều lần công suất trên tải nên loại thiết bị này có tên là KĐT.

8.3.2. Khuếch đại từ đơn

Khuếch đại từ đơn gồm hai cuộn kháng có từ hóa đầu nối tiếp nhau: phía cuộn dây xoay chiều đầu cùng cực tính, còn phía cuộn dây một chiều đầu ngược cực tính để loại trừ ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều cảm ứng sang cuộn điều khiển.

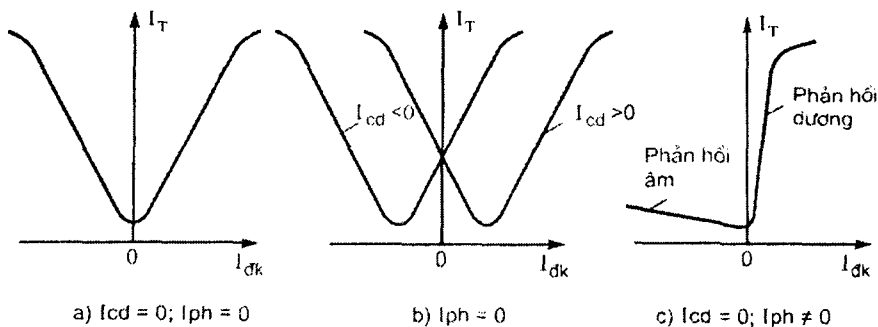
Trên hình 9-20 trình bày nguyên lý của một KĐT đơn. Kích thước và thông số của hai lõi thép và các cuộn dây cùng loại (w_T , w_{dk} , w_{ph} , w_{cd}) là hoàn toàn như



Hình 9-20. Khuếch đại từ đơn.

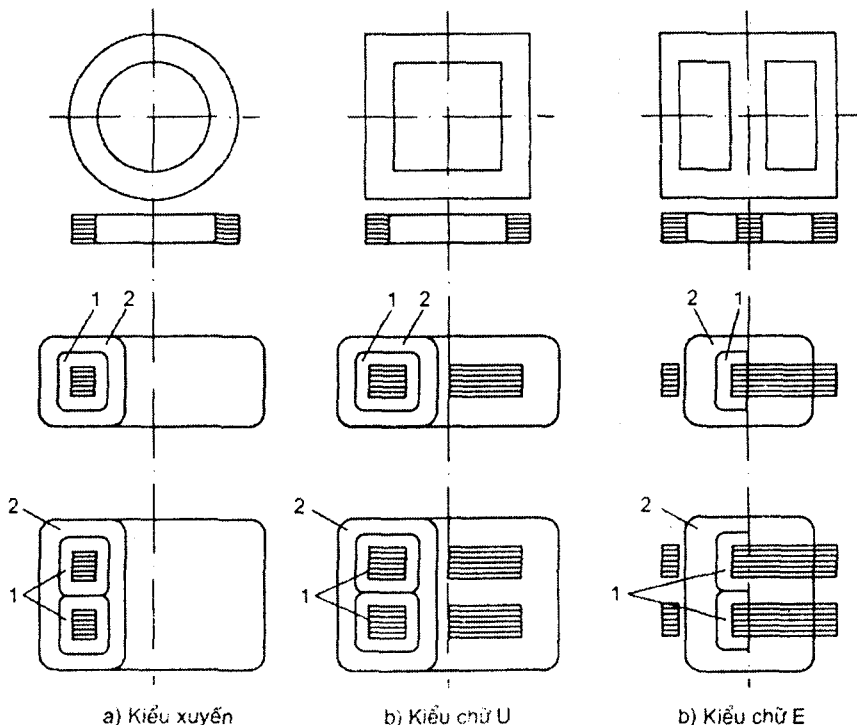
nhau. Dòng điện trong các cuộn dây điều khiển, phản hồi và chuyển dịch là dòng một chiều. Chức năng của cuộn dây chuyển dịch w_{cd} là chuyển dịch đặc tính "vào - ra" sang phải hay sang trái. Cuộn dây phản hồi w_{ph} dùng để thay đổi độ dốc của đặc tính "vào - ra". Các đặc tính này cho ở hình 9-21.

Khi tăng dòng điện phản hồi quá lớn, nhánh có phản hồi dương của đặc tính "vào - ra" trở nên dốc đứng, vuông góc với trục hoành, ta gọi là trạng thái role của KĐT.



Hình 9-21. Các đặc tính "vào - ra" của KĐT đơn.

Mạch từ của KĐT thường có dạng hình xuyên, chữ O hoặc E. Cuộn dây xoay chiều quấn riêng rẽ trên từng mạch từ, còn các cuộn dây một chiều có thể quấn chung cho cả hai mạch từ, hoặc quấn riêng rẽ cho từng mạch từ. Trên hình 9-22 trình bày nguyên lý kết cấu của ba loại mạch từ kể trên.



Hình 9-22. Cấu tạo của các loại KĐT
1- Cuộn dây tải; 2- Cuộn dây một chiều.

Trong các loại mạch từ, loại hình xuyên có từ trở bé nhất, nhưng công nghệ quấn dây phức tạp. Loại KĐT có cuộn dây một chiều quấn chung trên

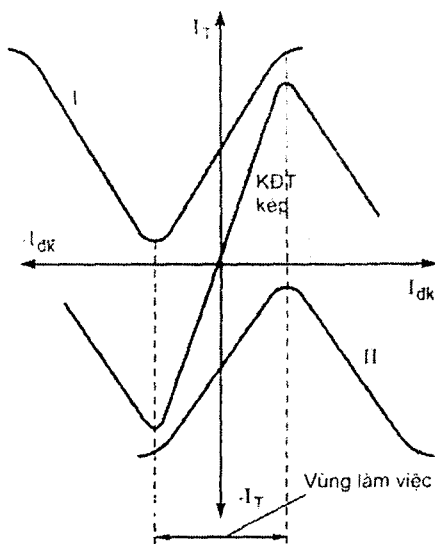
cả hai mạch từ tiết kiệm được vật liệu dây quấn hơn, giảm được kích thước của KĐT nhưng công nghệ chế tạo phức tạp.

9.3.3. Khuếch đại từ kép

Ở KĐT đơn, khi thay đổi cực tính dòng điện điều khiển, chiều của dòng điện tải vẫn không thay đổi, đặc tính "vào - ra" vẫn nằm phía trên trục hoành. Để có thể thay đổi chiều của dòng điện phụ tải khi thay đổi chiều của dòng điện điều khiển, ta sử dụng KĐT kép.

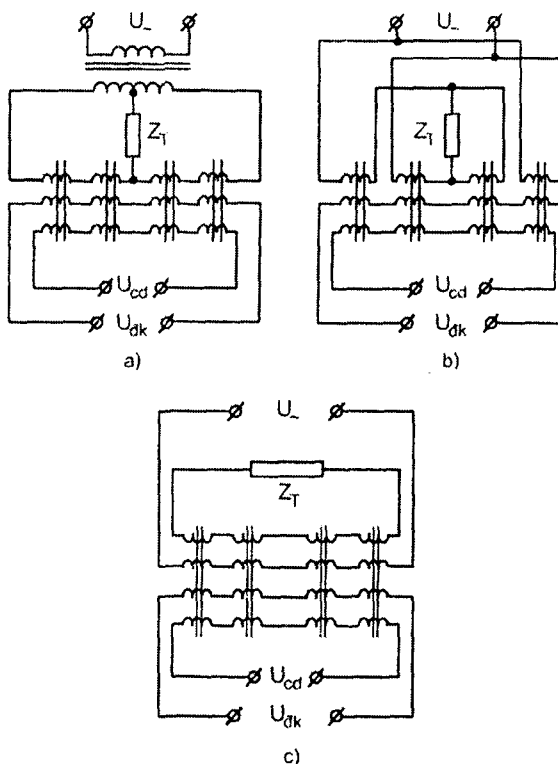
KĐT kép là tổ hợp hai KĐT đơn nối với nhau theo sơ đồ thích hợp. Đặc tính "vào - ra" của KĐT kép là tổng của hai KĐT đơn giống nhau, cho ở đồ thị hình 9-23. Ta nhận thấy rằng, ở KĐT kép khi thay đổi chiều dòng điện điều khiển thì dòng điện tải cũng đổi chiều. Mặt khác khi chúng không có dòng điều khiển, dòng điện tải bằng không.

Tùy theo cách nối dây của hai KĐT đơn, có các kiểu KĐT kép khác nhau, kiểu vi sai, kiểu cầu và kiểu biến áp, cho ở hình 9-24.



Hình 9-23. Đặc tính "vào - ra" của KĐT kép.

Tải của KĐT cũng có thể là tải một chiều bằng cách dùng các sơ đồ chỉnh lưu thích hợp.



Hình 9-24. Các kiểu KĐT kép.

KĐT là một thiết bị khuếch đại, đã được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điều khiển. Ưu điểm chính của KĐT là tuổi thọ cao, khả năng chịu quá tải rất tốt điều khiển cách ly (giữa phần điều khiển và phần động lực liên hệ với nhau bằng từ, không có liên hệ điện).

Nhược điểm chính của KĐT là quán tính lớn (vì các cuộn dây một chiều có điện cảm lớn), kích thước, khối lượng lớn.

Hiện nay khuếch đại từ không cạnh tranh được với khuếch đại từ điện trở công suất. Khuếch đại từ chỉ còn tồn tại trong các thiết bị thế hệ cũ.

9.4. CÔNG TẮC TƠ VÀ KHỞI ĐỘNG TỪ

9.4.1. Công tắc tơ

a) Khái niệm chung về công tắc tơ

Công tắc tơ là khí cụ điện dùng để thường xuyên đóng cắt các mạch điện động lực từ xa. Theo nguyên lý đóng cắt, ta có hai loại công tắc tơ: có tiếp điểm và không tiếp điểm. Loại có tiếp điểm được thực hiện đóng cắt bằng cách đóng và cắt tiếp điểm nhờ nam châm điện. Loại không có tiếp điểm được thực hiện đóng cắt bằng các xung điện đưa vào cực điều khiển của các van bán dẫn như thyristor, triac. Theo dạng dòng điện đóng cắt, ta có công tắc tơ xoay chiều và công tắc tơ một chiều.

Các tham số chủ yếu của công tắc tơ là:

- Điện áp định mức của công tắc tơ - là dòng điện định mức mà công tắc tơ phải đóng cắt. Với công tắc tơ hạ áp, U_{dm} đến 660V.

- Dòng điện định mức của công tắc tơ - là dòng điện dài hạn của phụ tải đi qua tiếp điểm chính, được chia thành nhiều ống, có trị số từ 10A đến 800A.

- Điện áp điều khiển U_{dk} - là điện áp đưa vào cuộn dây của nam châm điện để điều khiển công tắc tơ hoặc điện áp xung một chiều đưa vào cực điều khiển của công tắc tơ không tiếp xúc.

Công tắc tơ phải được điều khiển tin cậy khi điện áp điều khiển dao động trong một phạm vi cho phép, thường là từ 85% đến 110% trị số định mức.

- Số tiếp điểm chính (số cực) - thường là 1 hoặc 2 cực với công tắc tơ điện một chiều, còn 3 hay 4 cực đối với công tắc tơ điện xoay chiều.

- Số lượng tiếp điểm phụ - thường có tiếp điểm thường mở và thường đóng, có dòng điện định mức 5A, điện áp định mức 400V.

- Khả năng đóng cắt - là trị số dòng điện lớn nhất cho phép đi qua tiếp điểm chính khi đóng và khi cắt. Thường khả năng đóng cắt của công tắc tơ đạt 10 lần dòng điện định mức.

- Tuổi thọ của công tắc tơ - là tần số đóng cắt tối đa cho phép. Có hai dạng tuổi thọ: cơ và điện. Thông thường tuổi thọ cơ lớn hơn tuổi thọ điện. Với công tắc tơ hiện đại, tuổi thọ cơ đạt $2 \cdot 10^7$ lần đóng cắt, còn tuổi thọ điện đạt $2 \cdot 10^6$ lần đóng cắt.

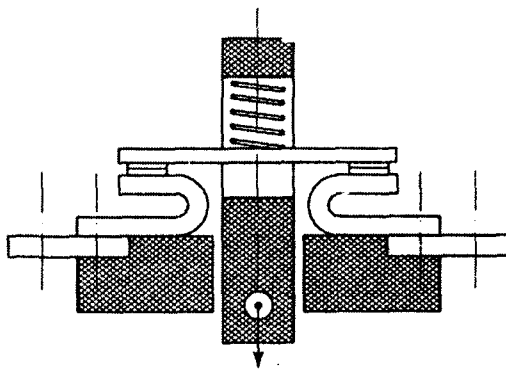
- Tần số thao tác cho phép: là số lần đóng cắt công tắc tơ cho phép trong thời gian 1 giờ. Tần số thao tác bị hạn chế bởi sự phát nóng của các bộ phận công tắc tơ do dòng điện quá độ gây ra. Tần số thao tác lớn nhất có thể đạt 1500 lần/giờ.

- Độ bền nhiệt và độ bền điện động của công tắc tơ - khả năng chịu được tác dụng nhiệt trong thời gian nhất định và chịu được tác dụng điện động của dòng điện xung kích mà công tắc tơ không bị hỏng hóc.

b) Các bộ phận chính của công tắc tơ điện từ

Công tắc tơ điện từ là loại được dùng thông dụng nhất. Các bộ phận chính của nó gồm: mạch vòng dẫn điện, hệ thống dập hồ quang, các lò xo phản lực, nam châm điện và vỏ.

- *Mạch vòng dẫn điện*: có vai trò quan trọng trong công tắc tơ. Nó gồm đầu nối, các thanh dẫn, hệ thống tiếp điểm, trong đó hệ thống các tiếp điểm quyết định tuổi thọ của công tắc tơ. Trên hình 9-25 mô tả kết cấu của mạch vòng dẫn điện của công tắc tơ điện xoay chiều.



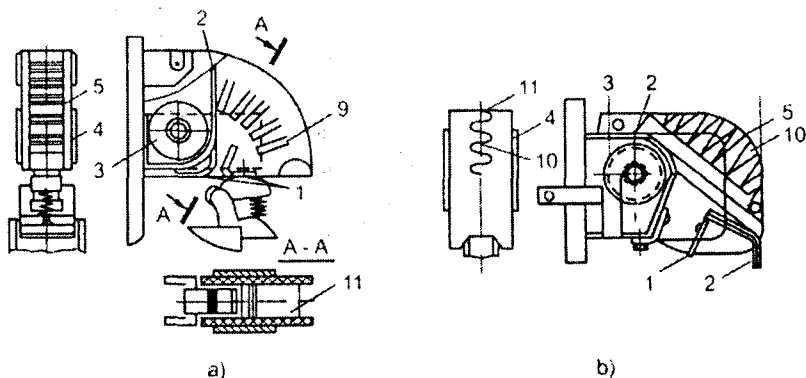
Hình 9-25. Mạch vòng dẫn điện của công tắc tơ.

Các thanh dẫn động và tĩnh được làm bằng đồng dẫn điện tốt và có đủ độ bền cơ. Đầu nối được chế tạo dạng ốc, vít, bu lông thép để tạo nên lực ép

tiếp xúc lớn. Các tiếp điểm dạng ngón đối với công tắc tơ điện một chiều và dạng cầu đối với công tắc tơ điện xoay chiều, được làm từ vật liệu tiếp điểm dạng kim loại gốm, có điện trở tiếp xúc bé, chịu mài mòn và chịu hồ quang. Lò xo tiếp điểm để tạo nên lực ép tiếp điểm đủ để đảm bảo tiếp xúc điện tốt. Riêng ở một số công tắc tơ điện một chiều, có thêm cuộn thổi từ nối tiếp với tiếp điểm tĩnh để tạo nên từ trường thổi hồ quang.

- *Hệ thống dập hồ quang.* Trong công tắc tơ, hệ thống dập hồ quang đảm bảo nhanh chóng dập tắt hồ quang sinh ra trong quá trình cắt mạch điện.

Hồ quang dòng điện một chiều khó dập tắt hơn so với hồ quang điện xoay chiều. Vì thế hệ thống dập hồ quang ở công tắc tơ điện một chiều thường có kích thước lớn hơn, hiệu quả dập tốt hơn. Người ta thường dùng kiểu dập hồ quang là dùng cuộn thổi từ thổi hồ quang vào buồng dập kiểu dàn dập hoặc buồng dập có khe dạng zíc zắc. Cuộn thổi từ được mắc nối tiếp với tiếp điểm tĩnh, để tạo nên từ trường mạnh ở vùng tiếp điểm, lực thổi hồ quang lớn, đẩy hồ quang chuyển động nhanh về phía buồng dập. Nếu vào buồng dập kiểu dàn dập, các lá thép non của dàn dập vừa tạo nên lực điện động kéo hồ quang về phía mình, vừa phân đoạn và tỏa nhiệt hồ quang làm hồ quang nhanh chóng bị dập tắt. Nếu hồ quang đi vào buồng dập kiểu khe zíc zắc, thân hồ quang bị kéo dài, tiếp xúc với bề mặt bằng vật liệu cách điện chịu nhiệt của buồng dập nên quá trình phản ion hóa phát triển mạnh, hồ quang nhanh chóng bị dập tắt. Trên hình 9-26 mô tả kết cấu của hệ thống dập hồ quang của công tắc tơ điện một chiều.

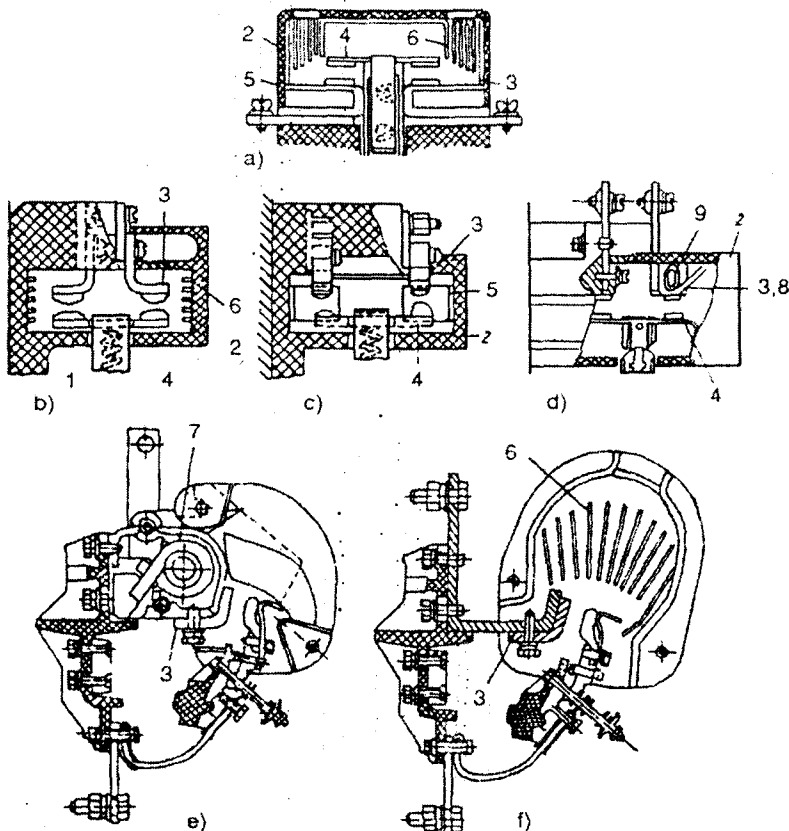


Hình 9-26. Hệ thống dập hồ quang công tắc tơ một chiều

a) Cuộn thổi từ và buồng dập kiểu giàn; b) Cuộn thổi từ và buồng dập kiểu zíc zắc

1- Tiếp điểm; 2- Sừng hồ quang; 3- Cuộn thổi từ; 4- Mạch từ; 5- Vách buồng dập;
9- Tấm thép non của giàn dập; 10- Khe hở buồng dập; 11- Buồng dập.

Ở công tắc tơ điện xoay chiều thông dụng, chế độ làm việc không nặng nề lắm nên tiếp điểm có kết cấu kiểu cầu, một pha có hai chỗ cắt và buồng dập hồ quang kiểu giàn dập. Đối với các tải nặng, hồ quang lớn thì dùng tiếp điểm kiểu ngón, buồng dập kiểu giàn dập có kết hợp với cuộn thổi từ. Trê hình 9-27 cho các kiểu dập hồ quang ở công tắc tơ điện xoay chiều.



Hình 6-27. Các kiểu buồng dập hồ quang của công tắc tơ điện xoay chiều

a, b) Tiếp điểm kiểu cầu với giàn dập hồ quang;

c, d) Tiếp điểm cầu trong buồng dập đặc biệt; e, f) Tiếp điểm ngón

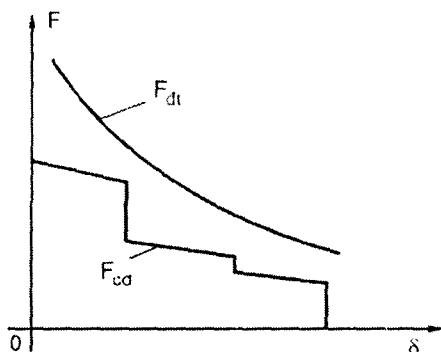
1- Giá đỡ buồng dập; 2- Vách buồng; 3- Tiếp điểm tĩnh; 4- Tiếp điểm động; 5- Khoang dập hồ quang; 6- Tấm thép dập hồ quang; 7- Cuộn thổi từ; 8- Sừng hồ quang.

- *Nam châm điện*: là cơ cấu truyền động của công tắc tơ. Khi cấp điện cho cuộn dây (còn gọi là cuộn hút) của nam châm điện, lực điện từ do nó sinh ra sẽ hút nắp, kéo các tiếp điểm động thường mở đóng vào các tiếp điểm tĩnh. Khi cắt được của cuộn hút, lực của lò xo nhả sẽ đẩy phần động về vị trí ban đầu làm mở các tiếp điểm, cắt mạch điện.

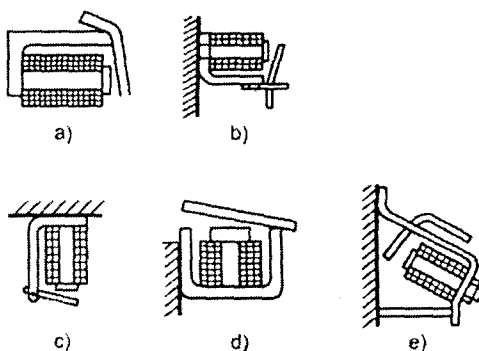
Để công tắc tơ làm việc chắc chắn, tin cậy, đường đặc tính lực điện từ theo hành trình của khe hở không khí luôn nằm cao hơn đặc tính phản lực ngay cả khi điện áp nguồn chỉ còn $85\%U_{dm}$. Mặt khác, để năng lượng không dư thừa nhiều thì đường đặc tính lực hút càng gần đường đặc tính cơ thì càng tốt. Trên hình 9-28 cho hai dạng đặc tính này của công tắc tơ.

Nam châm điện được cấu tạo bởi hai phần: mạch từ và cuộn dây.

Mạch từ của nam châm điện một chiều thường chế tạo từ vật liệu từ mềm dạng khối. Phần mạch từ có cuộn dây thường hình trụ, có mũ lõi để dễ cố định cuộn dây và tăng từ dẫn. Trên hình 9-29 cho một số dạng mạch từ của nam châm điện một chiều.



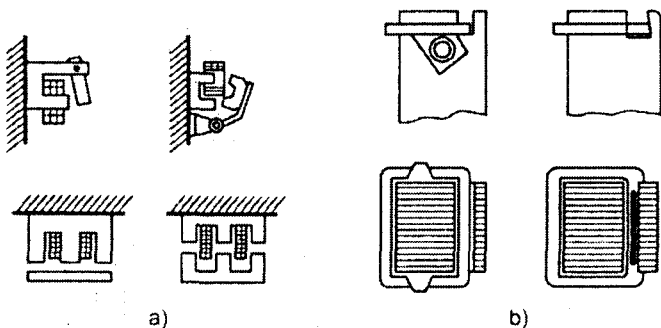
Hình 9-28. Đặc tính lực của công tắc tơ.



Hình 9-29. Các dạng mạch từ một chiều.

Ở nam châm điện xoay chiều, mạch từ được dập từ các lá thép kỹ thuật điện, dày đến 0,5mm và ghép lại bằng đinh tán để giảm tổn hao do dòng điện xoáy. Vì lực điện từ ở nam châm điện xoay chiều biến đổi theo chu kỳ với tần số bằng hai lần tần số dòng điện nên khi hút nó bị rung. Để chống rung cho nam châm điện xoay chiều một pha, trên cực từ được gắn vòng ngắn mạch bằng đồng. Nhờ vòng ngắn mạch, từ thông trong mạch từ được chia thành hai thành phần lệch pha nhau, nên lực hút do các từ thông này sinh ra cũng lệch pha nhau, vì vậy lực hút tổng của hai lực thành phần được nâng cao điểm cực tiểu, làm nam châm điện hút êm, không rung. Trên hình 9-30 cho các dạng kết cấu nam châm điện xoay chiều và cách cố định vòng ngắn mạch trên cực từ.

Cuộn dây của nam châm điện được quấn trên khung, dây quấn bằng đồng dạng tiết diện tròn, bọc men cách điện. Ở điện áp $85\%U_{dm}$, sức từ động do cuộn dây sinh ra phải đủ lớn để lực điện từ thắng được lực cơ, đảm bảo công tắc tơ làm việc tin cậy. Khi điện áp bằng $100\%U_{dm}$, nhiệt độ phát nóng của cuộn dây phải nằm trong giới hạn nhiệt độ cho phép của cấp cách điện tương ứng.

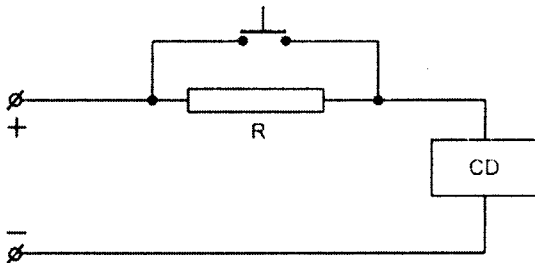


Hình 9-30. Nam châm điện xoay chiều và vòng ngắn mạch.

Cuộn dây của nam châm điện một chiều thường có tiết diện dây quấn bé. Số vòng rất lớn (đến vài chục ngàn vòng với điện áp 220V). Dòng điện trong cuộn dây một chiều chỉ phụ thuộc vào điện trở của cuộn dây. Vì vậy trong quá trình làm việc, nếu mạch từ bị kẹt (khe hở không khí của mạch từ lớn) thì cuộn dây cũng không bị cháy, vì dòng điện không tăng.

Cuộn dây của nam châm điện xoay chiều có số vòng ít hơn so với cuộn dây nam châm điện một chiều có cùng điện áp. Dòng điện trong cuộn dây xoay chiều phụ thuộc chủ yếu vào điện kháng X_L của cuộn dây (vì $R \ll X_L$), nên nếu khi hút, mạch từ bị kẹt, khe hở không khí lớn, cuộn dây xoay chiều sẽ bị cháy vì dòng điện lớn.

Đặc tính lực hút của nam châm điện một chiều có độ dốc lớn, cho nên khi nắp ở trạng thái hút ổn định (khe hở không khí rất bé), lực điện từ lớn hơn lực cơ nhiều lần. Có thể hạ thấp điện áp của cuộn dây khi nắp hút bằng cách đấu nối tiếp với cuộn hút một điện trở có trị số thích hợp và một cơ cấu đặc biệt song song với điện trở R. Khi dòng điện cho cuộn hút, điện trở R được ngắn mạch, toàn bộ điện áp đặt vào cuộn dây nên lực hút lớn. Khi phân động đi hết hành trình, cơ cấu đặc biệt tự động mở, điện áp rơi trên điện trở lớn, giảm công suất tiêu thụ của cuộn dây một cách đáng kể. Loại công tắc tơ có cơ cấu này gọi là công tắc tơ tiết kiệm năng lượng. Sơ đồ nguyên lý loại này cho ở hình 9-31.

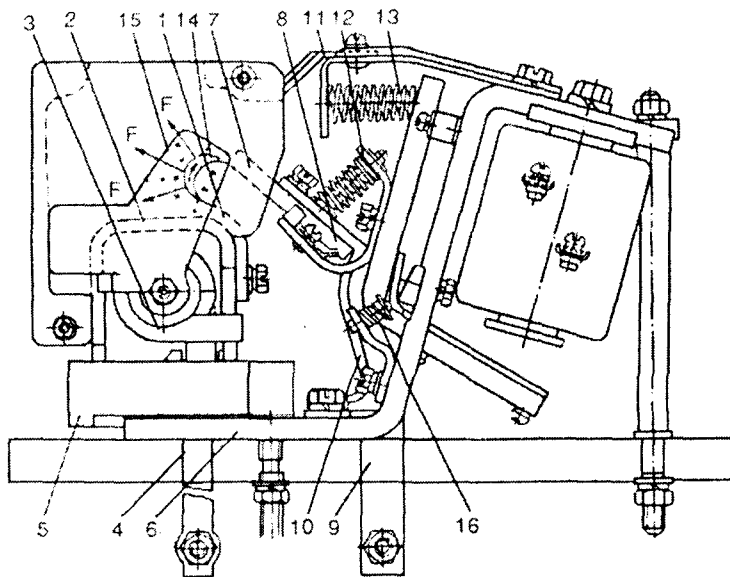


Hình 9-31. Nguyên lý công tắc tơ tiết kiệm năng lượng.

c) Các loại công tắc tơ

Trong phần này, ta khảo sát công tắc tơ điện một chiều, công tắc tơ điện từ xoay chiều và công tắc tơ không tiếp xúc.

Trên hình 9-32 mô tả cấu tạo của một công tắc tơ điện một chiều.



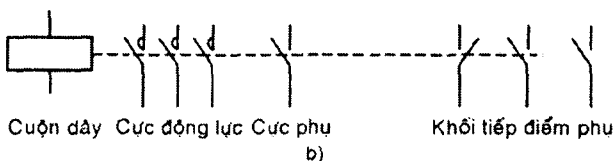
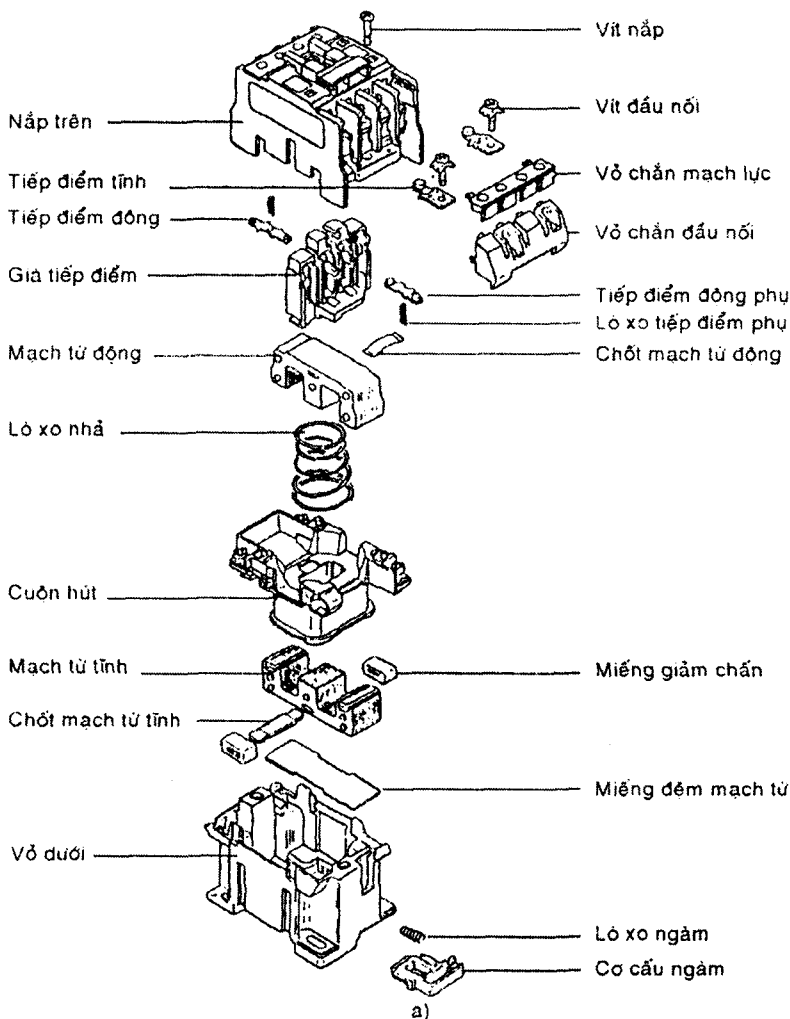
Hình 9-32. Công tắc tơ điện một chiều.

Tiếp điểm tĩnh 1 được gắn trên thanh dẫn 2, đầu kia của thanh dẫn nối với cuộn thổi từ 3, còn đầu kia cuộn thổi từ nối với đầu nối 4 - cả cụm tiếp điểm tĩnh được cách điện với mạch từ tĩnh 6 bằng tấm cách điện 5. Cụm tiếp điểm động 7, lò xo tiếp điểm 12 được gắn trên mạch từ động. Điện từ đầu nối 9 đi vào tiếp điểm động qua dây dẫn mềm 10. Khi đưa điện áp vào cuộn dây nam châm điện, lực điện từ sinh ra sẽ hút nắp (mạch từ động) làm tiếp điểm động đóng vào tiếp điểm tĩnh. Lò xo tiếp điểm tạo lực ép lớn để điện trở tiếp xúc bé. Khi cắt dòng điện trong cuộn dây, lò xo nhả 13 sẽ đẩy phần động về vị trí ban đầu với vận tốc đủ lớn. Khi cắt, nhờ lực điện động giữa dòng điện và từ trường sẽ đẩy hồ quang 14 vào buồng dập. Trong quá trình đẩy, hồ quang chuyển động nhanh từ tiếp điểm theo sừng hồ quang, bảo vệ tiếp điểm ít bị hư hại.

Công tắc tơ điện một chiều dùng để đóng cắt các mạch điện một chiều như các động cơ dòng điện một chiều, các mạch chỉnh lưu...

Công tắc tơ điện xoay chiều được sử dụng rộng rãi trong lưới hạ áp. Kết cấu của nó rất đa dạng. Thông dụng nhất là loại công tắc tơ điện xoay chiều ba pha, mạch từ hình III, hút thẳng, tiếp điểm kiểu cầu. Trên hình 9-33 cho kết cấu của loại này dưới dạng bóc tách từng chi tiết. Đây là loại kết cấu mới,

công suất trung bình (dưới 100A). Các chi tiết có độ dung sai lắp ghép bé, chế tạo theo kiểu mô đun. Có 3 cực cho mạch động lực, 1 cực phụ với dạng tiếp điểm thường mở. Trong trường hợp thiếu tiếp điểm phụ hoặc cần lắp thêm tiếp điểm tác động chậm, trên nắp của công tắc tơ có ngàm để lắp khối tiếp điểm phụ, rất tiện lợi cho sử dụng.

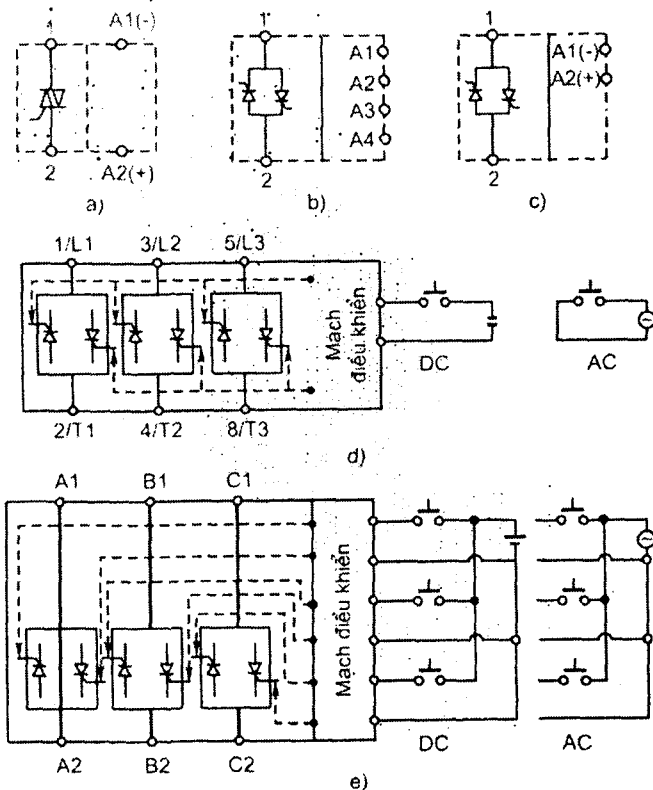


Hình 9-33. Công tắc tơ điện xoay chiều
a) Cấu tạo; b) Sơ đồ điện.

Việc kết nối giữa các bộ phận thường nhờ khớp và ngàm. Phần vỏ trên và vỏ dưới được liên kết bằng vít. Thiết bị được lắp vào bảng điện nhờ thanh ray đặt dưới đáy thiết bị, cố định với thanh ray bằng cơ cấu ngàm và lò xo ngàm. Các chỗ cầu đấu nối điện đều có nắp che chắn, đảm bảo an toàn. Lò nhả dạng côn, đặt ở cực từ giữa mạch từ, có độ cứng không lớn.

Công tắc tơ không tiếp xúc thực hiện việc đóng cắt mạch điện động lực bằng các van bán dẫn có điều khiển (thyristor, triac). Ưu điểm chính của loại này là có thể làm việc với tần số đóng cắt lớn, thời gian đóng cắt bé, không có hồ quang và không ồn. Nhược điểm chính của loại công tắc tơ không tiếp xúc là khả năng quá tải kém, tổn hao năng lượng trên công tắc tơ khá lớn. Vì vậy, công tắc tơ không tiếp xúc chỉ được chế tạo cho dòng điện định mức bé và vừa, lớn nhất đến 150A.

Trên hình 9-34 trình bày sơ đồ điện của các loại công tắc tơ một pha và ba pha, dùng triac và thyristor.



Hình 9-34. Các loại công tắc tơ không tiếp xúc

- a) Một cực, dùng triac, nguồn điều khiển một chiều; b) Một cực, dùng thyristor, nguồn điều khiển xoay chiều, có tiếp điểm phụ; c) Một cực, nguồn điều khiển một chiều; d) Ba cực, điều khiển chung; e) Ba cực, điều khiển riêng rẽ.

9.4.2. Khởi động từ

a) Khái niệm chung về khởi động từ

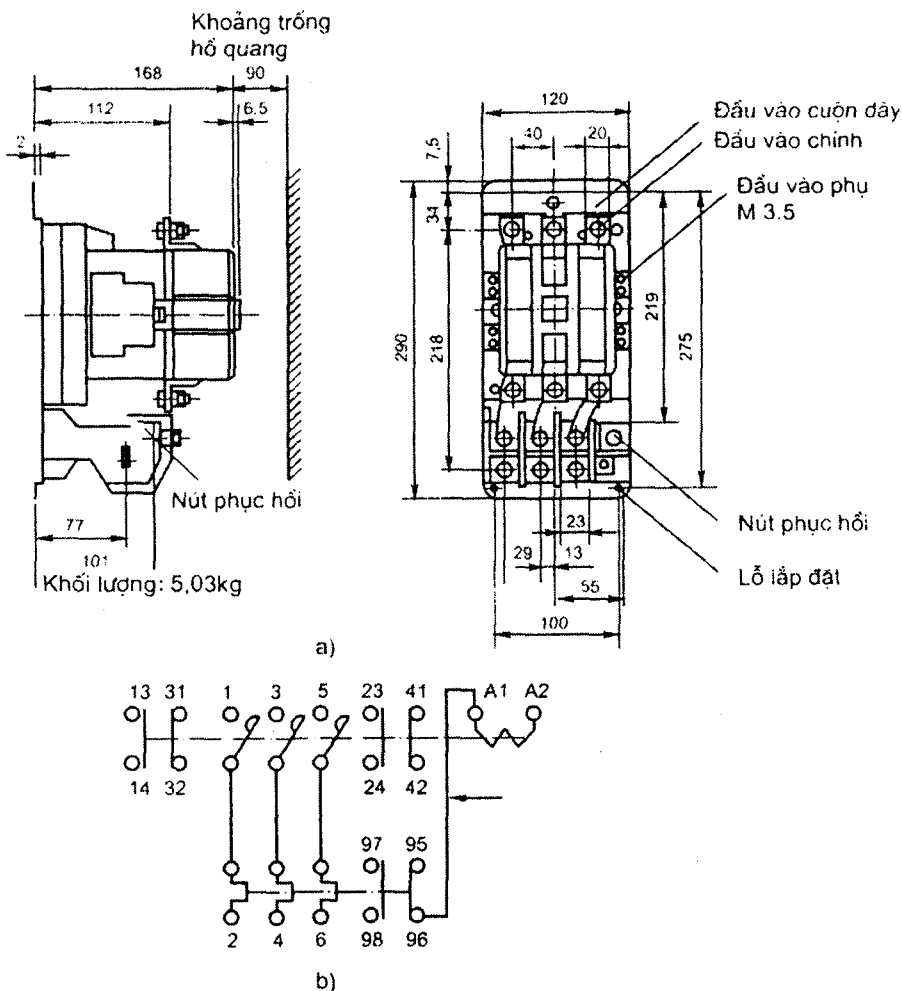
Khởi động từ là khí cụ điện dùng để điều khiển từ xa việc khởi động, dừng, đảo chiều quay và bảo vệ quá tải cho các động cơ điện xoay chiều.

Khởi động từ có hai bộ phận chính: công tắc tơ và role nhiệt. Công tắc tơ dùng để đóng cắt mạch điện của động cơ, còn role nhiệt để bảo vệ quá tải cho động cơ. Với động cơ không đảo chiều quay, ta dùng khởi động từ đơn, còn với động cơ có đảo chiều quay, ta dùng khởi động từ kép gồm hai công tắc tơ và một role nhiệt. Ở khởi động từ kép, vì hai công tắc tơ không được đóng đồng thời (nếu đóng đồng thời sẽ gây ra ngắn mạch lưới), nên chúng phải được khóa liên động, có nghĩa là chỉ cho phép một trong hai công tắc tơ đóng điện.

Kết cấu của khởi động từ rất đa dạng. Công tắc tơ có ba tiếp điểm chính cho mạch động lực ba pha. Số tiếp điểm phụ có thể là một thường mở, một thường đóng hay hai thường mở, hai thường đóng. Role nhiệt của khởi động từ có thể là loại hai phần tử nhiệt dùng cho hai pha hoặc ba phần tử nhiệt dùng cho cả ba pha. Cuộn hút của khởi động từ có thể là điện một chiều, nhưng thông dụng hơn là điện xoay chiều với các trị số điện áp điều khiển khác nhau. Role nhiệt thường có một tiếp điểm thường đóng và một tiếp điểm thường mở. Khi dòng điện làm việc của động cơ điện đi qua phần tử đốt nóng bé hơn hoặc bằng dòng chỉnh định của role nhiệt, tiếp điểm thường đóng thông mạch, cho nên nó được đấu nối tiếp với cuộn hút của công tắc tơ. Khi bị quá tải, role nhiệt tác động làm tiếp điểm thường đóng mở ra, cắt điện của cuộn hút làm cắt điện của động cơ. Khi tiếp điểm thường đóng mở ra thì tiếp điểm thường mở đóng vào, vì vậy tiếp điểm thường mở được đấu nối tiếp với một bóng đèn báo sự cố quá tải.

Ở các khởi động từ có dòng điện lớn (thường từ 200A trở lên) phần tử đốt nóng của role nhiệt được cấp nguồn từ máy biến dòng điện của mạch động lực để giảm kích thước của role nhiệt và giảm tổn hao điện năng trong các phần tử đốt nóng.

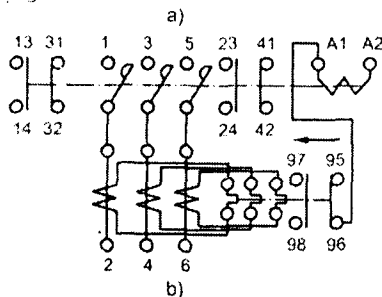
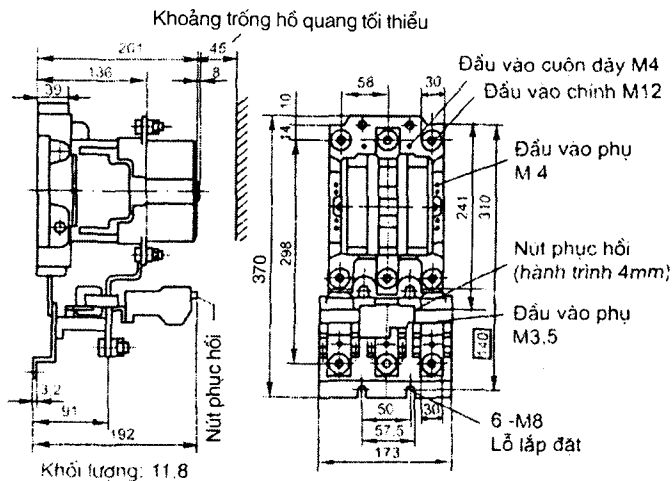
Trên hình 9-35 cho kết cấu và các kích thước lắp đặt của một khởi động từ đơn có dòng điện định mức 150A, điện áp định mức 660V, điện áp điều khiển 380V, dùng cho động cơ điện 75kW, 380V.



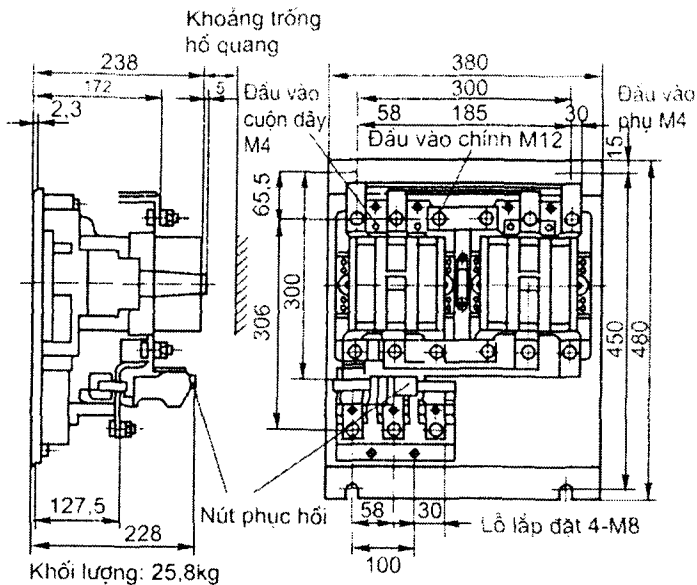
Hình 9-35. Khởi động từ đơn 150A
a) Các kích thước cơ bản; b) Sơ đồ điện.

Trên hình 9-36 là kết cấu và sơ đồ dòng điện của khởi động từ đơn có dòng điện định mức 300A, dùng cho động cơ điện 132kW, 380V. Loại này có role nhiệt được cấp nguồn qua máy biến dòng điện.

Trên hình 9-37 là các kích thước lắp đặt của một khởi động từ kép, có dòng điện định mức 400A, dùng cho động cơ điện công suất 220kW, điện áp 380V.



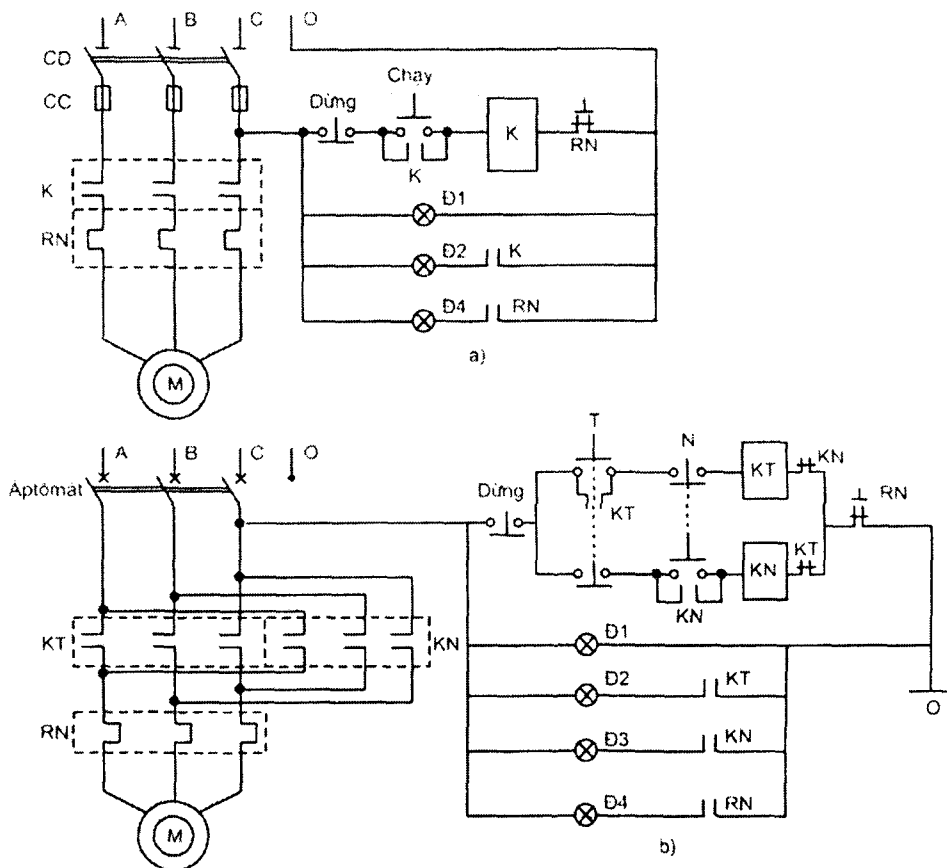
Hình 9-36. Khởi động từ đơn có $I_{dm} = 300A$
a) Cấu tạo; b) Sơ đồ dòng điện.



Hình 9-37. Khởi động từ kép có $I_{dm} = 400A$.

b) Các mạch ứng dụng của khởi động từ

Sơ đồ mở máy trực tiếp động cơ lồng sóc ba pha là sơ đồ đơn giản nhất và được ứng dụng cho các động cơ công suất nhỏ, được mô tả ở hình 8-38a, còn sơ đồ có đảo chiều quay được cho ở hình 9-38b.



Hình 9-38. Sơ đồ mở máy trực tiếp động cơ lồng sóc
a) Trực tiếp, không đảo chiều quay; b) Trực tiếp, có đảo chiều quay.

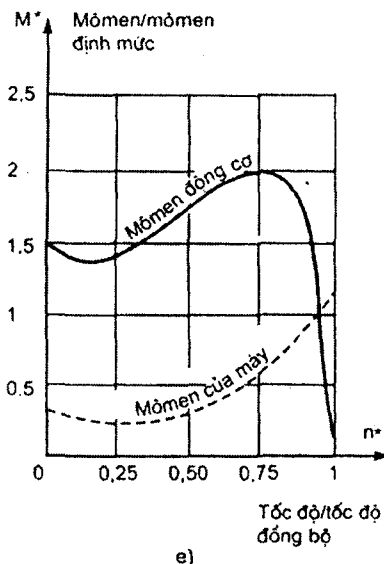
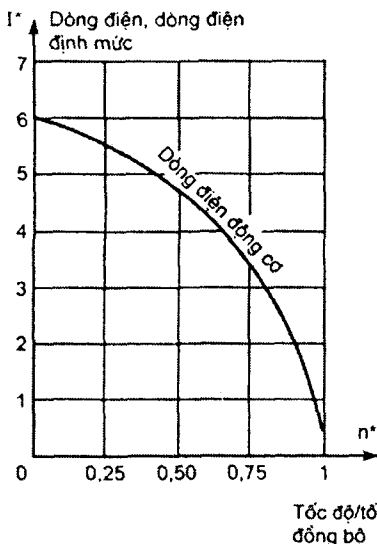
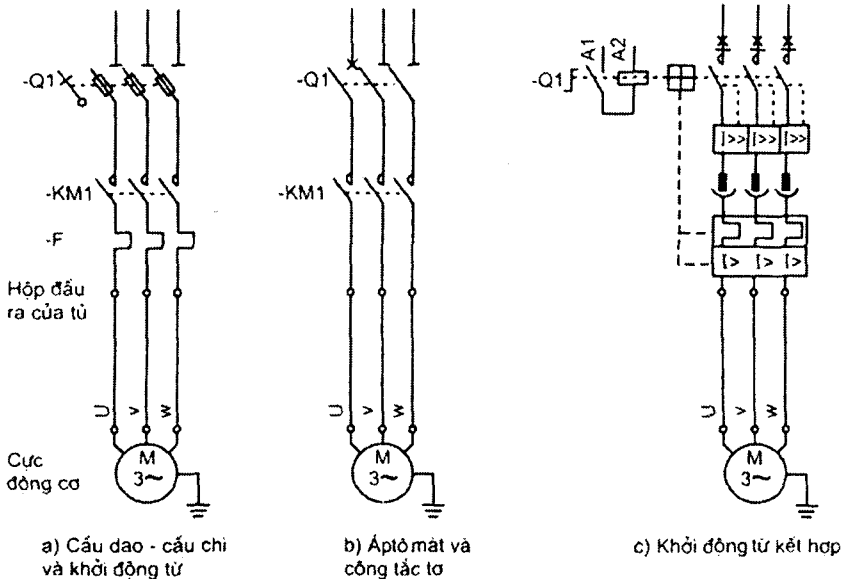
Mạch động lực được bảo vệ ngắn mạch hoặc là bằng cụm cầu dao - cầu chì, hoặc bằng aptômát. Phần bảo vệ quá tải nhờ role nhiệt.

Sơ đồ dùng nút ấn có đặc điểm là sau khi mất điện, động cơ không tự chạy mà phải khởi động lại qua nút ấn "chạy". Muốn dừng động cơ, chỉ việc ấn nút "dừng". Nếu bị quá tải, role nhiệt tác động, cắt điện cuộn hút, động cơ mất điện.

Sơ đồ có các đèn hiệu báo trạng thái làm việc của thiết bị: Đ1 báo có nguồn, Đ2 báo chạy thuận, Đ3 báo chạy ngược, còn Đ4 báo role quá tải tác động.

Thông thường, người ta sử dụng cụm aptômat và khởi động tự để mở máy trực tiếp các động cơ ba pha công suất nhỏ và trung bình (dưới 10kW). Để đơn giản hóa việc nối dây, thuận tiện cho lắp đặt, cụm thiết bị này được chế tạo dưới dạng mô đun, ghép thành một khối, được gọi là khởi động từ kết hợp (hay còn gọi là combo), rất tiện lợi cho sử dụng.

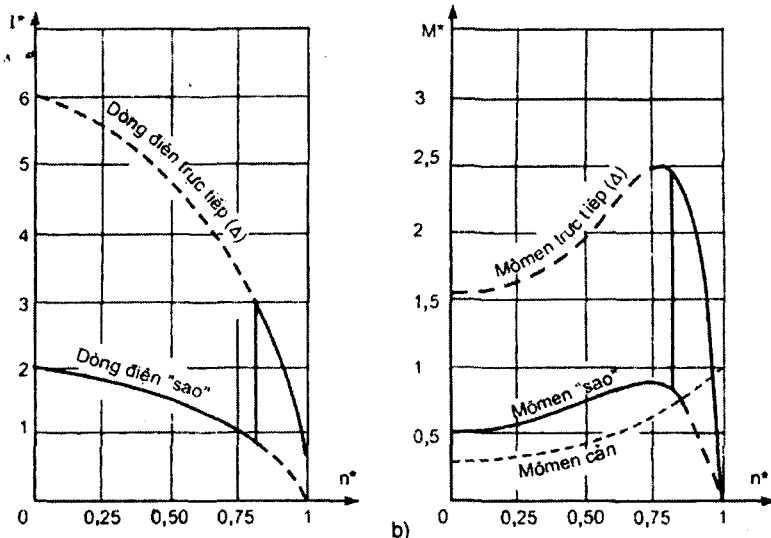
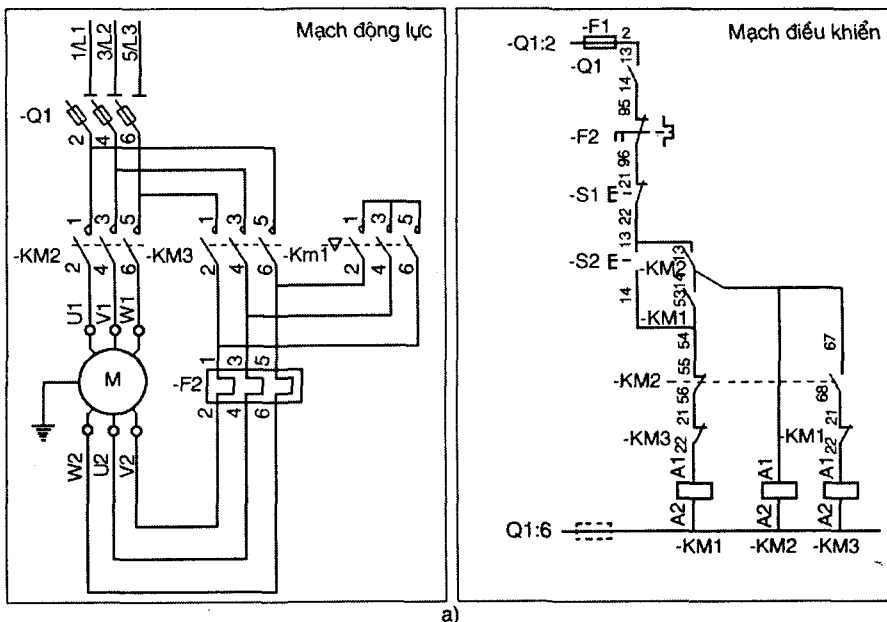
Trên hình 9-39 cho mạch động lực và đặc tính dòng điện, mômen của các thiết bị mở máy trực tiếp động cơ lồng sóc.



Hình 9-39. Mở máy trực tiếp động cơ lồng sóc.

Để giảm công suất mở máy, các động cơ công suất lớn khởi động bằng các thiết bị khởi động đặc biệt. Một trong các phương pháp thường sử dụng là mở máy "sao - tam giác" cho các động cơ làm việc nối tam giác. Khi khởi động "sao", mômen và dòng điện giảm ba lần so với khởi động "tam giác". Quá trình chuyển từ "sao" qua "tam giác" thường tính theo thời gian đặt trước.

Trên hình 9-40 cho mạch điện và đặc tính của kiểu khởi động này.



Hình 9-40. Khởi động "sao - tam giác"

a) Sơ đồ điện khởi động "sao - tam giác"; b) Các đặc tính mở máy "sao - tam giác".

c) Chọn khởi động từ

Việc chọn khởi động từ phải dựa vào hai chức năng chính của chúng là đóng cắt và bảo vệ.

Khả năng đóng cắt của khởi động từ phụ thuộc vào công suất của phụ tải và đặc tính của phụ tải. Các phụ tải điện xoay chiều được chia thành ba nhóm: tải nhẹ, tải trung bình và tải nặng.

Nhóm tải nhẹ là các tải thuần trở, ký hiệu AC1. Việc đóng cắt nhóm tải này tương đối dễ dàng vì hồ quang không lớn và dòng quá độ khi đóng cắt không lớn so với dòng điện định mức, vì vậy hệ số dự trữ của công tắc tơ so với tải lấy khoảng từ 1,1 đến 1,3 là thích hợp.

Nhóm tải trung bình là các tải động cơ lồng sóc không đảo chiều quay, ký hiệu AC3. Dòng điện quá độ của loại tải này có thể dao động từ 4 đến 7 lần dòng điện định mức. Do đó hệ số dự trữ của công tắc tơ phải chọn lớn hơn, từ 1,3 đến 1,6 tùy theo thời gian mở máy lớn hay nhỏ.

Nhóm tải nặng là các động cơ không đồng bộ rôto dây quấn và rôto lồng sóc làm việc ở chế độ mở máy, hãm phanh và đảo chiều quay (ký hiệu AC2 cho động cơ có vành trượt, AC4 cho động cơ lồng sóc). Ở các chế độ đóng cắt này, dòng điện quá độ rất lớn, vì vậy hệ số dự trữ của công tắc tơ phải chọn lớn, từ 1,6 đến 1,8.

Để bảo vệ được quá tải tin cậy, đường đặc tính của role nhiệt phải nằm phía dưới đặc tính nhiệt của tải, nhưng càng sát đặc tính tải thì mới tận dụng được khả năng chịu nhiệt của tải. Thường đặt role nhiệt có trị số dòng điện tác động bằng 1,2 dòng điện định mức của tải.

Đặc tính bảo vệ của role nhiệt cho ở hình 9-20.

d) Ví dụ với khởi động từ

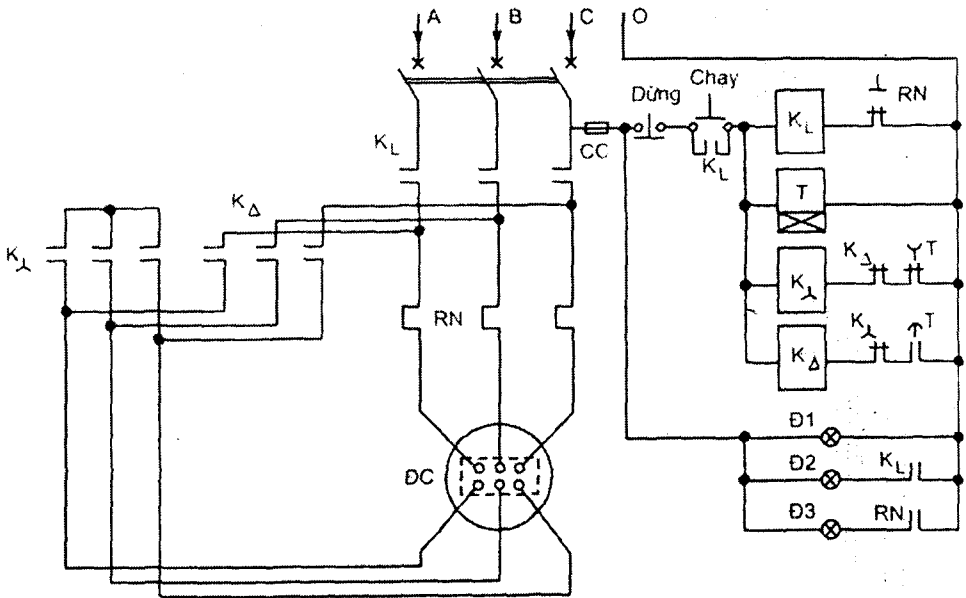
Một máy bơm nước cho nhà cao tầng có động cơ điện kéo kiểu không đồng bộ, rôto lồng sóc với các thông số sau: công suất định mức $P = 40\text{kW}$, tốc độ 2950 vòng/phút, điện áp 380/660V, dòng điện 76,5/44,2A, hiệu suất 88%, $\cos\varphi = 0,9$, bội số mômen khởi động $k_m = 1,6$, bội số dòng điện khởi động $k_i = 7,0$, lưới điện 3 pha, 380V.

- Vẽ sơ đồ khởi động động cơ điện "sao - tam giác", điều khiển bằng nút ấn.
- Chọn thông số các thiết bị bảo vệ và điều khiển động cơ điện.

Giải:

Sơ đồ khởi động, dừng động cơ máy bơm bằng nút ấn (bơm tay) cho ở hình 9-41.

- Trình tự hoạt động của mạch như sau: Đóng aptômát A_p , đèn Đ1 báo nguồn sáng. Ấn nút "chạy", cuộn hút của K_L có điện, đồng thời cuộn hút T của role thời gian và cuộn hút K_Y của công tắc tơ đầu "sao" có điện, động cơ được khởi động theo sơ đồ đầu "sao". Lúc này đèn Đ2 sáng, báo hiệu động cơ đang chạy, và role thời gian T bắt đầu đếm thời gian. Sau thời gian trễ (tùy theo quán tính của tải, thường thì từ vài giây đến vài chục giây). T tác động làm cắt mạch của K_Y , đóng mạch K_Δ , động cơ chuyển qua chế độ đầu "tam giác", chế độ làm việc dài hạn của động cơ này. Nếu muốn dừng máy, chỉ việc ấn nút "dừng". Trong trường hợp động cơ bị quá tải, role nhiệt tác động, tiếp điểm thường đóng của nó mắc nối tiếp với cuộn hút của công tắc tơ K_L mở ra, cuộn hút K_L mất điện làm cắt điện động cơ, đồng thời tiếp điểm thường mở của role nhiệt đóng lại, đèn Đ3 báo quá tải sáng.



Hình 9-41. Sơ đồ khởi động "sao - tam giác" bằng role thời gian.

Muốn cho máy chạy lại, phải chờ role nhiệt RN nguội, và ấn nút "phục hồi" trên role nhiệt để các tiếp điểm trở về trạng thái ban đầu.

- Chọn thông số của các thiết bị.

Chọn thông số của các thiết bị dựa vào điện áp và dòng điện định mức của tải, có kết hợp với dòng điện quá độ.

Đây là động cơ máy bơm, làm việc ở chế độ AC3 với dòng điện định mức 76,5A, đấu tam giác ở lưới 380V. Trên cơ sở số liệu của các thiết bị điện ở phần phụ lục, chọn:

- Áptômát 100AF có điện áp định mức 690V, dòng điện định mức 100A, có bảo vệ nhiệt và bảo vệ từ, số lượng 1 chiếc.

- Công tắc tơ kiểu GMC-125, có dòng điện định mức 120A, điện áp định mức 400A, điện áp điều khiển 220V, 50Hz, số lượng 3 chiếc. Có thể chọn K_V bé hơn một hai cấp).

- Rơle nhiệt GTH100/3, có dòng điện định mức 80A, phạm vi chỉnh định từ 65A đến 100A, 1 tiếp điểm thường đóng, 1 thường mở.

- Rơle thời gian 30 giây, điện áp 220V, 50Hz.

- Hai nút ấn, 1 đỏ (cho "dừng"), 1 xanh (cho "chạy"), 5A, 250V.

- 3 đèn hiệu 2W, 240V các màu xanh (Đ1), đỏ (Đ2), vàng (Đ3).

- Cầu chì mạch điều khiển: 5A, 250V.

- Cáp động lực: PVC ruột đồng, $3 \times 35\text{mm}^2$.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 9

1. Sự giống nhau và khác nhau giữa cầu dao cách ly và cầu dao phụ tải.
2. Đặc điểm các loại điện trở khô, điện trở ngâm dầu và điện trở dung dịch. Lĩnh vực ứng dụng của chúng.
3. Đặc điểm của cuộn kháng có lõi thép và cuộn kháng không lõi thép. Lĩnh vực ứng dụng của chúng.
4. Nguyên lý làm việc và đặc tính "vào - ra" của KĐT.
5. Các bộ phận chủ yếu của công tắc tơ và các yêu cầu của chúng.
6. Nguyên lý làm việc của khởi động từ và cách lựa chọn chúng.
7. Một máy khoan bàn động cơ điện 3 pha 7,5kW, 220/380V, dòng điện 26,3/15,2A, tốc độ 1440 vòng/phút, lưới điện 380V, 50Hz.

Yêu cầu đối với mạch điện:

- Động cơ có đảo chiều quay.

- Dùng điện áp điều khiển AC 48V, 50Hz (an toàn điện).

Hãy lập sơ đồ điện và chọn các thiết bị điều khiển, bảo vệ, cùng các thông số của chúng cho máy khoan trên.

THIẾT BỊ CẤP NGUỒN DỰ PHÒNG, ỔN ÁP ĐIỆN XOAY CHIỀU VÀ CƠ CẤU ĐIỆN TỪ CHẤP HÀNH

10.1. THIẾT BỊ CẤP NGUỒN DỰ PHÒNG

Thiết bị cấp nguồn dự phòng dùng để chuyển tải từ nguồn chính sang nguồn dự phòng khi nguồn chính bị sự cố. Sau khi nguồn chính phục hồi, chúng lại chuyển tải trở về nguồn chính. Có hai loại thiết bị cấp nguồn dự phòng: thiết bị cấp nguồn liên tục và thiết bị tự động chuyển nguồn.

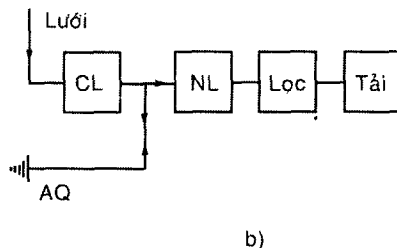
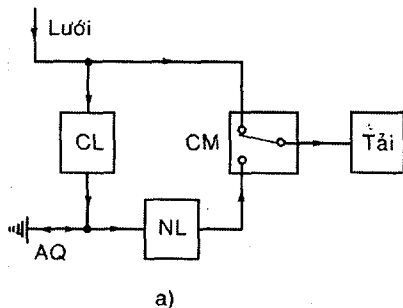
10.1.1. Thiết bị cấp nguồn liên tục

Thiết bị cấp nguồn liên tục còn được gọi là bộ lưu điện hoặc UPS (Uninterrupting Power Supply) dùng cho các hệ tiêu thụ đặc biệt, cần nguồn cấp liên tục như các thiết bị cấp cứu ngành y tế, các trung tâm điện toán, hệ thống SCADA (Super-visory Control And Data Acquisition) - hệ thống kiểm tra, điều khiển và thu thập dữ liệu...

UPS được chế tạo với dãy công suất từ vài trăm đến hàng trăm ngàn oát, đáp ứng được cho các phụ tải công suất khác nhau. Nguồn cấp thường xuyên cho phụ tải là điện lưới, còn nguồn dự phòng là UPS. Khi lưới điện bị sự cố, UPS lập tức cấp nguồn cho tải.

Công suất của UPS do dung lượng của nguồn dự phòng (thường là ắc quy) và công suất của các bộ biến đổi quyết định, vì vậy, thời gian cấp nguồn của UPS thường không dài. Nếu điện lưới bị sự cố lâu dài thì sau một thời gian làm việc UPS phải dừng, phụ thuộc vào công suất tải và dung lượng của ắc quy.

Theo cấu trúc của UPS, ta có hai loại lưu điện: loại có chuyển mạch và loại không có chuyển mạch. Sơ đồ khối của hai loại trên được cho ở hình 10-1.



Hình 10-1

a) Loại có chuyển mạch; b) Loại không có chuyển mạch.
 AQ- Khối ắc quy; CL- Khối chỉnh lưu; NL- Khối nghịch lưu;
 CM- Khối chuyển mạch; Lọc - Khối lọc; Tải - Phụ tải.

Ở UPS có chuyển mạch, ắc quy được nạp qua chỉnh lưu và ở trạng thái chờ, vì lúc có lưới, chuyển mạch được nối tải với lưới. Khi lưới điện bị sự cố, thiết bị theo dõi điện lưới điều khiển chuyển mạch nối tải về phía nguồn dự phòng. Điện áp một chiều từ ắc quy được biến đổi thành điện áp xoay chiều với trị số độ lớn và tần số phù hợp với phụ tải nhờ bộ biến đổi nghịch lưu. Với UPS công suất bé, khối chuyển mạch là các khí cụ điện đóng cắt có tiếp điểm như role, công tắc tơ. Còn ở UPS có công suất lớn hơn, chuyển mạch là loại không tiếp xúc bằng các van bán dẫn công suất, làm việc ở chế độ khóa (đóng, cắt). Đặc điểm của loại UPS có chuyển mạch là cấu tạo đơn giản, điện áp ra chưa có dạng sóng chuẩn hình sin và thời gian tác động còn chậm, vì phải qua bộ chuyển mạch. Loại UPS có chuyển mạch thường được chế tạo cho dãy công suất bé, đến vài ngàn oát.

Ở loại UPS không có chuyển mạch (hình 10-1b), điện lưới xoay chiều ba pha được bộ chỉnh lưu biến đổi thành điện một chiều và ổn định điện áp một chiều. Điện á một chiều ổn định được đồng thời nạp cho ắc quy và cấp cho phụ tải qua bộ nghịch lưu và bộ lọc. Loại UPS không có chuyển mạch có cấu trúc phức tạp hơn, nhưng có nhiều ưu điểm hơn so với loại có bộ chuyển mạch: chất lượng điện áp cấp cho tải ổn định (kể cả khi điện áp lưới dao động), sóng của điện áp ra ít bị nhiễu vì có bộ lọc phức tạp.

Cần lưu ý rằng, khối ắc quy đóng một vai trò khá quan trọng trong thiết bị UPS vì nó dễ bị hỏng hóc, suy giảm dung lượng, do đó cần phải có chế độ bảo trì nghiêm ngặt đối với khối này.

Ắc quy thường được nạp theo điện áp và có hạn chế dòng điện. Nếu thời

gian chờ của ắc quy khá lâu (nạp đầy nhưng không phóng) cũng làm suy giảm dung lượng và sử dụng tuổi thọ của nó. Mặt khác, môi trường làm việc có ắc quy khá độc hại đối với người và dễ ăn mòn kim loại, vì vậy việc thông gió, chống ăn mòn kim loại cho các bộ phận đặt gần ắc quy cũng phải được quan tâm thích đáng.

10.1.2. Thiết bị tự động chuyển nguồn

Thiết bị tự động chuyển nguồn, còn gọi là ATS (Automatic Transfer Switch) dùng để tự động chuyển tải từ nguồn chính sang nguồn dự phòng khi nguồn chính sự cố và tự động chuyển tải theo chiều ngược lại khi nguồn chính phục hồi.

Khái niệm "nguồn sự cố" là chất lượng nguồn không đáp ứng được yêu cầu của phụ tải. Chất lượng nguồn được thể hiện qua các trạng thái sau:

- Mất điện.
- Điện áp cao quá mức cho phép.
- Điện áp thấp quá mức cho phép.
- Điện áp các pha lệch nhau quá mức cho phép (mất pha).
- Thứ tự pha bị đảo (đối với các động cơ ba pha).

Vấn đề tần số ở đây không đề cập đến vì với điện lưới, tần số luôn ổn định, vì hệ thống điện lưới được nối chung cho toàn quốc nên tần số được kiểm soát chặt chẽ.

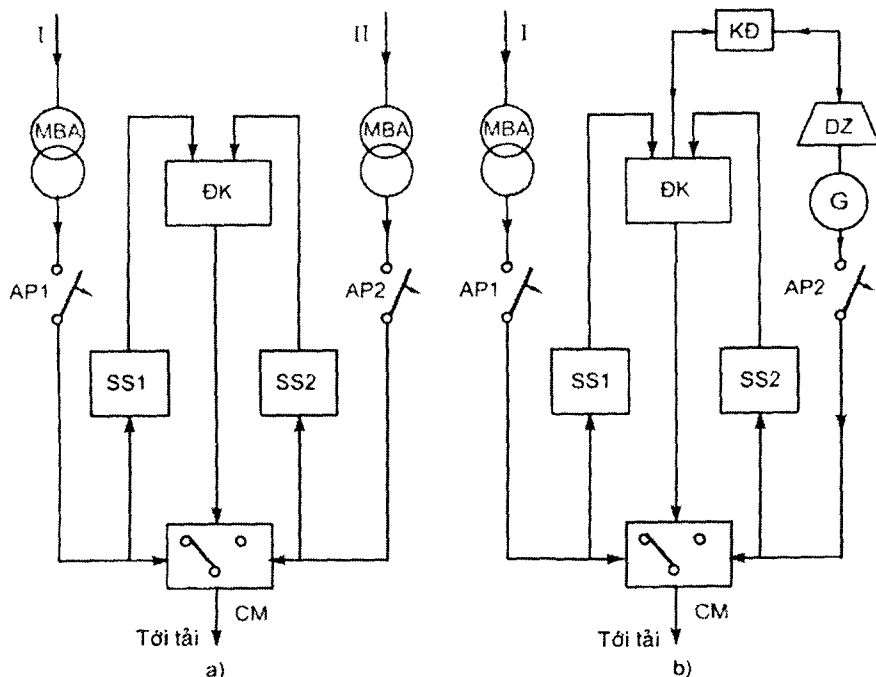
Nguồn điện chính ở đây là điện lưới, còn nguồn dự phòng có hai loại: điện lưới lấy từ một đường dây khác, hoặc là máy phát điện dự phòng. Nếu nguồn dự phòng là điện lưới ta có ATS lưới - lưới. Nếu nguồn dự phòng là máy phát điện dự phòng, ta có ATS lưới - máy phát. Sơ đồ cấu trúc dạng khối của hai loại ATS trên được cho ở hình 10-2.

Các bộ so sánh (SS) có chức năng theo dõi, giám sát các thông số của nguồn và so sánh với trị số đặt. Nếu chất lượng của nguồn điện không đủ tiêu chuẩn, bộ so sánh sẽ phát tín hiệu cho bộ điều khiển ĐK và bộ điều khiển sẽ tác động tới bộ chuyển mạch CM, sẽ chuyển tải từ nguồn này sang nguồn khác.

Ở ATS lưới - máy phát, quá trình xảy ra phức tạp hơn ở ATS lưới - lưới vì có thêm bộ khởi động KĐ của động cơ kéo diesel DZ. Khi tín hiệu từ nguồn chính báo sự cố nguồn I, bộ điều khiển sẽ phát lệnh tới bộ khởi động

động cơ diesel, máy nổ được khởi động làm quay máy phát điện G, điện áp trên các cực của máy phát được thành lập. Nếu chất lượng điện áp máy phát đảm bảo, bộ SS2 cấp tín hiệu tới bộ điều khiển ĐK và bộ ĐK sẽ tác động tới cơ cấu chuyển mạch CM, phụ tải được cấp điện từ máy phát G.

Từ thời điểm lưới chính phục hồi, sau một quãng thời gian trễ, bộ ĐK lại tác động lên bộ CM để chuyển tải từ máy phát về nguồn chính. Từ thời điểm chuyển tải về lưới, máy phát chạy không tải một khoảng thời gian vài phút để làm mát, sau đó tự tắt động cơ diesel.



Hình 10-2

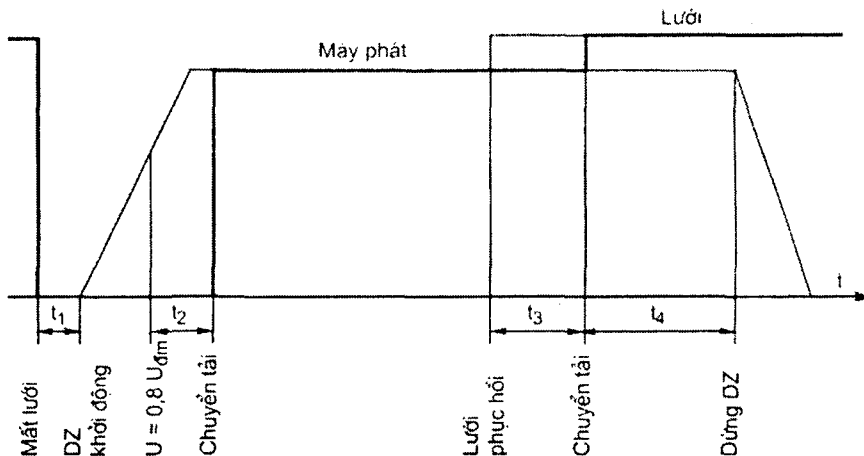
a) ATS lưới - lưới; b) ATS lưới - máy phát

I, II- nguồn cung cấp; MBA- Máy biến áp ; G- Máy phát điện; AP1, AP2- aptômát bảo vệ mạch lực; ĐK- Khối điều khiển; SS1, SS2- Khối so sánh; KĐ- Khối khởi động diesel; DZ- Máy diesel; CM- Bộ chuyển mạch.

Quá trình thao tác tự động của ATS được biểu diễn trên giản đồ thời gian trên hình 10-3.

Thông thường quãng thời gian t_1 từ thời điểm sự cố lưới đến diesel khởi động là từ 1 đến 5 giây. Khi điện áp máy phát đạt 0,8 điện áp định mức, cơ

cấu đếm thời gian trong bộ SS2 bắt đầu tính thời gian và sau khoảng thời gian t_2 (thường từ 1 đến 20 giây), tải được chuyển qua máy phát. Thời gian t_3 là khoảng thời gian từ thời điểm lưới được phục hồi (do bộ SS1 theo dõi) đến lúc chuyển tải về lưới, t_3 nằm trong khoảng từ 3 đến 30 phút. Thời gian này dài để khẳng định chắc chắn là lưới đã được phục hồi và ổn định. Thời gian t_4 là từ thời điểm tải được chuyển về lưới tới khi động cơ kéo diesel ngừng chạy. Trong thời gian t_4 , máy phát chạy không tải để làm nguội máy phát điện ($t_4 = 3 \div 10$ phút). Tất cả các khoảng thời gian trên đều có thể điều chỉnh được.



Hình 10-3. Giản đồ thời gian của ATS lưới - máy phát.

Bộ khởi động diesel có đặc điểm sau:

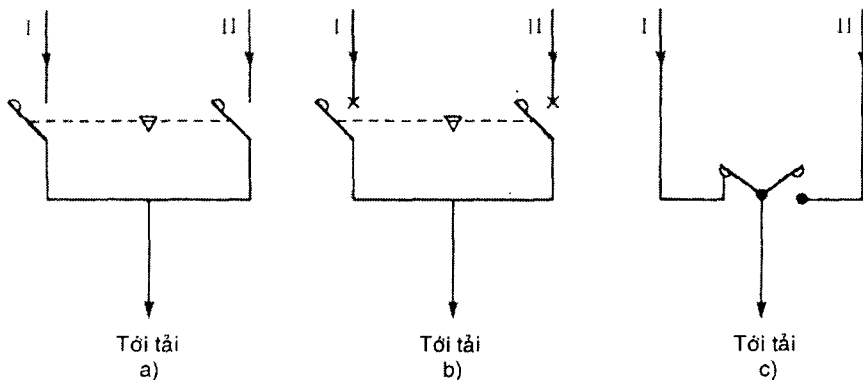
Động cơ khởi động (động cơ đề) là động cơ một chiều, có công suất tương đối lớn, nhưng kích thước bé vì nó được thiết kế cho chế độ làm việc ngắn hạn, vì thời gian đề chỉ khoảng vài giây. Nguồn cho động cơ đề là nguồn ắc quy và cũng chính nguồn này cấp cho các bộ phận so sánh, các mạch điện tử của ATS.

Khi có tín hiệu sự cố lưới, bộ khởi động diesel tác động để khởi động máy. Nếu quá trình khởi động thành công, tín hiệu khởi động được xóa và bộ khởi động trở về trạng thái chờ ban đầu. Nếu quá trình khởi động không thành công (máy không nổ), sau một quãng thời gian nghỉ khoảng 5 giây để cho ắc quy phục hồi, tín hiệu khởi động lại được phát cho máy khởi động lần hai. Nếu khởi động lần hai không thành công thì thiết bị sẽ tự động khóa lại không cho phép khởi động nữa.

Các mạch so sánh, điều khiển, khởi động có cấu trúc từ các linh kiện rời hoặc mạch tích hợp IC số với các đầu ra là rơle điện cơ và có các đèn báo hiệu trạng thái như mất lưới, có lưới, máy phát hoạt động, tải ở máy phát hay ở lưới. Các đèn báo sự cố như: khởi động không thành công, nhiệt độ nước làm mát máy nổ cao, áp suất dầu bôi trơn không đủ... Với các đèn báo này, việc kiểm tra, theo dõi ATS rất thuận tiện.

Khối chuyển mạch CM của ATS có nhiệm vụ chuyển tải từ nguồn này qua nguồn kia theo tín hiệu của mạch điều khiển (chế độ tự động) hoặc theo ý muốn của người vận hành (thao tác bằng tay). Yêu cầu của khối này là phải có công suất chuyển mạch lớn, thời gian chuyển mạch nhanh, độ tin cậy cao, gọn nhẹ, dễ bảo trì, thay thế...

Có ba loại chuyển mạch của ATS: kiểu hai công tắc tơ thuận nghịch, kiểu hai máy cắt aptômat thuận nghịch và kiểu "bập bênh". Nguyên lý kết cấu của ba loại trên được cho ở hình 10-4.



Hình 10-4. Các kiểu cơ cấu chuyển mạch
a) Kiểu công tắc tơ; b) Kiểu aptômat; c) Kiểu "bập bênh".

Với ATS kiểu lưới - lưới, phân chuyển mạch thường có ba cực cho ba pha, còn trung tính thì nối chung cho cả hai nguồn.

Với ATS kiểu lưới - máy phát, phân chuyển mạch thường có bốn cực, chuyển mạch cả trung tính.

Chuyển mạch kiểu công tắc tơ gồm hai công tắc tơ liên động (trên hình vẽ, ký hiệu Δ chỉ sự liên động) khóa lẫn nhau, cái này đóng thì cái kia bắt buộc phải cắt, dù có điều khiển nhậm cũng không thể có trường hợp cả hai công tắc tơ cùng đóng. Ưu điểm chính của kiểu mạch công tắc tơ là kết cấu

đơn giản, dễ điều khiển, công suất điều khiển (công suất cuộn hút) bé. Hạn chế của loại này là cần công suất duy trì trạng thái hút của nam châm điện để công tắc tơ đóng. Kiểu chuyển mạch dùng cho công tắc tơ được chế tạo cho dòng điện định mức đến 800A.

Chuyển mạch kiểu máy cắt hạ áp gồm hai máy cắt nối liền động với nhau. Nếu dùng aptômát định hình MCB thì cơ cấu truyền động phức tạp. Nếu dùng máy cắt kiểu ACB thì truyền động đơn giản hơn, nhưng giá thành cao. Ưu điểm chính của kiểu ATS dùng máy cắt là công suất chuyển mạch lớn. Không cần nguồn điện duy trì trạng thái đóng của máy cắt. Hạn chế của loại này là kích thước cồng kềnh, giá thành cao.

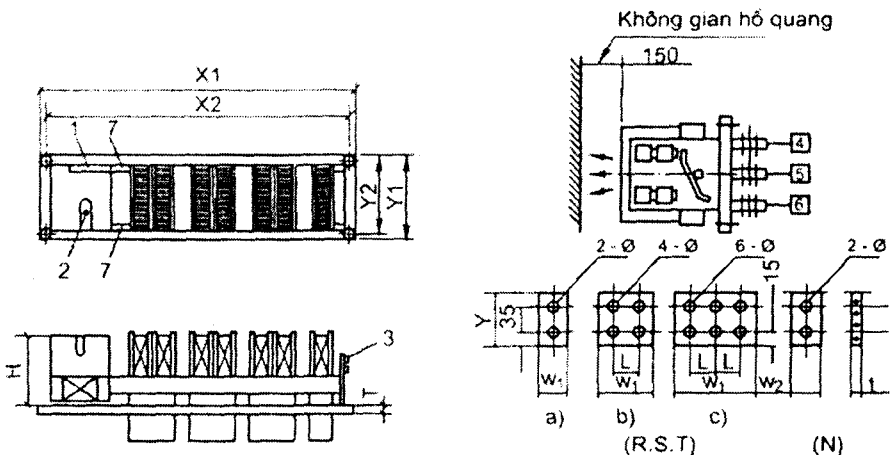
Chuyển mạch kiểu "bập bênh" có nguyên lý như cầu dao đảo chiều, với hai tiếp điểm tĩnh hai bên và tiếp điểm động ở giữa kiểu "bập bênh", được gắn với trục truyền động. Hai nguồn điện được đưa vào hai tiếp điểm tĩnh (hình 10-4c), còn điện đưa vào được lấy ra ở tiếp điểm động. Trục truyền động được liên kết với hệ thống cam, đòn phức tạp, còn cơ cấu truyền động là một nam châm điện một chiều có công suất lớn. Nam châm này chỉ làm việc ở chế độ ngắn hạn. Mỗi khi có xung điện vào cuộn dây của nam châm điện, tiếp điểm động tác động, cắt tải bên nguồn này và đóng tải vào nguồn kia. Nếu có xung điện tiếp theo, tải lại được chuyển ngược lại. Ưu điểm chính của loại "bập bênh" là kích thước gọn, nhẹ, tác động nhanh, điều khiển đơn giản. Hạn chế của loại này là công suất điều khiển tương đối lớn, mặc dù thời gian điều khiển là rất ngắn (cỡ một phần mười giây), tuổi thọ thấp hơn hai kiểu trên. Loại này được chế tạo cho mọi cấp dòng điện trong dải từ 400 đến 4000A.

Trên hình 10-5 trình bày hình dạng, các kích thước (tính theo mm) của dây ATS kiểu bập bênh MS (Hàn Quốc) với các dòng điện định mức 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000 và 2500A, điện áp đến 660V, loại bốn cực trong đó cực trung tính (N) có kích thước bé hơn.

Các thông số của dây ATS này được cho ở bảng 10-1, còn sơ đồ nối dây của mạch điều khiển được cho ở hình 10-6 cho hai trường hợp: nguồn điều khiển là điện xoay chiều (AC) và nguồn điều khiển là điện một chiều (DC).

Trên hình 10-7 cho sơ đồ điện của ATS loại 2 công tắc tơ liên động của hãng Modex (Anh) có dòng điện định mức 800A, dùng cho máy phát điện công suất 500kVA.

Ngày nay, các cơ quan, bệnh viện, tòa nhà văn phòng, khách sạn, nhà hàng, các nhà chung cư cao tầng thế hệ mới... đều có máy phát điện dự phòng. Vì vậy ATS ngày càng được ứng dụng rộng rãi.



Kiểu		w ₁	w ₂	t	f	L	Y
(a)	64MS	30	30	10	13	-	75
	66MS	30	30	10	13	-	75
	68MS	40	30	10	13	-	75
	610MS	45	30	12	13	-	75
	612MS	55	30	12	14	-	75
(b)	616MS	75	40	12	14	40	75
	620MS	100	45	12	14	53	75
(c)	625MS	120	55	15	14	40	75

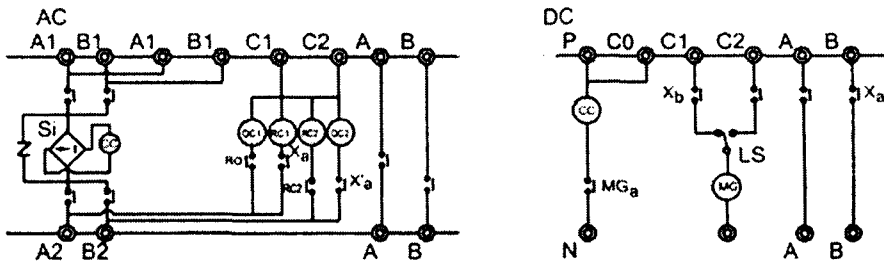
Kiểu	64MS	66MS	68MS	610MS	612MS	616MS	620MS	625MS
X1	540		585		620	705	785	860
X2	500		545		580	665	745	820
X3	235		242,5		250	257,5	270	284
Y1	260							270
Y2	220							230
Y3	74.5			73.5				78
H	260							
T	15		20				25	
P1	75		90		100	130	155	175
P2	75		82		87	102	117	132

Hình 10-5

ATS kiểu "bập bênh" dây MS, $U_{dm} = 660V$, $I_{dm} = 400A$ (64MS); 600A (66MS); 800A (68MS); 1000A (610MS); 1200A (612MS); 1600A (616MS); 2000A (620MS); 2500A (625MS).
 1- Cầu đấu mạch điều khiển; 2- Tay đòn (điều khiển bằng tay); 3- Khối tiếp điểm phụ;
 4- Cầu đấu mạch động lực nguồn A; 5- Cầu đấu cho phụ tải; 6- Cầu đấu mạch động lực nguồn B; 7- Chỉ thị trạng thái nguồn.

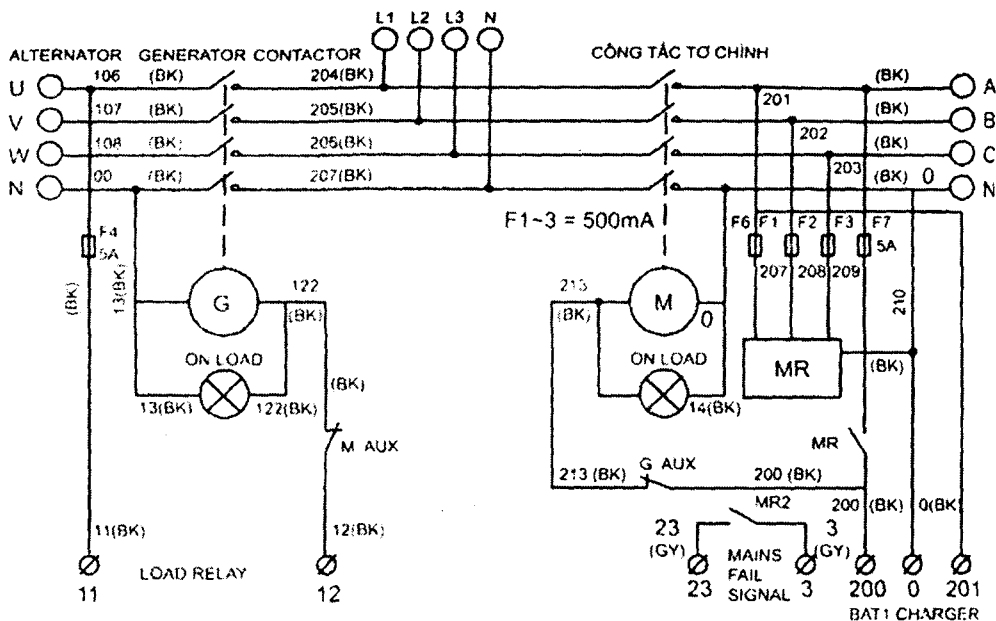
Bảng 10-1. Các thông số của ATS kiểu MS

Kiểu		SI64MS		SI68MS		SI610MS		SI612MS		SI616MS		SI620MS		SI625MS		SI632MS		SI640MS	
Thông số		S166MS																	
Điện áp định mức		AC 660V và DC 125V																	
Dòng điện định mức		400/600A		800A		1000A		1200A		1600A		2000A		2500A		3200A		4000A	
Nối dây		phía sau																	
Số cực		3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
Khối lượng (kg)		36	41	38	50	44	52	47	57	55	68	63	73	87	96	96	120	120	120
Thời gian cắt		≤ 0,09 giây																	
Thời gian chuyển mạch		≤ 0,12 giây																	
Dòng điều khiển A	AC 100/110V	10	10	10	12	16	20	20	20	24	24	36	40	60	60	60	60	60	60
	AC 200/220V	5	5	5	6	8	10	10	10	12	12	18	20	30	30	30	30	30	30
	DC110V	10	10	10	12	16	20	20	20	24	24	36	40	60	60	60	60	60	60
Tuổi thọ cơ, lần		10.000												5.000			3.000		
Tuổi thọ điện, lần		3.000												1.000			500		
Tần số thao tác, lần/giờ		150												30			30		



Hình 10-6. Sơ đồ nối dây bên trong của dây ATS loại MS

C- Cuộn dây chuyển mạch; RC- Rơle điều khiển; Si- Bộ chỉnh lưu silic; Z- Bộ phóng điện;
 X_a , X_b - các tiếp điểm điều khiển; Aux - Các tiếp điểm phụ; OC_1 - Rơle nguồn chính;
 OC_2 - Rơle nguồn dự phòng; MG- Nam châm điện; LS- Công tắc cuối hành trình;
A, B- Nguồn chính và nguồn dự phòng.



Hình 10-7. Sơ đồ điện của ATS kiểu công tắc tơ

Lưới đầu vào A, B, C, N (phía phải), còn máy phát đầu vào U, V, W, N (phía trái). Tải đầu vào L₁, L₂, L₃ và N (ở giữa). M- Công tắc tơ lưới; G- Công tắc tơ máy phát; MR- Rơle lưới; MAINS FAIR SIGNAL - Tín hiệu sự cố lưới; BATT. CHARGER - Đầu nạp ắc quy; LOAD RELAY - Rơle chuyển tải.

10.2. THIẾT BỊ ỔN ÁP ĐIỆN XOAY CHIỀU

10.2.1. Khái niệm chung về ổn áp điện xoay chiều

Ổn áp là thiết bị điện tự động duy trì điện áp đầu ra không đổi khi điện áp đầu vào thay đổi trong một phạm vi nhất định.

Mỗi thiết bị tiêu thụ điện năng được chế tạo để làm việc ở một cấp điện áp xác định, gọi là điện áp định mức. Trong thực tế, điện áp nguồn cung cấp luôn dao động trong một phạm vi cho phép. Ví dụ từ 85% đến 110% trị số điện áp định mức. Nếu thiết bị điện làm việc ở lưới điện không ổn định, đặc tính của thiết bị cũng không ổn định, dẫn đến tuổi thọ của nó giảm. Các bộ ổn áp điện xoay chiều cung cấp nguồn điện áp xoay chiều ổn định cho các phụ tải.

Chất lượng của ổn áp được đánh giá bằng hệ số ổn định và độ méo của dạng sóng điện áp đầu ra.

$$K_{\text{od}} = \frac{\Delta U_R}{U_R} : \frac{\Delta U_V}{U_V} = \frac{U_V}{U_R} : \frac{\Delta U_R}{\Delta U_V} \quad (10-1)$$

trong đó: U_V, U_R - điện định mức đầu vào và đầu ra;

$\Delta U_V, \Delta U_R$ - độ dao động điện áp vào và điện áp ra.

Nếu điện áp đầu vào bằng điện áp đầu ra thì hệ số ổn định là:

$$K_{\text{od}} = \frac{\Delta U_R}{\Delta U_V} \quad (10-2)$$

Chất lượng ổn áp sẽ tốt nếu hệ số ổn định K_{od} bé.

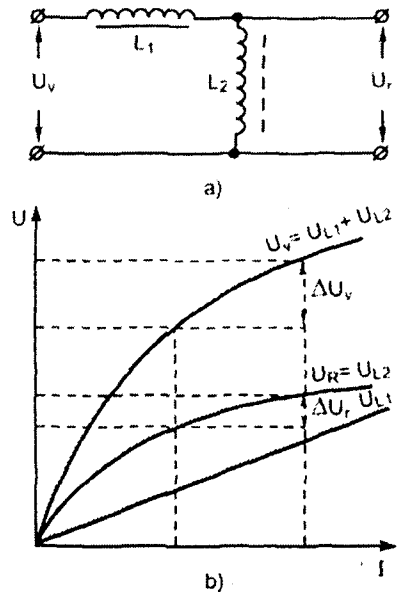
Ổn áp điện xoay chiều, chất lượng điện áp còn được đánh giá qua độ méo của nó so với điện áp đầu vào hình sin. Nếu điện áp ra bị méo (do tính phi tuyến của thiết bị ổn áp) thì ngoài thành phần sóng cơ bản còn có các sóng hài bậc cao, ảnh hưởng đến chế độ làm việc của phụ tải và gây nhiễu cho lưới điện.

Có nhiều loại ổn áp điện xoay chiều với các nguyên lý làm việc khác nhau. Chúng thường được phân ra hai nhóm: nhóm ổn áp thông số (không có điều khiển) và nhóm ổn áp bù (có điều khiển). Sau đây ta sẽ lần lượt xét đặc điểm của các ổn áp thông dụng.

10.2.2. Ổn áp sắt từ

Nguyên lý làm việc của loại ổn áp này khá đơn giản, nó gồm hai cuộn kháng nối tiếp nhau, một cuộn tuyến tính và một cuộn phi tuyến. Điện áp vào đặt trên cả hai cuộn, còn điện áp ra lấy trên cuộn phi tuyến nên có trị số ổn định hơn. Nguyên lý cấu tạo và đặc tính làm việc của loại ổn áp sắt từ không có tụ được cho ở hình 10-8.

Nhược điểm chính của ổn áp ở sơ đồ 10-8a và điện áp đầu ra thấp hơn điện áp đầu vào và dòng từ hóa lớn vì cuộn L_2 bão hòa.

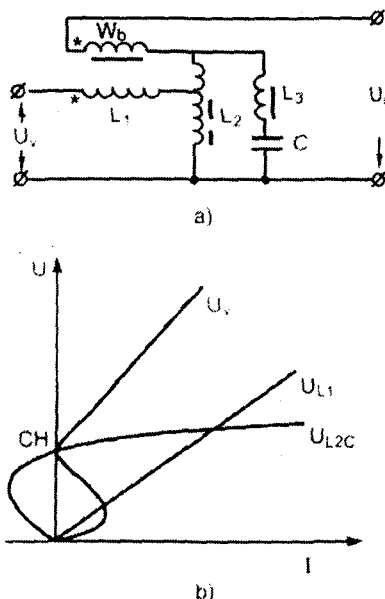


Hình 10-8. Ổn áp sắt từ không có tụ
a) Sơ đồ điện; b) Đặc tính làm việc.

Để khắc phục các nhược điểm trên, cuộn kháng bão hòa được quấn kiểu biến áp tự ngẫu, có tụ điện C nối song song và có thêm cuộn bù w_b nối tiếp với cuộn bão hòa L_2 , đấu ngược cực tính và quấn chung trên lõi sắt của cuộn tuyến tính (hình 10-9). Trị số của tụ điện C được chọn sao cho tạo thành mạch cộng hưởng L_3C với sóng bậc ba để lọc độ méo của sóng đầu ra. Trên hình 10-9 cho sơ đồ điện và đặc tính của loại ổn áp sắt từ có tụ, còn được gọi là ổn áp sắt từ cộng hưởng.

Tải của ổn áp sắt từ là tải trở. Nếu tải có tính cảm thì điểm cộng hưởng bị dịch chuyển nên miễn làm việc thay đổi vì vùng làm việc phải nằm sau điểm cộng hưởng (phía phải của điểm cộng hưởng CH).

Ổn áp sắt từ có cấu tạo đơn giản, tin cậy, chịu quá tải tốt nhưng khối lượng lớn, hiệu suất không cao. Trước đây nó thường được dùng cho các tải gia dụng như vô tuyến truyền hình thế hệ cũ (dùng đèn chân không), các tải thuần trở khác và có công suất từ vài trăm vôn-ampe đến vài ngàn vôn-ampe. Ngày nay, ổn áp sắt từ không thể cạnh tranh được với các loại ổn áp khác.



Hình 10-9. Ổn áp sắt từ cộng hưởng
a) Sơ đồ điện; b) Đặc tính làm việc.

10.2.3. Ổn áp kiểu biến áp tự ngẫu (Supvolter)

Nguyên lý làm việc của loại ổn áp này là tự động thay đổi hệ số biến áp giữa điện áp đầu ra và đầu vào khi điện áp đầu vào thay đổi, sao cho điện áp đầu ra gần như giữ nguyên giá trị.

Về kết cấu ổn áp kiểu này gồm một máy biến áp tự ngẫu và các thiết bị điều khiển. Tùy theo kết cấu của máy biến áp và thiết bị điều khiển, ta có ổn áp kiểu nhảy cấp và ổn áp kiểu máy biến áp trượt.

- Ổn áp kiểu biến áp tự ngẫu nhảy cấp

Nguyên lý làm việc của loại ổn áp này được cho ở hình 10-10. Nó gồm một bộ chuyển mạch dưới tải CM đấu với một máy biến áp tự ngẫu có nhiều

dầu. Khi điện áp ra thay đổi, cơ cấu chuyển mạch sẽ tự động chuyển nấc nhờ tín hiệu từ cơ cấu so sánh, cơ cấu điều khiển, sao cho điện áp ra thay đổi ít nhất. Chuyển mạch có thể đặt ở phía đầu vào hoặc phía đầu ra.

Đặc điểm của loại ổn áp này là điện áp đầu ra thay đổi nhảy cấp (cỡ 2% điện áp định mức), dạng sóng hình sin, hiệu suất cao. Bộ chuyển mạch làm việc dưới tải nên hồ quang lớn, cần tốc độ chuyển mạch nhanh.

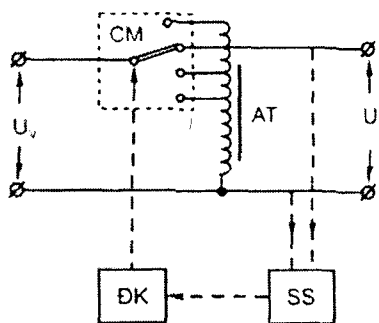
Để dòng điện khỏi bị ngắt khi chuyển mạch, cần có thêm các phần tử như điện trở, điện kháng và chuyển mạch phụ nối thêm vào các nấc tương tự như ở bộ chuyển mạch dưới tải trong các máy biến áp truyền tải.

Ổn áp kiểu này có bộ chuyển mạch khá cồng kềnh, phức tạp vì thế ít được chế tạo cho dây công suất thấp. Với loại có công suất lớn, bộ chuyển mạch và máy biến áp được đặt trong dầu nên dập hồ quang dễ dàng hơn. Nhưng bộ ổn áp kiểu nhảy cấp có công suất đến vài trăm kVA, điện áp đến 6kV được chế tạo để cấp nguồn cho các máy biến áp phân phối.

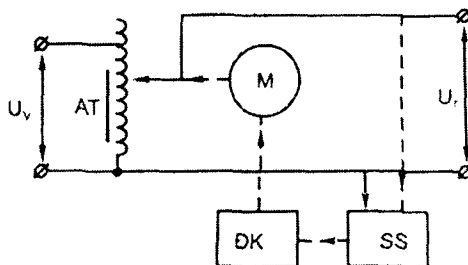
- Ổn áp kiểu biến áp tự ngẫu trượt

Bộ phận chính của ổn áp loại này là một biến áp tự ngẫu trượt hoặc tự ngẫu kiểu quay, động cơ chấp hành (servomotor) kéo chổi than để thay đổi điện áp ra. Trên hình 10-11 trình bày nguyên lý của loại ổn áp này.

Cơ cấu so sánh SS nhận tín hiệu từ điện áp đầu ra và so sánh nó với trị số chuẩn (U_{dm}). Khi điện áp ra lệch so với trị số định mức, cơ cấu so sánh sẽ phát tín hiệu cho cơ cấu điều khiển và cơ cấu này sẽ cấp nguồn cho động cơ chấp hành quay theo chiều giảm độ lệch của điện áp ra so với chuẩn. Động cơ sẽ ngừng quay khi



Hình 10-10. Nguyên lý của ổn áp kiểu biến áp tự ngẫu nhảy cấp.



Hình 10-11. Ổn áp kiểu tự ngẫu quay.

không có tín hiệu điều khiển, nghĩa là điện áp ra đạt trị số định mức.

Bộ so sánh của ổn áp loại này bằng các linh kiện điện tử nên kích thước nhỏ gọn. Động cơ chấp hành công suất bé (cỡ chục oát), qua hộp giảm tốc với tỷ số truyền lớn kiểu trục vít nên dễ dàng dừng chính xác.

Ưu điểm chính của loại ổn áp này là kích thước nhỏ, gọn, điện áp ra không bị méo, hiệu suất khá cao, đạt tới 98%. Tại chỗ tiếp xúc của chổi than với dây quấn, khi có tải lớn, do điện trở tiếp xúc cao nên nhiệt độ phát nóng lớn, do vậy phải tăng cường làm mát bằng cách dùng giá đỡ chổi than như là một cách tỏa nhiệt. Một số hãng còn dùng một quạt bé để thổi vào cánh tản nhiệt này.

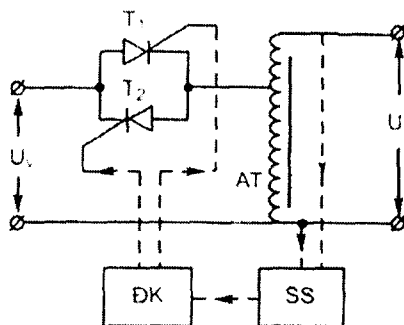
Nhược điểm của loại ổn áp này là chổi than chóng mòn, có thể phát sinh hồ quang. Mặt khác vì động cơ kéo chổi than công suất bé, phải qua hộp số truyền với tỷ số lớn nên thời gian tác động chậm (đến cỡ một giây), không đáp ứng được cho các phụ tải cần thời gian tác động nhanh.

Hiện nay ổn áp kiểu tự ngẫu quay được dùng khá rộng rãi cho thiết bị điện gia dụng, có công suất từ vài trăm VA đến hàng trăm kVA, được chế tạo cho cả loại một pha và loại ba pha.

10.2.4. Ổn áp kiểu tự ngẫu và các van bán dẫn công suất

Ổn áp loại này còn được gọi là ổn áp điện tử. Nguyên lý làm việc của ổn áp này được cho ở hình 10-12. Thay cho bộ chuyển mạch để thay đổi hệ số biến áp, ở loại này người ta dùng hai thyristor song song ngược đầu nối tiếp với biến áp tự ngẫu. Bằng cách điều khiển góc mở của hai van bán dẫn. Ta điều chỉnh được điện áp đầu vào của biến áp tự ngẫu, giữ điện áp đầu vào không đổi (theo trị số hiệu dụng).

Ưu điểm của loại này là điện áp ra được điều khiển vô cấp, thời gian tác động nhanh, không có chổi than vành trượt nên không có hồ quang. Nhược điểm chính của loại ổn áp này là điện áp ra không sin.



Hình 10-12. Ổn áp kiểu điện tử.

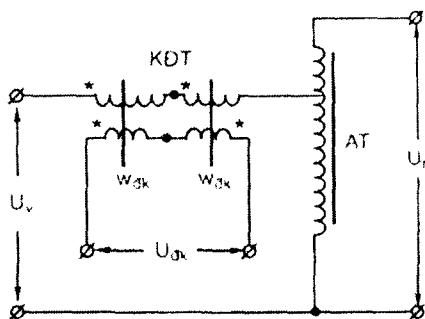
10.2.5. Ổn áp kiểu khuếch đại từ

Nguyên lý làm việc của loại này cũng tương tự như ổn áp kiểu điện tử, nhưng thay các van điện tử công suất, ta dùng một khuếch đại từ đơn, được cho ở hình 10-13.

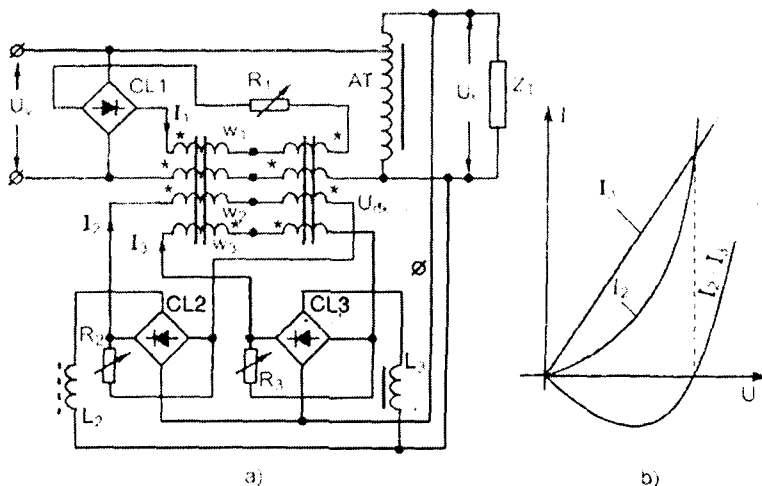
Khi thay đổi dòng điện điều khiển một chiều trong cuộn dây điều khiển, điện kháng của khuếch đại từ thay đổi nên điện áp của nó cũng thay đổi, đảm bảo điện áp đầu ra không đổi.

Nếu điện áp ra lớn, dòng điện điều khiển phải bé để điện kháng của khuếch đại từ lớn, sụt áp trên khuếch đại từ lớn, giảm điện áp vào biến áp tự ngẫu. Khi điện áp ra bé, dòng kích từ phải lớn để lõi thép bão hòa, sụt áp trên khuếch đại từ bé.

Sơ đồ điện của một ổn áp khuếch đại từ có phần tử phản hồi là cuộn kháng được trình bày trên hình 10-14.



Hình 10-13. Nguyên lý ổn áp khuếch đại từ.



Hình 10-14. Sơ đồ điện của ổn áp khuếch đại từ và đặc tính vôn-ampe của nó.

Khuếch đại từ gồm có ba cuộn dây điều khiển, trong đó hai cuộn dây $w_{đk2}$ và $w_{đk3}$ đấu ngược cực tính. Cuộn $w_{đk1}$ lấy nguồn nuôi từ điện áp vào, qua chỉnh lưu CL1 và điện trở R1.

Hai cuộn dây w_{dk2} và w_{dk3} lấy nguồn từ điện áp ra U_R qua hai cuộn kháng phi tuyến L_2 và tuyến tính L_3 . Dòng điện I_{dk2} và I_{dk3} có thể điều chỉnh nhờ các biến trở R_2 và R_3 .

- Khi $U_r = U_{rdm}$ thì $(I_{dk2}w_2 - I_{dk3}w_3) = 0$

- Khi $U_r < U_{rdm}$ thì $(I_{dk2}w_2 - I_{dk3}w_3) > 0$, do đó nó tác động cùng chiều với $I_{dk1}w_1$, điện kháng của cuộn dây xoay chiều giảm, điện áp U_R của ổn áp tăng.

- Khi $U_r > U_{rdm}$ thì $(I_{dk2}w_2 - I_{dk3}w_3) < 0$, ngược chiều với $I_{dk1}w_1$, do đó điện kháng của cuộn dây xoay chiều tăng, điện áp ra giảm tới U_{dm} . Mạch phản hồi có thể thay bằng các linh kiện bán dẫn, đặc tính tốt hơn.

Ưu điểm chính của ổn áp khuếch đại từ là hệ số ổn định bé, điện áp ra gần hình sin, tuổi thọ cao, tin cậy, ít hỏng hóc. Nhược điểm của nó là kết cấu phức tạp, khối lượng lớn.

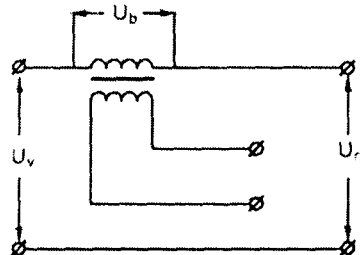
Ổn áp kiểu này thường được chế tạo loại ba pha, công suất vài chục kVA.

10.2.6. Ổn áp kiểu bù

Ổn áp kiểu bù có nguyên lý làm việc được cho ở hình 10-15, nó chỉ gồm một cuộn dây bù w_b đấu nối tiếp với điện áp vào, do đó:

$$U_r = U_v \pm U_b$$

Khác với ổn áp khuếch đại từ, điện áp bù ở đây có thể thay đổi để bù vào điện áp thiếu hay thừa của điện áp vào. Nếu $U_{vào}$ thấp thì U_b có trị dương, còn $U_{vào}$ cao thì U_b có dấu âm, như vậy giữ cho điện áp ra ổn định.

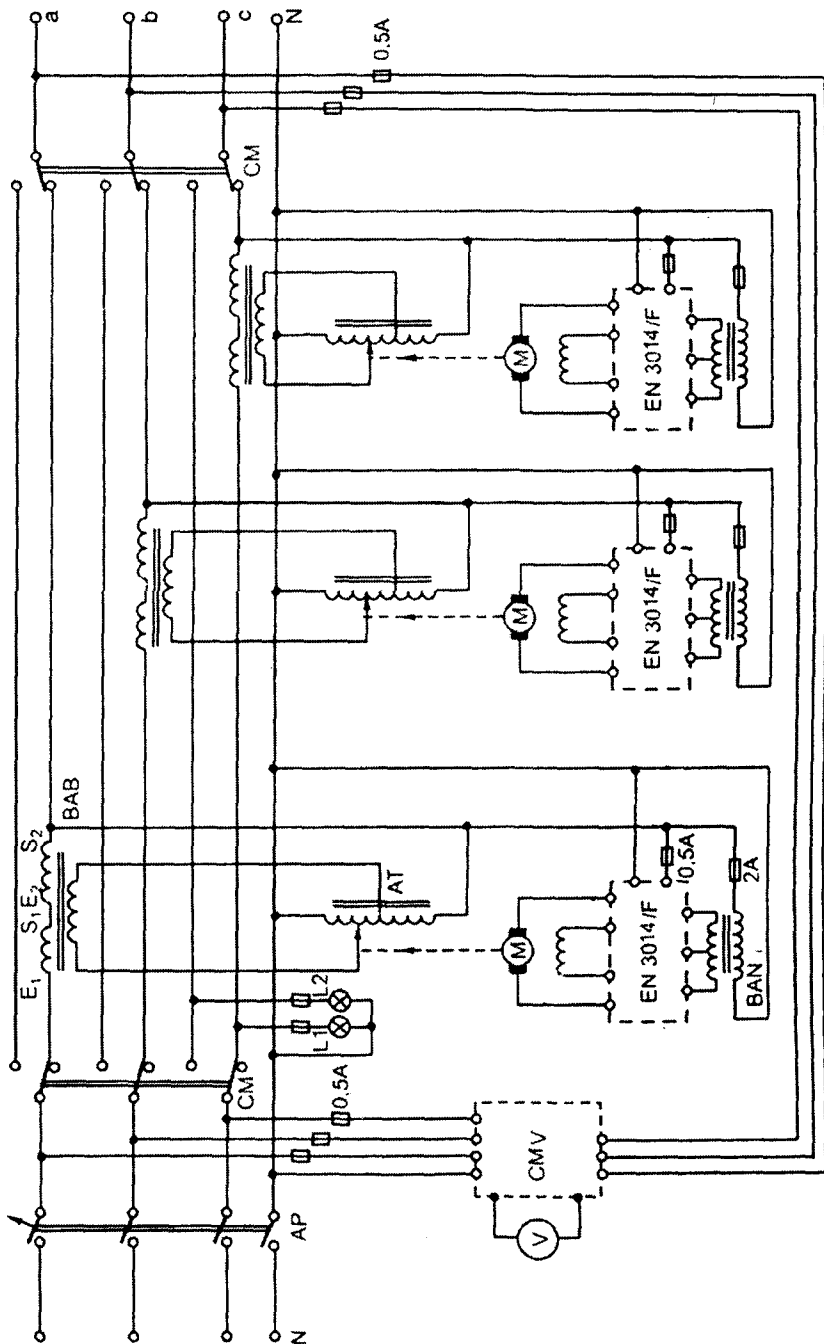


Hình 10-15. Nguyên lý của ổn áp kiểu bù.

Công suất của ổn áp bù phụ thuộc vào công suất máy biến áp bù và lớn hơn nhiều lần so với biến áp bù. Ví dụ với ổn áp bù một pha, điện áp cần bù là 40V, dòng điện tải là 20A thì dung lượng của biến áp bù và dung lượng của bộ ổn áp bù sẽ là:

$$S_b = 40V.20A = 800VA; S_{OA} = 220V.20A = 4400VA.$$

Điện áp ra của loại ổn áp này hình sin, kích thước nhỏ gọn so với dung lượng nên được chế tạo cho công suất lớn đến vài trăm kVA.



Hình 10-16. Sơ đồ điện của ổn áp ba pha kiểu bù của hãng GVS.

Trên hình 10-16 cho sơ đồ điện của ổn áp ba pha kiểu GVS (Pháp) loại ba pha, công suất 150kVA. Máy biến áp bù (BAB) có cuộn dây thứ cấp gồm hai nửa E_1S_1 và E_2S_2 có thể đấu song song hay nối tiếp. Khi đấu nối tiếp, điện áp bù lớn nhất là $\pm 25\%$ điện áp định mức, còn khi đấu song song, điện áp bù lớn nhất chỉ còn lại một nửa, tức là bằng $\pm 12,5\%$ nhưng công suất đầu ra tăng gấp đôi.

Cuộn sơ cấp của BAB được cấp nguồn từ một biến áp tự ngẫu quay AT, điều chỉnh vô cấp bằng chổi than. Sơ cấp của AT được đấu vào đầu ra của ổn áp.

Khi điện áp ra thay đổi (do dao động của điện áp lưới hay do tải thay đổi), động cơ chấp hành M sẽ tự động kéo chổi than theo chiều thích hợp để điện áp trên cuộn bù cùng dấu hoặc ngược dấu với điện áp vào. Biến áp nguồn BAN làm nhiệm vụ cung cấp nguồn nuôi cho mạch điện tử EN 3014/F.

- Áptômát đầu vào AP loại bốn cực, có phần bảo vệ dòng điện rò. Bộ chuyển mạch điện áp CMV để đo điện áp vào và điện áp ra của ổn áp. Bộ chuyển mạch lực CM được đấu ở đầu vào và đầu ra của ổn áp, liên động với nhau để tải có thể lấy qua ổn áp hoặc lấy trực tiếp từ lưới. Đèn L_1 và L_2 báo trạng thái cấp nguồn cho tải từ lưới hay từ ổn áp: L_1 là từ ổn áp, còn L_2 là trực tiếp từ lưới.

10.3. CƠ CẤU ĐIỆN TỪ CHẤP HÀNH

10.3.1. Khái niệm chung về cơ cấu điện từ chấp hành

Cơ cấu điện từ chấp hành là thiết bị điện làm việc trên nguyên lý điện từ, dùng để thực hiện một công đoạn xác định trong quá trình công nghệ. Nam châm điện là bộ phận chủ yếu, sinh ra lực điện từ cần thiết để cơ cấu điện từ chấp hành làm việc. Ở loại cơ cấu này, nam châm điện một chiều được dùng phổ biến hơn vì các lý do sau:

- Khi làm việc, nó không gây ra rung, ồn vì lực điện từ của nam châm điện một chiều không biến đổi theo thời gian như lực điện từ của nam châm điện xoay chiều.

- Mạch từ không bị phát nóng vì không có tổn hao sắt từ, do đó nó được chế tạo dạng khối, dễ dàng cho việc tạo hình dạng kết cấu thích hợp để có đặc tính cần thiết.

- Dòng điện trong cuộn dây của nam châm điện không phụ thuộc vào độ lớn của khe hở không dẫn từ, do đó cuộn dây ít bị cháy.

Bên cạnh những ưu điểm trên, nam châm điện một chiều còn có những nhược điểm sau:

- Khi khe hở của mạch từ lớn, lực hút điện từ rất bé, hay đặc tính lực hút của nam châm điện một chiều dốc hợp của nam châm điện xoay chiều.

- Vì cuộn dây một chiều có số vòng rất lớn nên khi đóng cắt, năng lượng từ dự trữ trong cuộn dây lớn, dễ gây ra quá điện áp khi cắt và hồ quang khó dập tắt hơn.

Có rất nhiều dạng cơ cấu điện từ chấp hành với các chức năng khác nhau, sau đây sẽ đề cập đến một số loại cơ cấu điện từ chấp hành thông dụng.

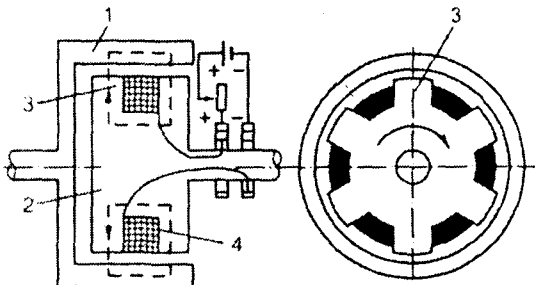
10.3.2. Khớp ly hợp điện từ

Khớp ly hợp điện từ là cơ cấu điện từ chấp hành, dùng để truyền mômen từ trực dẫn sang trục bị dẫn và để điều khiển tốc độ quay của trục bị dẫn bằng các quá trình điện từ.

Dựa vào nguyên lý làm việc, khớp ly hợp điện từ được chia thành ba loại: cảm ứng, bám và ma sát.

Trên hình 10-17 cho nguyên lý cấu tạo của loại khớp ly hợp cảm ứng. Trên trục dẫn được cố định phần ứng của mạch từ 1, còn trên trục bị dẫn (phía cơ cấu công tác) được cố định phần cảm 2 gồm mạch từ 3 và cuộn dây kích thích 4. Điện được đưa vào cuộn dây kích thích qua hệ thống chổi than vành trượt.

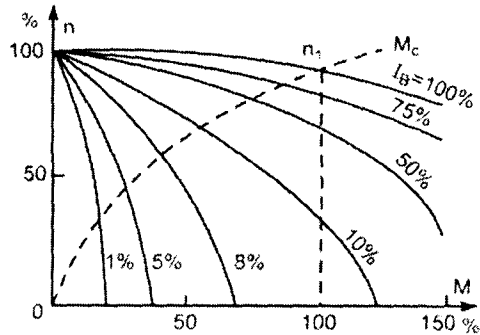
Khi dòng điện đi vào cuộn dây kích thích, nó sẽ sinh ra từ thông khép kín qua mạch từ, khe hở giữa phần cảm và phần ứng. Nếu trục dẫn quay, từ trường của phần cảm cắt phần ứng, nên trong phần ứng sẽ sinh ra dòng điện xoáy. Sự tác động tương hỗ giữa từ trường và dòng điện xoáy sẽ sinh ra



Hình 10-17. Khớp ly hợp kiểu cảm ứng.

lực, truyền mômen từ trục dẫn tới trục bị dẫn. Mômen truyền từ trục dẫn qua trục bị dẫn sẽ lớn nếu dòng kích thích tăng. Vật liệu từ phải có độ thấm cao, điện trở xoáy bé.

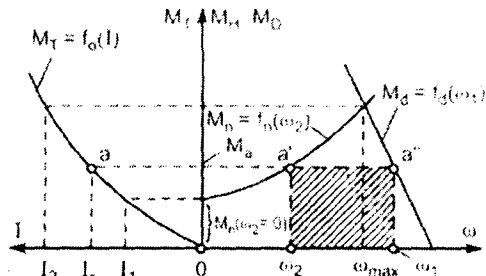
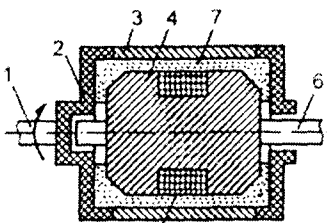
Đặc tính cơ của khớp ly hợp điện từ kiểu cảm ứng được cho trên hình 10-18. Họ đặc tính cơ (đường nét liền) với các trị số dòng kích thích khác nhau được tính theo % dòng điện định mức, còn đường đặc tính tải (đường nét đứt) theo tốc độ quay được tính theo tỷ lệ phần trăm.



Hình 10-18. Đặc tính cơ của khớp ly hợp điện từ kiểu cảm ứng.

Nếu tải của khớp tăng, tốc độ quay của trục dẫn chậm lại, làm tăng hệ số trượt giữa từ trường và dòng điện, dẫn đến dòng điện trong phần ứng tăng để cân bằng mômen. Đặc tính cơ của loại khớp này phụ thuộc nhiều vào đặc tính của tải. Để ổn định tốc độ quay của trục bị dẫn, cần sử dụng các mạch phản hồi tốc độ.

Nguyên lý cấu tạo và đặc tính điều chỉnh của khớp ly hợp điện từ kiểu bám được cho ở hình 10-19.



Hình 10-19. Khớp ly hợp điện từ kiểu bám
a) cấu tạo; b) Đặc tính cơ.

Trục dẫn 1 được nối với mặt xích 2 bằng vật liệu phi từ tính, trên đó có gắn tang trống 3 bằng vật liệu sắt từ. Nam châm điện 4 với cuộn dây 5 được cố định trên trục bị dẫn 6. Không gian giữa nam châm điện và tang trống

được điền đầy bột sắt từ với các hạt kích thước bé, cỡ micromét. Để giảm ma sát, bột sắt từ còn được trộn lẫn với bột than chì hoặc dầu nhờn.

Khi không có dòng kích thích, trục dẫn quay tự do so với trục bị dẫn vì chưa có "lực nổi trục" (lực ma sát trong bột sắt không đáng kể). Khi có dòng điện vào cuộn dây kích thích, từ trường do nó sinh ra sẽ làm bột sắt từ bám chặt với nhau, nổi trục dẫn với trục bị dẫn, truyền mômen từ trục dẫn sang trục bị dẫn. Lực ma sát sinh ra trên một đơn vị diện tích của bề mặt trong tang trống được tính theo công thức:

$$f_{ms} = k_{ms} f_{dt} = K_{ms} \frac{B^2}{2\mu_0\mu_c} \quad (10-3)$$

trong đó: K_{ms} - hệ số ma sát quy đổi;

f_{dt} - lực điện từ vuông góc với bề mặt tang trống trên một đơn vị diện tích;

B - từ cảm của khe hở;

μ_0 - từ thẩm của chân không;

μ_c - độ từ thẩm tương đối của bột sắt từ.

Mômen truyền từ trục dẫn sang trục bị dẫn là:

$$M = f_{ms} \cdot 2\pi R^2 L = \frac{K_{ms}}{\mu_0\mu_c} \pi R^2 L B^2 \quad (10-4)$$

trong đó: R - bán kính của tang trống;

L - chiều dài của tang trống.

Nhờ có bột sắt từ nên từ dẫn của mạch từ lớn, do đó chỉ cần dòng điện kích từ không lớn, vẫn có thể truyền được mômen lớn.

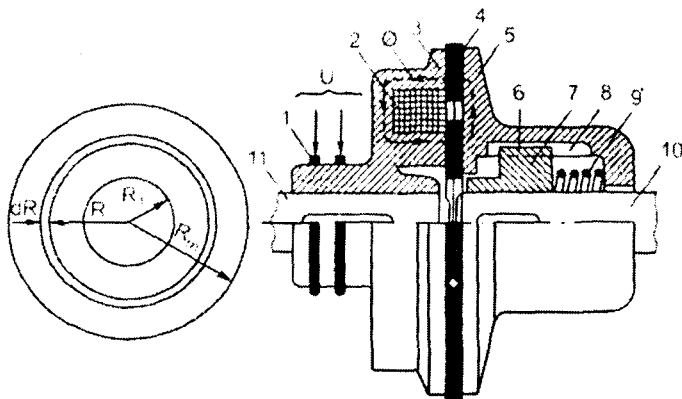
Quan hệ giữa mômen và tốc độ quay, mômen và dòng điện kích thích được cho ở hình 10-19b, trong đó M_T là mômen truyền, M_d là đặc tính động cơ sơ cấp, M_n là mômen tải.

Khớp ly hợp điện từ kiểu ma sát có cấu tạo như ở hình 10-20.

Khác với khớp ly hợp điện từ kiểu cảm ứng và kiểu bám, khớp ly hợp điện từ kiểu ma sát không điều chỉnh được tốc độ quay của trục bị dẫn, mà chỉ thực hiện được thao tác "ly" và "hợp". Điện một chiều qua chổi than vành trượt 1 được cấp cho cuộn dây 2 của nam châm điện với mạch từ 3 được cố định trên trục dẫn 11 bằng then. Phần động 5 của khớp cũng là phần ứng

của nam châm điện, có thể chuyển động dọc trục bị dẫn 10 qua rãnh 8 và then hoa 6 của ống dẫn hướng 7, cố định trên trục bị dẫn 10 bằng then.

Khi không có dòng điện vào cuộn dây, lò xo 9 đẩy phần động 5 về phía phải, tách hai mặt ma sát 4 rời nhau, khớp ở trạng thái "ly". Khi đưa điện vào cuộn dây từ thông sinh ra trong mạch từ khép kín qua mặt ma sát làm "hợp" khớp, mômen được truyền từ trục dẫn sang trục bị dẫn qua lực điện từ nén lên bề mặt ma sát.



Hình 10-20. Khớp ly hợp điện từ kiểu ma sát.

Mômen truyền qua đĩa ma sát được tính theo công thức:

$$M_{ms} = \int_{R_t}^{R_n} dM_{ms} = 2K_{ms}\pi p_0 \frac{R_n^3 - R_t^3}{3} = \frac{2}{3} \pi K_{ms} R_n (1 - \beta^3) \quad (10-5)$$

trong đó: K_{ms} - hệ số ma sát;

R_n, R_t - bán kính ngoài và bán kính trong của mặt ma sát;

$\beta = \frac{R_n}{R_t}$ - hệ số hình dáng của mặt ma sát;

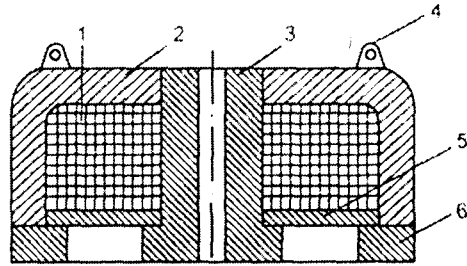
p_0 - áp suất trên bề mặt ma sát:

$$p_0 = \frac{F}{S} = \frac{4,06 \cdot B_\delta^2 \cdot S}{S} = 4,06 B_\delta^2$$

Mômen của loại khớp điện từ ma sát tương đối lớn vì hai mặt ma sát thường làm bằng thép hợp kim dẫn từ có hệ số ma sát lớn và chịu mài mòn.

10.3.3. Cần trục điện từ

Trong cần trục điện từ, nam châm điện là bộ phận chính của thiết bị bốc dỡ hàng hóa bằng vật liệu sắt từ. Nguyên lý cấu tạo của nó được trình bày ở hình 10-21. Nó là một nam châm điện một chiều chỉ có cuộn dây và mạch từ tĩnh, còn hàng hóa cần bốc dỡ chính là phần mạch từ động. Khi đưa dòng điện vào cuộn dây, lực điện từ sẽ hút giữ chặt hàng hóa bằng vật liệu sắt từ. Sau khi chuyển dời đến chỗ cần thiết, chỉ cần cắt điện của cuộn dây là dỡ xong.



Hình 10-21. Cần trục điện từ

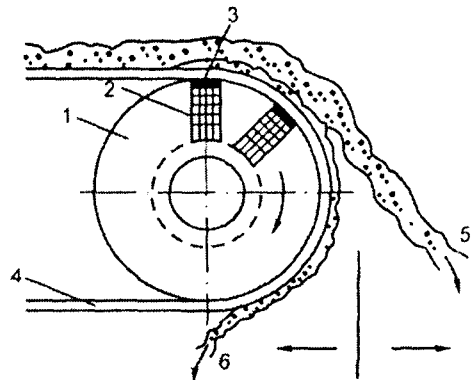
- 1- Cuộn dây; 2- Gông từ; 3- Cực từ giữa; 4- Móc treo;
5- Tấm đệm phi từ tính; 6- Cực từ xung quanh.

Những đặc điểm chính của cần trục điện từ là:

- Khi móc hàng hóa không cần dây buộc.
- Bốc và dỡ hàng đều được điều khiển từ xa bằng đồng và cắt điện của cuộn dây nam châm điện.
- Có thể bốc dỡ và vận chuyển các tấm sắt từ cả ở trạng thái nóng như ở các nhà máy cán thép, luyện kim đen, nhưng nhiệt độ của các tấm thép phải thấp hơn điểm Quyri, vì từ điểm này trở lên, sắt từ bị mất từ tính.
- Tải trọng có ích của cần trục điện từ phụ thuộc vào kích thước, hình dạng bề mặt và tính dẫn từ của hàng hóa.
- Để khắc phục sự cố khi bị mất điện lưới, phải có nguồn dự phòng song song với nguồn chính.

10.3.4. Thiết bị phân ly điện từ

Thiết bị này được dùng để tách (phân ly) bụi sắt, sắt thép vụn... từ băng tải ra khỏi sản phẩm. Nguyên lý cấu tạo của phân ly điện từ dùng cho băng tải được trình bày trên hình 10-22. Trong mạch từ hình



Hình 10-22. Phân ly điện từ.

tang trống 1 có các rãnh, trong đó có các cuộn dây 2 được cố định bằng nêm phi từ tính 3. Sản phẩm được vận chuyển trên băng tải 4. Sau khi đi qua thiết bị phân ly, các sản phẩm không từ tính rơi ở bên phải, còn phần sắt thép vụn và các vật liệu từ rơi sang bên trái.

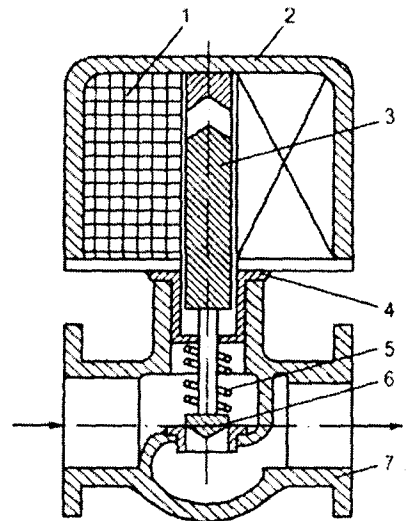
Trên nguyên lý này, người ta chế tạo ra thiết bị lọc từ dùng để tách các phần tử oxit sắt ra khỏi dung dịch cao lanh trong kỹ thuật gốm sứ.

10.3.5. Van điện từ

Van điện từ là cơ cấu dùng để đóng mở từ xa các đường ống dẫn chất lỏng hoặc chất khí. Van điện từ được dùng rộng rãi trong kỹ thuật điều khiển thủy khí.

Trên hình 10-23 cho cấu tạo của một van điện từ thông dụng.

Cuộn dây 1 được bọc bởi mạch từ 2, có phần ứng 3 gắn chặt với mũ 6 để đóng, mở cửa van của ống dẫn 7. Toàn bộ nam châm điện được cách ly với môi chất trong đường ống qua gioăng 4. Lò xo 5 tạo nên lực nén cần thiết để đóng van. Muốn mở van, chỉ việc đưa điện vào cuộn dây, lực điện từ sẽ thắng lực đẩy của lò xo, kéo mũ khỏi cửa van.



Hình 10-23. Van điện từ.

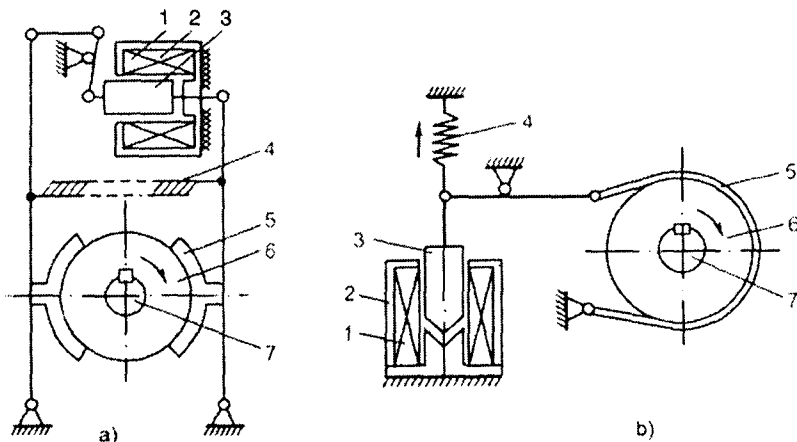
Để có lực điện từ lớn khi khe hở làm việc lớn, nam châm điện thường được chế tạo kiểu hút ống dây, nên loại van điện từ kiểu này còn được gọi là Solenoid.

Mật độ dòng điện trong cuộn dây phải chọn thích hợp vì điều kiện tỏa nhiệt của nó khá khó khăn. Các van điện từ thường làm việc trong môi trường khắc nghiệt nên phải chọn cấp bảo vệ cao. Nguồn điện cho van điện từ là nguồn một chiều.

10.3.6. Phanh hãm điện từ

Phanh hãm điện từ là cơ cấu điện chấp hành, dùng để hãm các thiết bị, bắt chúng không được chuyển động. Nó là bộ phận không thể thiếu được trong thang máy, cần cẩu. Ngoài ra, còn có loại phanh điện từ dùng để đo mômen của động cơ điện.

Loại phanh hãm thông dụng nhất là phanh guốc và phanh đai vì chúng có mômen hãm lớn, kích thước nhỏ, gọn. Trên hình 10-24 trình bày nguyên lý cấu tạo của phanh điện từ. Lò xo dùng để hãm, còn nam châm điện dùng để nhả phanh.



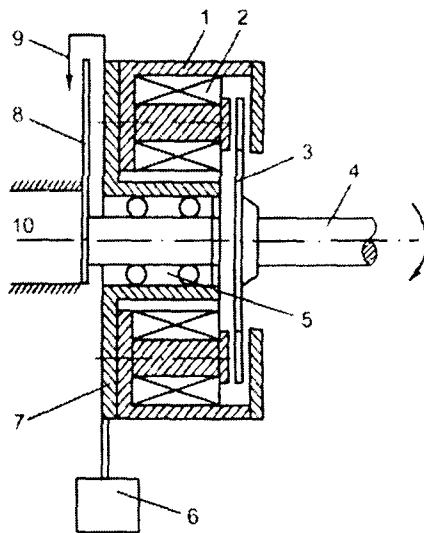
Hình 10-24. Phanh điện từ

a) Kiểu guốc; b) Kiểu đai

- 1- Cuộn dây nam châm điện; 2- Mạch từ tĩnh; 3- Mạch từ động;
4- Lò xo hãm; 5- Má phanh; 6- Đĩa phanh; 7- Trục quay.

Phanh điện từ để đo mômen của động cơ điện phải đo được mômen của động cơ khi trục của nó vẫn quay bình thường. Yêu cầu đối với loại này là có độ chính xác cao. Nguyên lý làm việc của loại này giống như khớp ly hợp điện từ kiểu cảm ứng, được cho ở hình 10-25.

Trong các cơ cấu điện từ chấp hành, nam châm điện một chiều được dùng thông dụng hơn vì dễ chế tạo, lực hút lớn, không rung, ồn khi làm việc.



Hình 10-25. Phanh điện từ đo mômen

- 1- Mạch từ; 2- Cuộn dây; 3- Mạch từ động dạng đĩa;
4- Trục động cơ; 5- Ổ bi; 6- Quả cân; 7- Đế mạch từ;
8- Bảng hiển thị; 9- Kim chỉ; 10- Trục cố định.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 10

1. Sự giống nhau và khác nhau của thiết bị cấp nguồn liên tục và thiết bị tự động chuyển nguồn. Nêu các đặc điểm của chúng.
2. Các loại ổn áp điện xoay chiều và các đặc điểm.
3. Các loại khớp ly hợp điện từ, đặc điểm.
4. Phanh hãm điện từ có những loại nào, dùng ở đâu?

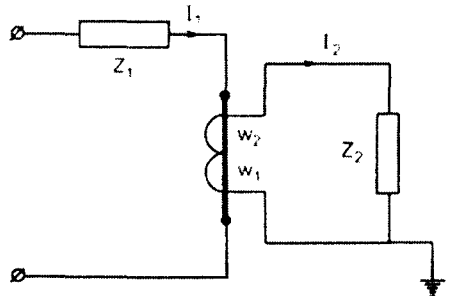
MÁY BIẾN DÒNG ĐIỆN VÀ MÁY BIẾN ĐIỆN ÁP

11.1. MÁY BIẾN DÒNG ĐIỆN

11.1.1. Khái niệm chung về máy biến dòng điện

Máy biến dòng điện (viết tắt là BD, BI, CT, TI) còn gọi là biến dòng, là thiết bị điện biến đổi dòng điện sơ cấp có trị số lớn, điện áp cao xuống dòng điện thứ cấp có trị số tiêu chuẩn (thường là 5A và 1A), điện áp an toàn để cấp cho các mạch đo lường, điều khiển và bảo vệ.

Ở mạch điện xoay chiều, nguyên lý làm việc của biến dòng điện tương tự như máy biến áp. Sơ đồ đấu dây của biến dòng được cho ở hình 11-1. Mạch điện sơ cấp (mạch động lực) có tải Z_1 , dòng điện I_1 và biến dòng có cuộn dây sơ cấp w_1 . Mạch thứ cấp có số vòng w_2 , tải Z_2 và dòng điện I_2 . Tải ở mạch thứ cấp Z_2 không ảnh hưởng đến dòng điện phía sơ cấp.



Hình 11-1. Sơ đồ máy biến dòng.

Thứ tự "đầu" và "cuối" của các cuộn dây máy biến dòng thường được phân biệt, đầu của cuộn dây đánh dấu "sao" (*), vì một số thiết bị đo lường và điều khiển làm việc theo góc pha của dòng điện nên yêu cầu phải đấu đúng cực tính.

Các thông số cơ bản của biến dòng gồm:

- Điện áp định mức U_{dm} là trị số điện áp dây của lưới điện mà biến dòng làm việc. Điện áp này quyết định cách điện giữa sơ cấp và thứ cấp của máy biến dòng.

- Dòng điện định mức phía sơ cấp và phía thứ cấp là dòng điện làm việc dài hạn theo phát nóng, có độ dự trữ.

- Hệ số biến đổi là tỷ số giữa trị hiệu dụng của dòng điện sơ cấp và dòng điện thứ cấp:

$$K_{dm} = \frac{I_{1dm}}{I_{2dm}} \quad (11-1)$$

- Công suất định mức của máy biến dòng được tính theo công thức:

$$S_{dm} = I_{2dm}^2 \cdot Z_{2dm} \quad (11-2)$$

trong đó: I_{2dm} , Z_{2dm} - trị số dòng điện và tổng trở định mức của máy biến dòng.

Vì tải của máy biến dòng có trị số rất bé (là đồng hồ ampe, cuộn dòng điện của công tơ...) nên công suất của máy biến dòng cỡ từ 10 đến 60VA với tổng trở Z_2 từ 0,4 đến $2,4\Omega$, tùy từng loại kết cấu khác nhau.

- Sai số của biến dòng gồm sai số dòng điện, sai số góc và sai số toàn phần.

Sai số dòng điện được tính theo biểu thức:

$$\Delta I\% = \frac{K_{dm} \cdot I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100 = \frac{I_2 - I'_1}{I'_1} \cdot 100 \quad (11-3)$$

trong đó: $I'_1 = \frac{I_1}{K_{dm}}$ - dòng điện sơ cấp quy đổi về thứ cấp.

Sai số góc δ là góc lệch pha giữa vectơ dòng điện I_1 và $-I_2$. Trong trường hợp lý tưởng, góc giữa I_1 và I_2 là 180° , nghĩa là sai số $\delta = 0$. Trong thực tế, vì trong dòng điện I_1 có thành phần dòng điện từ hóa I_0 nên gây ra sai số này và δ thường tính bằng phút.

Sai số toàn phần của biến dòng được tính theo biểu thức sau:

$$\varepsilon\% = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_{dm} i_2 - i_1)^2 dt} \quad (11-4)$$

trong đó: i_1 , i_2 - trị tức thời của dòng điện sơ cấp và thứ cấp;

I_1 - trị hiệu dụng của dòng điện sơ cấp;

K_{dm} - hệ số biến đổi định mức;

T - chu kỳ của dòng điện ($T = 0,02s$ với $f = 50Hz$).

Phụ thuộc vào sai số, biến dòng có những cấp chính xác sau: 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Cấp chính xác của biến dòng chính là sai số dòng điện tính theo phần trăm với tải Z_2 ở trị số định mức.

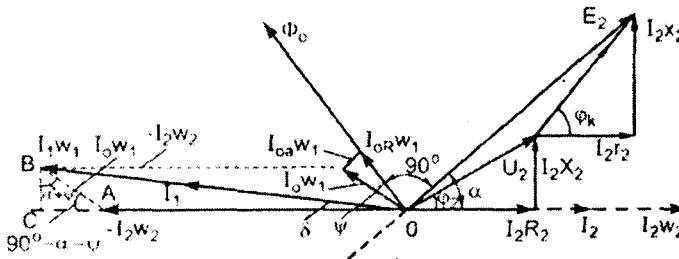
- Tải định mức của máy biến dòng là tổng trở tính bằng ôm với $\cos\varphi = 0,8$ mà biến dòng làm việc với cấp chính xác tương đương.

- Độ bền nhiệt 1 giây và độ bền điện động của máy biến dòng.

Biến dòng thường được chế tạo loại một pha, tải thứ cấp thay đổi từ 0,25 đến 1,2 tải định mức. Cấp chính xác 0,2 dùng cho đồng hồ mẫu, cấp 0,5 dùng cho đo đếm điện năng, cấp 1 dùng cho đồng hồ ampe, oát mét, cấp 3 dùng cho điều khiển, cấp 10 dùng cho các bộ truyền động máy cắt. Riêng với bảo vệ role, tùy theo từng yêu cầu cụ thể mà chọn cấp chính xác cho thích hợp.

11.1.2. Các quan hệ về sai số của máy biến dòng

Đồ thị vectơ của biến dòng được cho ở hình 11-2. Trên đồ thị vectơ này, dòng điện I_2 trùng pha với sức từ động $I_2 w_2$, còn dòng điện I_1 và sức từ động $I_1 w_1$, trùng pha nhau. Sức điện động E_2 gồm sụt áp trên tải U_2 (do điện trở R_2 và điện kháng X_2 tạo nên) và sụt áp trong cuộn dây thứ cấp w_2 (do điện trở r_2 và điện kháng x_2 của w_2 tạo nên). Từ thông Φ_0 sinh ra E_2 nên tạo với E_2 một góc 90° . Sức từ động $I_0 w_1$ (sức từ động từ hóa) sinh ra từ thông Φ_0 .



Hình 11-2. Đồ thị vectơ của máy biến dòng.

Theo định luật toàn dòng điện, ta có quan hệ:

$$I_0 w_1 = I_1 w_1 + I_2 w_2 \quad (11-5)$$

Trong trường hợp lý tưởng, dòng điện từ hóa bằng 0 nên (11-5) có dạng:

$$I_1 w_1 = -I_2 w_2 \quad (11-6)$$

Hoặc theo môđun:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} \quad (11-7)$$

Tại trị số dòng điện định mức, ta có:

$$\frac{I_{1dm}}{I_{2dm}} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{w_{2dm}}{w_{1dm}} = K_{dm} \quad (11-8)$$

Trong trường hợp này sai số dòng điện tính theo (11-3) bằng 0.

Trong thực tế, dòng từ hóa $I_0 \neq 0$ và nếu coi $\frac{w_{2dm}}{w_{1dm}} = \frac{w_2}{w_1}$ thì biểu thức

(11-3) có dạng:

$$\Delta I\% = \frac{I_1 w_1 - I_2 w_2}{I_1 w_1} 100\% \quad (11-9)$$

Nếu góc δ bé thì hiệu $(I_1 w_1 - I_2 w_2)$ có thể coi là hình chiếu của vectơ $I_0 w_1$ trên trục hoành (đoạn AC).

Do đó sai số dòng điện sẽ là:

$$\Delta I\% = - \frac{I_0 w_1}{I_1 w_1} \sin(\alpha + \psi) 100\% \quad (11-10)$$

Sai số góc:

$$\delta \approx \sin \delta = \frac{BC}{OC} = \frac{I_0 w_1}{I_1 w_1} \cos(\alpha + \psi) \quad (11-11)$$

Nếu sai số góc tính bằng phút thì (11-11) có dạng:

$$\delta' = \frac{360 \cdot 60}{2\pi} \cdot \frac{I_0 w_1}{I_1 w_1} \cos(\alpha + \psi) = 3440 \frac{I_0 w_1}{I_1 w_1} \cos(\alpha + \psi) \quad (11-12)$$

trong đó: α - góc lệch pha giữa sức điện động E_2 và dòng điện I_2 ;

ψ - góc tổn hao thép của mạch từ, bằng $\arctg \frac{I_{0a}}{I_{0R}}$;

I_{0a} - thành phần tác dụng của dòng từ hóa;

I_{0R} - thành phần phản kháng của dòng từ hóa.

Từ (11-10) và (11-11) ta nhận thấy rằng nếu dòng điện từ hóa I_0 càng bé thì sai số dòng và sai số góc càng nhỏ.

Sức từ động từ hóa liên quan đến cường độ từ trường và chiều dài mạch từ theo định luật toàn dòng điện:

$$I_0 w_1 = Hl \quad (11-13)$$

Do đó muốn giảm sức từ động $I_0 w_1$ thì phải giảm cường độ từ trường H và chiều dài mạch từ l .

Từ thông Φ_0 được xác định bởi sức từ động E_2 :

$$E_2 = 4,44 f \cdot w_2 \cdot \Phi_0 \quad (11-14)$$

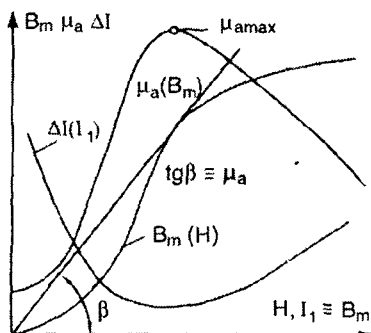
Nếu E_2 lớn thì Φ_0 lớn, dẫn đến cường độ từ trường H tăng, làm tăng sai số của biến dòng. Nếu giảm được E_2 thì sai số giảm. Muốn giảm E_2 , ta tăng dòng điện I , bằng cách giảm tải Z_2 của máy biến dòng. Vì:

$$E_2 = I_2 \cdot \sqrt{(R_2 + r_2)^2 + (X_2 + x_2)^2}$$

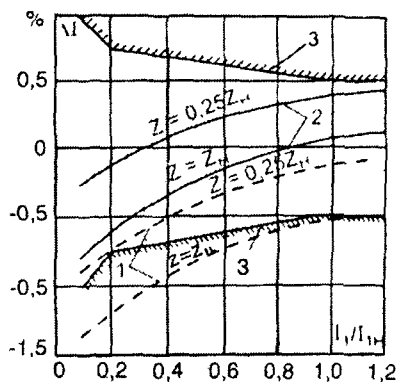
Vậy chế độ làm việc của máy biến dòng có tải Z_2 rất bé nên có thể coi là chế độ ngắn mạch thứ cấp.

Sai số của biến dòng còn phụ thuộc vào dòng điện sơ cấp I_1 . Trong quá trình làm việc, dòng điện sơ cấp biến đổi trong một phạm vi khá rộng: từ dòng không tải (khoảng vài phần trăm dòng định mức) đến dòng ngắn mạch (hàng chục ngàn phần trăm dòng định mức). Nếu mạch từ bị bão hòa khi dòng sơ cấp lớn, sẽ làm dòng từ hóa lớn, sai số biến dòng tăng. Để tránh mạch từ bị bão hòa khi có dòng ngắn mạch, thường chọn từ cảm trong lõi thép của biến dòng có trị số rất thấp ở chế độ dòng điện sơ cấp định mức, ví dụ từ 0,06 đến 0,1 tesla.

Trên hình 11-3 cho quan hệ giữa từ cảm, độ từ thẩm, sai số theo dòng điện sơ cấp, còn trên hình 11-4 cho quan hệ giữa sai số của biến dòng theo dòng điện sơ cấp khi có bù sai số bằng hiệu chỉnh số vòng cuộn thứ cấp.



Hình 11-3



Hình 11-4

Ở hình 11-4, vùng giới giữa hai đường gấp khúc 3 là vùng sai số 0,5, đường cong 1 là sai số khi chưa hiệu chỉnh, còn đường 2 là sai số sau khi đã

hiệu chỉnh cuộn dây thứ cấp. Cần lưu ý rằng cấp chính xác của biến dòng được tính cho tải I_1 từ 100 đến 120% dòng điện định mức.

11.1.3. Các chế độ làm việc của biến dòng

a) Chế độ ngắn mạch sơ cấp

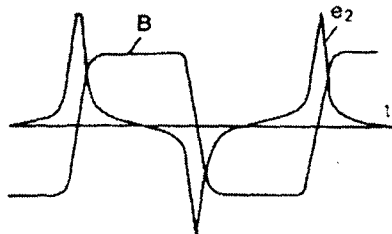
Khi phía sơ cấp bị ngắn mạch (ngắn mạch lưới), dòng điện I_1 có trị số rất lớn, gấp hàng chục lần trị số định mức, do đó máy biến dòng - phần tử chính trong bảo vệ rơle của lưới điện - phải có đủ độ bền điện động và độ bền nhiệt, mặt khác sai số phải nằm trong phạm vi cho phép để bảo vệ rơle làm việc tin cậy, chính xác.

Cần lưu ý rằng, khi ngắn mạch lưới, thành phần không chu kỳ của dòng ngắn mạch có trị số ban đầu khá lớn so với thành phần chu kỳ, cho nên mạch từ bị từ hóa một chiều dẫn đến sai số dòng điện và sai số góc lớn. Để khắc phục tình trạng này, người ta phải sử dụng các loại biến dòng đặc biệt. Thông thường, ở các máy biến dòng có dòng điện sơ cấp bé (dưới 600A), để giảm sai số do $I_1 w_1$ gây ra, người ta thường chế tạo cuộn dây sơ cấp w_1 có nhiều vòng. Nhưng trong trường hợp ngắn mạch, trở kháng của cuộn dây sơ cấp có thể tính tương đương với tổng trở ngắn mạch của lưới, do đó điện áp giáng trên máy biến dòng rất lớn, có thể chọc thủng cách điện.

b) Chế độ không tải của mạch thứ cấp

Ở chế độ làm việc định mức, tải thứ cấp máy biến dòng khoảng từ 0,4 đến 2Ω, dòng điện từ hóa rất bé, biên độ từ cảm trong lõi thép từ 0,06 đến 0,1 tesla được duy trì ở trạng thái ổn định nhờ tác dụng khử từ của $I_2 w_2$. Nếu thứ cấp hở mạch tức dòng điện $I_2 = 0$, vai trò khử từ không còn, nên toàn bộ sức từ động $I_1 w_1$ làm mạch từ bão hòa, do đó sóng của từ cảm B có dạng xung chữ nhật (hình 11-5), trên cuộn dây w_2 được cảm ứng sđđ e_2 rất lớn (vì dB/dt rất lớn) đến hàng chục kilovon, nguy hiểm cho người và thiết bị thứ cấp.

Vì vậy máy biến dòng không bao giờ được hở mạch thứ cấp trong khi làm việc, do đó mạch thứ cấp của nó không cần cầu chì hoặc các thiết bị đóng cắt.



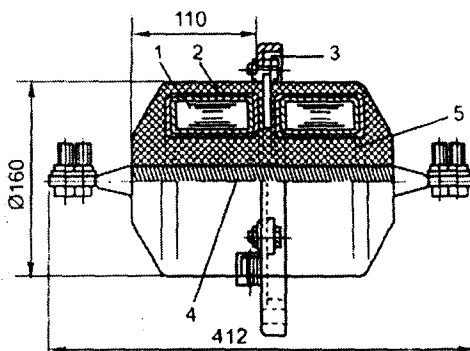
Hình 11-5. Máy biến dòng hở mạch thứ cấp.

10.1.4. Kết cấu máy biến dòng kiểu điện từ

Tùy theo môi trường cách điện, ta có biến dòng khô (cách điện bằng nhựa epôxy và biến dòng dầu (cách điện bằng dầu biến áp). Tùy theo kết cấu và số vòng của cuộn dây sơ cấp, ta có loại một vòng dây sơ cấp ($w_1 = 1$) và nhiều vòng dây sơ cấp. Khi điện áp cao, biến dòng có nhiều tầng, mỗi tầng chịu một trị số điện áp.

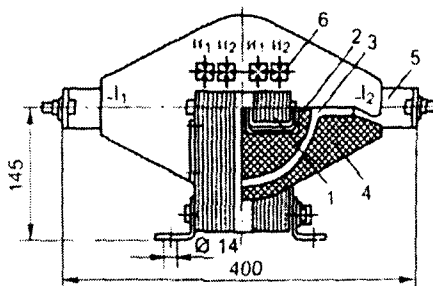
Trên hình 11-6 trình bày kết cấu của biến dòng loại một vòng dây sơ cấp, cách điện rắn, điện áp 10kV. Đây là biến dòng kép, có hai mạch từ, hai cuộn dây thứ cấp, chung một cuộn dây sơ cấp, cách điện rắn bằng epôxy.

Mạch từ 1 được quấn bằng tôn silic, dạng hình xuyên, đảm bảo dẫn từ tốt. Cuộn dây thứ cấp 2 được quấn rải đều trên mạch từ thanh dẫn 4 bằng đồng, chung cho cả hai mạch từ. Cách điện epôxy 5 đảm bảo cách điện giữa thanh cái (cuộn sơ cấp) có điện áp cao với cuộn dây thứ cấp (điện áp thấp, an toàn) và cố định khung lắp ráp 3. Loại kết cấu này dùng cho dòng điện từ 400A trở lên, có cấu tạo đơn giản, chắc chắn nhưng sai số lớn khi I_1 bé.



Hình 11-6. Biến dòng khô 10kV, một vòng dây sơ cấp.

Trên hình 11-7 cho kết cấu của biến dòng khô 10kV, có nhiều vòng dây sơ cấp. Mạch từ 1 chữ O, cuộn dây 2 cách điện với cuộn dây sơ cấp 3 bằng nhựa epôxy 4. Dòng điện sơ cấp được đưa vào các đầu nối L_1 và L_2 , còn dòng điện thứ cấp (hai cuộn thứ cấp) lấy ra ở U_1 và U_2 . Loại biến dòng có nhiều vòng dây sơ cấp dùng cho dòng điện dưới 400A, có sai số bé khi dòng điện sơ cấp bé. Cần lưu ý rằng, ở loại biến dòng có nhiều vòng dây sơ cấp, lực điện động giữa chúng sẽ lớn khi bị ngắn mạch.

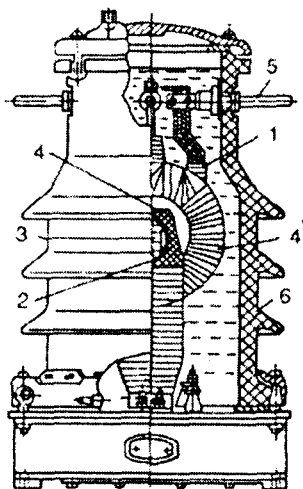


Hình 11-7. Biến dòng khô 10kV, nhiều vòng dây sơ cấp.

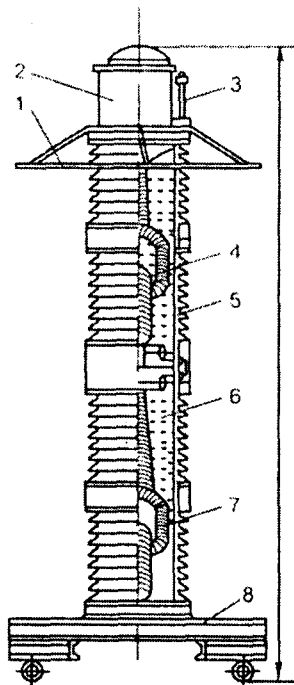
Loại biến dòng cách điện khô thường dùng cho cấp điện áp trung áp (dưới 36kV). Ưu điểm của loại này là kích thước, khối lượng bé, ít phải bảo trì.

Với điện áp cao (từ 36kV trở lên) và lắp đặt ở các trạm ngoài trời, người ta chế tạo biến dòng dầu. Trên hình 11-8 cho kết cấu của một biến dòng kiểu TΦH-35 (Liên Xô cũ) có $U_{dm} = 35kV$.

Loại biến dòng một cấp được chế tạo đến điện áp 220kV. Với điện áp cao hơn, biến dòng được chế tạo kiểu nối tầng, mỗi tầng chịu một phần điện áp. Trên hình 11-9 cho kết cấu và chiều cao của một biến dòng 2 tầng, điện áp 400kV. Nhược điểm của biến dòng hai tầng là điện trở thứ cấp lớn nên sai số tăng.



Hình 11-8. Biến dòng một tầng
 1- Cuộn sơ cấp; 2- Cuộn thứ cấp;
 3- Mạch từ; 4- Cách điện giấy;
 5- Đầu nối; 6- Vỏ sứ.



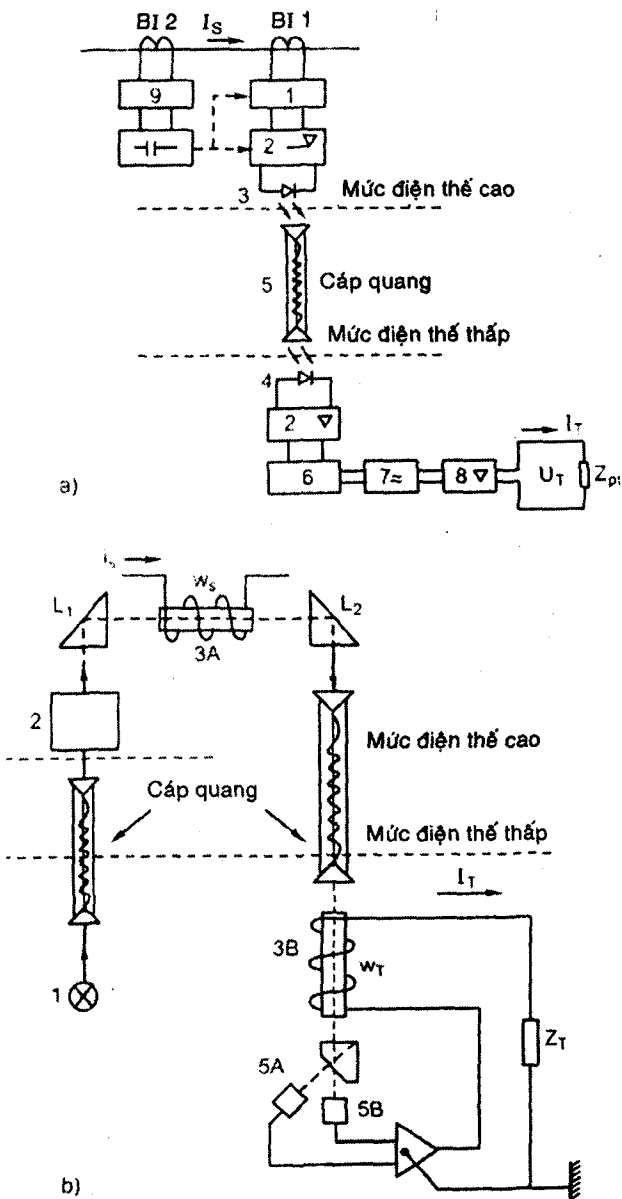
Hình 11-9. Biến dòng nối tầng
 1- Vòng điện dung; 2- Mũ kim loại;
 3- Ống chỉ mức dầu; 4- Biến dòng thứ nhất;
 5- Cách điện ngoài; 6- Dầu;
 7- Biến dòng thứ hai; 8- Đế.

11.1.5. Máy biến dòng điện kiểu mới

Ngoài loại biến dòng kinh điển làm việc theo nguyên lý điện từ với cuộn dây thứ cấp nối trực tiếp với các thiết bị đo lường, bảo vệ, loại biến dòng điện

kiểu mới được nghiên cứu và chế tạo dùng cho lưới điện siêu cao áp, nhằm giảm chi phí cho cuộn dây của các biến dòng kinh điển và tăng độ tin cậy về cuộn dây cho biến dòng. Cho đến nay biến dòng kiểu mới được chế tạo theo hai nguyên lý: nguyên lý chuyển đổi điện quang và nguyên lý biến đổi từ quang, cho ở hình 11-10.

Trên hình 11-10a là nguyên lý loại chuyển đổi điện quang. Dòng điện sơ cấp I_s được biến đổi qua biến dòng kinh điển BI1, đưa qua bộ điều biến 1, chuyển thành đại lượng điện áp tỷ lệ với dạng xung có độ rộng xung thay đổi hoặc tần số xung thay đổi (điều biên hoặc điều tần), tỷ lệ với các trị số tức thời của dòng điện sơ cấp I_s . Qua bộ khuếch đại 2, tín hiệu điều khiển diot phát quang 3 để phát các tín hiệu quang tương đương. Diot phát quang 3, cáp quang 5, diot quang điện 4 hợp thành hệ thống ghép nối quang điện để truyền tín hiệu quang từ các



Hình 11-10. Nguyên lý biến dòng kiểu mới
a) Kiểu điện-quang; b) Kiểu từ-quang.

phần tử ở mức điện áp cao đến các phần tử có điện áp thấp. Bước sóng của tín hiệu quang khoảng 900mm, được truyền qua cáp quang đến diot quang điện 4 để chuyển lại thành tín hiệu điện áp hình sin. Tín hiệu qua bộ biến đổi 6, bộ lọc 7 và bộ khuếch đại 8, đủ công suất cho các thiết bị đo lường và bảo vệ. Biến dòng BI2 cùng thiết bị phụ 9 nạp điện cho bộ ắc quy để nuôi hệ thống biến đổi điện quang.

Trên hình 11-10b trình bày nguyên lý của máy biến dòng chuyển đổi từ quang Faraday. Một chùm tia sáng được phát ra từ nguồn sáng 1 phía điện áp thấp, được cáp quang dẫn đến bộ phận phân cực 2, sau khi được phân cực đi qua lăng kính L_1 để tới tinh thể thạch anh 3A, tại đây dưới tác dụng của từ trường do dòng điện sơ cấp sinh ra chùm ánh sáng sẽ bị phân cực quay với góc quay là:

$$\delta = V.H.L$$

trong đó: V - hằng số Verdet, $V = 5,23.10^{-6}$ rad/A.m với thạch anh;

H - cường độ từ trường trong tinh thể thạch anh A/m;

L - chiều dài thanh tinh thể thạch anh, m.

Sau khi đi qua thanh thạch anh và lăng kính L_2 , chùm sáng lại được đi qua cáp quang đến thanh thạch anh 3B ở phía điện áp thấp. Từ trường trong tinh thể thạch anh 3B được tạo bởi dòng điện thứ cấp I_T . Hướng của từ trường được chọn sao cho bù lại được góc quay phân cực để cho $I_{sws} = I_{wt}$. Kết quả là góc quay δ_1 được bù lại góc quay $\delta_2 = -\delta_1$ trong thạch anh 3B. Mức ánh sáng nhận được của các bộ cảm biến quang 5A và 5B giống nhau nên hiệu tín hiệu của bộ khuếch đại vi sai bằng không. Khi mặt phẳng phân cực bị quay, mức ánh sáng nhận được của các bộ cảm biến 5A và 5B sẽ khác nhau làm xuất hiện tín hiệu đầu vào của bộ khuếch đại vi sai và sinh ra dòng điện I_T đầu ra, phản ánh đúng dòng sơ cấp I_s .

Ưu điểm của loại biến dòng kiểu từ-quang là không cần nguồn cung cấp phía điện áp cao, Nhược điểm của loại này là nhạy cảm với các chấn động cơ và đòi hỏi công nghệ chế tạo, lắp đặt với độ chính xác cao.

11.2. MÁY BIẾN ĐIỆN ÁP

11.2.1. Khái niệm chung về máy biến điện áp

Máy biến điện áp (BU, TU, PT, VT) là thiết bị điện dùng để biến điện áp cao xuống điện áp thấp tiêu chuẩn, an toàn để dùng cho đo lường điện,

điều khiển và bảo vệ. Trị số điện áp thứ cấp tiêu chuẩn thường là 100V hoặc $\frac{100}{\sqrt{3}}$ V. Về nguyên lý làm việc và các quan hệ cơ bản, BU hoàn toàn giống

máy biến áp điện lực, chỉ khác ở cấp chính xác. Trên hình 11-11 trình bày sơ đồ nguyên lý của BU một pha. Cuộn dây sơ cấp 1 nối với phía điện áp cao của lưới điện qua cầu chì bảo vệ quá dòng điện 3.

Cuộn dây thứ cấp 2 cấp nguồn cho các thiết bị đo lường, bảo vệ qua cầu chì hạ áp 4. Để an toàn cho người và thiết bị, một đầu cuộn hạ áp 2 và lõi thép 5 được nối đất.

Thứ tự đầu và cuối các cuộn dây được đánh dấu rõ ràng vì ở một số sơ đồ bảo vệ, điều khiển cần chiều dòng điện và góc pha.

Các thông số cơ bản của BU gồm:

- Điện áp định mức của cuộn dây sơ cấp U_{1dm} .
- Hệ số biến áp định mức là tỷ số giữa điện áp sơ cấp và điện áp thứ cấp định mức:

$$K_{Uddm} = \frac{U_{1dm}}{U_{2dm}} \quad (11-15)$$

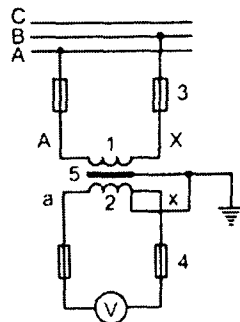
- Sai số điện áp tương đối tính theo phần trăm:

$$\Delta U\% = \frac{K_{U_{1dm}} U_2 - U_1}{U_1} 100\% \quad (11-16)$$

Nếu $\frac{U_1}{U_2} = K_{Uddm}$ thì sai số điện áp bằng 0.

- Sai số góc của BU là góc giữa U_1 và $(-U_2)$ (điện áp thứ cấp quay ngược 180°). Nếu $-U_2$ vượt trước U_1 thì sai số góc dương.

- Cấp chính xác của BU chính là sai số điện áp ở chế độ định mức, BU có các cấp chính xác sau: 0,2; 0,5; 1; 3; 6. Cấp 0,2 dùng cho thiết bị mẫu, cấp 0,5 cho đo đếm điện năng, cấp 1 cho đồng hồ hiển thị ở tủ, bảng điện, còn cấp 3 và cấp 6 dùng cho điều khiển và bảo vệ. Cấp chính xác của BU là hằng số trong khoảng điện áp $U = (0,8 \div 1,2)U_{dm}$ và công suất tải từ $(0,25 \div 1,0)S_{dm}$ với $\cos\phi = 0,8$.



Hình 11-11. BU một pha.

- Tải thứ cấp định mức:

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_2}. \text{ Nếu } Z_2 \text{ giảm, } I_2 \text{ tăng,}$$

công suất thứ cấp tăng làm sai số tăng.

- Công suất định mức của

BU là công suất lớn nhất mà sai số của BU vẫn không đổi. Công suất cho phép là công suất mà biến điện áp có thể làm việc dài hạn mà không bị hỏng. Ví dụ:

$$\text{BU với } U_1 = \frac{35}{\sqrt{3}} \text{ kV có } S = 60 \text{ VA}$$

ở cấp chính xác 0,5; $S = 120 \text{ VA}$ ở cấp chính xác 1; $S = 1200 \text{ VA}$ ở công suất giới hạn.

Sơ đồ thay thế và đồ thị vectơ của BU được cho ở hình 11-12. Trên sơ đồ thay thế, các đại lượng đều được quy đổi về phía sơ cấp. Từ thông Φ do sức từ động phía sơ cấp sinh ra trong mạch từ sẽ tạo ra sức điện động thứ cấp E'_2 chậm pha 90° so với Φ . Phương trình sức từ động trong BU có dạng:

$$I_0 w_1 = I_1 w_1 + I_2 w_2 \quad (11-17)$$

$$\text{hoặc: } I_1 = I_0 - I'_2 \quad (11-18)$$

Nhân hai vế của (11-18) với $z_1 = r_1 + jx_1$, ta được:

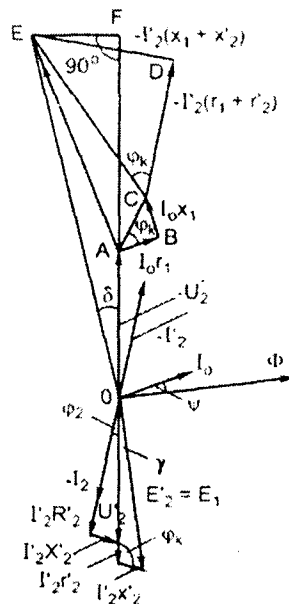
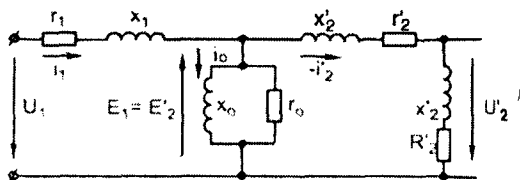
$$I_1(r_1 + jx_1) = I_0(r_1 + jx_1) + (-I'_2)(r_1 + jx_1) \quad (11-19)$$

Theo sơ đồ thay thế hình 11-12 ta có thể viết:

$$U_1 = I_1(r_1 + jx_1) + (-I'_2)(r'_2 + jx'_2) + (-U'_2) \quad (11-20)$$

Thay (11-18) vào (11-20), ta được biểu thức:

$$U_1 = I_0(r_1 + jx_1) + (-I'_2)(r_1 + r_2) + j((x_1 + x'_2) + (-U'_2) \quad (11-21)$$



Hình 11-12. Sơ đồ thay thế và đồ thị vectơ của BU

Trên đồ thị vectơ, tam giác ABC là độ sụt áp khi không tải, còn tam giác CDE là độ sụt áp khi có tải do dòng điện I'_2 gây nên. Nếu BU không sai số thì $\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$, hoặc $U_1 = U'_2$, khi đó hai điểm A và E trùng nhau.

Sai số điện áp $\Delta U\%$ xuất hiện khi có dòng điện không tải chạy qua tổng trở của BU và có thể viết dưới dạng:

$$\Delta U\% = \frac{K_{U_{\text{tdn}}} U_2 - U_1}{U_1} 100\% = -\frac{U_1 - U'_2}{U_1} 100\% \quad (11-22)$$

Nếu sai số góc δ bé, có thể coi $(U_1 - U'_2) = AE \approx AF$, nên sai số điện áp phụ thuộc vào đoạn thẳng AF. Nếu góc γ lệch pha giữa sđđ E'_2 và U'_2 có trị số bé, có thể coi E'_2 và U'_2 trùng pha, do đó sai số điện áp là:

$$\begin{aligned} \Delta U\% &= -\frac{AF}{OE} 100\% \\ &= \frac{I_0(r_1 \sin \psi + x_1 \cos \psi) + I_2[(r_1 + r_2) \cos \psi_2 + (x_1 + x_2) \sin \psi_2]}{U_1} \cdot 100\% \end{aligned} \quad (11-23)$$

trong đó: ψ - góc lệch pha giữa từ thông Φ và dòng từ hóa I_0 ;

φ_2 - góc lệch pha của tải Z_2 .

Từ (11-23) ta nhận thấy rằng, sai số điện áp gồm hai thành phần: thành phần thứ nhất phụ thuộc vào dòng không tải I_0 và tổng trở nội của BU, còn thành phần thứ hai phụ thuộc vào dòng điện tải I'_2 , tổng trở tải, tổng trở nội với hệ số công suất của tải.

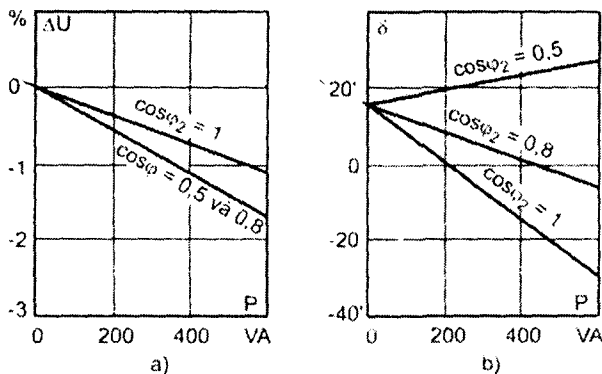
Vậy muốn giảm sai số điện áp của BU, ta phải giảm dòng điện không tải I_0 , giảm nội trở của BU, giảm dòng tải I_2 và tăng hệ số công suất của tải.

Nếu sai số góc bé, ta có thể coi sai số góc tính theo phút là:

$$\begin{aligned} \delta' = \text{tg} \delta &= \frac{EF}{OE} = \\ &= \frac{I_0(r_1 \cos \psi + x_1 \sin \psi) + I_2[(r_1 + r_2) \sin \psi_2 - (x_1 + x_2) \cos \psi_2]}{U_1} \end{aligned} \quad (11-24)$$

Từ (11-24) ta nhận thấy rằng, sai số góc δ gồm hai thành phần, một phụ thuộc vào dòng điện không tải I_0 , còn một phụ thuộc vào dòng điện tải I'_2 .

Trên hình 11-13 cho quan hệ giữa sai số dòng điện ΔU và sai số góc δ' của BU với công suất tải cho các trường hợp hệ số công suất $\cos\varphi_2$ khác nhau.



Hình 11-13. Sai số của BU
a) Sai số điện áp; b) Sai số góc.

Việc hiệu chỉnh sai số điện áp và sai số góc của BU có thể thực hiện được.

Với sai số điện áp, nếu giảm số vòng dây sơ cấp, tức giảm hệ số biến áp, điện áp thứ cấp sẽ tăng lên. Bằng cách này, tăng sai số dương, nó sẽ trung hòa với sai số điện áp âm của BU và không ảnh hưởng tới sai số góc.

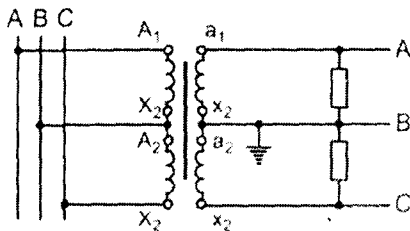
Sai số góc của BU ba pha có thể bù được bằng cách dùng cuộn dây bù riêng cho từng trường hợp tải trở và tải cảm.

11.2.2. Máy biến điện áp kiểu điện từ

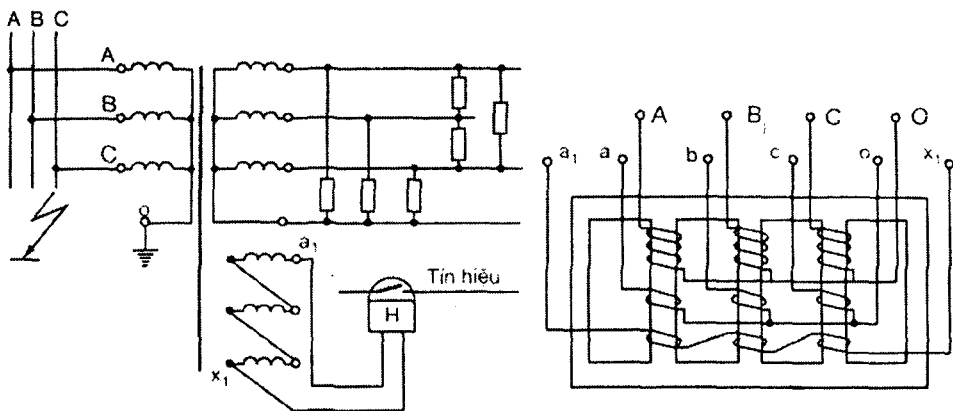
Tùy theo sơ đồ nối dây phía sơ cấp, ta có biến điện áp một pha điện áp pha, một pha điện áp dây, biến áp ba pha "hình V", biến áp ba pha năm trục với hai cuộn dây thứ cấp.

Trên hình 11-14a cho sơ đồ điện của BU ba pha hình V, thường dùng để đo điện năng cho hệ ba pha không trung tính (sơ đồ hai oát mét).

Trên hình 11-14b cho loại biến điện áp ba pha hai dây quấn hạ áp.



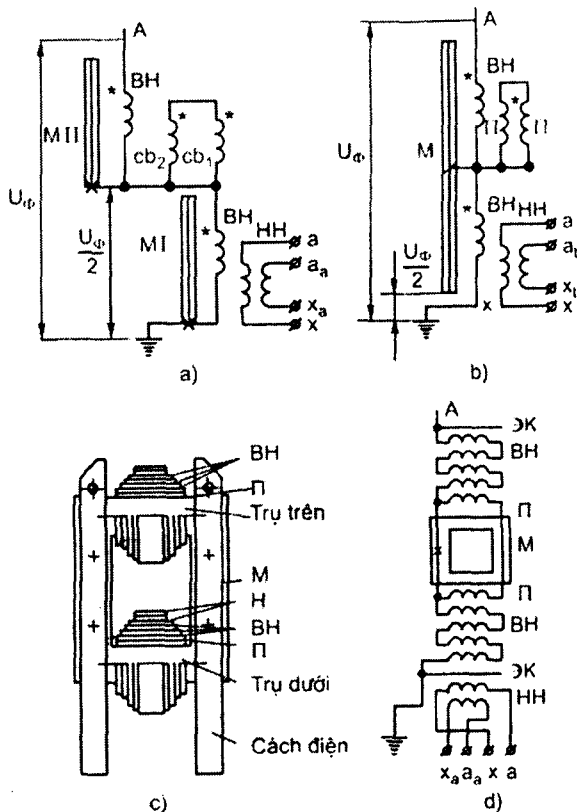
Hình 11-14a. BU ba pha "hình V".



Hình 11-14b. Máy biến điện áp ba pha năm trụ, hai dây quấn hạ áp.

Mạch từ và các cuộn dây cho ở hình 11-14b, trong đó mạch từ có năm trụ, ba trụ có dây quấn ba pha, còn hai trụ ngoài cùng không có dây quấn. Bên thứ cấp có hai cuộn dây, một cuộn đấu "sao", còn một cuộn đấu "tam giác hở". Mạch đấu "sao" dùng cho đo lường, bảo vệ, còn mạch đấu "tam giác hở" dùng cho mạch tín hiệu báo một pha chạm đất.

Ở chế độ ba pha đối xứng, sức điện động trên hai đầu cuộn "tam giác hở" bằng không, rơle điện áp không có tín hiệu. Trong trường hợp một pha chạm đất sẽ xuất hiện tín hiệu ở rơle điện áp.



Hình 11-15. BU hai tầng

a) Sơ đồ loại hai mạch từ; b) Sơ đồ loại một mạch từ cách ly; c) Kết cấu; d) Bố trí các cuộn dây.

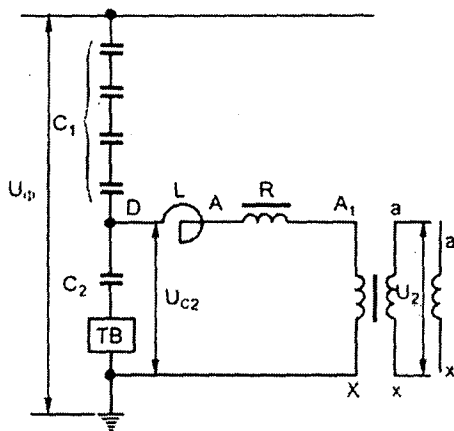
Thông thường các BU đều được ngâm dầu để đảm bảo cách điện. Ở các BU có điện áp cao từ 110kV trở lên, để giảm kích thước cuộn dây, thường được chế tạo kiểu nối tầng để mỗi tầng chịu một phần điện áp. Trên hình 11-15 cho sơ đồ nguyên lý của BU hai tầng. Ở hình 11-15a, biến áp hai tầng có hai biến áp MI và MII, tức là mỗi tầng có mạch từ riêng, cuộn dây cao áp riêng, mỗi cuộn chịu một nửa điện áp pha. Cuộn dây cao áp BH của MII có đầu vào nối với điện áp pha, đầu cuối nối với mạch từ MII và nối với đầu vào của cuộn dây cao áp của MI, còn đầu cuối của cuộn cao áp MI nối đất. Giữa hai mạch từ MI và MII cách điện với nhau. Phía hạ áp HH được quấn trên mạch từ MI, có hai cuộn hạ áp, một cuộn dùng cho đo lường, một cuộn dùng cho bảo vệ. Hai cuộn bù cb_1 và cb_2 dùng để phân bố điện áp đều trên hai cuộn cao áp khi mạch thứ cấp có tải.

Sơ đồ BU trên hình 11-15b có nhiều ưu điểm hơn so với sơ đồ 11-15a. Loại này có một mạch từ, cách ly với đất. Các cuộn dây được quấn trên hai trụ của mạch từ. Việc bố trí các cuộn dây cao áp và hạ áp cho ở hình 11-15c, d. Toàn bộ kết cấu được đỡ bởi các trụ cách điện và được ngâm trong dầu biến áp. Vai trò của hai cuộn bù Π , mỗi cuộn quấn trên một trụ tương tự như ở loại hai mạch từ. Vì loại đường dây từ 110kV trở lên thường bị tác động của quá điện áp khí quyển, để quá điện áp này phân bố đều trên cuộn dây cao áp, người ta sử dụng màn chắn ΞK phía đầu và phía cuối của cuộn dây cao áp.

Vỏ của BU trung áp thường là vỏ kim loại, còn vỏ của loại BU cao áp là sứ cách điện.

11.2.3. Máy biến điện áp kiểu tự phân áp

Ở BU kiểu điện từ, khi điện áp cao, kích thước và khối lượng của nó tăng đáng kể, vì vậy giá thành BU tăng cao. Để khắc phục nhược điểm trên, người ta sử dụng BU kiểu tự phân áp. Trên hình 11-16 trình bày sơ đồ nguyên lý của loại BU này. Bộ phân áp gồm hai cụm tụ C_1 và C_2 nối tiếp nhau, có thiết bị tải ba TB kết hợp dùng cho thông tin trong lưới điện. Để cung cấp đủ công suất



Hình 11-16. BU kiểu tự phân áp.

cho phía thứ cấp, người ta dùng một biến áp có cuộn dây sơ cấp A_1x , nối tiếp qua cuộn kháng R , cộng hưởng với trị số tụ điện $(C_1 + C_2)$ và cuộn lọc cao tần L . Điện áp trên C_2 có trị số khoảng $4000 \div 12000V$. Đầu ra của biến áp có hai cuộn dây, cuộn $(a - x)$ dùng cho mạch đo lường và bảo vệ, còn cuộn $(a' - x')$ dùng để chống cộng hưởng sắt từ và ảnh hưởng của quá trình quá độ.

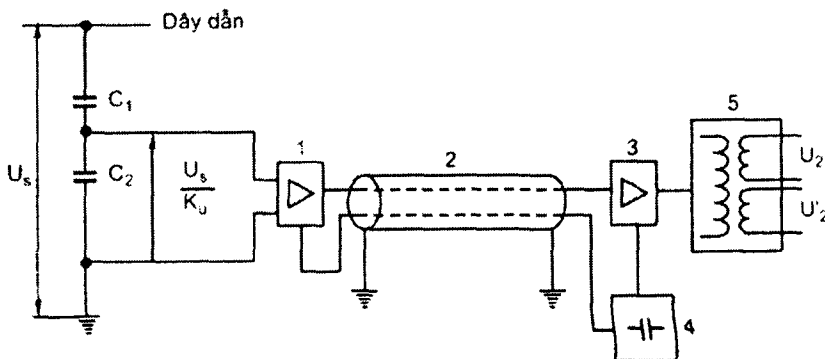
Nhược điểm chính của loại BU phân áp bằng tụ điện là có khả năng sinh ra điện áp cao khi có cộng hưởng sắt từ, dễ gây nguy hiểm cho cách điện.

11.2.4. Máy biến điện áp "kiểu mới"

Khái niệm "kiểu mới" ở đây chỉ các loại BU làm việc trên nguyên lý khác với kiểu kinh điển là điện từ. Ta sẽ xét nguyên lý làm việc của hai loại sau.

a) BU phân áp kiểu tụ điện có khuếch đại

Loại BU kiểu này tránh được hiện tượng cộng hưởng sắt từ vì không sử dụng máy biến áp điện từ như ở hình 11-16 mà dùng bộ khuếch đại. Trên hình 11-17 trình bày sơ đồ nguyên lý của loại BU này.



Hình 11-17. BU kiểu tụ điện có khuếch đại.

Điện áp sơ cấp U_s được bộ tụ phân áp giảm xuống trị số U_{C2} :

$$U_{C2} = U_s \frac{X_{C2}}{X_{C1} + X_{C2}} = \frac{C_2 \cdot U_s}{C_1 + C_2} = K_u \cdot U_s \quad (11-25)$$

Điện áp U_{C2} đặt vào bộ tiền khuếch đại 1. Điện áp ra của tiền khuếch đại 1 được dẫn theo cáp đồng trục 2 đến bộ khuếch đại công suất 3, có nguồn nuôi 4. Đầu ra của bộ khuếch đại 3 được nối với phía sơ cấp của biến áp cách ly 5, còn phía thứ cấp của biến áp cách ly 5 có hai cuộn dây, một cho đo lường, một cho bảo vệ, với tổng công suất cỡ vài chục vôn-ampe.

Ưu điểm của loại BU này là kết cấu đơn giản, làm việc trong quá trình quá độ tương đối tốt. Hạn chế chính của loại này là công suất đầu ra thấp nên chỉ dùng cho rơle số hoặc rơle tĩnh, vì loại này có công suất tiêu thụ bé (rơle điện cơ tiêu thụ cỡ $5 \div 10\text{VA}$, rơle tĩnh cỡ 1VA , còn rơle số cỡ $0,1\text{VA}$).

BU kiểu này đã được chế tạo và sử dụng nhiều năm trong lưới điện cao áp.

b) BU làm việc theo hiệu ứng POCKELS

Khi cho hai sóng ánh sáng đi qua một tinh thể khúc xạ kép được đặt dưới tác dụng của một điện trường E , ta có thể đo được góc lệch pha giữa hai sóng này theo hiệu ứng điện quang tuyến tính POCKELS:

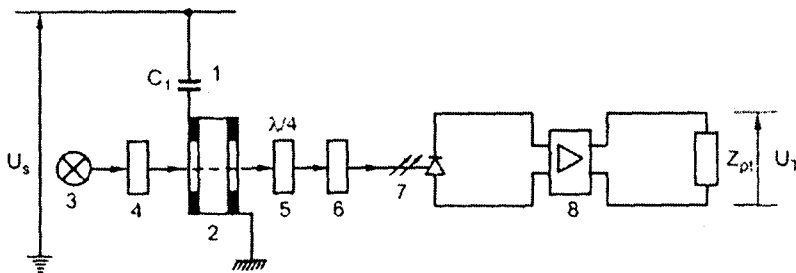
$$\delta = K_{dq} E \cdot L \quad (11-26)$$

trong đó: K_{dq} - hệ số điện quang; $K_{dq} = 8,2 \cdot 10^{-6} \text{ rad/Vm}$ đối với tinh thể thạch anh (quartz);

E - cường độ điện trường đặt lên tinh thể, V;

L - chiều dài đường đi ánh sáng trong tinh thể, m.

Trên hình 11-18 cho nguyên lý của loại BU này.



Hình 11-18. Nguyên lý của BU theo hiệu ứng POCKELS.

Bộ phận phân áp gồm tụ điện C_1 và phần tử POCKELS với điện dung C_2 , được đấu với điện áp cần đo U_s . Điện áp đặt lên phần tử 2 tạo trong tinh thể một điện trường E , tỷ lệ với điện áp cần đo.

Chùm ánh sáng từ nguồn sáng 3 được đưa qua bộ phận phân cực 4 để phân thành hai sóng quang lệch pha nhau một góc $\frac{\pi}{2}$ và chúng được chiếu qua phần tử 2.

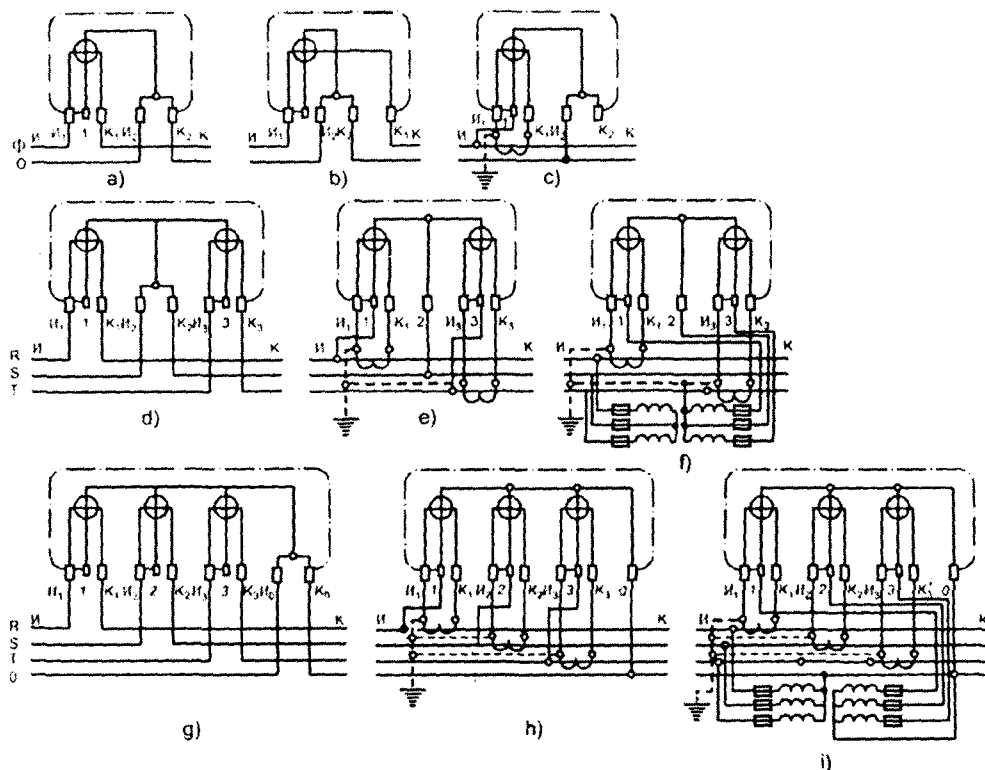
Dưới tác dụng của điện trường E , trong tinh thể của phần tử 2 sóng sẽ có tốc độ lan truyền khác nhau và làm tăng góc lệch pha δ giữa chúng, sau

đó sẽ đi qua bản cực 5 có bề dày bằng $1/4$ bước sóng để tiếp tục làm lệch pha thêm, trước khi đi đến bộ phận phân tích 6. Độ sáng đầu ra ở bộ phận phân tích 6 tỷ lệ với góc lệch pha δ , vì vậy nó tỷ lệ với điện áp được đo. Điốt quang 7 có chức năng biến đổi cường độ ánh sáng nhận được từ bộ phận phân tích 6 thành tín hiệu điện áp, qua bộ khuếch đại 8 để cho điện áp U_T tỷ lệ với điện áp cần đo U_S .

Loại BU kiểu này có cấu trúc khá phức tạp nên phạm vi ứng dụng còn giới hạn.

11.3. CÁC SƠ ĐỒ ĐO ĐẾM ĐIỆN NĂNG DÙNG MÁY BIẾN DÒNG VÀ MÁY BIẾN ĐIỆN ÁP

Các sơ đồ này được dùng cho các mạch điện có dòng điện lớn (BI) và điện áp cao (BU). Trong trường hợp có BI và BU, chỉ số công tơ (điện năng tiêu thụ) sẽ bằng chỉ số hiện trên mặt đồng hồ, nhân với biến dòng K_1 và hệ số biến áp K_U .



Hình 11-19. Các sơ đồ đo đếm điện năng

- a, b) Hệ một pha, trực tiếp; c) Hệ một pha qua BI; d) Hệ 3 pha 3 dây trực tiếp;
e) Hệ 3 pha 3 dây có BI; f) Hệ 3 pha 3 dây có BI và BU; g) Hệ 3 pha 4 dây trực tiếp;
h) Hệ 3 pha 4 dây có BI; i) Hệ 3 pha 4 dây có BI và BU.

Ví dụ: Một công tơ ba pha dùng BI loại 600/5A và BU loại 22/0,1kV chỉ số tiêu thụ điện năng là 250 số điện trên mặt đồng hồ công tơ.

Vậy điện năng tiêu thụ sẽ là: chỉ số công tơ $\times K_1 \times K_U$:

$$250 \cdot \frac{600}{5} \cdot \frac{22}{0,1} = 250 \cdot 120 \cdot 220 = 6600000 \text{ kWh.}$$

Trên hình 11-19 cho các sơ đồ đấu dây của công tơ điện.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 11

1. Nguyên lý làm việc của máy biến dòng điện kiểu điện từ. Sai số của biến dòng phụ thuộc vào những yếu tố gì? Tại sao máy biến dòng không được hở mạch thứ cấp.
2. Nguyên lý làm việc của máy biến điện áp kiểu điện từ. Sai số của máy biến điện áp phụ thuộc vào những yếu tố nào? Tại sao phía đầu vào và đầu ra của máy biến điện áp lại cần có cầu chì bảo vệ, còn ở máy biến dòng điện thì không?
3. Trình bày nguyên lý làm việc của cuộn dây "tam giác hở" trong máy biến dòng ba pha.
4. Một máy biến áp phân phối có các thông số sau: $U_{1dm} = 22\text{kV}$, $U_{2dm} = 0,4\text{kV}$; dung lượng $S_{dm} = 1000\text{kVA}$.

Trên tủ điện của máy biến áp có các đồng hồ vôn phía cao áp, vôn phía hạ áp, ampe phía hạ áp, và công tơ đo điện năng phía hạ áp.

- a) Vẽ sơ đồ điện của mạch đo, đếm điện áp, dòng điện, điện năng.
- b) Chọn các thông số cho sơ đồ trên.

MÁY CẮT ĐIỆN CAO ÁP

12.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY CẮT ĐIỆN CAO ÁP

Máy cắt điện cao áp (còn gọi là máy cắt cao áp) là thiết bị điện dùng để đóng cắt mạch điện cao áp (từ 1000V trở lên) ở mọi chế độ vận hành: không tải, định mức và sự cố. Ở chế độ sự cố, máy cắt tự động cắt mạch để bảo vệ lưới điện. Chế độ làm việc nặng nề nhất là chế độ đóng cắt dòng điện ngắn mạch.

Các thông số cơ bản của máy cắt gồm: điện áp định mức, dòng điện định mức, dòng điện ổn định nhiệt với thời gian tương ứng, dòng điện ổn định điện động, dòng điện cắt định mức, công suất định mức, thời gian đóng và thời gian cắt.

- Điện áp định mức U_{dm} là trị số hiệu dụng của điện áp dây đặt lên thiết bị điện với thời gian làm việc dài hạn mà cách điện của thiết bị không bị hư hỏng. Vì điện áp lưới cho phép dao động trong một phạm vi nhất định (thường là $\pm 10\% U_{dm}$) nên thiết bị phải chịu trị số $100\% U_{dm}$ ở chế độ dài hạn.

- Dòng điện định mức là trị số hiệu dụng của dòng điện dài hạn đi qua máy cắt mà máy cắt không bị hỏng hóc. Nguyên nhân hỏng hóc do dòng điện dài hạn là do tác dụng nhiệt của dòng điện. Việc xác định dòng điện định mức dựa vào bài toán cân bằng nhiệt của mạch vòng dẫn điện ở chế độ xác lập nhiệt. Thông thường nhiệt độ làm việc của mạch vòng dẫn điện của máy cắt cho phép đến 70°C .

- Dòng điện ổn định nhiệt với thời gian tương ứng (thường là 1 giây hoặc 3 giây) là trị số hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch đi qua thiết bị với thời gian ngắn mạch tương ứng mà nhiệt độ của mạch vòng dẫn điện không vượt quá nhiệt độ cho phép ở chế độ ngắn hạn. Việc xác định dòng điện ổn định nhiệt liên quan tới bài toán cân bằng nhiệt ở chế độ quá độ. Quan hệ giữa dòng điện ngắn mạch và thời gian ngắn mạch là:

$$I_{1nm}^2 \cdot t_{1nm} = I_{2nm}^2 \cdot t_{2nm} \quad (12-11)$$

trong đó: I_{nm} - trị hiệu dụng của dòng điện ngắn mạch, kA;

t_{nm} - thời gian ngắn mạch, s.

- Dòng điện ổn định điện động là trị số lớn nhất của dòng điện ngắn mạch mà lực điện động của nó sinh ra không làm hỏng hóc thiết bị điện. Dòng điện ổn định điện động thường được tính theo trị số xung kích của dòng ngắn mạch:

$$I_{xk} = 1,8 \sqrt{2} I_{nm} \quad (12-2)$$

- Dòng điện đóng và dòng điện cắt định mức chính là dòng điện ngắn mạch mà máy cắt có thể cắt trong thời gian cắt đã cho.

- Công suất cắt định mức của máy cắt còn gọi là dung lượng cắt, được tính theo công thức:

$$S_{cdm} = \sqrt{3} U_{dm} I_{cdm} \quad (12-3)$$

trong đó: S_{cdm} - điện áp định mức của máy cắt, kV;

I_{cdm} - trị hiệu dụng của dòng cắt định mức, kA.

- Thời gian đóng là quãng thời gian từ khi có tín hiệu "đóng" được đưa vào máy cắt đến khi máy cắt đóng hoàn toàn. Thời gian này phụ thuộc vào cơ cấu truyền động và hành trình của tiếp điểm động. Thời gian đóng khoảng dưới 0,1 giây.

- Thời gian cắt của máy cắt là khoảng thời gian từ khi có tín hiệu cắt đến khi hồ quang bị dập tắt hoàn toàn. Thời gian này phụ thuộc vào đặc tính cơ của cơ cấu truyền động và thời gian cháy của hồ quang, được tính toán cho dòng điện định mức. Thời gian cắt dưới 0,1 giây, trong đó thời gian quá độ (cơ cấu truyền động là dưới 0,04 giây, còn thời gian cháy của hồ quang khoảng dưới 0,03 giây, tùy từng loại máy cắt).

Các yêu cầu đối với máy cắt là: độ tin cậy cao cho mọi chế độ làm việc, quá điện áp thao tác thấp, thời gian đóng, cắt bé, không gây ảnh hưởng tới môi trường bên ngoài, dễ bảo dưỡng, kiểm tra, thay thế; kích thước nhỏ gọn, tuổi thọ cao, có thể dùng được cho chế độ đóng lặp lại.

Dựa theo môi trường dập hồ quang, máy cắt được chia ra các loại: máy cắt điện từ, máy cắt tự sinh khí, máy cắt dầu, máy cắt không khí nén, máy cắt khí SF_6 và máy cắt chân không.

Dựa theo môi trường dập hồ quang, máy cắt được chia thành loại lắp đặt trong nhà, loại lắp đặt ngoài trời, loại phòng chống nổ.

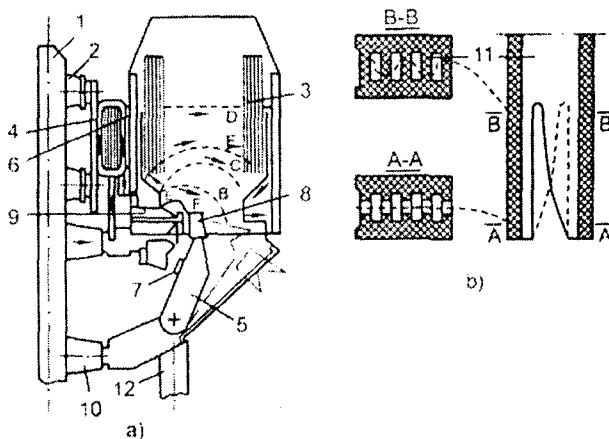
Tùy theo kết cấu, ta có máy cắt rời và máy cắt hợp bộ. Máy cắt rời thường được sử dụng đơn lẻ, còn máy cắt hợp bộ thường được lắp ghép với tổ hợp các thiết bị khác như thiết bị đo lường, điều khiển, bảo vệ dưới dạng môđun, còn được gọi là trạm đóng cắt hợp bộ.

Sau đây ta sẽ xét lần lượt các loại máy cắt.

12.2. MÁY CẮT ĐIỆN TỪ

Nguyên lý dập hồ quang ở máy cắt điện từ là dùng lực điện động giữa từ trường của cuộn thổi từ nối tiếp và dòng điện cắt để thổi hồ quang vào buồng dập hồ quang kiểu khe hẹp bằng vật liệu cách điện. Môi trường cháy của hồ quang là trong không khí tự nhiên.

Trên hình 12-1 trình bày nguyên lý hệ thống tiếp điểm và dập hồ quang của máy cắt điện từ 6kV, 1600A, công suất cắt 400MVA do Liên Xô cũ chế tạo.



Hình 12-1. Máy cắt điện từ 6kV, 1600A

a) Kết cấu tiếp điểm và dập hồ quang; b) Mặt cắt buồng dập hồ quang

- 1- Đế; 2- Sứ đỡ; 3- Buồng dập hồ quang; 4- Cuộn thổi từ; 5- Thanh truyền; 6- Cực từ;
7- Tiếp điểm làm việc; 8- Tiếp điểm hồ quang; 9- Sừng hồ quang; 10- Trụ cách điện;
11- Khe hẹp; 12- Cơ cấu truyền động.

Ưu điểm chính của máy cắt điện từ là không cần dầu hoặc không khí nén để dập hồ quang, tuổi thọ tiếp điểm lớn, cho phép đóng cắt nhiều lần mà không cần thay tiếp điểm và buồng dập hồ quang, kinh phí bảo trì thấp.

Nhược điểm của loại máy cắt này là kích thước lớn, khi cắt dòng điện không tải tương đối khó khăn, vì lực điện động bé. Khí thải khi dập hồ quang ảnh hưởng đến môi trường xung quanh. Loại máy cắt điện từ chỉ dùng cho cấp điện áp đến 12kV, dùng cho lắp đặt trong nhà.

Hiện nay loại máy cắt điện từ trung áp gần như không được chế tạo nữa, vì nó không cạnh tranh được với các loại máy cắt chân không, máy cắt SF₆.

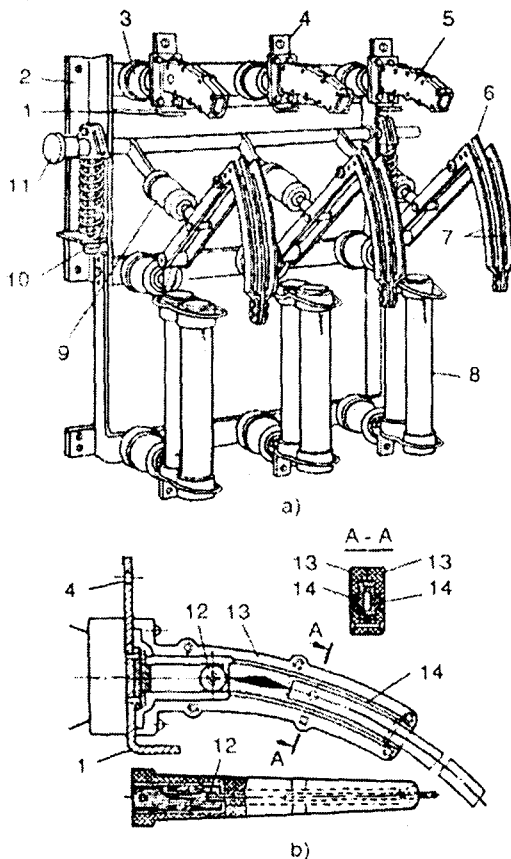
12.3. MÁY CẮT TỰ SINH KHÍ

Ở loại máy cắt này, hồ quang được dập tắt bằng hỗn hợp khí do vật liệu rắn từ sinh khí của hồ quang sinh ra dưới tác dụng của nhiệt độ cao của hồ quang.

Trên hình 12-2 trình bày nguyên lý cấu tạo của loại máy cắt này với điện áp định mức từ 6 đến 10kV, dòng điện 200 ÷ 400A có kèm cầu chì ống.

Các bộ phận của máy cắt được lắp trên khung thép 2. Trên các sứ đỡ được cố định buồng dập hồ quang 5 tiếp điểm tĩnh 1 và đầu nối điện vào 4. Trong buồng dập hồ quang 5 có tiếp điểm tĩnh hồ quang 12. Buồng dập hồ quang có mặt cắt ở hình 12-2b, gồm hai nửa vỏ nhựa 13, bên trong có hai miếng vật liệu tự sinh khí 14 (thủy tinh hữu cơ). Tiếp điểm tĩnh làm việc 1 và tiếp điểm tĩnh hồ quang 12 được nối với thanh dẫn có đầu nối 4.

Các tiếp điểm động gồm tiếp điểm chính 7 và tiếp điểm hồ quang 6, có khớp quay trên sứ trụ giữa và được nối với trục truyền động chính 11 qua thanh truyền bằng vật liệu cách điện 9.



Hình 12-2. Máy cắt tự sinh khí.

Muốn đóng máy cắt, cơ cấu truyền động quay trục truyền động chính một góc, các tiếp điểm nhờ thanh kéo 9 đóng tiếp điểm động vào tiếp điểm tĩnh. Khi cắt, lò xo cắt 10 sẽ kéo trục 11 quay theo hướng ngược lại. Quá trình đóng, cắt có thể thực hiện bằng tay hoặc bằng nam châm điện.

Trong quá trình đóng, tiếp điểm động hồ quang đóng trước, sau đó đến tiếp điểm làm việc. Quá trình cắt thì ngược lại, tiếp điểm làm việc cắt trước, tiếp điểm hồ quang cắt sau. Như vậy hồ quang chủ yếu sinh ra trong buồng dập hồ quang, làm vật liệu tự sinh khí sinh khí hay hơi, giúp cho việc dập hồ quang được dễ dàng.

Loại máy cắt tự sinh khí có năng lực dập hồ quang không lớn, nên thường đi kèm với cầu chì để đóng cắt dòng điện phụ tải, vì vậy nó còn có tên là máy cắt phụ tải hay dao cắt phụ tải. Tuy khả năng cắt không lớn và tuổi thọ thấp (khoảng vài trăm lần đóng cắt dòng định mức) nhưng máy cắt tự sinh khí vẫn được sử dụng rộng rãi cho các hệ thống cung cấp điện công suất bé vì giá thành hạ.

12.4. MÁY CẮT DẦU

Ở máy cắt dầu, môi trường cháy của hồ quang là dầu biến áp. Đặc điểm của dầu biến áp là độ bền điện cao, dẫn nhiệt tốt. Khi chịu nhiệt độ cao của hồ quang, dầu sẽ bị phân tích thành hỗn hợp khí hơi có độ bền điện cao và thể tích lớn.

Dựa vào kết cấu và lượng dầu trong máy cắt, ta có hai loại máy cắt dầu: máy cắt nhiều dầu và máy cắt ít dầu. Ta sẽ khảo sát đặc điểm của hai loại trên.

12.4.1. Máy cắt nhiều dầu

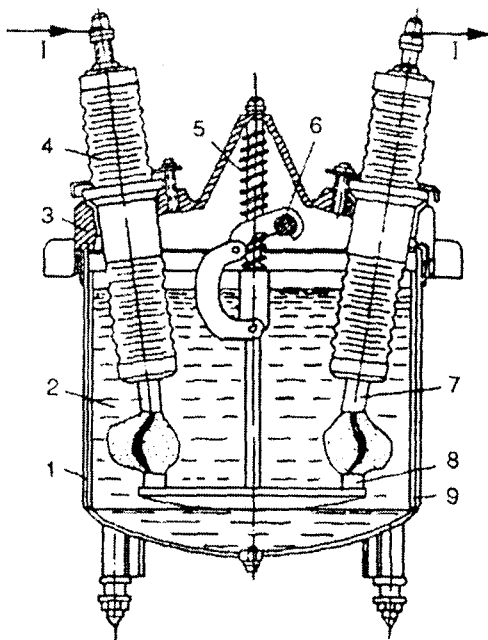
Máy cắt nhiều dầu còn được gọi là máy cắt dầu kiểu thùng, vì ở loại máy cắt này dầu vừa làm nhiệm vụ dập hồ quang, vừa làm nhiệm vụ cách điện. Trên hình 12-3 trình bày nguyên lý cấu tạo của loại máy cắt này.

Thùng chứa dầu 1 bằng thép, có lớp cách điện 9 bên trong để ngăn không cho hồ quang ra vỏ được đổ ngập dầu cỡ $75 \div 80\%$ thể tích. Hai sứ xuyên 4 đặt nghiêng trên nắp thùng để tăng khoảng cách phóng điện và giảm lực điện động.

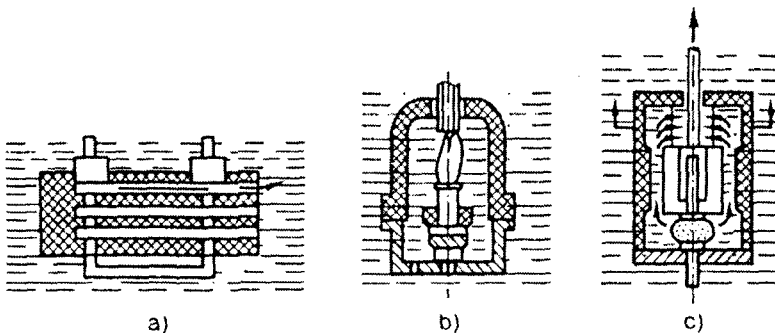
Ở cấp điện áp dưới 15kV , hai sứ xuyên có cấu tạo đơn giản, chỉ có sứ. Ở cấp điện áp 35kV , trong lòng sứ có đệm bakêlít. Ở điện áp 110kV , sứ xuyên kiểu điện dung để điện áp phân bố đều.

Phân tiếp điểm tĩnh 7 được gắn trên thanh dẫn xuyên qua sứ xuyên, phía dưới nắp thùng. Tiếp điểm động 8 được gắn trên bộ truyền động với trục truyền động chính 6 và lò xo cắt 5.

Quá trình thao tác như sau: khi đóng, momen quay từ cơ cấu đóng (bằng tay hay bằng điện từ) quay trục truyền động 6 làm cơ cấu đòn khớp nâng tiếp điểm động lên, đóng vào tiếp điểm tĩnh, đồng thời tích năng lượng cho lò xo 5. Khi cắt (bằng tay hay tự động), tín hiệu cắt sẽ tác động vào chốt giữ lò xo 5, giải phóng năng lượng tích trong lò xo, đẩy tiếp điểm động xuống phía dưới, hồ quang xuất hiện trong dầu và bị dập tắt. Nếu dòng điện cắt lớn, dầu sẽ bị phân tích thành hỗn hợp khí hơi trong buồng dập hồ quang và thổi hồ quang. Có các kiểu thổi dọc, thổi ngang và thổi hỗn hợp, được cho ở hình 12-4. Nếu dòng điện cắt bé, hiệu ứng thổi không đáng kể, việc dập hồ quang nhờ độ bền điện cao của dầu biến áp và khả năng làm nguội hồ quang của dầu.



Hình 12-3. Nguyên lý cấu tạo của máy cắt nhiều dầu.



Hình 12-4. Các kiểu thổi hồ quang
a) Thổi ngang; b) Thổi dọc; c) Thổi hỗn hợp.

Thông thường các máy điện áp thấp, dòng điện không lớn thì cả ba pha bố trí trong một thùng. Những máy cắt công suất lớn thì mỗi pha một thùng riêng.

Trên hình 12-5 cho cấu tạo và kích cỡ một pha của máy cắt nhiều dầu 110kV, dòng điện định mức 2000A, công suất cắt 8000MVA do Liên Xô chế tạo.

Khi cắt dòng điện định mức, thời gian cháy của hồ quang không lớn hơn 0,02 giây. Khi cắt dòng điện bé hơn dòng định mức của tải cảm, việc dập hồ quang khó khăn hơn. Tổng thời gian cắt của máy cắt dầu khoảng 0,15 đến 0,20 giây.

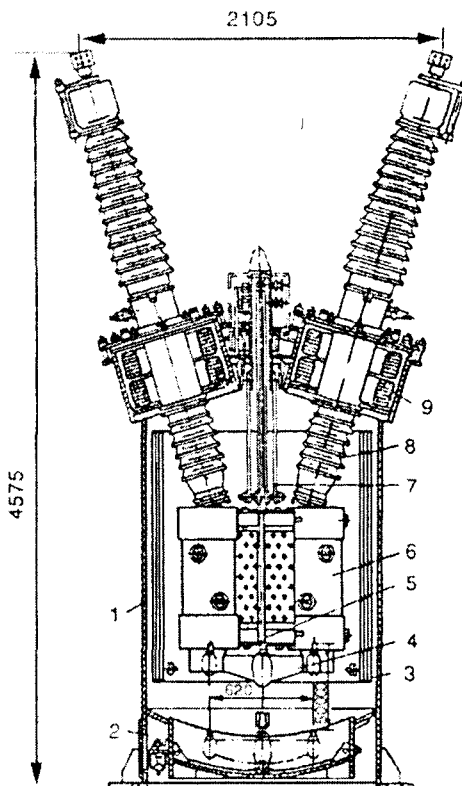
Nhược điểm chính của máy cắt dầu kiểu thùng là kích thước, khối lượng lớn, tốn nhiều dầu. Việc bảo trì, kiểm tra thay thế dầu tốn kém, phiền phức. Máy cắt dầu có khả năng gây ra cháy nổ.

Ngày nay máy cắt nhiều dầu không còn được chế tạo nữa, nhưng nó vẫn còn tồn tại trong các lưới điện trung áp.

12.4.2. Máy cắt ít dầu

Máy cắt ít dầu khắc phục những nhược điểm của máy cắt nhiều dầu, vì ở loại này, dầu chỉ làm nhiệm vụ dập tắt hồ quang.

Trên hình 12-6 mô tả một bình cắt của máy cắt ít dầu loại 10kV kiểu treo, lắp trong nhà. Ống cách điện 5 bằng vật liệu cách điện composit, có độ bền cơ cao, dùng làm cách điện chính của máy cắt (cách điện trong và cách

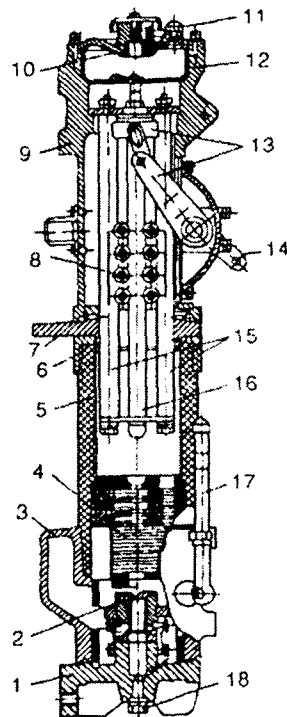


Hình 12-5. Máy cắt dầu 110kV, 2000A, công suất cắt định mức 8000MVA

- 1- Vỏ thùng; 2- Cơ cấu hâm nóng dầu; 3- Cách điện vỏ; 4- Tiếp điểm động; 5- Thanh truyền;
- 6- Buồng dập hồ quang; 7- Ống dẫn hướng;
- 8- Sứ xuyên kiểu tụ điện; 9- Máy biến dòng điện.

điện ngoài). Phía dưới của ống cách điện được gắn mũ kim loại 3, có nắp 1. Phần dưới được gắn tiếp điểm tĩnh 2 dạng hoa huệ và có lỗ để bắt điện ra. Ở đáy có vít tháo dầu 18, ống chỉ mức dầu 17. Buồng dập hồ quang dạng thổi ngang được đặt trong vỏ nhựa 5.

Phần trên của ống 5 có mặt bích kim loại (nhôm) 6, được nối với thanh dẫn đưa điện vào 7 và liên kết với phần mũ trên 9 bằng hợp kim nhôm. Chóp mũ trên có bát chứa dầu 12, lỗ thông khí 10 và vít đổ dầu 11. Tiếp điểm động 16 dạng thanh trụ đặc bằng đồng, phía dưới (phần tiếp xúc) cổ mũ bằng hợp kim gồm chịu hồ quang. Thanh truyền 13 được nối ra ngoài với tay đòn 14 để nối với cơ cấu truyền động chung cho cả ba cực. Điện được đưa vào thanh dẫn 7, qua hệ thống con lăn 8, qua tiếp điểm động, tới tiếp điểm tĩnh và lấy ra ở đáy 1. Hình dạng bên ngoài và các kích thước chính của máy cắt kiểu BMΠ-10 (máy cắt ít dầu loại treo của Liên Xô chế tạo) cho ở hình 12-7. Các thông số chính của máy cắt này là: $U_{dm} = 10kV$; $I_{dm} = 20kA$; $S_{Cdm} = 350MVA$.



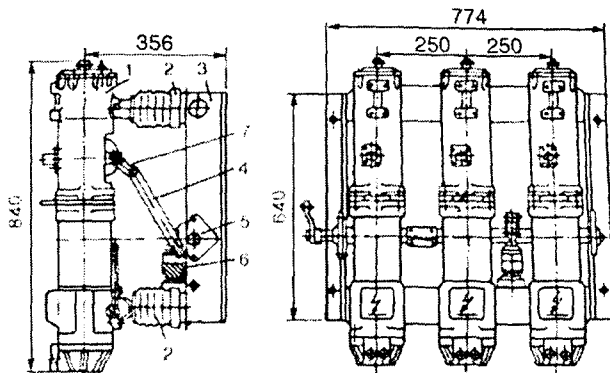
Hình 12-6. Bình cắt của máy cắt dầu BMΠ-10.

Các máy cắt ít dầu có điện áp từ 35kV trở lên đến 110kV có công suất cắt từ 1000 đến 5000MVA được chế tạo kiểu cột sứ, dùng cho lắp đặt ngoài trời. Với điện áp từ 220kV trở lên, mỗi pha của máy cắt có vài bình cắt dầu nối tiếp nhau và được thao tác đồng thời.

Trên hình 12-8 mô tả kết cấu và kích cỡ của máy cắt ít dầu kiểu BMK-35 (máy kiểu cột, 35kV) với các thông số sau:

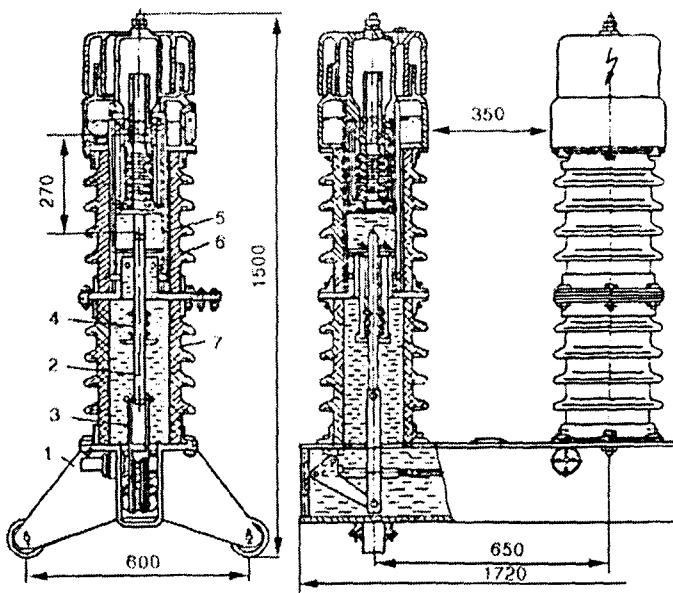
$$U_{dm} = 35kV; I_{dm} = 1000A; I_{Cdm} = 16,4kV; S_{Cdm} = 1000MVA.$$

Ưu điểm chính của máy cắt ít dầu là kích thước nhỏ gọn, khối lượng dầu không đáng kể. Nhược điểm của loại này là công suất cắt bé hơn loại nhiều dầu. Mặt khác, vì lượng dầu ít nên sau mỗi lần cắt, dầu bị bay hơi và mau bẩn nên số lần thay dầu nhiều hơn ở máy cắt nhiều dầu.



Hình 12-7

1- Bình cắt; 2- Sứ treo; 3- Đế thép; 4- Thanh cách điện; 5- Trục truyền động;
6- Bộ hoàn xung; 7- Cơ cấu đòn khớp.



Hình 12-8

1- Trục truyền động; 2- Tiếp điểm động; 3- Thanh truyền; 4- Con lăn; 5- Ống cách điện; 6- Sứ trên; 7- Sứ dưới.

Ngày nay, máy cắt ít dầu được chế tạo với số lượng hạn chế, vì nó không cạnh tranh được với các loại máy cắt hiện đại khác như máy cắt khí SF_6 và máy cắt chân không.

12.5. MÁY CẮT KHÔNG KHÍ NÉN

Ở máy cắt không khí nén, hồ quang được dập tắt bằng cách thổi không khí khô, sạch được nén với áp suất cao (đến 4MPa - 40atm).

Buồng dập hồ quang có hai loại: kiểu thổi ngang và kiểu thổi dọc. Thổi ngang có hiệu ứng dập hồ quang tốt hơn loại thổi dọc nhưng kích thước buồng dập lại lớn hơn. Ở máy cắt không khí nén, việc thổi hồ quang không phụ thuộc vào dòng điện cắt mà chỉ phụ thuộc vào áp suất và thể tích bình chứa khí nén. Nếu lỗ thổi đủ lớn và khoảng cách giữa hai tiếp điểm có trị số tối ưu thì dòng điện cắt đạt trị số lớn nhất. Cần lưu ý rằng nếu lỗ thổi lớn, áp suất không khí cao thì lượng khí cần cho một lần cắt khá lớn.

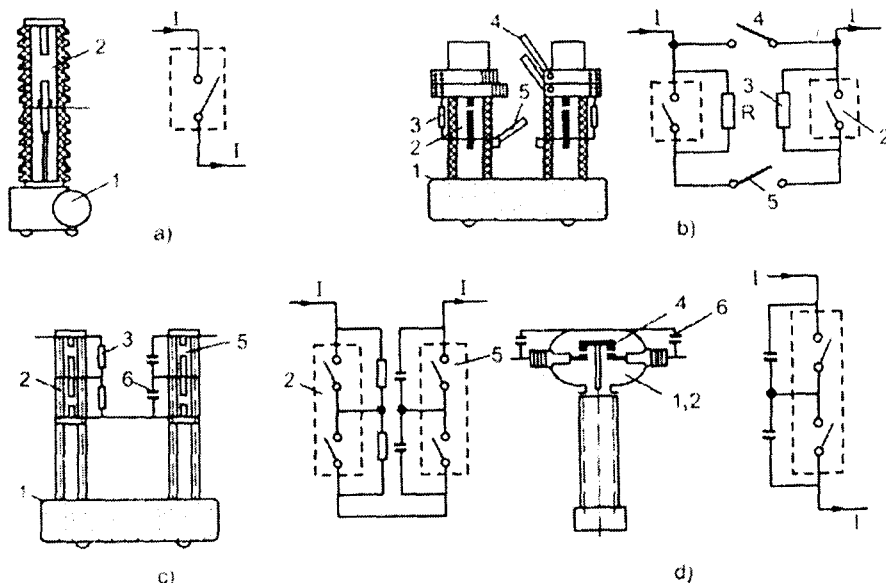
Nguyên lý kết cấu của máy cắt không khí nén khá đa dạng, phụ thuộc vào điện áp, dòng điện định mức và phương thức truyền không khí nén vào buồng cắt cũng như trạng thái của tiếp điểm.

Trên hình 12-9 trình bày nguyên lý kết cấu của một số dạng máy cắt không khí nén thường gặp.

Máy cắt ở hình 12-9a có bình chứa không khí nén cách ly với buồng cắt, luồng không khí nén đi từ bình chứa, qua ống dẫn và qua tiếp điểm động kiểu ống trụ rỗng thổi dọc hồ quang khi cắt. Máy cắt kiểu này không có dao cách ly đi kèm. Thao tác đóng được thực hiện bằng mở van điện từ cho khí nén đẩy pít tông đóng. Kết cấu loại này thường dùng cho cấp điện áp trung áp, dòng điện cỡ 1000A.

Nguyên lý kết cấu của máy cắt ở hình 12-9b cũng có bình chứa không khí nén cách ly với buồng cắt. Vì bình không khí nén được nối đất an toàn nên loại này được gọi là "bình chứa chết". Mỗi pha có hai buồng cắt, có điện trở sun và hai dao cách ly. Quá trình cắt được tiến hành theo trình tự sau: dao cách ly 4 cắt trước, tiếp theo là hai tiếp điểm của hai buồng cắt, và cuối cùng là dao cách ly 5. Dòng cắt của dao cách ly 5 bé, vì lúc này, trong mạch có thêm hai điện trở sun, hạn chế dòng điện cắt. Sau khi bộ dao cách ly 5 cắt, không khí nén được ngừng cấp nên áp suất trong buồng cắt giảm, lực lò xo đẩy các tiếp điểm của buồng cắt về vị trí đóng, tiếp điểm động tiếp xúc với tiếp điểm tĩnh. Quá trình đóng theo thứ tự ngược lại: dao cách ly 5 đóng trước, bộ cách ly 4 đóng sau (hai tiếp điểm trong buồng cắt đã được đóng sau khi quá trình cắt kết thúc). Ở loại máy cắt này, dao cách ly nằm ngoài buồng cắt nên dễ bị ảnh hưởng của môi trường. Kết cấu loại này thường

dùng cho dòng điện lớn đến hàng chục ngàn ampe, điện áp đến 20kV, dùng cho máy cắt của các máy phát điện.



Hình 12-9

1- Bình chứa không khí nén; 2- Buồng dập hồ quang;
3- Điện trở sun; 4, 5- Dao cách ly; 6- Tụ điện.

Trên hình 12-9c trình bày nguyên lý cấu tạo của loại máy cắt có dao cách ly nằm trong buồng cắt có không khí nén. Bình bên trái là buồng dập hồ quang của máy cắt, có hai chỗ cắt và có điện trở sun, còn bình bên phải là dao cách ly, có hai chỗ cắt và có tụ điện phân áp. Khi cắt, tiếp điểm của máy cắt cắt trước, còn tiếp điểm của dao cách ly cắt sau vì dòng cắt đã giảm nhờ được nối điện trở sun vào mạch cắt, còn khi đóng, dao cách ly đóng trước, máy cắt đóng sau.

Loại máy cắt không khí có kết cấu tiên tiến hơn được cho ở hình 12-9d. Ở đây bình chứa khí nén được cách ly với đất (còn gọi là :bình chứa sống") và các tiếp điểm của máy cắt làm việc thường xuyên trong môi trường không khí nén, vì vậy khi cắt, không cần phải dẫn khí nén từ bình chứa tới nên khả năng dập hồ quang nhanh hơn. Loại máy cắt này không có dao cách ly bên trong nên phải đặt dao cách ly bên ngoài. Hai tụ phân áp dùng để phân bố điện áp đều trên hai tiếp điểm.

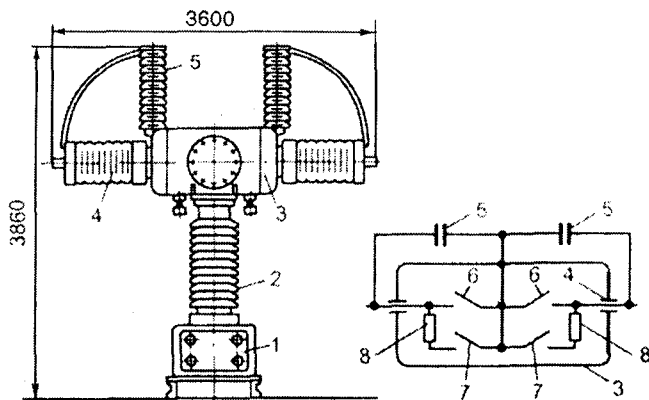
Trên hình 12-10 cho hình dạng, các kích thước chủ yếu và sơ đồ điện một pha của máy cắt kiểu BB5-110kV với các thông số sau:

$$I_{dm} = 2000A; I_{Cdm} = 32,2kA.$$

$$\text{Dung lượng cắt } S_{Cdm} = 6000MVA.$$

Để tăng khả năng cắt và dùng cho lưới điện áp cao hơn, người ta dùng bình cắt bằng thép chất lượng cao để áp suất đạt $(3,5 \div 4,0)MPa$ và nối tiếp nhiều môđun để có thể đạt cấp điện áp $500 \div 750kV$, công suất cắt đạt tới 45.000MVA. Nhược điểm của họ máy cắt kiểu BB5 cho điện áp cao là kích thước công kênh ở điện áp siêu cao áp (vì do nhiều môđun 110kV ghép lại).

Trên hình 12-11 là accs kích thước của loại máy cắt họ BHB-250. Trên cơ sở này, họ máy cắt này tổ hợp 3 môđun cho cấp điện áp 750kV, công suất cắt đạt 82.000MVA và kích thước gọn hơn loại BB5. Trên mỗi chỗ cắt, dòng cắt định mức là 63kA và điện áp 125kV.



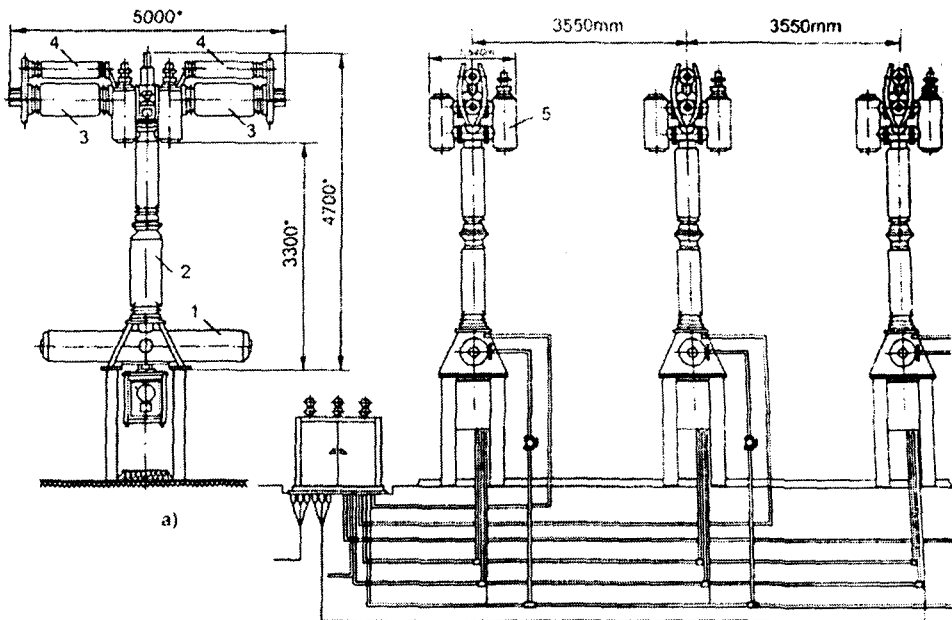
Hình 12-10. Máy cắt BB5-110

- 1- Tủ điều khiển; 2- Sứ đỡ; 3- Bình cắt; 4- Xứ xuyên;
- 5- Tự phân áp; 6- Tiếp điểm chính;
- 7- Tiếp điểm dao cách ly; 8- Điện trở sun.

Ưu điểm chính của máy cắt không khí nén là công suất cắt lớn, thời gian cắt bé, không vượt quá 0,04 giây, nguyên liệu dập hồ quang là không khí.

Nhược điểm của loại máy cắt này là kích thước, khối lượng lớn và hệ thống khí nén công kênh, phức tạp, độ ồn lớn. Vì vậy máy cắt không khí nén chỉ được trang bị cho các trạm đóng cắt công suất lớn, có nhiều máy cắt.

Hiện nay, máy cắt không khí nén gần như không được sản xuất mới vì nó không thể cạnh tranh được với máy cắt khí SF₆.



Hình 12-11. Máy cắt không khí nén BHB-250

a) Một pha; b) Ba pha

- 1- Bình chứa không khí nén 4,0MPa; 2- Sứ đỡ; 3- Buồng dập hồ quang chính;
4- Tụ điện phân áp; 5- Điện trở và buồng cắt phụ.

12.6. MÁY CẮT KHÍ SF_6

12.6.1. Đặc điểm của khí SF_6

Mặc dù được phát hiện ra từ những năm đầu của thế kỷ 20, nhưng mãi tới những năm sáu mươi khí SF_6 mới được sử dụng trong công nghiệp chế tạo thiết bị điện như là chất điện môi với nhiều đặc tính vượt trội so với các điện môi kinh điển như không khí và dầu biến áp. Ngày nay, đa phần các máy cắt điện cao áp từ cấp điện áp 36kV trở lên đều có buồng dập hồ quang bằng khí SF_6 .

Về cấu trúc nguyên tử, khí SF_6 có 6 nguyên tử Flo (F) nằm ở các đỉnh, còn nguyên tử lưu huỳnh (S) nằm ở trung tâm, cách đều các nguyên tử Flo. Cấu trúc này cho ta tính ổn định đặc biệt của mối liên kết hóa trị. Khối lượng phân tử của SF_6 bằng 146, trong đó 22% là lưu huỳnh, 78% là Flo. SF_6 là một trong những chất khí nặng, nó nặng gấp 5 lần không khí ở điều kiện tiêu chuẩn.

Khí SF_6 không màu, không mùi, không độc, không ăn mòn kim loại, khó cháy và khá bền vững. SF_6 có độ bền điện khá cao: ở điều kiện tiêu chuẩn, độ bền điện của SF_6 cao gấp 2,5 lần độ bền điện của không khí, còn áp suất 0,2MPa, độ bền điện của nó tương đương với dầu biến áp.

Khí SF_6 có hệ số dẫn nhiệt cao, gấp 4 lần không khí ở điều kiện tiêu chuẩn, vì thế tăng được khả năng tải của mạch vòng dẫn điện.

Khí SF_6 không chỉ cách điện, dẫn nhiệt tốt mà nó còn là chất hấp thụ các điện tử tự do rất hiệu quả nhờ mối liên kết hóa trị dương, do đó rất thích hợp cho việc dập hồ quang.

Khi hồ quang cháy, khí SF_6 bị phân tích thành các ion S và F ở nhiệt độ khoảng 3000°C. Nhưng khi dòng điện xoay chiều đi qua trị số không, nhiệt độ thân hồ quang giảm mạnh, và hỗn hợp khí S và F lại tái hợp gần như hoàn toàn và là quá trình thu nhiệt nên rất thuận tiện cho việc dập hồ quang.

Trong quá trình cháy của hồ quang, một lượng nhỏ khí không tái hợp hết, tạo nên các phản ứng phụ với không khí, độ ẩm, hơi kim loại và với các vật liệu rắn làm buồng dập hồ quang. Các phụ phẩm này ở dạng khí hoặc dạng rắn, lắng đọng ở thành vách và đáy buồng dập hồ quang. Để khắc phục và loại trừ ảnh hưởng xấu của các phụ phẩm này, người ta dùng những biện pháp đặc biệt.

Một đặc điểm quan trọng của khí SF_6 là dễ bị hóa lỏng và điểm hóa lỏng phụ thuộc vào áp suất khí. Ở áp suất 1,77MPa nhiệt độ hóa lỏng của nó là 13°C, còn ở áp suất 2,8MPa, nhiệt độ này là 30°C. Vì vậy ở những máy cắt có áp suất cao, để chống hóa lỏng của khí SF_6 , cần có các thiết bị gia nhiệt để nâng nhiệt độ lên trên nhiệt độ hóa lỏng là. Ở áp suất 0,35MPa (3,5atm) nhiệt độ hóa lỏng -40°C, do đó ở các khí cụ điện có SF_6 làm việc ở áp suất thấp, không cần thiết thiết bị gia nhiệt.

12.6.2. Nguyên lý dập hồ quang của máy cắt khí SF_6

Từ khi ra đời cho đến nay, máy cắt khí SF_6 luôn được cải tiến và hoàn thiện. Quá trình phát triển của máy cắt khí SF_6 được đánh dấu bằng thế hệ thiết bị, được gọi là thế hệ thứ nhất, thế hệ thứ hai và thế hệ thứ ba của máy cắt khí SF_6 .

a) *Thế hệ thứ nhất của máy cắt khí SF₆*

Ở thế hệ này, máy cắt khí SF₆ được chế tạo theo nguyên lý hai áp suất thấp và cao, tương tự như máy cắt không khí nén. Ở trạng thái đóng, áp suất khí SF₆ trong buồng dập hồ quang tương đối thấp. Trong quá trình cắt, khí SF₆ ở bình áp suất cao sẽ được tự động thổi để nhanh chóng dập tắt hồ quang và sau đó khí này lại được nén trở lại bình áp suất cao.

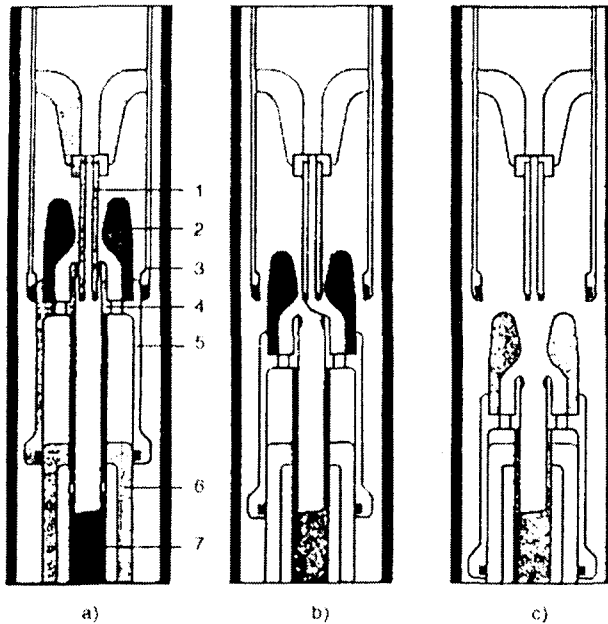
Máy cắt kiểu này lần đầu tiên ra mắt năm 1959 của hãng Westinghouse (Mỹ) có điện áp định mức 230kV, dòng cắt 25kA. Áp suất vận hành của kiểu máy cắt này là khoảng 0,2MPa cho bình áp suất thấp và 1,7MPa cho bình áp suất cao. Về kết cấu, loại máy cắt khí SF₆ gần giống máy cắt không khí nén. Nhược điểm chính của loại này là kích thước công kênh. Sự xuất hiện của buồng khí áp suất cao dẫn đến nguồn nhiệt năng chống hóa lỏng của khí SF₆ trong buồng này. Với áp suất cao, khả năng rò rỉ của nó lớn.

b) *Thế hệ thứ hai của máy cắt khí SF₆*

Được ra đời từ những năm cuối thập niên 60 của thế kỷ 20, thế hệ thứ hai của máy cắt khí SF₆ làm việc trên nguyên lý một áp suất nên chỉ có một buồng cắt trong có khí SF₆. Việc dập tắt hồ quang được thực hiện bởi hiệu ứng thổi hồ quang trong buồng cắt kiểu pít tông. Trên hình 12-12 trình bày nguyên lý cấu tạo của loại buồng cắt này. Thanh truyền động 7 bằng vật liệu cách điện, được gắn chặt với hệ tiếp điểm động gồm tiếp điểm hồ quang 4 và tiếp điểm làm việc, đồng thời là xi lanh 5. Trong quá trình cắt, pít tông 6 không chuyển động, mà hệ tiếp điểm động chuyển động xuống phía dưới làm thể tích nén trong xi lanh bị thu nhỏ, áp suất khí SF₆ trong xi lanh tăng cao. Khi hành trình của phần động đạt tới mức cần thiết, tiếp điểm hồ quang tĩnh giải phóng miệng thổi (bằng vật liệu cách điện). Khí SF₆ bị nén trong xi lanh sẽ thổi vào vùng hồ quang và nhanh chóng dập tắt nó. Việc kết hợp giữa hành trình của phần động và áp suất thổi hồ quang được tính toán tối ưu. Muốn có áp suất thổi lớn, kích thước buồng nén phải đủ lớn, vận tốc của tiếp điểm động phải đủ lớn, cỡ 3 ÷ 6m/s.

Nhược điểm chính của loại buồng cắt kiểu pít tông là năng lượng cấp cho cơ cấu truyền động khá lớn, vì thế nó gây ra xung lực lớn, ảnh hưởng tới kết cấu của máy cắt.

Để tăng khả năng dập hồ quang và giảm bớt kích thước bộ truyền động trong buồng cắt còn được đặt thêm cuộn thổi từ để thổi hồ quang nhưng việc này lại làm tăng kích thước buồng cắt.



Hình 12-12. Buồng cắt kiểu pít tông

a) Vị trí đóng; b) Quá độ cắt; c) Vị trí cắt

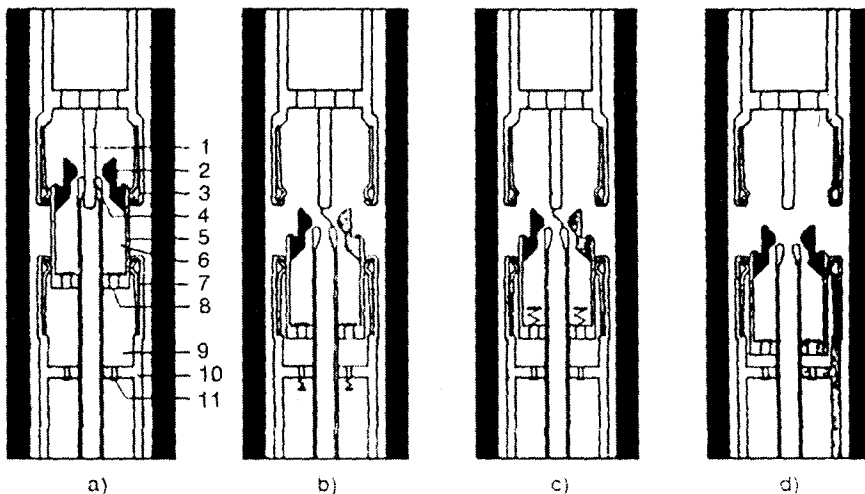
1- Tiếp điểm hồ quang tĩnh; 2- Miệng thổi; 3- Tiếp điểm làm việc tĩnh; 4- Tiếp điểm hồ quang động; 5- Xi lanh - Tiếp điểm làm việc động; 6- Pít tông; 7- Thanh truyền động.

c) *Thế hệ thứ ba của máy cắt khí SF₆*

Khắc phục nhược điểm của thế hệ thứ hai, ở thế hệ thứ ba, buồng cắt có kích thước bé hơn và năng lượng truyền động bé vì nó chỉ dùng để chuyển động tiếp điểm. Nguyên lý cấu tạo buồng cắt thế hệ thứ ba được trình bày trên hình 12-13.

Nguyên lý thổi hồ quang ở buồng cắt kiểu thế hệ ba cũng như ở buồng cắt thế hệ hai.

Khi cắt dòng điện lớn, năng lượng hồ quang lớn làm khí SF₆ trong buồng nén chính bị đốt nóng, áp suất tăng cao dẫn đến các van trên tự động đóng lại và các van dưới tự động mở ra. Khi miệng thổi được giải phóng, áp lực khí trong buồng nén chính thổi hồ quang làm hồ quang bị tắt nhanh chóng. Khi cắt dòng điện bé, năng lượng hồ quang thấp, áp suất trong buồng nén chính bé, van trên không đủ sức đóng nên buồng chính và buồng phụ thông nhau, van dưới đóng, do đó việc thổi hồ quang chủ yếu là do hiệu ứng pít tông - xi lanh tạo nên.



Hình 12-13. Buồng cắt SF₆ thế hệ thứ ba

a) Vị trí đóng; b) Cắt dòng lớn; c) Cắt dòng bé; d) Vị trí cắt

- 1- Tiếp điểm hồ quang tĩnh; 2- Miệng thổi; 3- Tiếp điểm tĩnh chính; 4- Tiếp điểm hồ quang động; 5- Tiếp điểm chính động; 6- Buồng nén chính; 7- Tiếp điểm trượt; 8- Van trên; 9- Buồng nén phụ; 10- Xi lanh; 11- Van dưới.

Theo nguyên lý này, năng lượng cấp cho bộ truyền động của máy cắt khí SF₆ ở thế hệ thứ 3 được giảm khá nhiều, chỉ bằng khoảng 20% ở thế hệ thứ hai với cùng công suất cắt, do vậy giảm được kích thước máy cắt, giảm được động năng khí đóng cắt và tăng tuổi thọ của máy cắt.

Với các buồng cắt có công suất cắt lớn, áp suất khí SF₆ thường có trị số cao, do đó khả năng rò rỉ khí có thể xảy ra. Vì vậy các buồng cắt này có cơ cấu chỉ thị áp suất khí và có cơ cấu nạp khí bổ sung.

Tuổi thọ của buồng cắt (chủ yếu là tuổi thọ của tiếp điểm) khí SF₆ khá cao. Tuổi thọ cơ có thể đạt hàng chục ngàn lần thao tác, còn tuổi thọ điện phụ thuộc vào trị số dòng điện cắt. Nếu dòng điện cắt càng lớn thì tuổi càng giảm, quan hệ giữa số lần cắt N và dòng điện cắt I có thể biểu diễn qua công thức:

$$\sum NI^2 = (12.500 \div 16.000)kA^2$$

Ví dụ: Một máy cắt 12kV, $I_{dm} = 3150A$, $I_{cdm} = 40kA$, nếu cắt ở dòng điện định mức thì được 3000 lần, nếu cắt ở dòng cắt 20kA được 40 lần, còn cắt ở dòng 40kA thì chỉ được 10 lần. Trong điều kiện vận hành bình thường, thời

gian sử dụng của loại máy cắt khí SF₆ đạt trên 20 năm.

Ưu điểm vượt trội của máy cắt khí SF₆ là khả năng cắt lớn, thời gian cắt bé, kích thước nhỏ gọn, bảo trì đơn giản, chi phí vận hành thấp.

12.6.3. Các loại máy cắt khí SF₆

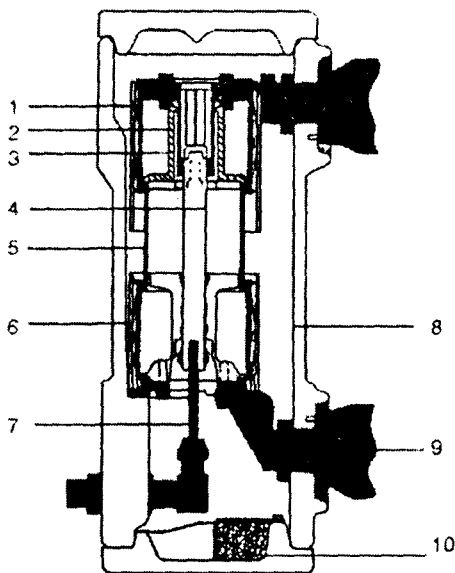
Tùy theo cấu trúc của buồng cắt, ta có loại buồng cắt đơn (một buồng chỉ có một chỗ cắt) và buồng cắt kép (mỗi buồng có hai chỗ cắt). Buồng cắt đơn dùng cho các loại máy cắt có điện áp định mức từ 3000V đến 250.000V. Với cấp điện áp từ 300kV đến 500kV, người ta dùng buồng cắt kép. Với cấp điện áp trên 500kV, người ta dùng hai buồng cắt kép nối với nhau cho một pha.

Ở máy cắt công suất bé và trung bình, thường sử dụng một bộ truyền động chung cho cả ba pha, còn ở các máy cắt công suất lớn (thường có điện áp định mức từ 220kV trở lên), bộ truyền động được dùng riêng rẽ cho từng pha.

Ở cấp điện áp đến 24kV, máy cắt thường được chế tạo cho lắp đặt trong nhà, buồng cắt đơn. Vỏ buồng cắt là vật liệu composit, cơ cấu truyền động loại lò xo chung cho cả ba pha, có thể điều khiển bằng tay và điều khiển từ xa. Trên hình 12-14 cho cấu trúc buồng cắt này.

Trên cơ sở buồng cắt trung áp, người ta chế tạo công tắc tơ trung áp có cơ cấu truyền động bằng nam châm điện.

Trên hình 12-15 cho cấu tạo một cực của máy cắt lắp ngoài trời buồng cắt đơn, còn trên hình 12-16 là sơ đồ nguyên lý cấu tạo buồng cắt kép.

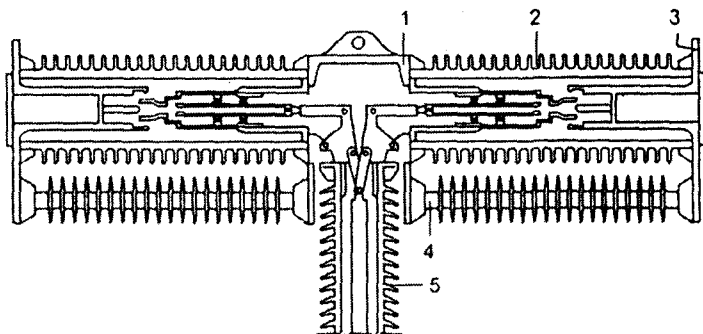
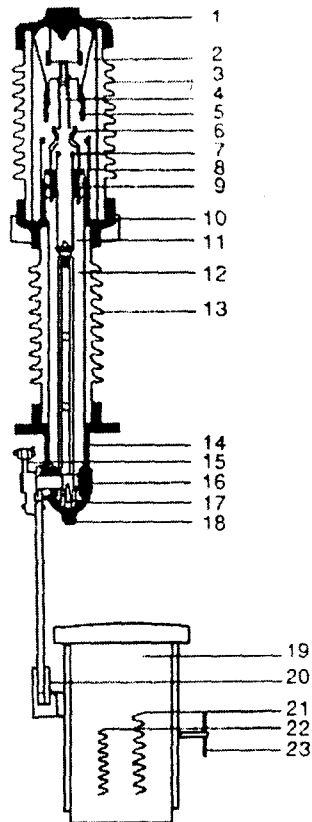


Hình 12-14. Buồng cắt SF₆ loại trung áp, lắp trong nhà

- 1- Tiếp điểm tĩnh làm việc; 2- Tiếp điểm tĩnh hồ quang; 3- Miệng thổi; 4- Tiếp điểm động hồ quang; 5- Xi lanh - Tiếp điểm động hồ quang; 6- Tiếp điểm trượt; 7- Thanh truyền; 8- Bộ thu phế liệu; 9- Đầu nối điện vào; 10- Vỏ.

Hình 12-15. Mặt cắt cực máy cắt SF₆ kiểu buồng cắt đơn, lắp đặt ngoài trời

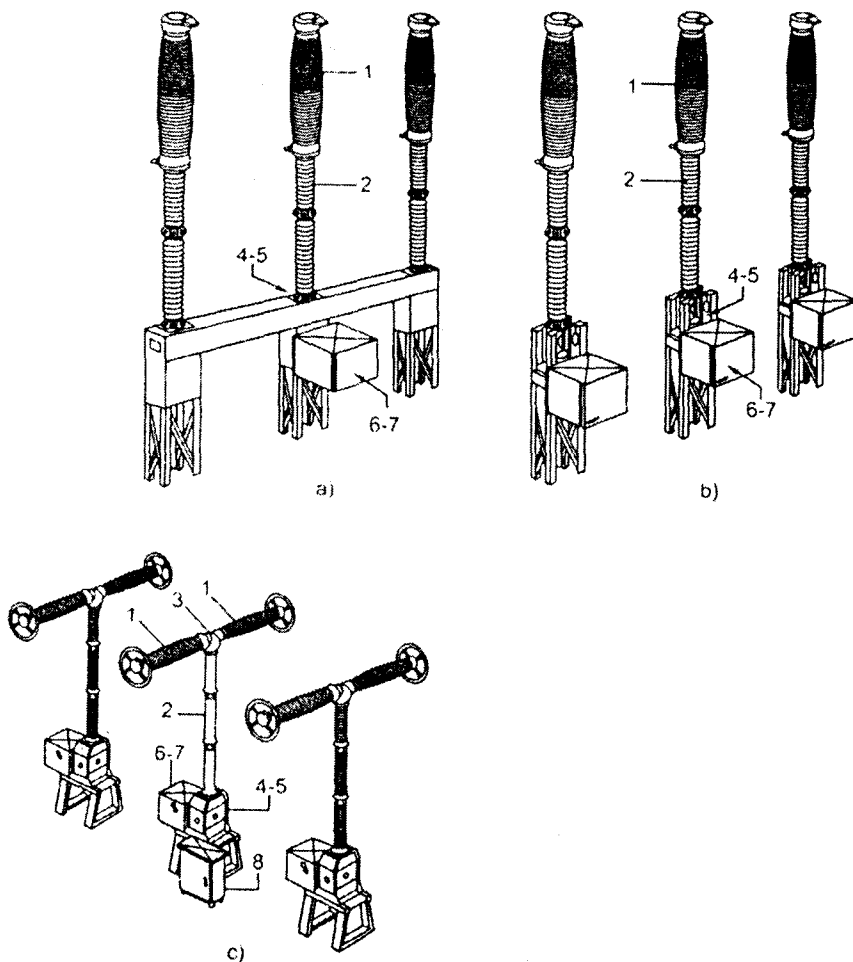
1- Nắp trên có đầu nối vào; 2- Khí SF₆; 3- Vỏ buồng cắt bằng composit; 4- Tiếp điểm tĩnh hồ quang; 5- Tiếp điểm tĩnh làm việc; 6- Miệng thổi; 7- Tiếp điểm động hồ quang; 8- Tiếp điểm động làm việc; 9- Pít tông; 10- Vành giữa có đầu nối ra; 11- Tiếp điểm trượt; 12- Thanh truyền; 13- Sứ đỡ; 14- Nắp dưới; 15- Tay đòn; 16- Trục truyền động; 17- Bộ thu bắn; 18- Lỗ nạp khí; 19- Hộp truyền động; 20- Khớp nối; 21- Lò xo đóng; 22- Lò xo cắt; 23- Tay quay.



Hình 12-16. Nguyên lý cấu tạo buồng cắt kép

1- Ngăn cơ cấu truyền động; 2- Buồng dập hồ quang; 3- Đầu nối điện;
4- Tụ điện phân áp; 5- Sứ đỡ.

Trên hình 12-17 trình bày hình dáng và các khối chức năng của máy cắt SF₆ lắp đặt ngoài trời.



Hình 12-17. Các kiểu máy cắt khí SF₆

- a) Kiểu buồng cắt đơn, truyền động chung cho ba pha; b) Kiểu buồng cắt truyền động riêng từng pha; c) Kiểu buồng cắt kép, truyền động riêng từng pha
 1- Buồng cắt; 2- Sứ đỡ; 3- Ổ trung tâm; 4- Ổ dưới; 5- Lò xo cắt; 6- Cơ cấu truyền động; 7- Lò xo đóng; 8- Tủ điện.

12.7. MÁY CẮT CHÂN KHÔNG

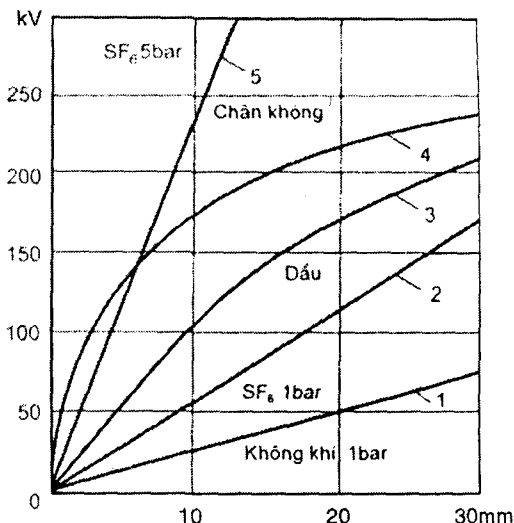
12.7.1. Khái niệm chung về máy cắt chân không

Chân không là môi trường cách điện lý tưởng. Ở áp suất 10^{-4} Pa (hay 10^{-9} bar), độ bền điện của chân không đạt tới xấp xỉ 110kV/mm, gấp hơn

30 lần không khí ở điều kiện tiêu chuẩn. Trong chân không, mật độ không khí hầu như không có, hành trình tự do của phân tử là khoảng 50 mét, còn của các điện tử tự do đạt 300 mét, do vậy khả năng ion hóa trong chân không là hầu như không tồn tại, nên thời gian cháy của hồ quang trong chân không là rất bé.

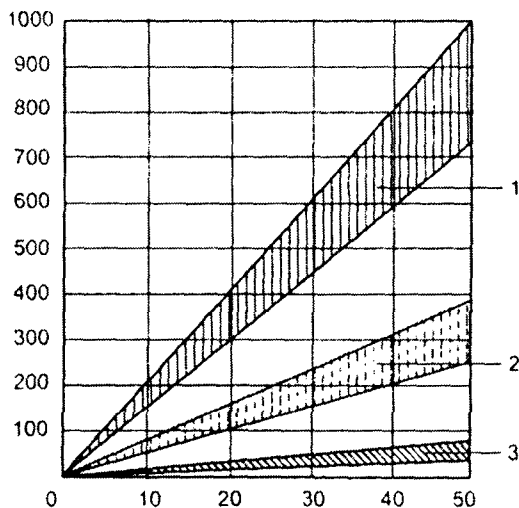
Trên hình 17-18 cho quan hệ giữa điện áp phóng điện và khoảng cách giữa các điện cực trong các chất điện môi khác nhau. Ta nhận thấy rằng, khi điện áp dưới 150kV thì khoảng cách phóng điện trong chân

không là bé nhất, tức là chân không có độ bền điện lớn nhất. Nếu điện áp lớn hơn 150kV, đường cong phóng điện của chân không có dạng bão hòa với



Hình 12-18. Quan hệ $U = f(l)$

1- Không khí ở 1 bar; 2- SF₆ ở 1 bar;
3- Dầu biến áp; 4- Chân không; 5- SF₆ ở 5 bar.



Hình 12-19. Quan hệ giữa năng lượng hồ quang và dòng điện cắt

1- Dầu; 2- SF₆; 3- Chân không.

trị số bão hòa khoảng 250kV.

Vì vậy, trên quan điểm phóng điện, máy cắt chân không sẽ có khoảng cách điện tối ưu với cấp điện áp đến 36kV (vì ở cấp điện áp này, điện áp thử nghiệm dạng xung là 170kV).

Trong chân không, điều kiện khuếch tán rất lớn nên tốc độ phục hồi độ bền cách điện rất cao, thời gian cháy của hồ quang thấp, năng lượng tổn hao khi cắt bé, lượng kim loại tiếp điểm bị bay hơi ít, tiếp điểm có tuổi thọ cao hơn. Trên hình 12-19 là quan hệ giữa năng lượng hồ

quang và dòng điện cắt trong các môi trường hồ quang khác nhau, trong đó năng lượng hồ quang trong chân không là bé nhất.

Các công bố đầu tiên về kết quả nghiên cứu đóng cắt dòng điện trong chân không được biết đến từ năm 1926, song mãi gần 40 năm sau máy cắt trung áp kiểu chân không có công suất cắt lớn mới được ra đời như là thương phẩm do hãng GENERAL ELECTRIC (USA) chế tạo. Sự chậm trễ giữa nghiên cứu và triển khai là do hai nguyên nhân chính. Thứ nhất, trong buồng cắt chân không, kim loại tiếp điểm khi đóng cắt bị bay hơi và lắng đọng, bám vào thành buồng cắt làm giảm độ bền cách điện của buồng cắt. Thứ hai là công nghệ vật liệu và chế tạo buồng chân không khá phức tạp.

Với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ, từ những năm 70 của thế kỷ XX, máy cắt chân không được chế tạo với số lượng tăng dần và thị phần của loại máy cắt này ngày càng chiếm tỷ trọng lớn trên thị trường máy cắt điện cao áp.

Ưu điểm chính của máy cắt chân không là kết cấu đơn giản, kích thước nhỏ gọn, thời gian cháy của hồ quang bé, chi phí bảo hành thấp, làm việc an toàn, ít khả năng cháy nổ.

Các thông số so sánh của các loại máy cắt được cho ở bảng sau:

Loại máy cắt Đặc điểm	Máy cắt ít dầu	Máy cắt nhiều dầu	Máy cắt khí SF ₆	Máy cắt chân không
Số lần đóng cắt tối thiểu với dòng cắt định mức	4 ÷ 10	4 ÷ 10	10 ÷ 50	30 ÷ 400
Số lần đóng cắt tối thiểu với dòng điện định mức	50 ÷ 1000	5000 ÷ 10000	2000 ÷ 10000	10000 ÷ 30000
Số lần đóng cắt cơ khí	10000	2000 ÷ 10000	5000 ÷ 20000	10000 ÷ 30000
Thời gian bảo trì (năm)	5	1	5 ÷ 10	10 ÷ 20

12.7.2. Buồng cắt chân không

Bộ phận quan trọng nhất của máy cắt chân không là buồng cắt chân không và được trình bày trên hình 12-20. Vỏ 1 của buồng cắt bằng vật liệu composit hình trụ, hai đầu được gắn tấm đáy 2 bằng kim loại. Tiếp điểm tĩnh và tiếp điểm động 3 dạng mặt tròn, thường làm bằng kim loại gồm crôm-đồng, có tính dẫn điện, nhiệt tốt và dập hồ quang thuận lợi.

Tiếp điểm tĩnh được hàn trên thanh dẫn tĩnh 4 hình trụ và cố định trên miếng đáy 2 để nối điện vào. Tiếp điểm động gắn với thanh dẫn động 5

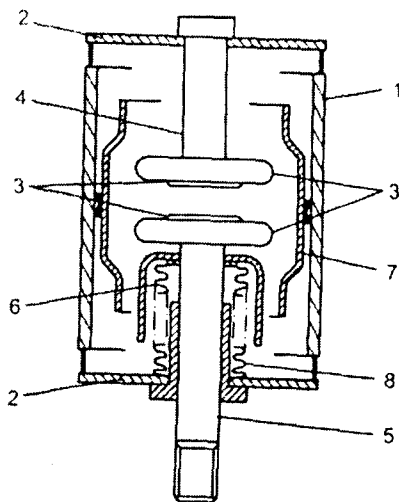
chuyển động tịnh tiến theo ống dẫn hướng 8. Ống xếp kim loại 6 có một phía hàn với thanh dẫn động, còn một phía hàn với tấm đáy 2 để đảm bảo chân không cho bình cất sau nhiều lần thao tác. Với công nghệ hiện đại, bình chân không đảm bảo được 30.000 lần thao tác. Ống kim loại 7 đóng vai trò màn chắn, ngăn không cho hơi kim loại bám vào bề mặt ống cách điện làm suy giảm điện trở cách điện.

Độ mở của tiếp điểm trong buồng cất chân không là tương đối bé, chỉ từ 6 đến 25 milimet cho cấp điện áp từ 3 đến 36kV.

Quá trình dập hồ quang trong buồng cất chân không xảy ra như sau: Khi hai tiếp điểm tách rời nhau, hồ quang xuất hiện và cùng với lượng kim loại của tiếp điểm bị bay hơi, tạo nên plasma ở vùng điện cực và dòng điện chạy qua vùng plasma cho tới khi nó đạt trị số không. Tại thời điểm dòng điện đi qua không, hơi kim loại mất tính dẫn điện và nhanh chóng khuếch tán ra xung quanh và chỉ sau vài micro giây, độ bền điện ở khe hở giữa hai tiếp điểm được phục hồi.

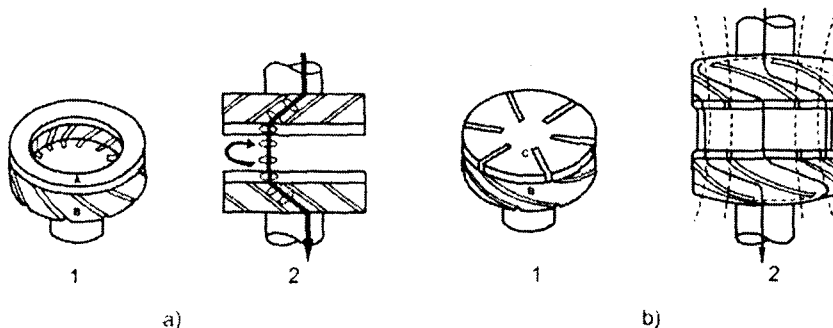
Trong thực tế, hồ quang thường bị tắt trước khi dòng điện đạt trị số không và trị số dòng điện này được gọi là dòng điện bám hồ quang. Nếu trị số dòng điện bám hồ quang càng bé thì khả năng phục hồi độ bền điện càng lớn, điều kiện cháy lặp lại của hồ quang càng giảm. Dòng điện bám hồ quang phụ thuộc vào vật liệu tiếp điểm và kim loại gôm crôm-đồng (40% Cr và 60% Cu) là vật liệu tiếp điểm thích hợp nhất cho máy cất chân không, vì ở loại vật liệu này, dòng bám dao động trong quãng từ 1 đến 5A, thời gian cháy của hồ quang bé hơn 15ms.

Các tiếp điểm của máy cất chân không có kết cấu kiểu đối, do đó trong quá trình tiếp xúc không có lăn và trượt, nên vùng tiếp xúc làm việc và tiếp xúc quá độ là như nhau. Để tránh việc hồ quang làm hỏng bề mặt tiếp xúc, cần tạo ra những kết cấu đặc biệt của tiếp điểm để trong quá trình cháy, chân hồ quang không được cố định một chỗ, mà phải di động để tạo điều kiện tốt cho việc làm lạnh hồ quang và bảo vệ mặt tiếp điểm khỏi bị chân hồ



Hình 12-20. Cấu tạo của buồng cất chân không.

quang làm rõ. Để giải quyết vấn đề trên, người ta dùng hai giải pháp cho kết cấu của tiếp điểm là kiểu tiếp điểm từ trường hướng kính (kiểu từ hồ quang quay) và tiếp điểm từ trường hướng trục. Bằng hai biện pháp này, hồ quang bị đẩy ra mép ngoài của tiếp điểm và chuyển động quay. Trên hình 12-21 cho hình dạng kết cấu của hai loại tiếp điểm này.



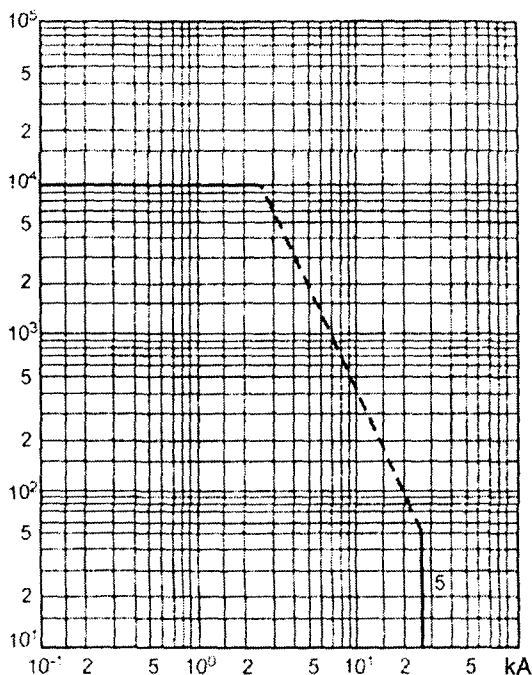
Hình 12-21

- a) Tiếp điểm từ trường hướng kính; b) - Tiếp điểm từ trường trục
 1- Cấu tạo tiếp điểm; 2- Đường đi của dòng điện và hướng hồ quang;
 A, C - Tiếp điểm bằng Cr-Cu; B - Thân đỡ tiếp điểm.

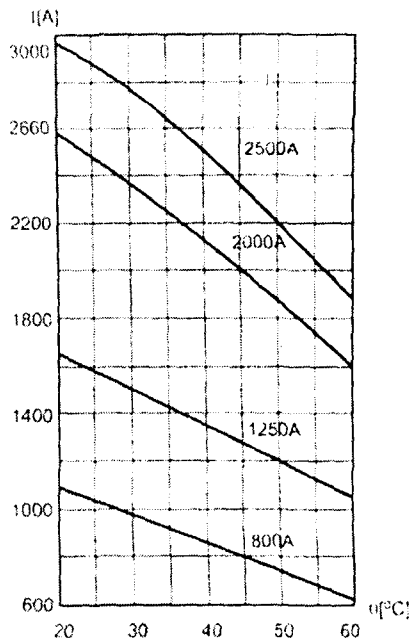
Nếu dòng điện cắt càng lớn, lượng kim loại càng nhiều, nên tiếp điểm chóng mòn, tuổi thọ của máy cắt giảm. Trên đồ thị hình 12-22 cho quan hệ giữa tuổi thọ tiếp điểm (số lần đóng cắt) và dòng điện cắt của buồng cắt chân không loại 24kV, dòng điện định mức 2500A, dòng điện định mức 25kA (số liệu của hãng ABB). Nếu dòng cắt đến dòng định mức ($I_c \leq 2500A$) tuổi thọ buồng cắt đạt 10.000 lần thao tác, còn nếu dòng cắt là 25kA, tuổi thọ chỉ còn 50 lần.

Buồng cắt chân không có thể tích bé, sự tỏa nhiệt của tiếp điểm khó khăn nên nhiệt độ môi trường xung quanh cũng ảnh hưởng đáng kể đến dòng điện dài hạn của máy cắt. Nếu nhiệt độ môi trường tăng, dòng điện tải phải giảm. Quan hệ giữa dòng điện tải và nhiệt độ môi trường xung quanh của buồng cắt chân không được cho ở đồ thị hình 12-23 và quan hệ này gần như tuyến tính. Ví dụ với buồng cắt có dòng định mức là 800A thì ở nhiệt độ môi trường 20°C, nó có thể mang tải dài hạn đến 1100A, còn khi nhiệt độ môi trường là 60°C thì tải giảm xuống, chỉ còn 600A.

Các máy cắt chân không chủ yếu dùng cho cấp điện áp đến 24kV, dùng cho lắp đặt trong nhà, trong các tủ phân phối hợp bộ, dòng điện định mức từ 800A đến 3150A, dòng cắt đến 40kA.



Hình 12-22. Quan hệ giữa tuổi thọ tiếp điểm và dòng điện cắt.



Hình 12-23. Ảnh hưởng của nhiệt độ tới dòng điện dài hạn.

12.8. NGUYÊN LÝ THAO TÁC CỦA MÁY CẮT

Như ta đã biết, máy cắt là thiết bị điện dùng để đóng cắt mạch điện ở mọi chế độ làm việc: không tải, có tải và sự cố. Ở chế độ sự cố, máy cắt tự động cắt mạch điện nên nó thuộc nhóm khí cụ điện bảo vệ mạng điện. Sự cố nặng nề nhất là sự cố ngắn mạch.

Các bộ phận chủ yếu của máy cắt là buồng cắt và cơ cấu truyền động, được kết nối cơ khí với nhau. Tùy theo môi trường dập hồ quang, ta có các loại máy cắt điện từ, máy cắt tự sinh khí, máy cắt dầu, máy cắt không khí nén, máy cắt khí SF_6 và máy cắt chân không.

Theo nguyên lý làm việc của cơ cấu truyền động, ta có các kiểu truyền động bằng lò xo, bằng nam châm điện, bằng khí nén và bằng thủy lực, trong đó kiểu truyền động bằng lò xo được dùng thông dụng nhất.

Trước khi đóng, năng lượng được tích lũy trong bộ truyền động với một thế năng đủ lớn. Khi có tín hiệu "đóng", thế năng này được giải phóng và biến thành động năng làm đóng tiếp điểm động vào tiếp điểm tĩnh. Trong

quá trình đóng, một phần năng lượng "đóng" được nạp năng lượng cho cơ cấu "cắt" để chuẩn bị sẵn sàng cho quá trình cắt.

Ở bộ truyền động kiểu lò xo, việc tính năng lượng cho lò xo "đóng" được thực hiện bằng động cơ điện chấp hành qua hộp giảm tốc hoặc bằng tay qua cần thao tác. Khi năng lượng được tích đủ, động cơ điện dừng làm việc nhờ công tắc hành trình. Muốn đóng máy cắt, chỉ việc nhả chốt hãm lò xo đóng, năng lượng trong nó sẽ được truyền qua hệ thống thanh truyền để đóng tiếp điểm động vào tiếp điểm tĩnh. Việc nhả chốt hãm lò xo đóng có thể thực hiện tại chỗ bằng nút ấn "ON" hoặc từ xa bằng "nam châm điện đóng".

Trong quá trình đóng, lò xo cắt được nạp năng lượng và được tích lại dưới dạng thế năng nhờ chốt hãm lò xo cắt, sẵn sàng cho thao tác "cắt". Sau khi đóng xong, lò xo đóng xả hết năng lượng, động cơ điện lại được cấp điện để tích năng lượng cho lò xo đóng cho lần đóng sau.

Thao tác "cắt" (OFF) của máy cắt được thực hiện nhờ giải phóng năng lượng tích trong lò xo cắt bằng cách nhả chốt hãm lò xo cắt. Chốt hãm này có thể nhả bằng tay qua nút ấn "OFF" hoặc từ xa bằng nam châm điện cắt có cuộn dây điện áp được cấp nguồn từ nguồn điều khiển. Ngoài ra, còn có cuộn cắt thứ hai, dạng cuộn dây dòng điện, cấp nguồn từ máy biến dòng để cắt nhanh khi ngắn mạch.

Các tín hiệu cắt sự cố được lấy từ các role bảo vệ như role quá dòng, role chạm đất, role so lệch, role hơi của máy biến áp... Với các máy cắt bảo vệ đường dây truyền tải, thường có chức năng đóng lặp lại để tăng độ tin cậy cung cấp điện đối với các sự cố thoáng qua như sét đánh, phóng điện qua sứ do bề mặt bẩn...

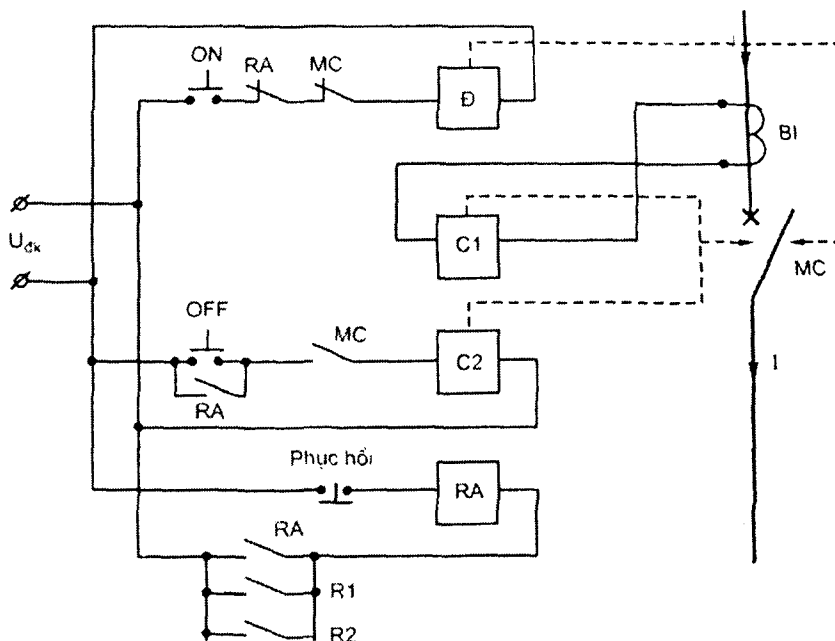
Chế độ đóng lặp lại của các máy cắt hiện đại theo chu trình: Cắt - 0,2s - Đóng Cắt - 180s - Đóng Cắt.

Mạch điện nguyên lý thao tác của máy cắt cho ở hình 12-24.

Khi ấn công tắc "ON" cuộn dây đóng Đ nối tiếp với tiếp điểm thường kín của máy cắt MC và tiếp điểm thường kín của role trung gian RA được cấp nguồn, nhả chốt của lò xo đóng làm tiếp điểm động đóng vào tiếp điểm tĩnh, máy cắt ở trạng thái đóng.

Muốn cắt máy cắt. ấn nút "OFF", cuộn dây cắt C2 được nối tiếp với tiếp điểm phụ thường hở của máy cắt có điện (vì lúc này máy cắt đang ở trạng thái đóng nên tiếp điểm thường mở ở trạng thái thông mạch), chốt hãm lò xo cắt được giải phóng, máy cắt được cắt. Nếu trong quá trình làm việc xảy ra sự cố, các role bảo vệ R1, R2,... sẽ tác động, cấp nguồn cho cuộn dây role trung gian RA, làm các tiếp điểm thường mở của role RA tác động, cấp

nguồn cho cuộn cắt C2, máy cắt được cắt điện. Trong trường hợp ngắn mạch, dòng ngắn mạch đủ lớn nên thứ cấp của BI cấp đủ năng lượng cho cuộn cắt C1, cắt nhanh máy cắt.



Hình 12-24. Sơ đồ nguyên lý thao tác của máy cắt.

Nếu cắt sự cố, cuộn dây RA có điện làm tiếp điểm thường kín của RA nối tiếp với cuộn Đ hở, nên không đóng được máy cắt. Sau khi giải trừ sự cố, phải ấn nút "phục hồi" để cắt điện cuộn RA đưa mạch điều khiển về vị trí ban đầu cho sẵn sàng đóng.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 12

1. Ưu, nhược điểm của máy cắt điện từ và máy cắt tự sinh khí.
2. Các đặc điểm của máy cắt dầu.
3. Các đặc điểm của một chiều không khí nén. Các nguyên lý thổi hồ quang ở máy cắt dầu và máy cắt không khí nén giống nhau và khác nhau ở những điểm nào?
4. Các đặc điểm của máy cắt khí SF₆.
5. Các đặc điểm của máy cắt chân không.
6. Trình bày nguyên lý thao tác của máy cắt.

DAO CÁCH LY, DAO NGẮN MẠCH, THIẾT BỊ CHỐNG SÉT

13.1. DAO CÁCH LY

13.1.1. Khái niệm chung về dao cách ly

Dao cách ly là khí cụ điện để đóng cắt mạch điện cao áp ở chế độ không tải hoặc không dòng điện và tạo nên khoảng cách cách điện an toàn có thể nhìn thấy được, đảm bảo an toàn tuyệt đối cho việc lắp đặt, bảo dưỡng, sửa chữa lưới điện sau dao cách ly.

Ở trạng thái đóng, dao cách ly phải chịu được dòng điện định mức dài hạn và dòng điện sự cố ngắn hạn như dòng ổn định nhiệt ổn định điện động.

Trong mạch điện, dao cách ly thường được lắp đặt trước các thiết bị bảo vệ như cầu chì, máy cắt. Dao cách ly thường có dao nối đất đi kèm và liên động với nhau. Ở trạng thái đóng, dao nối đất ở trạng thái hở mạch cách ly phần mang điện với đất. Ở trạng thái cắt của dao cách ly, dao nối đất sẽ tự động nối phần mạch điện sau dao cách ly với đất để phóng điện áp dư trong mạch cắt, đảm bảo an toàn. Thao tác của cụm dao cách ly - máy cắt như sau trong quá trình đóng, dao cách ly đóng trước, máy cắt đóng sau, còn trong quá trình cắt, máy cắt được cắt trước, sau đó đến dao cách ly. Để tránh thao tác nhầm, thường giữa dao cách ly và máy cắt có cơ cấu khóa liên động.

Các yêu cầu chính đối với dao cách ly là:

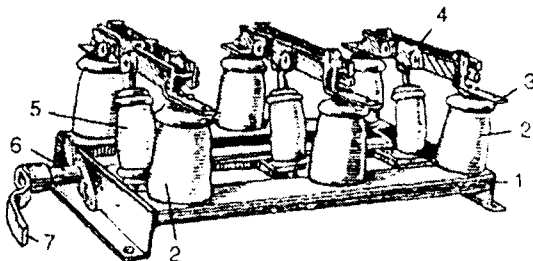
- Phải đảm bảo cách ly an toàn, rõ ràng.
- Ở trạng thái đóng, phải chịu được dòng điện dài hạn và có độ bền nhiệt, độ bền điện động cần thiết.
- Phải làm việc tin cậy trong điều kiện phức tạp, nhất là các dao cách ly lắp đặt ngoài trời.
- Kết cấu đơn giản, dễ thao tác, dễ bảo trì.

Việc lựa chọn dao cách ly dựa vào điều kiện lắp đặt, điện áp định mức và dòng điện định mức của tải, tất nhiên phải kiểm tra độ bền nhiệt và điện động

13.1.2. Các loại dao cách ly

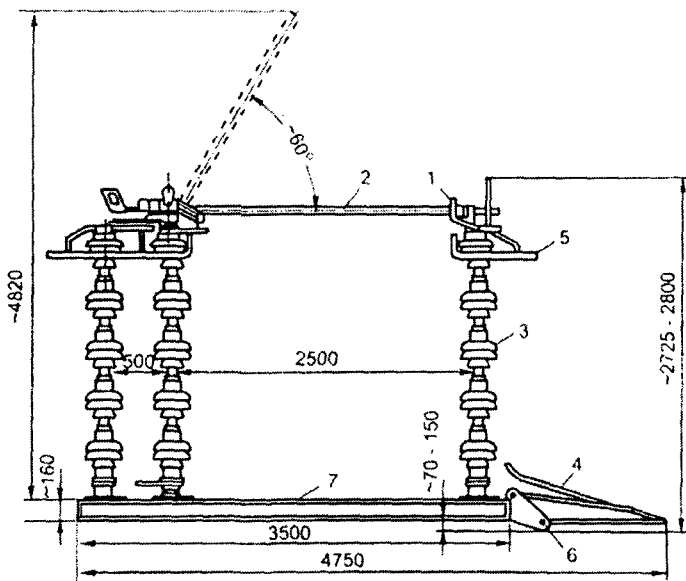
Tùy theo môi trường lắp đặt, ta có hai loại: lắp đặt trong nhà và lắp đặt ngoài trời. Loại lắp đặt ngoài trời thường có kích thước lớn hơn.

Theo kết cấu, ta có dao cách ly một pha và dao cách ly ba pha. Ở dao cách ly một pha, việc thao tác được thực hiện riêng rẽ cho từng pha, còn ở dao cách ly ba pha, việc thao tác được tiến hành đồng thời cho cả ba pha nhờ trực truyền động chung.

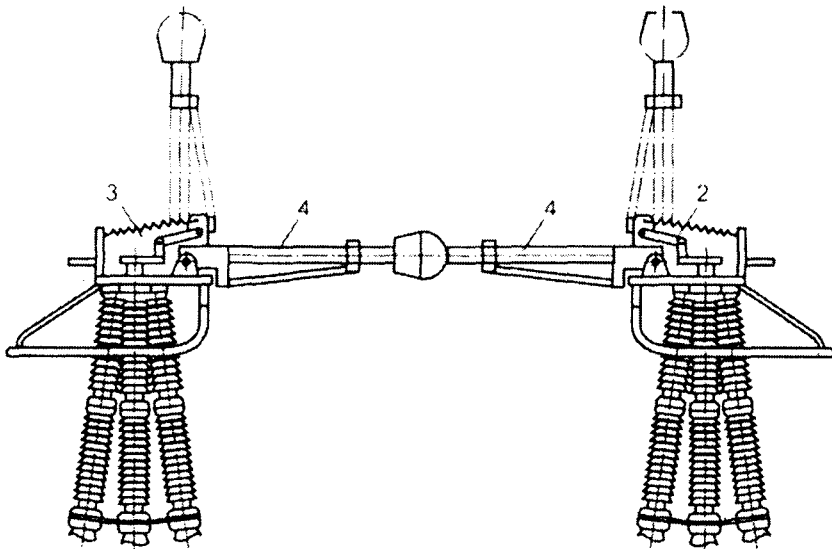


Hình 13-1. Dao cách ly ba pha kiểu chém, 10kV, 600A
1- Đế; 2- Sứ đỡ; 3- Tiếp điểm tĩnh; 4- Tiếp điểm động;
5- Thanh truyền; 6- Trục; 7- Tấm nối.

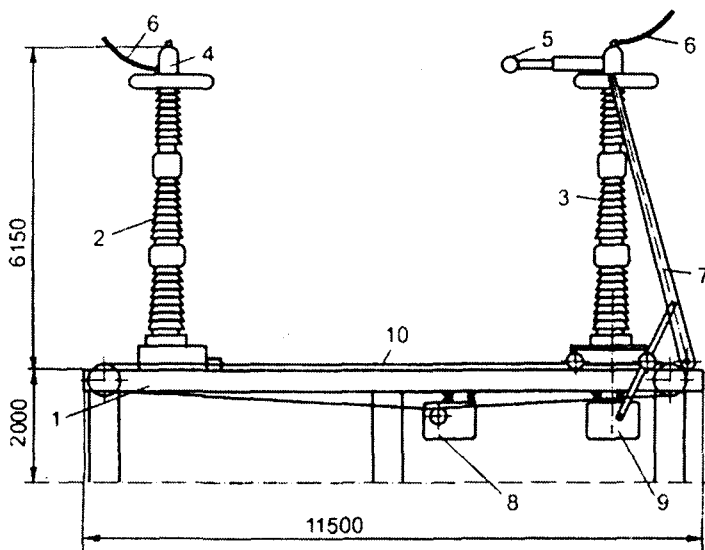
Theo hướng truyền động của tiếp điểm động, có các kiểu dao cách ly: kiểu chém, kiểu quay hai trụ, kiểu quay 3 trụ, kiểu trượt, kiểu khung xếp và kiểu khung treo. Hình dạng kết cấu của các loại dao cách ly trên được cho ở các hình 13-1 đến 13-8.



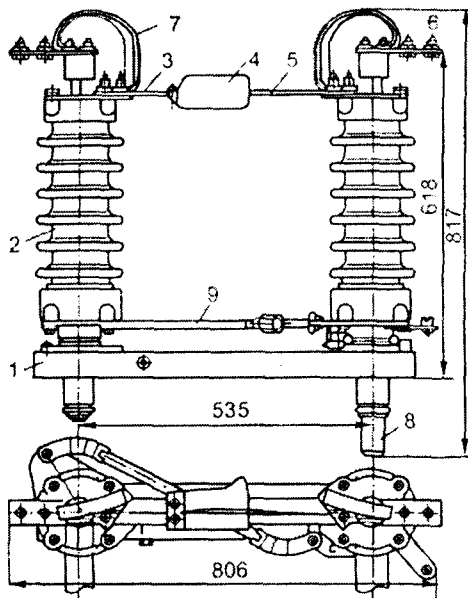
Hình 13-2. Dao cách ly - dao nối đất kiểu chém, 220kV, 600 ÷ 1000A
1- Tiếp điểm tĩnh; 2- Tiếp điểm động; 3- Sứ đỡ; 4- Dao nối đất;
5- Đầu nối; 6- Tấm nối; 7- Đế.



Hình 13-3. Dao cách ly kiểu chêm, hai nửa dao
1- Sứ cách điện; 2- Cơ cấu truyền động; 3- Lò xo; 4- Tiếp điểm.

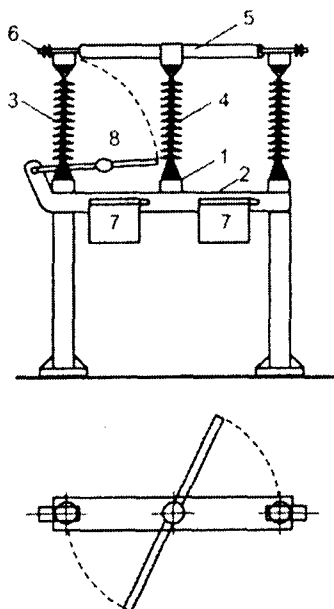


Hình 13-4. Dao cách ly kiểu trượt, 400kV, 1000A
1- Khung thép; 2- Sứ đỡ; 3- Sứ trượt; 4- Tiếp điểm tĩnh; 5- Tiếp điểm động;
6- Dây dẫn mềm; 7- Dao nối đất; 8- Bộ truyền động kiểu động cơ điện;
9- Truyền động dao nối đất; 10- Dây kéo sứ trượt.



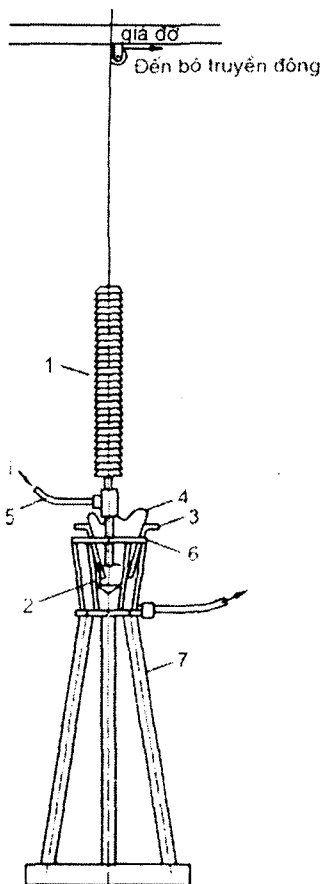
Hình 13-5. Dao cách ly kiểu quay hai trụ, 35kV, 600A

1- Đế; 2- Sứ đỡ; 3, 5 - Thanh dẫn; 4- Tiếp điểm; 6- Đầu nối; 7- Dây dẫn mềm; 8- Trục truyền động; 9- Thanh truyền.



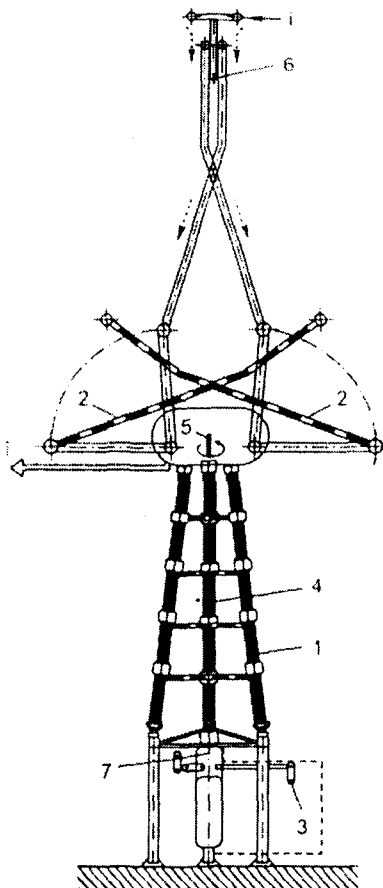
Hình 13-6. Dao cách ly kiểu quay, ba trụ

1- Trụ đỡ; 2- Khung; 3- Sứ cố định; 4- Sứ động; 5- Thanh dẫn động; 6- Đầu nối; 7- Hộp truyền động; 8- Dao nối đất.



Hình 13-7. Dao cách ly kiểu treo
500kV, 1600A

1- Sứ treo; 2- Tiếp điểm động; 3- Tai tiếp điểm động; 4- Dây nối mềm; 5- Đầu nối; 6- Tiếp điểm tĩnh; 7- Sứ đỡ.



Hình 13-8. Dao cách ly kiểu khung truyền,
750kV, 2000A

1- Sứ đỡ; 2- Tiếp điểm động kiểu khung truyền; 3- Bộ truyền động; 4- Sứ quay; 5- Cơ cấu quay; 6- Tiếp điểm tĩnh; 7- Tay quay.

13.2. DAO NGẮN MẠCH

Dao ngắn mạch là thiết bị điện tự động, nhanh chóng nối ngắn mạch lưới khi có tín hiệu sự cố, tạo dòng ngắn mạch cho máy cắt tác động.

Dao ngắn mạch thường được sử dụng trong các trạm biến áp để thay thế máy cắt, giảm chi phí lắp đặt nhưng vẫn đảm bảo độ tin cậy của cung cấp điện.

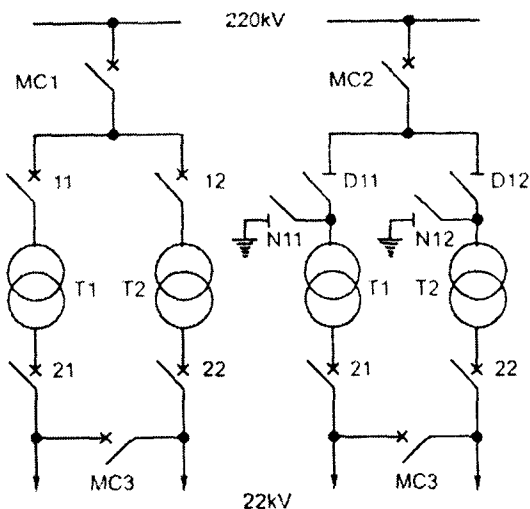
Trên hình 13-9 cho sơ đồ thường gặp của trạm biến áp dùng các máy cắt

bảo vệ (hình 13-9a) và được thay thế hai máy cắt nhánh MC11 và MC12 bằng cuộn dao cách ly và dao ngắn mạch D11, N11 và D12, N12.

Ở sơ đồ dùng các máy cắt, khi một máy biến áp gặp sự cố, máy cắt phía sơ cấp MC11 hoặc MC12 cắt, đồng thời máy cắt phía thứ cấp tương ứng cũng cắt để cách ly phân đoạn sự cố ra khỏi lưới, đồng thời đóng máy cắt phân đoạn MC3 để cấp tải cho cả hai bộ thứ cấp.

Ở sơ đồ dùng dao cách ly và dao ngắn mạch, trình tự hoạt động như sau: nếu một máy biến áp bị sự cố, bảo vệ rơle sẽ truyền tín hiệu để dao ngắn mạch tương ứng tác động, do đó máy cắt tổng

MC1 sẽ cắt cả hai máy biến áp. Tín hiệu tác động của rơle bảo vệ cũng được truyền đến máy cắt thứ cấp của máy biến áp sự cố và phía thứ cấp của máy biến áp sự cố cũng được cắt điện. Sau một thời gian trễ, dao cách ly phía máy sự cố sẽ được cắt ra và máy cắt tổng MC2 lại tác động, cấp điện cho cả hai bộ thứ cấp, còn máy cắt liên lạc MC3 cũng ra khỏi lưới nhờ dao cách ly (cắt không dòng điện vì máy cắt MC2 đã cắt rồi) và máy cắt thứ cấp tương ứng ở trạng thái cắt.

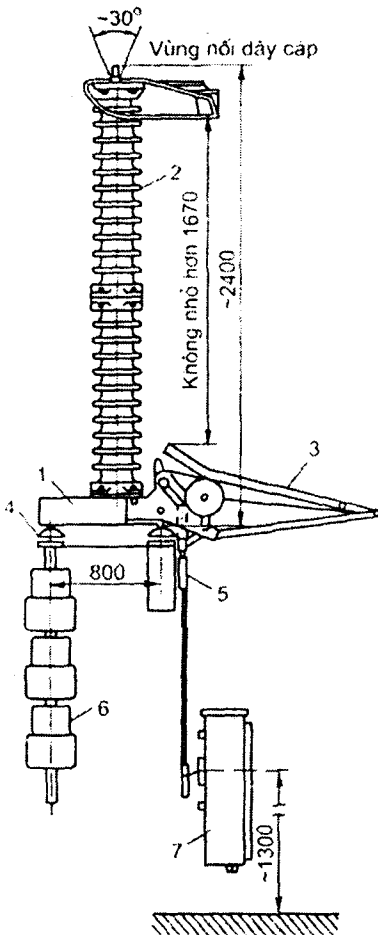


Hình 13-9. Sơ đồ 1 sợi trạm biến áp
a) Dùng máy cắt; b) Dùng dao ngắn mạch

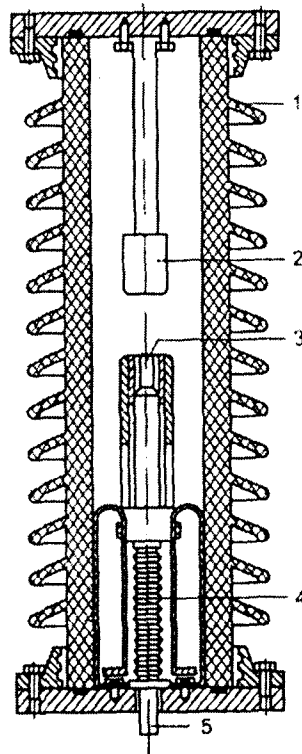
Trên hình 13-10 cho kích cỡ và hình dạng dao ngắn mạch một pha 220kV kiểu khung truyền. Trên khung 1 được lắp sứ trụ 2 có tiếp điểm tĩnh ở phía trên và được nối với bộ truyền động 7 qua sào cách điện 5. Khung đỡ 1 và các chi tiết trên nó được đặt trên sứ cách điện 4, cách điện với đất. Khung truyền 3 được nối với đất qua máy biến dòng 6. Ở trạng thái cắt của dao ngắn mạch lò xo đóng trong bộ truyền động 7 được tính năng lượng để chờ đóng. Khi có tín hiệu đóng từ phía rơle hơi bảo vệ máy biến áp, nam châm điện đóng được cấp nguồn, thúc chốt hãm lò xo đóng làm giải phóng năng lượng tích trong lò xo, đẩy khung 3 lên tiếp điểm tĩnh làm ngắn mạch lưới điện.

Với lưới điện có trung tính nối đất, chỉ cần dùng một dao ngắt mạch. Còn ở lưới điện trung tính cách ly, phải dùng hai dao ngắt mạch, có các tiếp điểm động nối với nhau để tạo nên dòng ngắt mạch hai pha, đủ lớn cho máy cắt tác động.

Tuổi thọ của dao ngắt mạch có thể đạt 2000 lần thao tác. Nhược điểm chính của loại dao ngắt mạch kiểu hở là kích thước lớn và tiếp điểm chịu tác động của môi trường nên cần phải bảo dưỡng. Mặt khác, vì cách điện là không khí nên khoảng cách giữa hai tiếp điểm lớn nên thời gian tác động lớn (khoảng 0,5 đến 1 giây).



Hình 13-10. Dao ngắt mạch 220kV kiểu khung truyền.



Hình 13-11. Dao ngắt mạch SF₆
1- Vỏ; 2- Tiếp điểm tĩnh; 3- Tiếp điểm động;
4- Ống xếp; 5- Cơ cấu truyền động.

Ở hệ thống điện năng hiện đại, yêu cầu thời gian tác động của dao ngắt mạch bé, khoảng 0,08 đến 0,12 giây. Dao ngắt mạch kiểu chân không và khí

SF_6 đáp ứng được yêu cầu này, trong đó dao ngắn mạch khí SF_6 có ưu điểm hơn, vì có thể chế tạo cho mọi cấp điện áp, khả năng chịu dòng điện lớn hơn.

Trên hình 13-11 cho kết cấu của dao ngắn mạch khí SF_6 . Ở cấp điện áp 110kV, khoảng cách giữa hai tiếp điểm nằm trong cỡ từ 85 đến 100mm, áp suất 3bar, thời gian tác động giảm 5 ÷ 6 lần so với dao ngắn mạch loại hở.

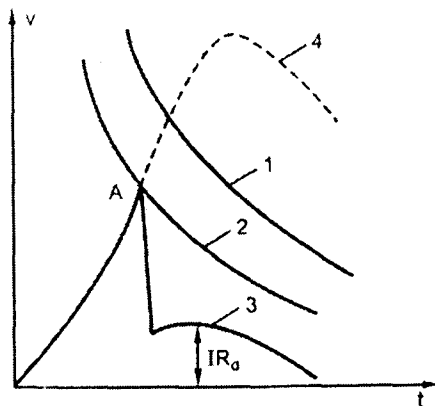
13.3. THIẾT BỊ CHỐNG SÉT

13.3.1. Khái niệm chung về thiết bị chống sét

Thiết bị chống sét là khí cụ điện dùng để bảo vệ các thiết bị điện tránh bị hỏng hóc cách điện do quá điện áp dạng xung có nguồn gốc từ khí quyển (thường là do sét) tác động vào. Muốn dẫn được xung điện áp cao xuống đất, một đầu của thiết bị chống sét được nối với đường dây tải điện, còn đầu kia nối đất. Khi có quá điện áp cao, thiết bị chống sét phải nhanh chóng dẫn xung điện áp này xuống đất (để xung cao áp này không tác động lên cách điện của thiết bị, tránh cho trường hợp cách điện bị chọc thủng) và phải ngăn chặn được dòng điện do điện áp tần số công nghiệp chạy xuống đất. Như vậy thiết bị chống sét công dụng như một van, chỉ có sóng của sét đi qua, cho nên còn có tên gọi là van chống sét.

Các yêu cầu chính đối với thiết bị chống sét là:

- Đặc tính bảo vệ của thiết bị chống sét phải thấp hơn đặc tính bảo vệ của cách điện. Trên hình 13-12 cho dạng đặc tính này. Nếu không có thiết bị chống sét, xung sét sẽ đi theo đường 4, có trị số lớn hơn đặc tính cách điện (đường 1), cách điện sẽ bị hỏng. Khi có thiết bị chống sét, đặc tính (đường 2) của nó thấp hơn điện cách điện (đường 1), vậy xung sét (đường 3) đến điểm A thì chạy xuống đất, hạn chế được điện áp cao đặt lên cách điện.



Hình 13-12. Đặc tính bảo vệ của chống sét.

- Điện áp dư sau khi chống sét tác động phải có trị số thấp ($U_{du} = I.R_{du}$), không gây nguy hiểm cho cách điện.

- Nhanh chóng hạn chế và dập tắt dòng điện chính xác do điện áp tần số công nghiệp gây ra.

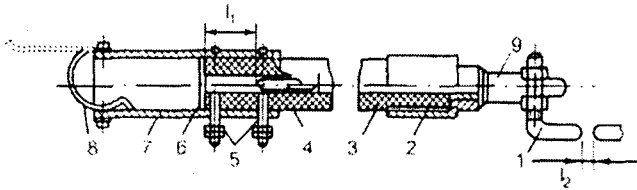
- Có tuổi thọ cao, chịu dòng điện lớn.

Dựa vào cấu tạo, ta có chống sét ống, chống sét van có khe hở và chống sét van không có khe hở.

13.3.2. Các loại chống sét

a) Chống sét ống

Có nguyên lý cấu tạo trên hình 13-13. Ống 3 bằng vật liệu cách điện tự sinh khí, bên trong có điện cực 4, một đầu nối với mũ kim loại 9. Điện cực thứ hai là tấm kim loại hình tròn 6, có lỗ ở giữa, được gắn với ống kim loại 7, có các bulông 5 để cố định và được nối đất. Cuối ống 7 có lá chắn 8, tạo nên buồng dẫn khí. Khoảng cách phóng điện chính l_1 và khoảng cách phóng điện phụ l_2 nối tiếp với nhau. Khoảng cách phụ l_2 dùng để ngăn chặn dòng điện rò trên bề mặt cách điện của ống 3 và để hiệu chỉnh điện áp phóng điện.



Hình 13-13. Chống sét ống.

Khi xảy ra quá điện áp, quá trình phóng điện thực hiện qua hai khe hở phóng điện nối tiếp l_1 và l_2 . Dòng điện xung và dòng điện xoay chiều đi qua chống sét. Dưới tác dụng của hồ quang, vật liệu tự sinh khí bốc hơi và tạo nên áp suất khí ở ống 3 và thổi hồ quang qua lỗ của tấm 8, vào buồng giãn khí. Hồ quang sẽ được dập tắt khi dòng điện xoay chiều đi qua trị số 0.

Chống sét ống có cấu tạo đơn giản, giá thành thấp nhưng khả năng cắt bị hạn chế (đến 20kA), vì vậy nó chỉ dùng để bảo vệ đường dây công suất truyền tải thấp và không có dây chống sét.

b) Chống sét van có khe hở phóng điện

Bộ phận chủ yếu của loại chống sét này là chuỗi các khe hở phóng điện ghép nối tiếp với chuỗi các điện trở phi tuyến dạng đĩa, được đặt trong vỏ cách điện kín. Điện cực trên là mũ kim loại của vỏ cách điện, được nối với

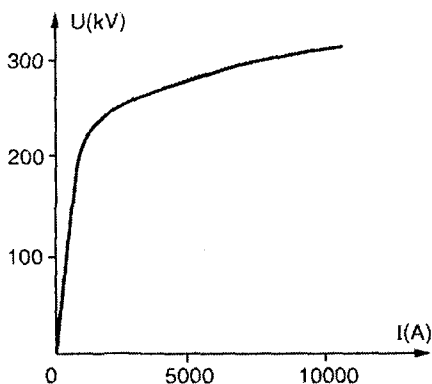
đường dây tải điện, còn điện cực dưới là để kim loại, được nối đất.

Cấu tạo của một chống sét van có khe hở phóng điện được cho ở hình 13-14.

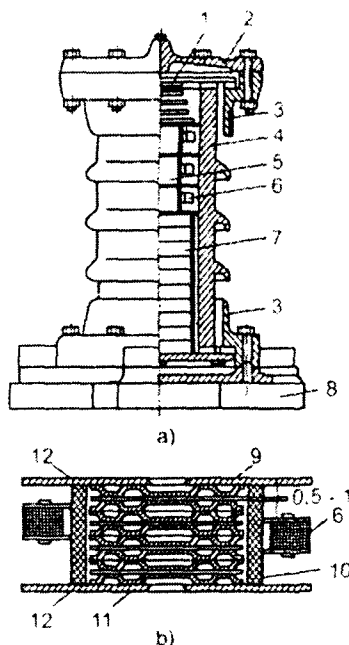
Khi có điện áp cao xuất hiện trên đường dây tải điện, điện sẽ phóng qua chống điện trở và qua các khe hở phóng điện xuống đất. Chống điện trở vilit gồm các đĩa đặt đè lên nhau, được chế tạo từ các hạt cacbua silic, có phủ SiO_2 . Đặc tính của điện trở vilit là phi tuyến, cho ở hình 13-15.

Khi có điện áp cao do sét gây ra, chống điện trở vilit có trị số điện trở bé, nhanh chóng dẫn dòng điện xung xuống đất. Khi dòng điện xung hết, điện áp phóng điện là điện áp định mức của lưới có giá trị thấp nên điện trở của vilit được phục hồi nhanh chóng với trị số lớn, hạn chế dòng điện xoay chiều và hồ quang bị dập tắt khi dòng điện này đi qua trị số không.

Các dạng điện cực ở các khe hở phóng điện đảm bảo điện trường giữa chúng là đều. Khe hở giữa hai điện



Hình 13-15. Đặc tính V-A của vilit



Hình 13-14. Chống sét van có khe hở

a) cấu tạo chung; b) Khối khe hở

- 1- Lò xo ép; 2- Vòng đệm; 3- Mũ kim loại;
- 4- Vỏ cách điện; 5- Khối khe hở; 6- Điện trở phân áp; 7- Chống điện trở vilit; 8- Đế;
- 9- Vòng đệm; 10- Vỏ cách điện trong;
- 11- Lớp điện cực; 12- Tấm ép kim loại.

cực gần nhau khoảng $(0,5 \div 1)\text{mm}$. Đĩa vilit đường kính 100mm có thể chịu dòng điện xung 10kA trong thời gian 40 μs , nhưng chỉ chịu dòng điện xoay chiều 100A trong vài giây. Các điện trở phân áp 6 có trị số lớn, để phân bố điện áp đều trên các khe hở.

Chống sét van có khe hở phóng điện thường được dùng để bảo vệ cho các máy biến áp, máy phát điện cho cấp điện áp trung áp và cao áp.

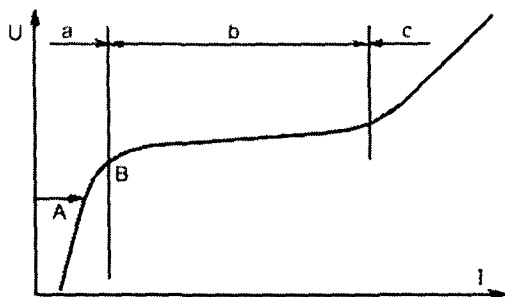
c) Chống sét van không có khe hở

Với sự phát triển nhanh chóng của khoa học và công nghệ, chống sét van có khe hở phóng điện đang được thay thế dần bởi loại chống sét van không có khe hở phóng điện, với các đặc tính kỹ thuật ưu việt hơn.

Bộ phận chính của chống sét van không có khe hở là chống điện trở ôxít kim loại, có đặc tính vôn-ampe cho ở hình 13-16, có khả năng hấp thụ năng lượng cao. Khi điện áp tăng cao quá điểm giới hạn B (còn gọi là điểm nhọn), điện trở của van đột ngột giảm, dẫn dòng điện xung xuống đất. Khi điện áp xung hết, vì điện áp tần số công nghiệp có giá trị thấp nên điện của ôxít kim loại được phục hồi với trị số rất lớn, ngăn không cho dòng điện xoay chiều chạy xuống đất. Trên hình 13-17 trình bày cấu tạo của van chống sét ôxít kẽm, kiểu EXLIMO do hãng ABB chế tạo.

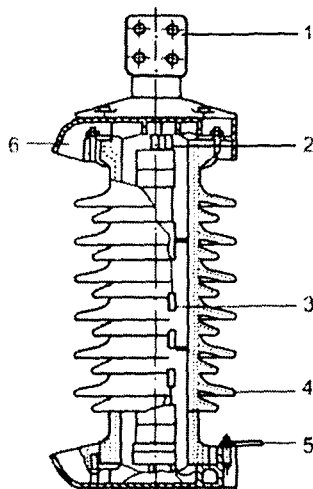
Với sự cố dòng điện lớn, thời gian dài, van bị nóng, có thể gây nên vỡ cách điện. Trong trường hợp này, ống thoát áp suất sẽ được nhanh chóng mở ra, đảm bảo an toàn cho van.

Để tăng khả năng chịu dòng điện của van, người ta còn nối các chống điện trở song song với nhau. Ở các loại van mới, vỏ bằng sứ được thay thế bằng vỏ cách điện composit, tăng được độ bền cơ và giảm khối lượng, kích thước của van. Ở các trạm đóng cắt hợp bộ loại cách điện khí SF₆,



Hình 13-16. Đặc tính V-A của điện trở ôxít kim loại

- a) Vùng tuyến tính dưới (vùng làm việc);
- b) Vùng phi tuyến; c) Vùng tuyến tính trên.



Hình 13-17. Van chống sét ôxít kim loại

- 1- Đầu nối cao áp; 2- Cơ cấu xả áp suất;
- 3- Chống điện trở ôxít kim loại; 4- Vỏ;
- 5- Đầu nối đất; 6- Ống thoát hơi.

người ta còn sử dụng các van chống sét có vỏ bằng kim loại, còn cách điện bên trong là khí SF_6 .

13.3. CHỌN CHỐNG SÉT

Khi chọn chống sét, cần phải đảm bảo các điều kiện sau:

- Điện áp định mức của chống sét phải bằng điện áp định mức của thiết bị điện hoặc lưới điện cần bảo vệ.
- Dòng điện ngắn mạch của lưới tại điểm đặt chống sét phải nhỏ hơn dòng điện ngắn mạch mà chống sét có thể chịu được.
- Điểm đặt chống sét càng gần thiết bị bảo vệ thì độ tin cậy càng cao.
- Phần nối đất của chống sét phải tin cậy.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 13

1. Chức năng của dao cách ly và đặc điểm các loại dao cách ly.
2. Sự khác nhau giữa dao nối đất trong tổ hợp dao cách ly - nối đất và dao ngắn mạch.
3. Đặc điểm của các loại chống sét.

THIẾT BỊ HỢP BỘ VÀ CẤP BẢO VỆ CỦA THIẾT BỊ ĐIỆN

14.1. THIẾT BỊ HỢP BỘ

14.1.1. Khái niệm chung

Trước đây việc tổ hợp các thiết bị phân phối, điều khiển điện năng thường được thực hiện theo trình tự kinh điển sau: đầu tiên là khâu thiết kế phân điện, dựa vào các yêu cầu của sơ đồ cung cấp điện với điện áp, dòng điện và công suất định mức. Kế tiếp là chọn các thiết bị đóng cắt, đo lường, điều khiển tương ứng. Trên cơ sở sơ đồ điện và các thiết bị đã chọn, phải thiết kế và thi công phần bao che, sau đó là khâu lắp đặt, đấu nối, hiệu chỉnh và thử nghiệm các thiết bị. Tất cả các công đoạn này tốn không gian, thời gian, công sức và đòi hỏi trình độ tay nghề cao, nhất là khâu lắp đặt, đấu nối, hiệu chỉnh và thử nghiệm thiết bị.

Với sự phát triển nhanh chóng của ngành chế tạo thiết bị điện cũng như các ngành khoa học - công nghệ khác, ngày nay việc tổ hợp các thiết bị điện cho các trạm đóng cắt, phân phối điện năng được thực hiện bằng phương pháp tiên tiến: đó là chế tạo các thiết bị hợp bộ.

Thiết bị hợp bộ là tổ hợp các thiết bị điện đóng cắt, đo lường, điều khiển, được lắp ráp theo sơ đồ điện cần thiết trong điều kiện sản xuất hàng loạt với trình độ công nghệ tiên tiến, chuyên môn hóa cao. Những ưu điểm nổi bật của thiết bị hợp bộ là: độ tin cậy cao, kích thước nhỏ gọn, vận hành an toàn, dễ bảo trì, thay thế.

Ngày nay thiết bị hợp bộ được dùng rộng rãi cho các trạm đóng cắt, phân phối điện hạ áp, trung áp, cao áp.

Để đáp ứng được yêu cầu của thiết bị hợp bộ, các thiết bị điện thành phần phải có độ chuẩn hóa cao về thông số kỹ thuật, kích thước cũ, kích thước lắp ráp, kiểu liên kết chuyển tiếp giữa các thiết bị với nhau.

Với các thiết bị điện có công suất lớn, kích thước và khối lượng của chúng cũng lớn, nên việc lắp đặt chúng thường được thực hiện trên thanh

trượt hoặc bánh xe, rất thuận lợi cho việc thao tác, kiểm tra, thay thế. Còn ở các phần tử có kích thước và khối lượng nhỏ hơn, việc lắp ráp và cố định chúng thường nhờ các gờ, ngàm. Tiếp xúc điện giữa các phần tử được thực hiện bằng tiếp xúc kiểu ngàm có lò xo ép như ở dao cách ly hoặc kiểu tiếp xúc hoa huệ, rất phổ biến ở thiết bị hợp bộ trung áp và cao áp, cho phép dòng điện định mức đến hàng ngàn ampe. Ở các mạch điều khiển và mạch tín hiệu, thường có dòng điện bé và điện áp thấp, việc nối điện giữa các bộ phận thường nhờ các giắc cắm nhiều chân có mạ bạc, đảm bảo tiếp xúc điện tốt và dễ tháo lắp.

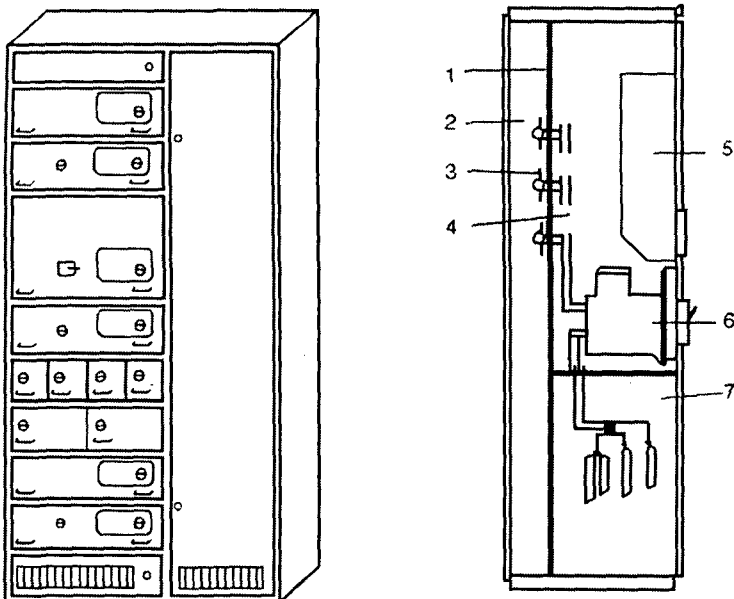
Việc tháo lắp các phần tử trong thiết bị hợp bộ được thực hiện theo một quy trình nghiêm ngặt. Nếu khi lắp ráp, phần tử nằm chưa đúng vị trí chuẩn hoặc trình tự thao tác sai thì công việc không thể tiến hành được, vì các khóa liên động kết hợp công tắc hành trình sẽ khóa hệ thống, tránh thao tác nhầm, đảm bảo an toàn cho người và thiết bị.

Vấn đề cách điện ở thiết bị hợp bộ được quan tâm một cách đặc biệt, vì nó đảm bảo độ tin cậy, độ an toàn. Ở cấp điện áp hạ áp và trung áp, cách điện thường là không khí kết hợp với cách điện rắn. Không khí là cách điện rẻ tiền nhất, tuy nhiên, khi ở điện áp cao, nó cần khoảng cách cách điện lớn, làm tăng kích thước của thiết bị. Cách điện lỏng (dầu biến áp) có ưu điểm là cường độ cách điện cao, dẫn nhiệt tốt nhưng lại dễ gây ra cháy nổ. Mặt khác trong quá trình vận hành, cách điện lỏng mau bị bẩn, chất lượng cách điện giảm sút nên phải kiểm tra, thay thế. Cách điện rắn có độ bền điện cao, kích thước nhỏ gọn. Nhược điểm của cách điện rắn là khả năng tỏa nhiệt ra môi trường kém, vì vậy phải giảm mật độ dòng điện, tăng khối lượng kim loại màu ở các phần tử dẫn điện. Mặt khác, với các tổ hợp thiết bị có điện áp cao, cách điện từ phần tử này qua phần tử khác (như ở dao cách ly, máy cắt), việc đảm bảo khoảng cách phóng điện an toàn tương đối phức tạp. Cách điện khí SF_6 khắc phục được các nhược điểm trên của cách điện không khí, cách điện lỏng và cách điện rắn.

Thông thường ở các tủ hợp bộ, cách điện không khí và rắn được dùng cho cấp điện áp đến 24kV, còn các thiết bị hợp bộ điện áp từ 36kV trở lên được dùng cách điện khí SF_6 .

14.1.2. Thiết bị hợp bộ hạ áp

Thiết bị hợp bộ hạ áp còn gọi là tủ hợp bộ hạ thế. Các cụm chi tiết thường được chế tạo theo dạng môđun, theo chức năng, theo công suất. Các môđun được lắp vào tủ bằng các thanh trượt, ngăn kéo..., còn việc nối điện giữa chúng nhờ giắc cắm, ngàm, cầu đấu. Trên hình 14-1 cho hình dạng và bố trí thiết bị trong một tủ hợp bộ hạ áp, điện áp 400V.



Hình 14-1. Tủ hợp bộ hạ áp

a) Mặt trước; b) Bố trí thiết bị trong tủ

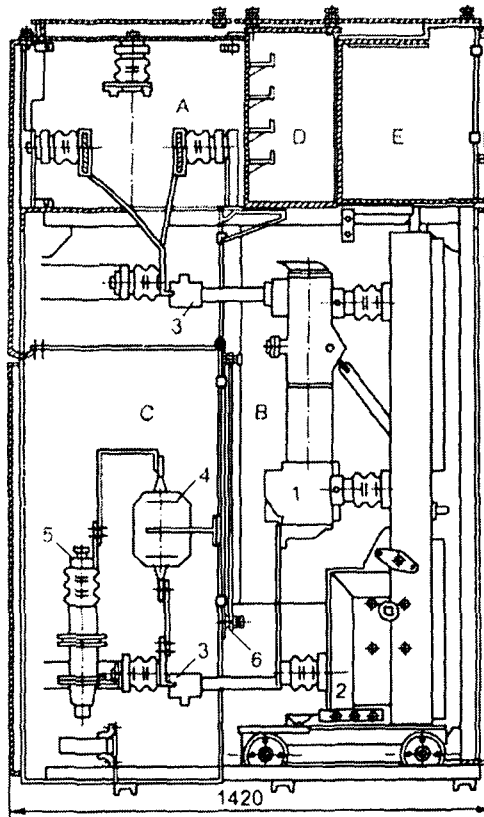
- 1- Vách ngăn cách điện; 2- Khoang thanh cái; 3- Thanh cái chính; 4- Thanh cái phân phối;
5- Các thiết bị đo lường; 6- Máy cắt hạ áp; 7- Khoang cáp đầu ra.

14.1.3. Thiết bị hợp bộ trung áp

Thiết bị hợp bộ trung áp thường có cách điện là không khí. Các phần tử chính của tủ hợp bộ trung áp gồm các thanh góp (dạng mạch đơn hoặc mạch kép), các phần tử đóng cắt (như máy cắt chân không, máy cắt khí SF_6 , công tắc tơ chân không, máy cắt phụ tải kèm cầu chì), các phần tử đo lường (như máy biến điện áp, máy biến dòng điện), các phần tử hạ áp (như role, mạch điều khiển, đồng hồ hiển thị).

Vỏ tủ hợp bộ bằng kim loại, có các ngăn cố định và các ngăn tháo rời, kéo ra dễ dàng. Phần cố định trong tủ là thanh góp, các phần tử đo lường, cáp đầu ra. Phần tháo rời là các máy cắt, cụm cầu chì, công tắc tơ chân không..., được lắp ráp trên bánh xe.

Giữa các khoang của tủ điện là các tấm ngăn bằng vật liệu cách điện, chịu hồ quang để tăng độ an toàn. Mỗi một tủ là một môđun lớn, trọn bộ. Muốn mở rộng số tủ, việc kết nối giữa chúng rất đơn giản. Trên hình 14-2 cho kết cấu của một tủ hợp bộ loại 12kV, cách điện không khí.



Hình 14-2. Tủ hợp bộ 12kV, 600A

A) Khoang thanh cái đầu vào; B) Khoang máy cắt; C) Khoang máy biến dòng và cáp đầu ra; D) Khoang thiết bị điều khiển; E) Khoang thiết bị đo lường
 1- Máy cắt; 2- Bộ truyền động của máy cắt; 3- Dao cách ly; 4- Máy biến dòng điện; 5- Sứ đỡ cáp đầu ra.

14.1.4. Thiết bị hợp bộ cao áp

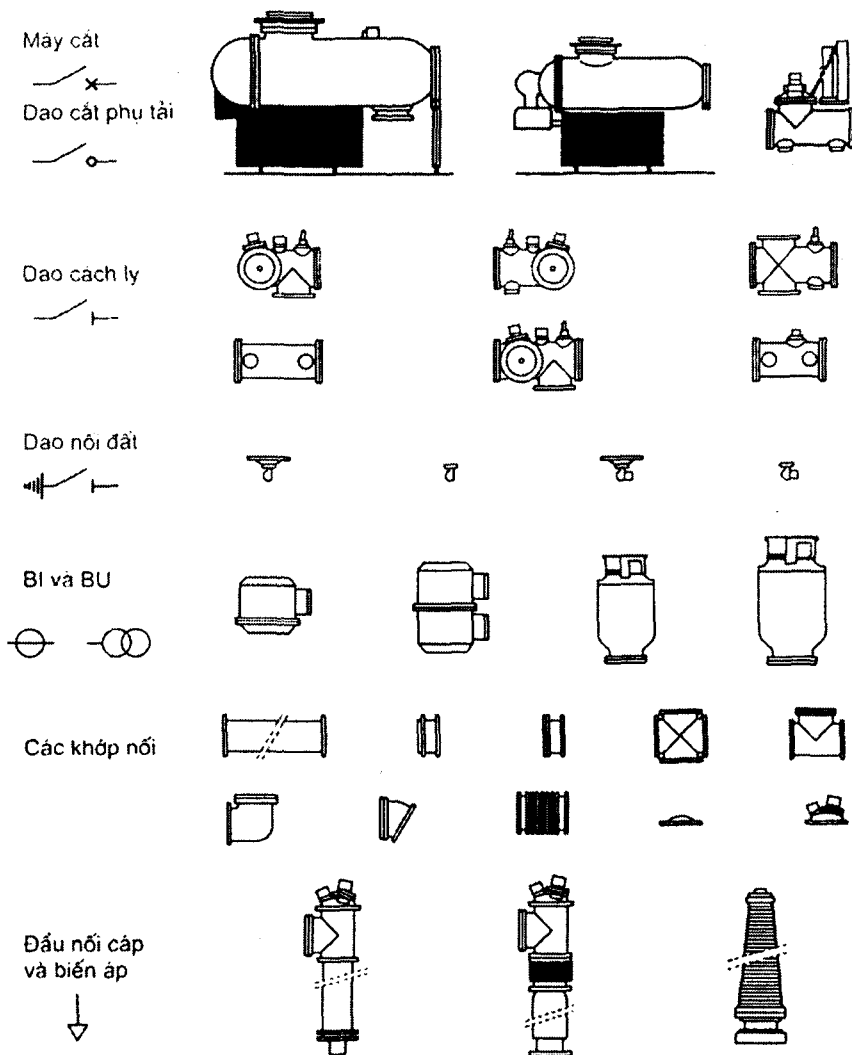
Ở các trạm đóng cắt điện áp cao, thiết bị hợp bộ có cách điện là khí SF_6 được dùng rộng rãi và còn được gọi là trạm hợp bộ khí SF_6 (GIS) bởi những tính năng ưu việt của chúng: kích thước nhỏ gọn, độ tin cậy cao, tuổi thọ lớn, vận hành đơn giản, chi phí bảo trì thấp, khả năng mở rộng trạm dễ dàng.

Ở trạm kiểu này, tất cả các phần tử đều nằm trong môi trường khí SF_6 , có vỏ bọc bằng nhôm, cách điện bằng vật liệu composit. Việc kết nối các phần tử dẫn điện thường được thực hiện bằng tiếp xúc kiểu hoa huệ, còn kết nối vỏ với nhau nhờ mặt bích có gioăng đặc biệt, đảm bảo độ giãn nở nhiệt và độ kín để khí SF_6 không rò rỉ. Phần cáp nối vào và cáp nối ra đều được chuẩn hóa, lắp ráp nhanh chóng, tiện lợi. Hệ thống có thiết bị kiểm soát áp

suất khí SF_6 và có cơ cấu nạp khí bổ sung. Các trạm đóng cắt hợp bộ khí SF_6 được chế tạo cho dây điện áp từ 36kV đến 800kV.

Việc thiết kế tối ưu các trạm đóng cắt hợp bộ luôn luôn được đặt lên hàng đầu. Các máy cắt thường được đặt ở vị trí nằm ngang để giảm khối lượng khung thép kết cấu... Việc bố trí thích hợp vị trí các phần tử giảm tối đa các chi tiết phụ. Các phần tử được chế tạo theo môđun, tính lắp lẫn cao.

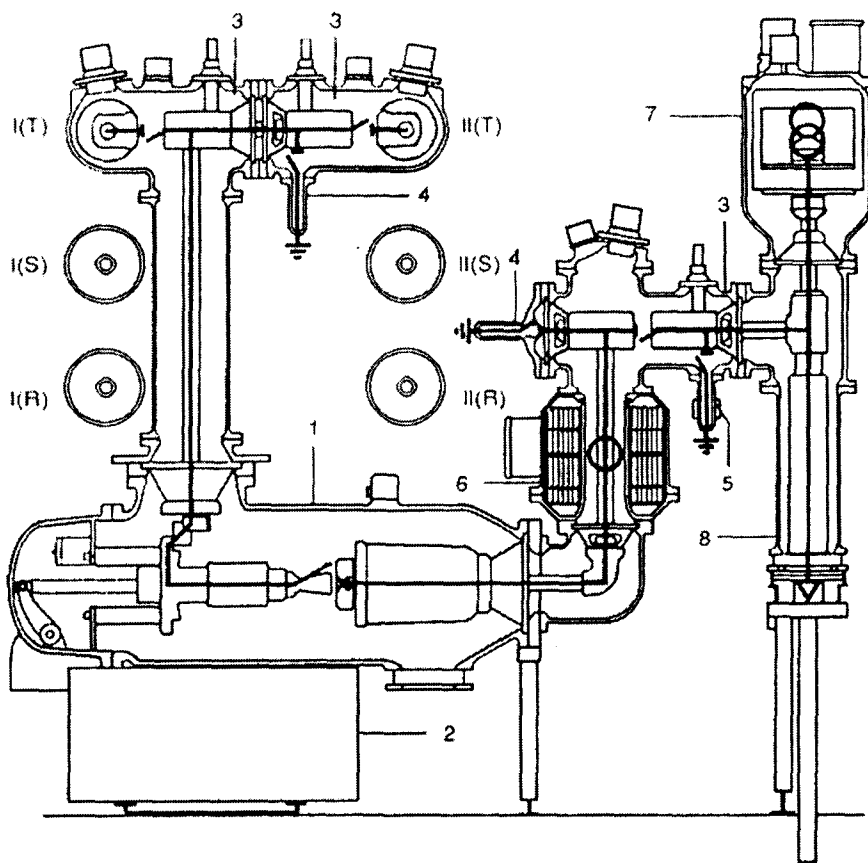
Trên hình 14-3 cho hình dạng kết cấu của các môđun của trạm đóng cắt hợp bộ có cách điện là khí SF_6 .



Hình 14-3. Các môđun cơ bản của tủ hợp bộ khí SF_6 .

Trên hình 14-4 cho kết cấu của trạm đóng cắt hai mạch vòng kiểu B95 của hãng GEC ALSTHOM trong môi trường khí SF₆ với kích thước chính cùng khối lượng của chúng.

U[kV]	Rộng [m]	Sâu [m]	Cao [m]	Diện tích [m ²]	Khối lượng [kg]
72,5 ÷ 145	1,5	3,3	3,4	5,0	3800
170 ÷ 240	2,0	3,4	3,4	6,8	5700



Hình 14-4. Trạm đóng cắt GIS hai mạch xung

I- Mạch vòng thứ nhất; II- Mạch vòng thứ hai

- 1- Máy cắt; 2- Cơ cấu truyền động của máy cắt; 3- Dao cách ly; 4- Dao nối đất;
5- Dao ngắt mạch; 6- Biến dòng điện; 7- Biến điện áp; 8- Đầu nối cáp cao áp phía ra.

14.2. CẤP BẢO VỆ CỦA THIẾT BỊ ĐIỆN

Các thiết bị điện thường có độ kín để chống lại sự tác động của môi trường như nước, bụi. Độ kín của thiết bị được gọi là cấp bảo vệ được quy định theo cấp và ký hiệu chuẩn quốc tế là IP (Ingress Protection) có hai chữ số: chữ số thứ nhất đặc trưng chỉ kích cỡ của vật rắn có thể xâm hại thiết bị; còn chữ số thứ hai chỉ mức độ bảo vệ chống sự xâm hại của nước (chất lỏng).

Mức độ bảo vệ sự xâm nhập của các vật rắn (chữ số thứ nhất sau IP) có 7 cấp, được đánh số theo thứ tự: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6.

- Cấp 0: Kiểu hở, không có bảo vệ.
- Cấp 1: Bảo vệ tránh các vật rắn có kích thước đến 50mm, ví dụ bàn tay người.
- Cấp 2: Bảo vệ các vật rắn có kích thước đến 12mm, ví dụ ngón tay người.
- Cấp 3: Bảo vệ vật rắn, kích thước tới 2,5mm, ví dụ lưỡi tuốc nơ vít.
- Cấp 4: Bảo vệ vật rắn, kích thước đến 1mm, ví dụ như đinh, mẫu dây thép bé.
- Cấp 5: Bảo vệ chống bụi. Bụi có thể lọt vào bên trong thiết bị với số lượng không đáng kể, không ảnh hưởng đến quá trình làm việc của thiết bị.
- Cấp 6: Kín tuyệt đối, bụi không thể xâm nhập vào được.

Mức độ bảo vệ chống xâm nhập của chất lỏng (chữ số thứ hai, sau chữ số thứ nhất) có 9 cấp, được đánh số theo thứ tự từ 0 đến 8.

- Cấp 0: Không có bảo vệ.
- Cấp 1: Chống được chất lỏng nhỏ giọt theo phương thẳng đứng.
- Cấp 2: Chống được chất lỏng nhỏ giọt nghiêng 15° .
- Cấp 3: Chống được nước mưa, góc rơi đến 60° .
- Cấp 4: Chống được nước mưa mọi phía.
- Cấp 5: Chống được tia chất lỏng, phun mọi phía.
- Cấp 6: Chống được sóng nước tràn qua thiết bị.
- Cấp 7: Chống được ngập nước với áp suất và thời gian ngập hạn chế.
- Cấp 8: Chống được ngập nước kéo dài và có thể làm việc trong môi trường ngập nước.

Ví dụ, thiết bị có cấp bảo vệ IP56 có thể lắp đặt và làm việc trên sàn tàu

thủy. Số 5 chỉ mức độ chống bụi, còn số 6 chỉ mức độ chống nước, sóng có thể tràn qua thiết bị.

Tùy theo môi trường làm việc, phải chọn thiết bị có cấp bảo vệ phù hợp. Tất nhiên, thiết bị cùng thông số kỹ thuật nhưng cấp bảo vệ khác nhau thì giá tiền cũng khác nhau.

14.3. THIẾT BỊ PHÒNG NỔ

Các thiết bị điện làm việc trong môi trường dễ cháy nổ như hầm mỏ, kho tàng... đòi hỏi yêu cầu đặc biệt về an toàn cho thiết bị và môi trường ở trạng thái làm việc bình thường cũng như chế độ sự cố. Môi trường dễ cháy nổ là môi trường có các hỗn hợp khí hơi với một nồng độ nhất định, dễ gây ra cháy nổ khi gặp các tác nhân như tia lửa, nhiệt độ cao. Các hỗn hợp khí dễ cháy nổ được chia theo nhóm với các đặc điểm ở bảng 14-1:

Bảng 14-1

Ký hiệu nhóm	Tên hỗn hợp	Khe hở*
I	Khí metan ở mỏ	Trên 1,0mm
II A	Khí, hơi công nghiệp	Trên 0,9mm
II B	Khí, hơi công nghiệp	(0,5 ÷ 0,9)mm
II C	Khí, hơi công nghiệp	đến 0,5mm

* Khái niệm "khe hở" - khe hở an toàn thực nghiệm lớn nhất, là khoảng cách giữa hai mặt bích của vỏ thiết bị mà qua khe hở đó, khi có nổ bên trong thiết bị thì không thể lan truyền ra môi trường xung quanh với bất kỳ nồng độ hỗn hợp nào của môi trường xung quanh.

Phụ thuộc vào nhiệt độ tự bốc cháy, hỗn hợp không khí nổ được chia thành 6 nhóm nhiệt độ như trong bảng 14-2:

Bảng 14-2

Nhóm	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Nhiệt độ [°C]	> 450°C	300 ÷ 450	200 ÷ 300	135 ÷ 200	100 ÷ 135	85 ÷ 100

Thiết bị phòng nổ được chia theo cấp nhiệt độ, dạng phòng nổ và mức phòng nổ, cho ở bảng 14-3.

Có ba cấp phòng nổ, được ký hiệu là 2, 1 và 0.

Cấp 2 là cấp "thiết bị phòng nổ với độ tin cậy tăng cường". Đây là thiết bị điện phòng nổ, đảm bảo an toàn khi làm việc ở chế độ bình thường.

Cấp 1 là cấp "thiết bị phòng nổ an toàn". Đây là thiết bị điện phòng nổ đảm bảo làm việc ở chế độ bình thường và cả khi hỏng hóc trong vận hành dạng nhẹ, loại trừ hỏng hóc phương tiện phòng nổ.

Cấp 0 là cấp "thiết bị phòng nổ đặc biệt", đảm bảo an toàn cho mọi chế độ làm việc, kể cả sự cố, và là cấp cao nhất.

Theo kết cấu của thiết bị, có các loại phòng nổ sau, được ký hiệu bằng các ký tự:

- d- vỏ không thấm thấu nổ.
- p- bịt kín hoặc thổi vào vỏ bằng luồng áp suất khí bảo vệ.
- i- mạch điện an toàn, không có tia lửa điện.
- q- đổ đầy vỏ trong và các chi tiết dẫn điện bằng cát thạch anh.
- o- điền đầy vỏ bằng dầu cách điện.
- s- phòng nổ đặc biệt.
- e- phòng nổ loại "e".

Bảng 14-3

Mức bảo vệ	Dạng bảo vệ	Nhóm	Cấp nhiệt độ	Ký hiệu
Thiết bị điện chống nổ với độ tin cậy tăng cường (2)	- Dạng bảo vệ "e"	II	T6	2ExellT6
	- Dạng "e" và vỏ không thấm thấu nổ	IIB	T3	2ExedIIBT3
	- Mạch điện an toàn tia lửa điện	IIC	T6	2ExilICT6
	- Vỏ thổi bằng áp lực dư	II	T6	2ExpII T6
	- Vỏ không thấm thấu nổ và mạch điện an toàn tia lửa điện	IIB	T5	2ExdIIBT5
Thiết bị điện phòng nổ an toàn (1)	- Vỏ không thấm thấu nổ	IIA	T3	1ExdIIAT3
	- Vỏ đổ đầy dưới áp suất dư	IIC	T6	1ExilICT5
	- Dạng bảo vệ kiểu "e"	II	T6	1ExpII T6
	- Vỏ đổ đầy cát thạch anh	II	T6	1ExellT6
	- Đặc biệt	II	T6	1ExqII T6
	- Đặc biệt và vỏ không thấm thấu nổ	II	T6	1ExsII T6
	- Đặc biệt, mạch điện an toàn tia lửa và vỏ không thấm thấu nổ	IIA	T6	1ExsdIIAT6
		IIB	T4	1ExsdIIBT4
Thiết bị điện phòng nổ an toàn đặc biệt (0)	- Mạch điện an toàn tia lửa điện	IIC	T6	0ExilICT6
	- Mạch điện an toàn tia lửa điện và không thấm thấu nổ	IIA	T4	0ExidIIAT4
	- Đặc biệt và mạch điện an toàn tia lửa điện	IIC	T4	0ExilICT4

Theo lĩnh vực sử dụng, các thiết bị phòng nổ được chia thành hai nhóm, được ký hiệu bằng I và II, trong đó nhóm I là các thiết bị làm việc trong hầm mỏ, còn nhóm II là các thiết bị làm việc ngoài nhóm I hoặc là trong nhà, hay ngoài trời, mà ở đó có khả năng cháy nổ.

Ký hiệu của các thiết bị phòng nổ được cho trên nhãn thiết bị. Tất cả các ký tự đều nằm trong khung chữ nhật. Chữ số đầu tiên (từ bên trái) ký hiệu cấp phòng nổ (2, 1, 0). Ký tự tiếp theo là "Ex", nghĩa là thiết bị thuộc loại phòng nổ. Sau ký tự "Ex" là ký tự loại phòng nổ (d, p, i, q, o, s, e), tiếp theo là ký tự chỉ nhóm phòng nổ (II, IIA, IIB, IIC), còn nhóm ký tự cuối cùng chỉ cấp nhiệt độ của thiết bị phòng nổ (từ T1 đến T6).

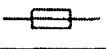
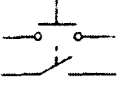
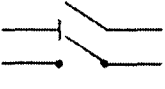
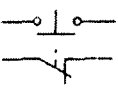
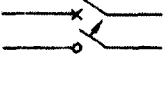
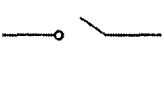
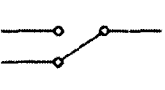
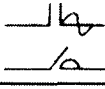
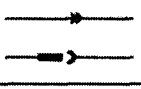
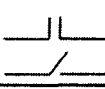
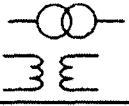
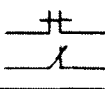
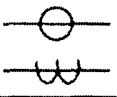
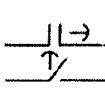
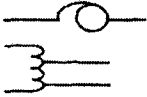
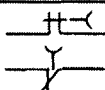
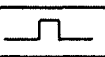
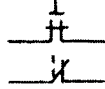
Cần lưu ý rằng thiết bị có cấp bảo vệ IP cao không thể sử dụng trong môi trường dễ cháy nổ được, vì cấp bảo vệ IP chỉ chống được nước và bụi, chứ không chịu được áp suất và nhiệt độ cao nếu bị sự cố.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 14

1. Các đặc điểm, yêu cầu của thiết bị hợp bộ cách điện không khí.
2. Tại sao ở cấp điện áp cao (trên 35kV) người ta lại phải chế tạo thiết bị hợp bộ cách điện khí SF₆. Nêu những đặc điểm của loại thiết bị hợp bộ này.
3. Cấp bảo vệ IP và thiết bị phòng nổ giống và khác nhau ở những điểm nào?

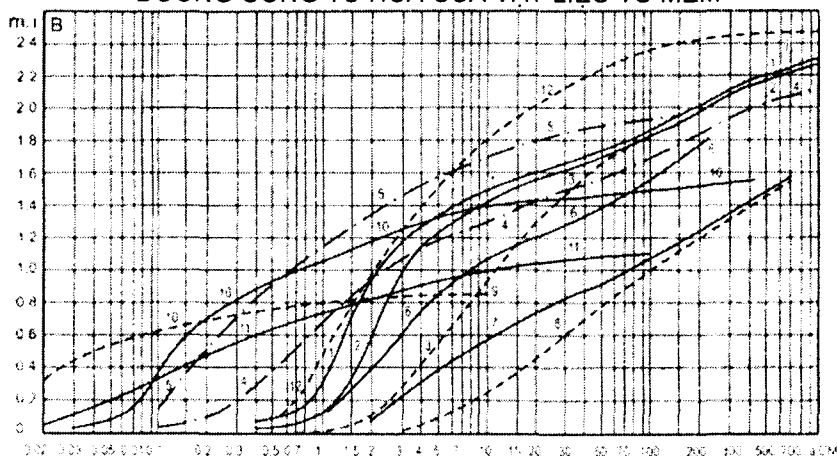
Phụ lục 1

CÁC KÝ HIỆU ĐIỆN THÔNG THƯỜNG

Ký hiệu	Danh mục	Ký hiệu	Danh mục
	Điện một chiều		Cầu chì
	Điện xoay chiều		Cầu chì tự nổi
	Nút ấn đóng		Dao cách ly
	Nút ấn cắt		Máy cắt
	Cuộn hút rơle, công tắc tơ		Dao cắt phụ tải
	Cuộn hút rơle thời gian		Chuyển mạch hai vị trí
	Tiếp điểm công tắc tơ		Liên kết kiểu cấm
	Tiếp điểm thường mở của rơle		Biến áp hai dây quấn
	Tiếp điểm thường đóng của rơle		Biến dòng điện
	Tiếp điểm thường mở đóng chậm		Biến áp tự ngẫu
	Tiếp điểm thường đóng mở chậm		Nối đất
	Rơle nhiệt		Nối tam giác
	Tiếp điểm rơle nhiệt không tự phục hồi		Nối sao

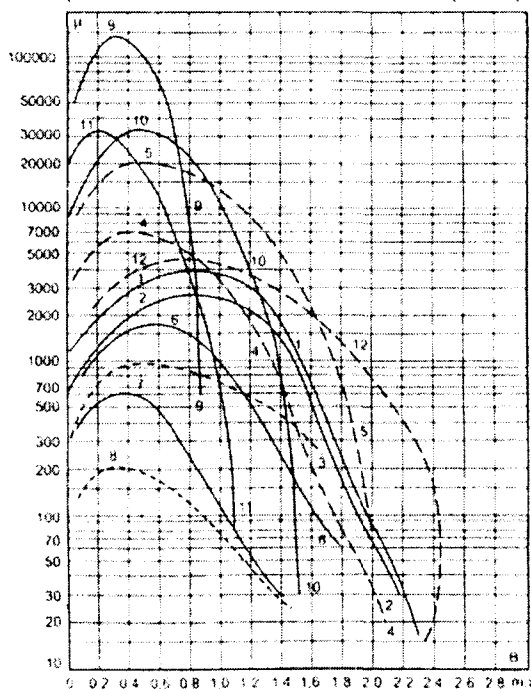
Phụ lục 2

ĐƯỜNG CONG TỪ HÓA CỦA VẬT LIỆU TỪ MỀM



1- Thép cacbon loại 3; 2- Thép kết cấu chất lượng cao CT10; 3- Thép mác CT20; 4- Thép tấm kỹ thuật điện 3; 5- Thép kỹ thuật điện cán nguội 330; 6- Gang dẻo; 7- Gang mác OO có ủ; 8- Gang mác OO không ủ; 9- Permaloi nhiều niken 79HM; 10- Permaloi ít niken mác 50H; 11- Permaloi ít niken mác 50HXC; 12- Premendor.

ĐƯỜNG CONG ĐỘ TỪ THẨM TƯƠNG ĐỐI CỦA VẬT LIỆU TỪ MỀM



1- Thép cacbon loại 3; 2- Thép kết cấu chất lượng cao CT10; 3- Thép mác CT20; 4- Thép tấm kỹ thuật điện 3; 5- Thép kỹ thuật điện cán nguội 330; 6- Gang dẻo; 7- Gang mác OO có ủ; 8- Gang mác OO không ủ; 9- Permaloi nhiều niken 79HM; 10- Permaloi ít niken mác 50H; 11- Permaloi ít niken mác 50HXC; 12- Premendor.

Phụ lục 3
DÂY ĐIỆN TỪ TIẾT DIỆN TRÒN VẬT LIỆU ĐỒNG

d, mm tính toán	S, mm ² tính toán	g/m	Ω/m	Đường kính ngoài, mm					
				ΠЭЛ	ΠЭВ-1	ΠЭВ-2	ΠЭВТЛ1	ΠЭВТЛ2	ΠЭВТ
0,1	0,00785	0,0698	2,291	0,12	0,125	0,13	0,125	0,13	0,13
0,11	0,0095	0,0845	1,895	0,13	0,135	0,14	0,135	0,14	0,14
0,12	0,01131	0,101	1,591	0,14	0,145	0,15	0,145	0,15	0,15
0,13	0,01327	0,118	1,356	0,15	0,155	0,16	0,155	0,16	0,16
0,14	0,01519	0,137	1,169	0,16	0,165	0,17	0,165	0,17	0,17
0,15	0,01767	0,157	1,018	0,17	0,18	0,19	0,18	0,19	0,19
0,16	0,02011	0,179	0,895	0,18	0,19	0,2	0,19	0,2	0,2
0,17	0,0227	0,202	0,793	0,19	0,2	0,21	0,2	0,21	0,21
0,18	0,02545	0,226	0,707	0,2	0,21	0,22	0,21	0,22	0,22
0,19	0,02835	0,252	0,635	0,21	0,22	0,23	0,22	0,23	0,23
0,2	0,03142	0,279	0,572	0,225	0,23	0,24	0,23	0,24	0,24
0,21	0,03464	0,308	0,52	0,235	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25
0,23	0,04155	0,369	0,433	0,255	0,27	0,28	0,27	0,28	0,28
0,25	0,04909	0,436	0,366	0,275	0,29	0,3	0,29	0,3	0,3
0,27	0,05726	0,509	0,315	0,31	0,31	0,32	0,31	0,32	0,32
0,29	0,06605	0,587	0,296	0,33	0,33	0,34	0,33	0,34	0,34
0,31	0,07548	0,671	0,239	0,15	0,35	0,36	0,35	0,36	0,36
0,33	0,08553	0,76	0,21	0,37	0,37	0,38	0,37	0,38	0,38
0,35	0,09621	0,855	0,187	0,39	0,39	0,41	0,39	0,41	0,41
0,38	0,1134	1,01	0,12	0,42	0,42	0,44	0,42	0,44	0,44
0,41	0,132	1,11	0,13	0,45	0,45	0,47	0,45	0,47	0,47
0,44	0,1521	1,35	0,113	0,49	0,48	0,5	0,48	0,5	0,5
0,47	0,1735	1,54	0,0993	0,52	0,51	0,53	0,51	0,53	0,53
0,49	0,1886	1,68	0,0914	0,54	0,53	0,55	0,53	0,55	0,55
0,51	0,2043	1,82	0,084	0,56	0,56	0,58	0,56	0,58	0,58
0,51	0,2206	1,06	0,0781	0,58	0,58	0,6	0,58	0,6	0,6
0,55	0,2376	2,11	0,0725	0,6	0,6	0,62	0,6	0,62	0,62
0,57	0,2552	2,27	0,0675	0,62	0,62	0,64	0,62	0,64	0,64
0,59	0,2734	2,43	0,063	0,64	0,64	0,66	0,64	0,66	0,66
0,62	0,3019	2,68	0,571	0,67	0,67	0,69	0,67	0,69	0,69
0,64	0,3217	2,86	0,0538	0,69	0,69	0,72	0,69	0,72	0,72
0,67	0,3526	3,13	0,488	0,72	0,72	0,75	0,72	0,75	0,75
0,69	0,3739	3,32	0,0461	0,74	0,74	0,77	0,74	0,77	0,77
0,72	0,4072	3,6	0,0423	0,78	0,77	0,8	0,77	0,8	0,8
0,74	0,4301	3,82	0,04	0,8	0,8	0,83	0,8	0,83	0,83
0,77	0,4657	4,14	0,037	0,83	0,83	0,86	0,83	0,86	0,86
0,8	0,5027	4,47	0,0342	0,86	0,86	0,89	0,86	0,89	0,89
0,86	0,5809	5,16	0,0297	0,92	0,92	0,95	0,92	0,95	0,95
0,9	0,6362	5,66	0,027	0,96	0,96	0,99	0,96	0,99	0,99
0,93	0,6793	6,04	0,0253	0,99	0,99	1,02	0,99	1,02	1,02
0,96	0,7238	6,44	0,0238	1,02	1,02	1,05	1,02	1,05	1,05
1	0,7854	6,98	0,0219	1,07	1,08	1,11	1,08	1,11	1,11
1,04	0,8495	7,55	0,0202	1,12	1,12	1,15	1,12	1,15	1,15
1,08	0,9161	8,14	0,0188	1,16	1,16	1,19	1,16	1,19	1,19
1,12	0,9852	8,76	0,0175	1,2	1,2	1,23	1,2	1,23	1,23
1,16	1,0568	9,4	0,0163	1,24	1,24	1,27	1,24	1,27	1,27
1,2	1,131	10,1	0,0152	1,28	1,28	1,31	1,28	1,31	1,31
1,25	1,2272	10,9	0,014	1,33	1,33	1,36	1,33	1,36	1,36
1,3	1,327	11,8	0,0132	1,38	1,38	1,41	1,38	1,41	1,41
1,35	1,4314	12,7	0,0123	1,43	1,43	1,46	1,43	1,46	1,46
1,4	1,5394	13,7	0,0113	1,48	1,48	1,51	1,48	1,51	1,51
1,45	1,6513	14,7	0,0106	1,53	1,53	1,56	1,53	1,56	1,56
1,5	1,7672	15,7	0,00993	1,58	1,58	1,61	1,58	1,61	1,61
1,56	1,9113	17	0,00917	1,64	1,64	1,67	1,64	1,67	1,67
1,62	2,0612	18,3	0,0085	1,71	1,7	1,73	-	-	1,73
1,68	2,217	19,7	0,00791	1,77	1,76	1,79	-	-	1,79

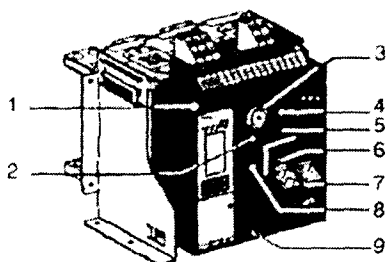
Phụ lục 4
MÁY CẮT KHÔNG KHÍ
Masterpact NW08 đến NW63
(Hãng MERLIN GERIN)

Đặc tính chung		
Số cực		3/4
Điện áp cách điện định mức (V)	U_i	1000/1250
Điện áp chịu xung định mức (kV)	U_{1m0}	12
Điện áp định mức (V AC 50/60 Hz)	U_e	12
Tính năng cách ly	IEC 60947-2	
Mức độ ô nhiễm	IEC 60664-1	4

Đặc tính CB theo tiêu chuẩn IEC60947-2	NW8	NW10	NW12	NW16
Dòng danh định (A) I_n ở 40°C/50°C	800	1000	1250	1600
	800	1000	1250	1600
Cảm biến định mức (A)	400	400	630	800
	đến 800	đến 1000	đến 1250	đến 1600

Loại CB			N1	H1	H2	H1*	H10
Khả năng cắt dòng điện ngắn mạch tối đa (kA rms) V AC 50/0 Hz	I_{cu}	220/415V	42	65	100	150	-
		400V	42	65	100	150	-
		525V	42	65	85	130	-
		690V	42	65	85	100	-
		1150V	-	-	-	-	50
Khả năng định mức cắt ngắn mạch (kA rms)	I_{cs}	% I_{cu}	100%				
Dòng điện ngắn mạch chịu đựng định mức (kA rms) V AC 50/60 Hz	I_{cw}	1s	42	65	65	30	50
		3s	22	36	50	30	60
Khả năng đóng ngắn mạch định mức V AC 50/60 Hz	I_{cm}	220/415V	88	143	220	330	-
		400V	88	143	220	330	-
		525V	88	143	187	286	-
		690V	88	143	178	220	-
		1150V	-	-	-	-	105
Thời gian cắt (ms)			25	25	25	10	25
Thời gian đóng (ms)			< 70				
Đặc tính CB theo NEMA AB1							
loại (kA peak)			NA	HA	HF		HA10
Khả năng đóng ngắn mạch định mức VAC 50/60 Hz	I_{cm}	220/415V	88	105	187		-
		440V	88	105	187		-
		500/690V	88	105	187		-
		1150V	-	-	-		105

Dòng điện chịu đựng ngắn hạn định mức VAC 50/60Hz	I_{cw} 1 s	42	50	85	50	50
	3 s		36	75	50	50
Khả năng cắt tối đa (I_{cu}) kết hợp với role bảo vệ, trễ tối đa 350 ms					50	50
Lắp đặt đầu nối bảo trì						
Tuổi thọ phục vụ cơ chu kỳ đóng cắt 1000	có bảo trì	25				
	không có bảo trì	12,5				
	điện không có bảo trì 440 V				10	10 10 3
	690 V	10	10	10	3	-
	1150 V	-	-	-	-	0,5
	điều khiển động cơ (AC3-947-4) 690 V	10	10	10	-	-
Cầu nối	loại kéo ra được	FC	c	c	c	c
		RC	c	c	c	c
	loại cố định	FC	c	c	c	- -
		RC	c	c	c	- -
Kích thước H x W x D	loại kéo ra được	3P	439 x 441	395		
		4P	439 x 537	395		
	loại cố định	3P	352 x 422	297		
		4P	352 x 422	297		
Trọng lượng (kg) (gắn dùng)			90/120			
			60/80			



1. Nút reset, dùng để hiển thị trạng thái cắt mở cơ khí
2. Nút nhấn OFF
3. Khóa vị trí nút nhấn OFF
4. Nút nhấn đóng bằng điện
5. Nút nhấn ON
6. Chỉ thị nạp lò xo
7. Lơa các nút nhấn
8. Thể hiện vị trí đóng cắt
9. Đồng hồ số lần hoạt động

NW20	NW25	NW32	NW40	NW40b	NW50	NW63
2000	2500	3200	4000	4000	5000	6300
2000	2500	3200	4000	4000	5000	6300
1000	1250	1600	2000	2000	2500	2500
<2000	<1250	<3200	<4000	đến 4000	đến 5000	đến 6300

H1	H2	H3	L1*	H10	H1	H2	H3	H10	H1	H2
65	100	150	150	-	65	100	150	-	100	150
65	100	150	150	-	65	100	150	-	100	150
65	85	130	150	-	65	85	130	-	100	130
65	85	100	100	-	65	85	100	-	100	100
-	-	-	-	50	-	-	-	50	-	-

100%					100%				100%	
65	85	65	30	50	65	85	65	50	100	100
36	75	65	30	50	65	75	65	50	100	100
143	220	330	330	-	143	220	330	-	220	330
143	220	330	330	-	143	220	330	-	220	330
143	187	286	286	-	143	187	286	-	220	286
143	187	220	220	-	143	187	220	-	220	220
-	-	-	-	105	-	-	-	105	-	-
25	25	25	10	25	25	25	25	25	25	25
< 70					< 70				< 80	
65	100	150	150	-	65	100	150	-	100	150
65	100	150	150	-	65	100	150	-	100	150
65	85	100	100	-	65	85	100	-	100	100
HA	HF		HA10		HA	HF		HA10	HA	
105	187		-		121	187		-	187	
105	187		-		121	187		-	187	
105	187		-		121	187		-	187	
-	-		105		-	-		105	-	
50			50		55	85		50	85	
36			50		55	75		50	85	
50			50		55	85		50	85	
20					20				10	
10					10				5	
6	6	2	3	-	5	5	1,25	-	1,5	1,5
5	6	2	3	-	2,5	2,5	1,25	-	1,5	1,5
-	-	-	-	0,5	-	-	-	0,5	-	-
6	6	6	-	-	2,5	2,5	2,5	-	-	-
c	c	c	c	c	c	c	c	c	-	-
c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
c	c	-	-	-	c	c	-	-	-	-
c	c	-	-	-	c	c	-	-	c	c
439 × 441 × 395									479 × 786 × 395	
439 × 537 × 395									479 × 1016 × 395	
352 × 422 × 297									52 × 767 × 297	
352 × 422 × 297									352 × 997 × 297	
90 / 120									225 / 300	
60 / 80									120 / 160	

Phụ lục 5

MÁY CẮT TỰ ĐỘNG KIỂU MÔĐUN, ĐIỆN ÁP 400V CỦA HÃNG CLIPSAL

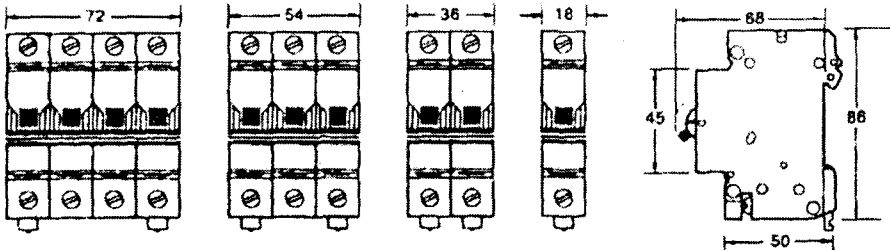
Thông số kỹ thuật

Số cực	1	2	3	3P + N
Chiều rộng MCB	18	36	54	72
Chiều sâu MCB	68	68	68	68
Điện áp định mức	230/400	400	400	400
Dòng định mức cao nhất A	63	100	100	63
Số lần tắt mở Điện áp 220V. $\cos\varphi = 0.9$ Điện áp 415V. $\cos\varphi = 0.9$	10000 10000	10000 10000	10000 10000	10000 10000
Điện trở cách điện $M\Omega$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$
Độ bền điện áp kV	4	4	4	4

Kích thước

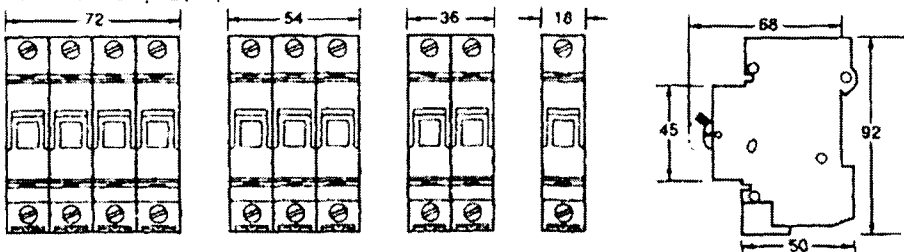
Đơn vị: mm

2A~32A Loại B, C, D



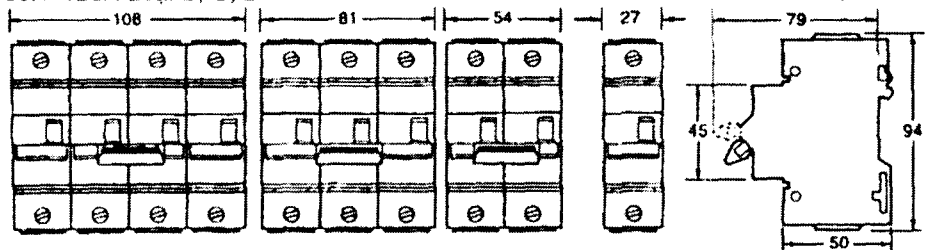
40A~63A Loại B, C, D

Đơn vị: mm



80A~125A Loại B, C, D

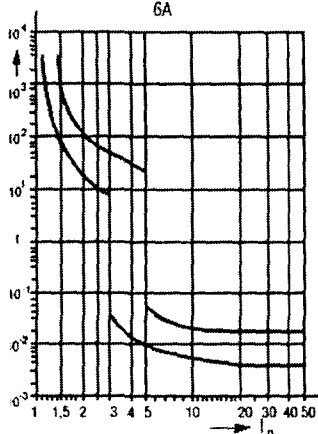
Đơn vị: mm



ĐẶC TÍNH BẢO VỆ THỜI GIAN - DÒNG ĐIỆN CỦA MCB KIỂU MÔĐUN CỦA CLIPSAL (ÚC)

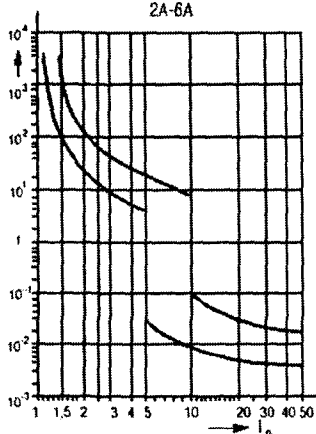
Loại B

6A



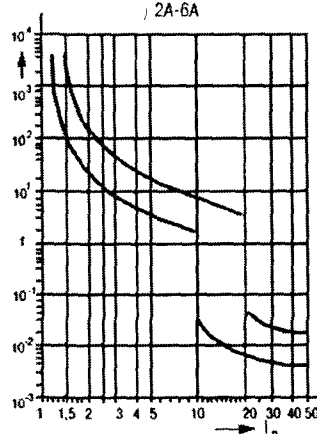
Loại C

2A-6A

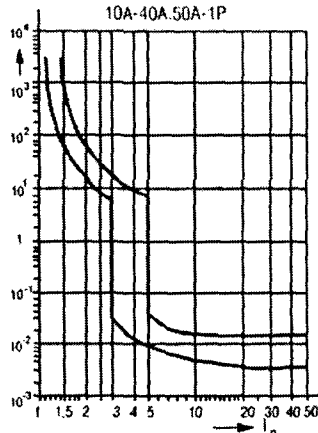


Loại D

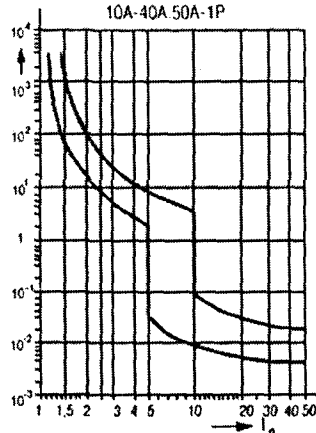
2A-6A



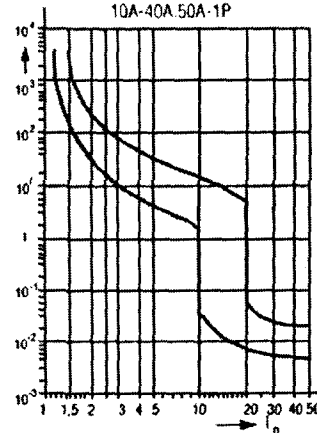
10A-40A 50A-1P



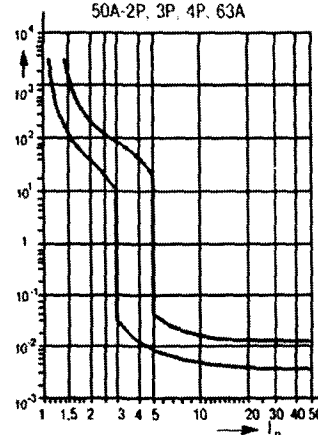
10A-40A 50A-1P



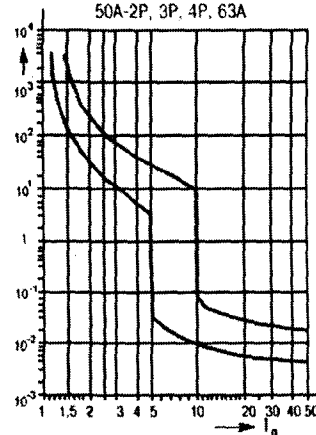
10A-40A 50A-1P



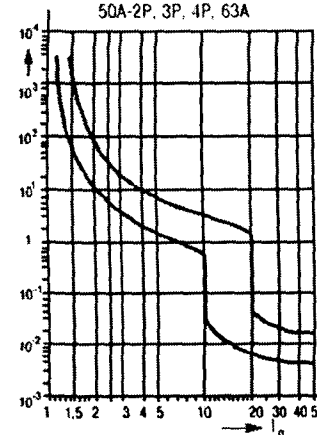
50A-2P, 3P, 4P, 63A



50A-2P, 3P, 4P, 63A



50A-2P, 3P, 4P, 63A



Phụ lục 6
DÂY MÁY CẮT HẠ ÁP THÔNG DỤNG CỦA HÃNG LG (HÀN QUỐC)
ÁP TÔ MẮT LOẠI HI-MEC
30AF-255AF (Hãng LG)

Dòng điện khung định mức		30AF			50AF		
Kiểu (loại)		ABE30a	ABS30a	ABH30a	ABE50a	ABS50a	ABH50a
Hình ảnh							
Điện áp cách điện định mức (V) U_i		490	690	690	690	690	690
Điện áp xung định mức (kV) U_{xm}		6	6	6	6	6	6
Điện áp phục vụ tối đa định mức U_{10}		460	600	600	600	600	600
Số cực		2,3	2,3	2,3	2,3	2,3,4	2,3,4
Dòng điện định mức ở 40°C (A) I_n	3	3	5	5	5	5	15
	5	5	10	10	10	10	20
	10	10	15	15	15	15	30
	15	15	20	20	20	20	40
	20	20	30	30	30	30	50
	30	30			30	30	
					40	40	
					50	50	
Cường độ dòng điện cắt ngắn mạch I_{cn} 220/240V							
380/415V		2,5	10	25	10	25	25
500V		1,5	5	14/10	5	10	14
600V			2,5	7,5	2,5	7,5	7,5
125V			2,5	5	2,5	5	7,5
Điện áp 1 chiều 250V			5	10	5	10	15
250V			2,5	5	2,5	5	10
Cường độ dòng điện cắt mạch phục vụ định mức							
Dòng điện xoay chiều 50/60Hz: $I_{cs} = \dots \% I_{cn}$		50	50	50	50	50	50
Cơ cấu truyền động cắt							
Nhiệt từ		■	■	■	■	■	■
Thủy lực từ							
Chỉ bằng từ							
Dòng điện cắt từ Không điều chỉnh được		■	■	■	■	■	■
Điều chỉnh được (tùy chọn)							
kích thước (mm)							
a 1 cực		50	50	50	50	50	50
2 cực		75	75	75	75	75	75
3 cực						100	120
b		96	130	130	130	130	155
c1		60	60	60	60	60	60
c2			64	64	64	64	64
d		80	80	80	80	80	82
Lắp đặt							
Gắn hoặc nổi phía trước		■	■	■	■	■	■
Lắp theo ray IEC							
Phụ kiện							
Rơle bảo động			■	■	■	■	■
Rơle phụ			■	■	■	■	■
Mắc bảo vệ sụt áp			■	■	■	■	■
Mắc bảo vệ mạch shunt			■	■	■	■	■
Tay cầm loại N			N-30	N-30	N-30	N-30	N-40
Nắp đầu cực			■	■	■	■	■
Lớp cách điện			cơ sở	cơ sở	cơ sở	cơ sở	cơ sở
Trọng lượng (kg)							
2 cực		0,3	5,3	7,7	7,7	0,6	0,7
3 cực		0,5	6,2	9,7	9,7	0,8	1,1
4 cực			7,9	12,9	12,9	1,0	1,5

110AF					225AF			
ABL50a	ABe100a	ABS100a	ABH100a	ABL100a	ABE200a	ABS200a	ABH200a	ABL200a
								
690	690	690	690	690	690	690	690	690
6	6	6	6	6	6	6	6	6
600	600	600	600	600	600	600	600	600
2,3,4	2,3	2,3,4	2,3,4	2,3,4	2,3	2,3,4	2,3,4	2,3,4
15	5	15	15	15	125	125	125	125
20	10	20	20	20	150	150	150	150
30	15	30	30	30	175	175	175	175
40	20	40	40	40	200	200	200	200
50	30	50	50	50	225	225	225	225
	40	60	60	60				
	50	75	75	75				
	60	100	100	100				
	75							
	100							
100	25	25	30	100	18	25	85	125
65	10	14	22	65	10	14	45	65
42	7,5	7,5	14	42	7,5	7,5	35	42
35	5	7,5	14	36	7,5	7,5	25	35
60	10	15	20	60	15	15	50	60
40	5	10	10	40	10	10	40	40
50	50	50	50	50	50	50	50	50
■		■	■	■	■	■	■	■
	■							■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
74	50	60	60	74	105	105	105	105
105	75	90	90	105	105	105	105	105
140		120	120	140		140	140	140
165	130	155	155	165	165	165	165	165
82	60	60	60	82	60	60	99	99
86	64	64	64	86	64	64	103	103
109	80	82	82	109	84	84	127	127
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■
N-60	N-30	N-40	N-40	N-55	N-50	N-50	N-60	N-60
	■	■	■	■	■	■	■	■
cơ sở	cơ sở	cơ sở	cơ sở	cơ sở	cơ sở	cơ sở	cơ sở	cơ sở
1,0	0,6	0,7	0,7	1,0	1,1	1,1	2,1	2,1
1,7	0,8	1,1	1,1	1,7	1,3	1,3	2,3	2,3
2,3		1,5	1,5	2,3		1,5	2,5	2,5

ÁP TÔ MẮT LOẠI AB 400AF - 1200F (Hãng LG)

Dòng điện khung định mức		400AF			
Kiểu (loại)		ABE400	ABS400	ABH400	ABL400
Hình ảnh					
Điện áp cách điện định mức (V)	U_i	690	690	690	690
Điện áp xung định mức (kV)	U_{su}	6	6	6	6
Điện áp phục vụ tối đa định mức	U_{ld}	600	600	600	600
Số cực		2,3	2,3,4	2,3,4	2,3,4
Dòng điện định mức ở 40°C (A)	I_n	250 300 350 400	250 300 350 400	250 300 350 400	250 300 350 400
Cường độ dòng điện cắt ngắn mạch	I_{cw} 220/240V				
	380/415V	35	42	85	125
	500V	25	30	45	60
	600V	18	22	35	42
	125V	8	22	30	35
Điện áp 1 chiều	250V	20	30	50	60
	250V	10	20	40	40
Cường độ dòng điện cắt mạch phục vụ định mức		50	50	50	50
Dòng điện xoay chiều 50/60Hz: $I_{cs} = \dots \% I_{cw}$					
Cơ cấu truyền động cắt					
Nhiệt từ		■	■	■	■
Thủy lực từ					
Chỉ bằng từ					
Dòng điện cắt từ	Không điều chỉnh được	■	■	■	■
	Điều chỉnh được (tùy chọn)				
Kích thước (mm)					
	a 2 cực	140	140	210	210
	3 cực	140	140	210	210
	4 cực		185	280	280
	b	257	257	257	257
	c1				
	c2	103	103	103	103
	d	134	134	149	149
Lắp đặt	Gắn hoặc nổi phía trước	■	■	■	■
	Lắp theo ray IEC				
Phụ kiện	Rơle bảo động	■	■	■	■
	Rơle phụ	■	■	■	■
	Móc bảo vệ sụt áp	■	■	■	■
	Móc bảo vệ mạch shunt	■	■	■	■
	Tay cầm loại N	N-23A	N-41A	N-41A	N-41A
	Nắp đầu cực				
	Lớp cách điện	cơ sở	cơ sở	cơ sở	cơ sở
Trọng lượng (kg)	2 cực	5,3	5,3	7,7	7,7
	3 cực	6,2	6,2	9,7	9,7
	4 cực		7,9	12,9	12,9

600AF			800AF			1000AF		1200AF	
ABE600	ABS600	ABL600	ABE800	ABS800	ABL800	ABS1000	ABL1000	ABS1200	ABL1200
									
690	690	690	690	690	690	690	690	690	690
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
2,3	2,3,4	2,3,4	2,3,4	2,3	2,3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
500 600	500 600	500 600	700 800	700 800	700 800	1000	1000	1200	1200
42	85	125	42	85	125	100	125	100	125
30	45	60	30	45	60	65	85	65	85
22	35	42	22	35	42	50	75	50	75
22	30	35	22	30	35	45	65	45	65
20	50	60	20	50	60	50	60	50	60
10	40	40	10	40	40	40	40	40	40
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
210	210	210	210	210	210				
210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
	280		280	280	280	280	280	280	280
275	275	275	275	275	275	400	406	400	406
103	103	103	103	103	103	105	140	105	140
149	149	149	149	149	149	158	190	158	190
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
N-41A	N-41A	N-41A	N-41A	N-41A	N-41A	N-120A		N-120A	
						cơ sở	cơ sở	cơ sở	cơ sở
9,5	9,5	9,5	10,1	10,1	10,1				
11,5	11,5	11,5	12,3	12,3	12,3	19,4	23	19,4	23
	15,2	15,2		16,2	16,2	127	26	27	26

Phụ lục 7

DÂY CÔNG TẮC TƠ ĐIỆN TỬ CỦA LG INDUSTRIAL (HÀN QUỐC)
Loại Green (10A-80A ở 380V), loại Meta-Mec (100A-800A ở 380V)

Loại				SMC-10P	SMC-20P	SMC-25P	SMC-35P	SMC-45P		
Hình ảnh										
Đặc tính điện	Công suất định mức (kW)	AC3	220-240V	3,5	5,5	7,5	11	11		
			380-400V	5,5	11	15	18,5	18,5		
			500-550V	7,5	15	18,5	22	22		
	Dòng điện định mức (A)	Loại AC3	220-240V	13	22	30	40	48		
			380-400V	12	22	30	40	45		
			500-550V	12	22	28	32	40		
		Loại AC4 và AC2	220-240V	11	18	20	25	30		
			380-400V	9	13	17	24	28		
			500-550V	9	10	12	17	20		
		Loại AC1		20	32	50	60	70		
			Tuổi thọ (x10 ⁴ lần)	Loại AC3	Cơ khí	20	10	10	10	10
					Điện	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Tần số thao tác (Số lần/giờ)			1800	1800	1800	1800	1200		
	Cuộn dây	AC 380V	AC 24V	■	■	■	■	■		
			AC 48V	■	■	■	■	■		
			AC 100V	■	■	■	■	■		
			AC 120	■	■	■	■	■		
			AC 200V	■	■	■	■	■		
			AC 230V	■	■	■	■	■		
			(AC 300V)	■	■	■	■	■		
			AC 400V	■	■	■	■	■		
			AC 440V	■	■	■	■	■		
			AC 500V	■	■	■	■	■		
	Công suất tiêu thụ trung bình của cuộn dây		Khởi động (VA)	50	170	170	170	170		
			Nuôi (VA)	8,5	9,5	9,5	9,5	9,5		
			Tản nhiệt (W) /	2,5	3	3	3	3		
	Giới hạn điện áp	Tác động		150-160	140-155	145-155	145-155	145-155		
			U _n = 220V	Nhả	90-110	100-120	100-120	100-120	100-120	
	Thời gian thao tác (ms)	Đóng		10-17	15-20	15-20	15-20	15-20		
			Mở	6-12	7-14	7-14	7-14	7-14		
	Số tiếp điểm phụ				1NO (1NC)	1NO + 1NC(2)	2NO+2NC	2NO+2NC	2NO+2NC	
	Lắp đặt	Bắt vít		■	■	■	■	■		
Gắn theo tay IEC			■	■	■	■	■			
Kích thước (mm)	Rộng		44	68	78	78	78			
		Cao	78	90	90	90	90			
		Dày	80	96	102	102	102			
Kết hợp rơle nhiệt quá tải LG				TH-3N	TH-5N	TH-675N	TH-675N	TH-675N		
Trọng lượng (kg)				0,28	0,53	0,61	0,61	0,61		

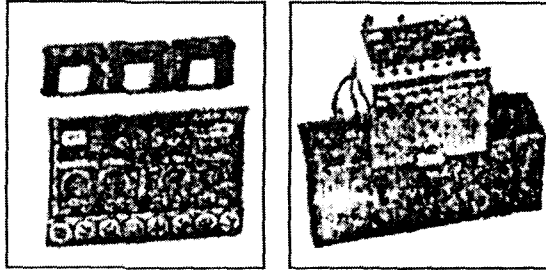
SMC-50P	SMC-66P	SMC-80P	GMC-100	GMC-125	GMC-150	GMC-180	GMC-220	GMC-300	GMC-400	GMC-600	GMC-800
											
15	18,5	22	30	37	45	55	75	90	125	190	220
22	30	45	55	60	75	90	132	160	220	330	440
30	37	45	85	90	140	110	132	160	225	330	500
55	65	85	105	125	150	180	250	300	400	630	800
48	65	85	105	120	150	180	250	300	400	630	800
43	60	75	85	90	140	180	250	250	350	500	720
35	50	65	80	93	125	150	180	220	300	400	630
32	47	62	75	90	110	150	180	220	300	400	630
24	38	45	55	65	80	140	140	200	250	350	500
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1,5	1,5	1,5	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5
1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
■	■	■	■	■	■	■	■				
■	■	■	■	■	■	■	■				
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■									
■	■	■								■	■
■	■	■									
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■									
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
220	220	220	270	270	270	440	440	440	440	790	790
16	16										
5	5										
150-160	150-150	150-160	130-156	130-156	130-156	150-160	130-156	130-156	130-156	130-156	130-156
100-120	100-120	100-120	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
15-20	15-20	15-20	30-40	30-40	30-40	30-40	30-40	30-40	30-40	51-80	51-80
7-14	7-14	7-14	50-70	50-70	60-80	50-70	50-70	90-150	90-150	57-93	57-93
2NO+2N C	2NO+2N C	2NO+2N C	2NO+2N C	2NO+2N C	2NO+2N C	2NO+2N C	2NO+2N C	2NO+2N C	2NO+2N C	2NO+2N C	2NO+2N C
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■									
94	94	94	100	100	120	138	138	163	163	285	285
120	120	120	156	156	164	203	203	243	243	310	310
116	116	116	147	147	155	180	180	197	197	243	243
TH-1015N	TH-1015N	TH-21N	GTH-100	GTH-100	GTH-150	GTH-220	GTH-220	GTH-300	GTH-400	GTH-600	GTH-600
1,15	1,15	1,15	2,8	2,8	3,3	5,4	5,4	6,4	6,4	17,8	17,8

Phụ lục 8
ROLE NHIỆT QUÁ TẢI LS

Kích cỡ	Loại		Mô tả và các đặc tính thiết kế					Công tắc tơ điện từ LG áp dụng
	Không vi sai	Vi sai	Dòng điện định mức			Hệ thống tiếp điểm phụ		
			A	A	A	NO	NC	
13	TH=3N/3	TH-3N/3	0,1 0,15 0,24 0,36 0,48 0,64 0,8 0,95 1,4 1,7 2,2 2,8 4 5 6 7 9	0,1 0,15 0,24 0,36 0,48 0,64 0,8 0,95 1,4 1,7 2,2 2,8 4 5 6 7 9	0,15 0,24 0,36 0,54 0,72 0,96 1,2 1,45 2,2 2,6 3,4 4,2 6 8 9 11 13	1	1	SMC-10P SMC-15P
18	TH-5N/3	TK-5N/3	12	12	18	1	1	SMC-20P
36	TH-675N/3	TK-675N/3	18 24	18 24	26 36	1	1	SMC-25P SMC-35P SMC-48P
65	TH-1015N/3	TH-1015N/3	28 34 56	28 34 43	40 50 65	1	1	SMC-50P SMC-65P
80	TH-20N/3	TH-20N/3	67	54	80	1	1	SMC-80P
100	GTH-100/3	GTH-100/3	80	65	100	1	1	GMC-100
160	GTH-150/3	GTH-150/3	107 130	85 100	125 160	1	1	GMC-125 GMC-150
240	GTH-220/3	GTH-220/3	160 200	140 160	180 240	1	1	GMC-180 GMC-220
450	GTH-400/3	GTH-400/3	259 375	200 300	300 400	1	1	GMC-300 GMC-400
800	GTH-600/3	GTH-600/3	500 680	400 520	600 800	1	1	GMC-600 GMC-800

Phụ lục 9 ROLE ĐIỆN TỬ

9.1. Role quá dòng điện EOCR



Bảo vệ

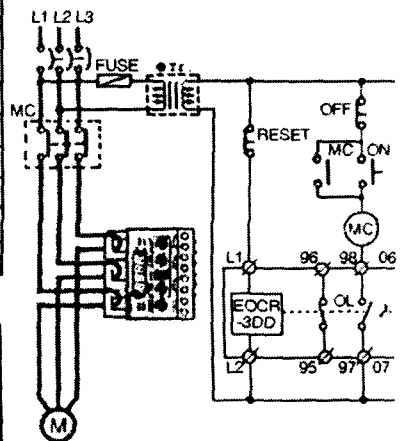
- Trên cơ sở MCU & ASIC
 - 3 máy biến dòng điện bên trong
 - Bảo vệ khóa rôto, đảo pha, pha mất cân bằng, mất pha, quá dòng
 - Hiển thị dòng điện, trạng thái sự cố
 - Đặc tính thời gian cắt chọn lọc
 - Thời gian cắt và cắt trễ có điều chỉnh độc lập
- + Cảnh báo quá tải → EOCR-3DD
 + Bảo vệ ngắt mạch → EOCR-3DS
 + Bảo vệ sự cố đất → EOCR-3DZ

EOCR-3DD		EOCR-3DS		EOCR-3DZ	
Hạng mục bảo vệ	Thời gian cắt	Hạng mục bảo vệ	Thời gian cắt	Hạng mục bảo vệ	Thời gian cắt
Quá dòng	O-Time	Quá dòng	O-Time	Quá dòng	O-Time
Mất pha	3 s	Mất pha	3 s	Mất pha	3 s
Lệch pha	8 s	Lệch pha	8 s	Lệch pha	8 s
Đảo pha	0,1 s	Đảo pha	0,1 s	Đảo pha	0,1 s
Khóa rôto	D-Time	Khóa rôto	D-Time	Khóa rôto	D-Time
		Ngắn mạch	0,05 s		1 hoặc 0,03s

Đặc tính

Loại	EOCR-3DD	EOCR-3DS	EOCR-3DZ
Đặt quá dòng kiểu		Dài đất	
05	0,5 - 6 A	0,5 - 6 A	0,5 - 6 A
20		5 - 20 A	
60	5 - 60 A		5 - 60 A

Sơ đồ nối dây

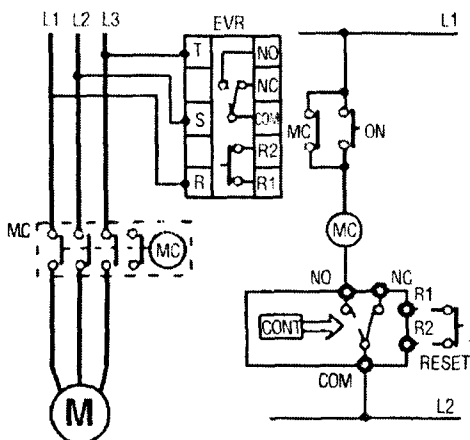


EOCR-3DD

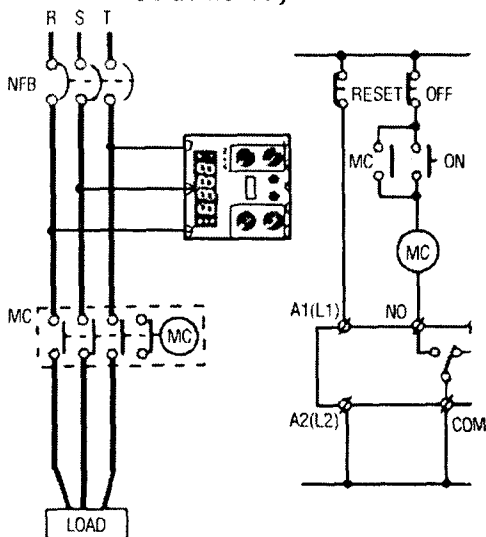
DÂY RƠLE ĐIỆN TỬ BẢO VỆ DÒNG QUÁ TẢI (Tiếp theo)

Loại		EOCR-3DD	EOCR-3DS	EOCR-3DZ	
Đặt quá dòng	Kiểu		Dải đặt		
	100		10 - 120 A		
	150		15 - 180 A		
	200		20 - 240 A		
	300		30 - 360 A		
	400		40 - 480 A		
	500		50 - 600 A		
	600		60 - 720 A		
		-	300 - 1800% của I_s		
Đặt dòng sự cố		-	-	A	0,05 - 2,5 A
				B	0,2 - 10
Alert Setting		50 - 100% của I_s			
Đặt thời gian khởi động (D-Time)	SW3-INV/On		0 - 120 s		
Đặt thời gian cắt (O-Time)	SW3-DEF/Off		1 - 120 s		
Đặt thời gian cắt (O-Time)	SW3-INV/On		1 - 30 s		
Đặt thời gian cắt (O-Time)	SW3-DEF/Off		0,3 - 25 s		
Điện áp điều chỉnh			85 - 250 VAC/DC		
Đầu ra rơle	Role 1		Role OL		
		2SPST, 5A/250VAC	2-SPST, 5A/250VAC	1-SPST, 5A/250VAC	
	Role 2	Role AL		Role sự cố đất	
		1-SPST, 5A/250VAC			
Đặc tính thời gian	SW3-INV/On				
	SW3-DEF/Off				
Chỉ thị cắt, sự cố		LED Display (SSD+LED)			
Cảm biến dòng		3-CT			
Lắp đặt		35 mm Kịch thước ray / băng			

Sơ đồ nối dây

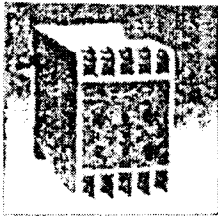


Sơ đồ nối dây



9.2. Role điện áp EVR

Kiểu Điện Tử Tương Tự - EVR



Đặc tính

- Cấu trúc kín
- Chức năng bảo vệ đa năng
- Nhớ sự cố cắt 24h
- Chỉ thị cắt và sự cố - Nút
- Đặt tay hoặc tự động
- Nhạy cảm với môi trường

Bảo vệ

Hạng mục	Thời gian cắt
Quá điện áp	OVR-Time
Điện áp thấp	UVR-Time
Mất pha	0,5 s
Đảo pha	0,5 s

Đặc tính

Điện áp định mức		EVR-220 220V	EVR 380 380V	EVR 415 415V
Điện áp đặt, V	Cao Thấp	220+300 160+220	380+460 300+380	425+500 340+415
Thời gian đặt	Cao Thấp	0,5 ÷ 2 s 1 ÷ 5 s		
Thời gian cắt khi mất pha		0,5 s		
Thời gian cắt khi đảo pha		5 s		
Đặc tính thời gian		Xác định		
Đầu ra role		5A, 250 VAC, tải trở R		
Đặt		Đặt tay		
Thử nghiệm		Tự động (Reset Time = 5 s) 1 s sau khi ấn nút TEST)		
Chỉ thị sự cố cắt		Sự cố được lưu nhớ 24 h và được hiển thị trên LED khi ấn nút Ascertain S/W		
Điện áp		± 5%		
Thời gian		± 15%		

Kiểu Kỹ Thuật Số EVR-PD/FD



Đặc tính

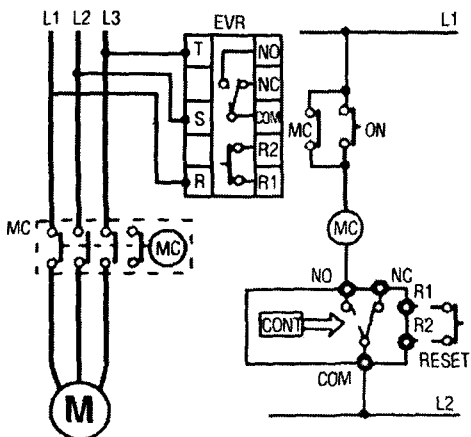
- Cấu trúc kín trên cơ sở MCU&ASIC
- Chức năng bảo vệ đa năng
- Điều chỉnh điện áp riêng
- Đặt và đo điện áp kỹ thuật số
- Hiển thị sự cố / cắt
- Đặt tay / tự động / điện
- Chỉnh thời gian đặt
- Nhạy cảm với môi trường

Bảo vệ

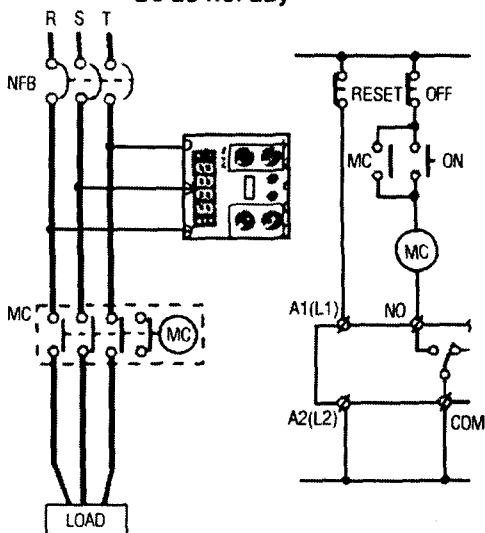
Hạng mục	Thời gian cắt
Quá điện áp	OVR-Time
Điện áp thấp	UVR-Time
Mất pha	0,5 s
Đảo pha	0,5 s
Điện áp mất cân bằng	3 s

Đặt điện áp	Loại	Quá áp	Thấp áp
	110 220 440	110+50V 220+380V 380+500V	80+120V 160+240V 380+440V
Đặt thời gian cắt	O-Time U-Time	0,5 - 10 s 0,5 - 10 s	
Điện áp điều khiển	220 Others	85 - 250 VAC/DC 24, 48 VAC/DC	
Đầu ra role	Mode Rating Trạng thái	1-SPDT (1C) 3A/250VAC tải trở R Thường mở	
Reset	SW3=AUTO SW3=MAN	Reset Time: 1 or 5 s (DIP-SW4) RESET Button	
Lắp đặt	DCU PCU	35 mm DIN-Rail / Panel Push	
		35 mm DIN-Rail / Panel	

Sơ đồ nối dây



Sơ đồ nối dây

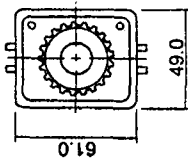
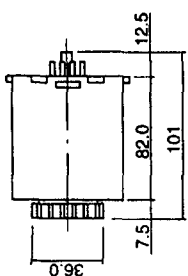
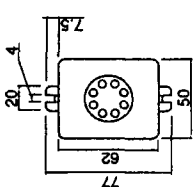
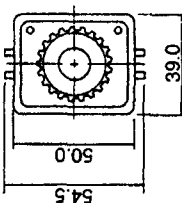
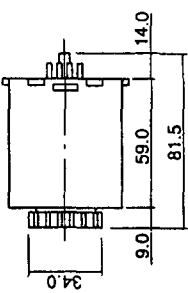
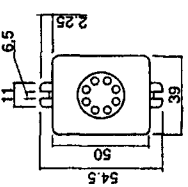
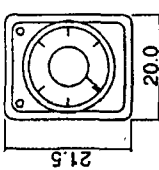
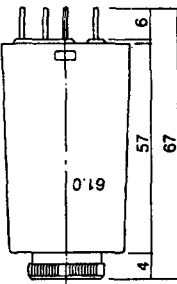
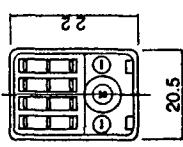
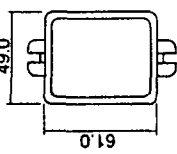
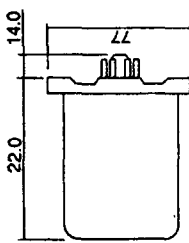
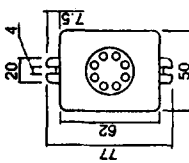


Loại rơle điện tử dùng cho mạch một pha có ký hiệu:

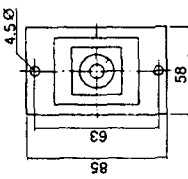
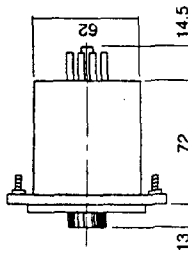
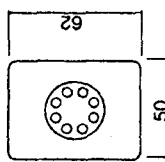
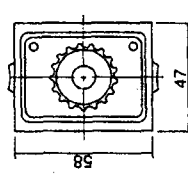
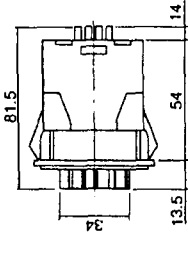
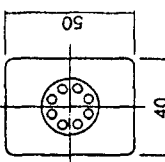
EOVR: Rơle điện tử quá điện áp

EUVR: Rơle điện tử điện áp thấp.

**9.3. Rơle thời gian
Kích thước ngoài**

Model	Mặt trước	Mặt bên	Mặt sau	Ghi chú
SIS - 1				
SIS - 3				
SIS - 4				
SIFR - 3				

Kích thước ngoài (tiếp theo)

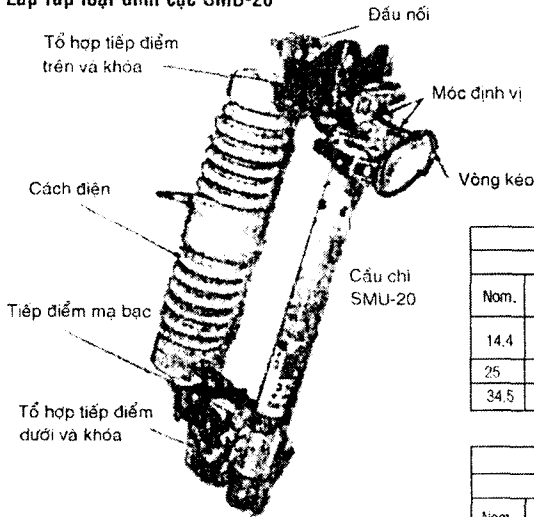
Model	Mặt trước	Mặt bên	Mặt sau	Ghi chú
SIWT - 1				
SIFS - 1				

Đặc tính thời gian

Loại	1 s	3 s	6 s	10 s	30 s	60 s	3 ph	6 ph	10 ph	15 ph	30 ph	60 ph	3 h	6 h	12 h	24 h
Tối thiểu	0,1 s	0,1 s	0,2 s	0,5 s	1 s	2 s	6 s	12 s	24 s	30 s	1 ph	2 ph	6 ph	12 ph	24 ph	48 ph
Tối đa	1 s	3 s	6 s	10 s	30 s	60 s	3 ph	6 ph	10 ph	15 ph	30 ph	60 ph	3 h	6 h	12 h	24 h

Phụ lục 10 **CẦU CHÌ TỰ RƠI VÀ DAO PHỤ TẢI TRUNG ÁP** **Hàng S&C electric company (USA)** **Cầu chì công suất kiểu SMD-20, SMD-40** **Lắp đặt ngoài trời**

Lắp ráp loại đỉnh cực SMD-20



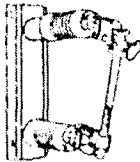
Kiểu SMO-20 lắp đỉnh cột

50/60 Hz						Khoảng cách đất tối thiểu	
kV			Ampe, trị hiệu dụng				
Nom.	Max.	BIL	Max	Interr. Sym.			
				60 Hz	50 Hz	inch	mm
14.4	17	125	200E hoặc 200K	14000	11200	11	279
		150	200E hoặc 200K	14000	11200	17	432
25	27	150	200E hoặc 200K	12500	10000	17	432
34.5	30	200	200E hoặc 200K	10000	8000	25 1/2	648

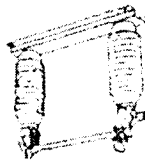
Kiểu SMO-20 lắp tại trạm

50/60 Hz							Khoảng cách đất tối thiểu	
kV			Ampe, trị hiệu dụng					
Nom.	Max.	BIL	Max	Interr. Sym.		inch		
				60 Hz	50 Hz			
14.4	17	110	200E hoặc 200K	14000	11200	15 1/2	394	
25	27	150	200E hoặc 200K	12500	10000	24	619	
34.5	30	200	200E hoặc 200K	10000	8000	37	940	

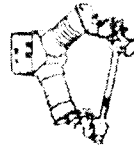
Kiểu SMD-20 lắp tại trạm



Lắp đứng

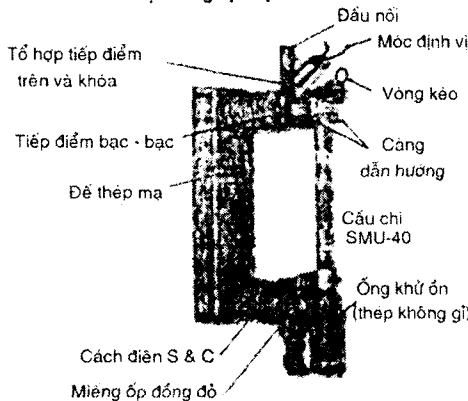


Lắp ngang



Lắp vuông góc

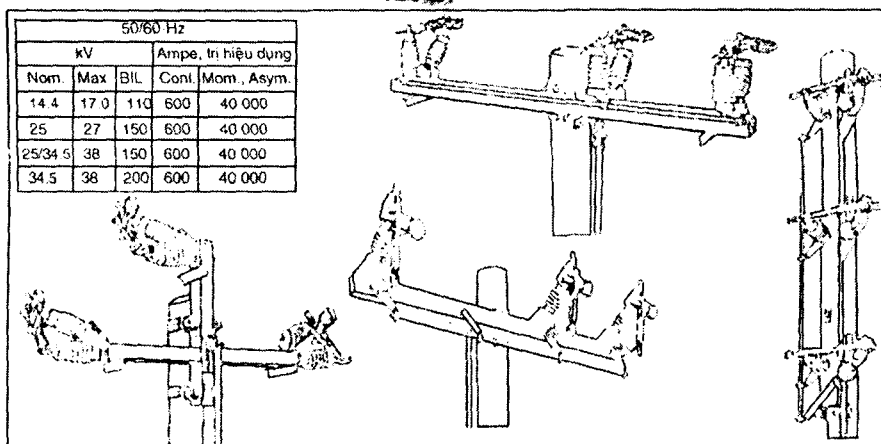
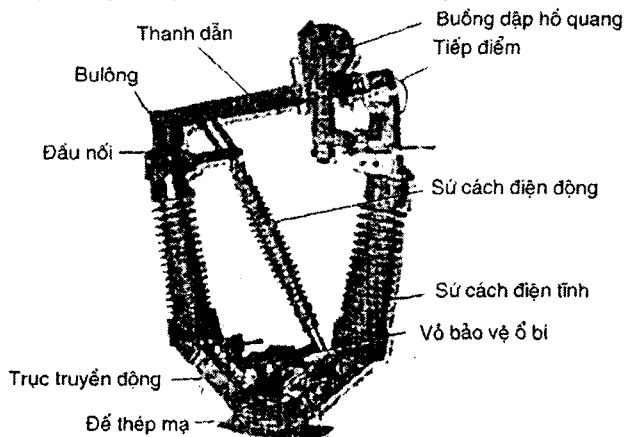
Kiểu SMD-20 đặt đứng tại trạm



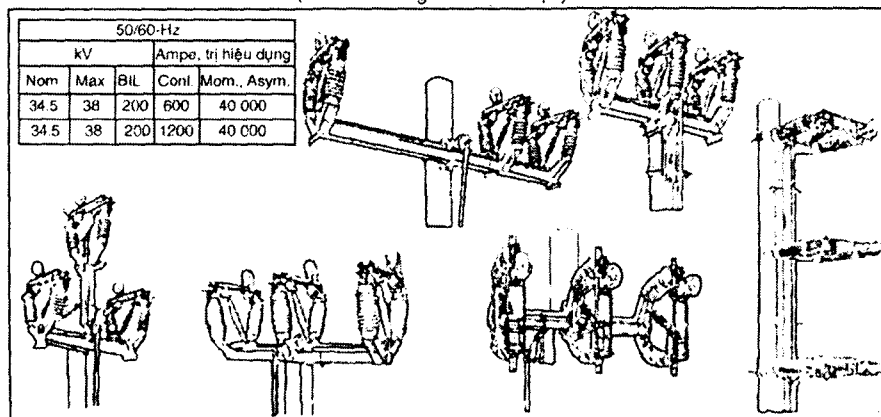
Kiểu SMO-20 lắp tại trạm

50/60 HZ						Khoảng cách đất tối thiểu	
kV			Ampe trị hiệu dụng				
Nom.	Max	BIL	Max	Interr.	Sym.		
						60 Hz	
14,4	17	110	400E	25000		inch	mm
25	27	150	400E	25000		10 1/2	267
34,5	30	200	400E	25000		15 1/2	394
						24	610

CẤU TẠO MỘT CỤC CỦA MÁY CẮT PHỤ TẢI 34,5 KV, 1200A



CÁC DẠNG LẮP ĐẶT MÁY CẮT PHỤ TẢI KIỂU NGANG
(thao tác đồng thời cả ba cực)

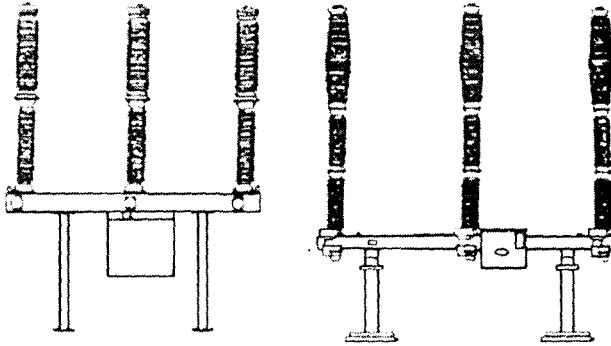


CÁC DẠNG LẮP ĐẶT MÁY CẮT PHỤ TẢI KIỂU ĐỨNG
(thao tác đồng thời cả ba cực)

CÁC THÔNG SỐ CHÍNH CỦA DÂY MÁY CẮT HPA THEO IJEC - 56

Điện áp định mức	kV	3,3 ÷ 7,2	12	17	24
Tần số	Hz	50	50	50	50
Điện áp xung	kV	75	75	95	125
Dòng điện định mức (dân)	A	3150	3150	2500	2500
Dòng xung kích	kA	175	100	100	79
Dòng cắt định mức	kA	50	40	40	31,5
Chế độ thao tác	Cắt - 0,3 s - Đóng cắt - 180 s - Đóng cắt				
Thời gian cắt	ms	38	38	38	38
Thời gian hồ quang	ms	15	15	15	15
Thời gian đóng	ms	75	75	75	75
Dòng ngắn mạch 1 s	kA	50	40	40	31,5

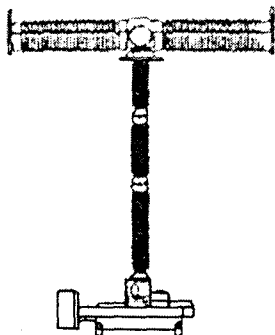
Phụ lục 12
DÂY MÁY CẮT KHÍ SF₆ CỦA SIEMENS



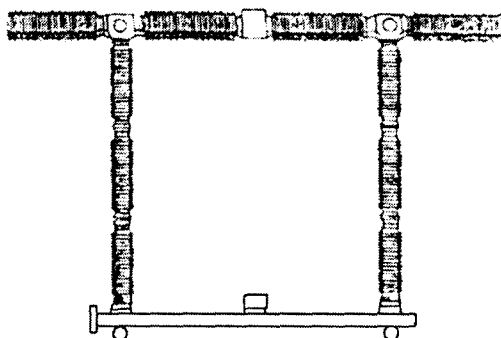
Loại

3AP1/3AQ1

Điện áp định mức	kV	72,5	123	145	170	245	245
Số đường cắt / cực		1	1	1	1	1	2
Điện áp chịu tần số nguồn định mức, 1 phút	kV	140	230	275	325	460	460
Điện áp chịu xung sét định mức, 1,2 /25 μ s	kV	325	550	650	750	1050	1050
Điện áp chịu xung dòng định mức	kV				-	-	-
Dòng định mức đến	A	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Dòng ngắn hạn định mức (1 - 3 s) đến	kA	40	40	40	40/50	50	50/80
Dòng xung định mức, đến	kA	100	100	100	100/125	125	125/200
Dòng cắt định mức, đến	kA	40	40	40	40/50	50	50/80
Dòng ngắn mạch định mức, đến	kA	100	100	100	100/125	125	125/200
Chu kỳ làm việc định mức		O - 0,3 s - CO - 3 phút - hoặc CO - 15 s - CO					
Thời gian cắt	chu kỳ	3	3	3	3	3	3/2
Tần số	Hz	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
Loại cơ cấu truyền động		Cơ chế điện thủy lực / vòng lò xo					
Điện áp điều khiển	V, DC	48 ... 250					
Điện áp động cơ	V, DC V, AC	48 ... 250 hoặc 208/120 500/298 50/60 Hz					
Số liệu thiết kế ban đầu							
Khe hở	Pha / đất	mm	700	1250	1250	1500	2200
	Khoảng cắt	mm	1200	1200	1200	1400	1900
Khoảng cách điện tối thiểu	Pha / đất	mm	1813	3625	3625	4250	6125
	Khoảng cắt	mm	3625	3625	3625	4250	6150
Kích thước: Cao		mm	3810	4360	4360	4065	5485
	Rộng	mm	3180	3880	3880	4700	6600
	Sâu	mm	660	660	660	1280	1280
	Khoảng cách giữa các tấm cực	mm	1350	1700	1700	1850	2800
Trọng lượng máy cắt		kg	1350	1500	1500	2000	3000
Kiểm tra sau			25 năm				



3AO2/2AT2/3AT3

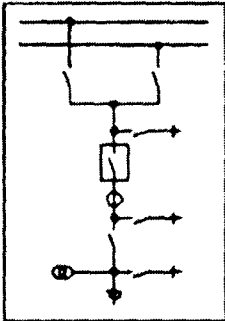
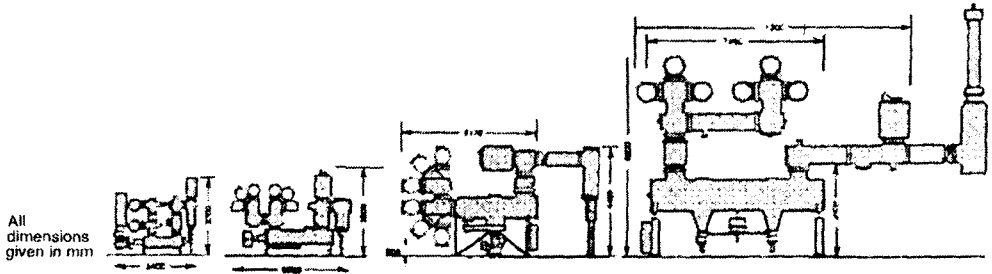


3AT4/3AT5

300	362	420	550	362	420	550	800
2	2	2	2	4	4	4	4
435	520	610	800	520	610	800	1150
1050	1175	1425	1550	1175	1425	1550	2100
850	950	1050	1175	950	1050	1175	1425
4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
50/63	50/63	50/63	50/63	80	80	63	63
125/160	125/160	125/160	125/160	200	200	160	160
50/63	50/63	50/63	50/63	80	80	63	63
125/160	125/160	125/160	125/160	200	200	160	160
O - 0,3 s - CO - 3 phút - hoặc CO - 15 s - CO							
50/63	50/63	50/63	50/63	50/63	50/63	50/63	50/63
Cơ chế điện thủy lực							
48 ... 250 48 ... 250 hoặc 208/120 500/298 50/60 Hz				48 ... 250 48 ... 250 hoặc 208/120 500/298 50/60 Hz			
2750/2200	2750/2700	3300	3800	2700	3300	3800	5000
2400	2700	3200	3800	4000	4000	4000	4000
7875/6050	7875/7165	10375/9075	13750	7165	9075	10190	13860
7650/8568	9050/9360	10500/11390	13750	12140	12140	17136	22780
4385/4490	4400/6000	5240/6000	6700	4990	6000	6550	8400
7510/8010	9900/9300	10500/10100	13690	10600	11400	16600	22200
3895/4025	3695/4280	4196/4280	5135	6830	6830	7505	9060
3400	3800/3900	4100/4300	5100	4350	4750	7200	10000
4390/6430	5010/9090	5550/8600	12500	14400	14700	19200	23400
25/20 năm				20 năm			

Phụ lục 13

TRẠM ĐÓNG CẮT HỢP BỘ ABB



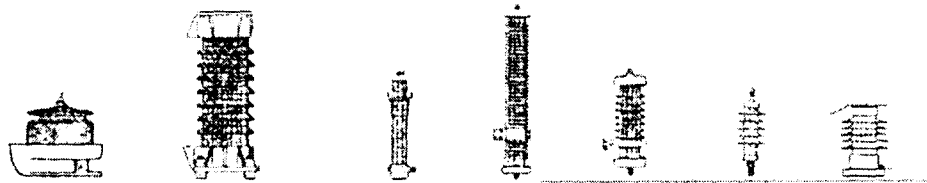
Kiểu		8DN9	8DP3	8DQ1	8DR1
Chiều sâu	mm	1200	2200	3600	4500
U_{dm}	kV	up to 170	up to 300	up to 550	up to 800
$U_{thử}$	kV	up to 325	up to 480	up to 740	up to 950
U xung sét thử	kV	up to 750	up to 1050	up to 1800	up to 2100
U xung thao tác thử	kV	-	up to 850	up to 1250	up to 1550
I_{dm} thanh cái	A	up to 3150	up to 5000	up to 6300	up to 8000
I_{dm} tiếp xúc	A	up to 2500	up to 4000	up to 4000	up to 5000
$I_{cắt}$	kA	up to 40	up to 50	up to 63	up to 63
$I_{ngắn}$ mạch 1 s	kA	up to 40	up to 50	up to 63	up to 63
I_{xung} kích	kA	up to 100	up to 135	up to 170	up to 170
Áp suất SF_6 trạm	bar	up to 4.3	up to 4.0	up to 4.3	up to 4.3
SF_6 của máy cắt	bar	up to 6.0	up to 6.0	up to 6.5	up to 6.0
Bảo trì		>20 years	>20 years	>20 years	>20 years

Phụ lục 14

THIẾT BỊ CHỐNG SÉT SIMENS



Ứng dụng		Hệ thống đường dây trên không điện áp thấp	Hệ thống phân phối và máy cắt điện áp trung bình	Động cơ, MBA khô và hệ thống sét không khí
Điện áp danh định hệ thống	kV	1	20	10
Điện áp cao nhất của thiết bị	kV		24	12
Điện áp định mức tối đa	kV	1	24	12
Dòng phóng định mức	kA	5	5	1
Khả năng hấp thụ năng lượng tối đa ở điều kiện ổn định nhiệt	kJ/kV	-	0,3	0,8
Xung dòng điện thời hạn kéo dài tối đa 2 ms	A	150	150 (1 ms)	200 200 1300
Dòng điện ngắn mạch	kA	5 A Cắt mạch	20	40
Vật liệu vỏ		Vỏ polyme	Sứ	Vỏ polyme, sứ



Bộ chống sét oxyt kim loại

3EC

3EE2

3EH2

3EG5

3EK5

3EK7

3EQ1-B

Hệ thống một chiều, hệ thống ray, phương tiện kéo	Hệ thống trung áp, máy phát, động cơ, lò điện nổi 6 bộ chống sét, nhà máy điện	Động cơ, MBA khô và hệ thống sét không khí	Hệ thống phân phối và máy cắt	Hệ thống phân phối và máy cắt	Hệ thống phân phối và máy cắt	Hệ thống một chiều, hệ thống ray, phương tiện kéo
3	20		30	60	30	25
4	36	52	36	72,5	36	30
4	45	52	45	75	45	37 (AC) 4 (DC)
10	10	5/10	5/10	10	10	10
8	15	22	2,2	5	5	5
850	2100	200	200	500	500	850
20	300	16	20	20	20	40
Sứ	Sứ	Kim loại	Sứ	Sứ	Vỏ polyme	Vỏ polyme



Ứng dụng		Hệ thống đường dây trên không điện áp thấp	Hệ thống phân phối và máy cắt điện áp trung bình	Động cơ, MBA khô và hệ thống sét không khí
Điện áp danh định hệ thống	kV	132	380	
Điện áp cao nhất của thiết bị	kV	145	420	765
Điện áp định mức tối đa	kV	180	384	612
Dòng phóng định mức	kA	2	4	5
Khả năng hấp thụ năng lượng tối đa ở điều kiện ổn định nhiệt độ	kJ/kV	5	10	20
Xung dòng điện, khoảng thời gian kéo dài tối đa 2 ms	A	500	1200	3900
Momen uốn cho phép tối đa		21 ¹⁾	12,5 ¹⁾	34 ¹⁾
Vật liệu vỏ		Sứ	Sứ	Sứ



3EQ1



3EQ2



3EQ3-3ER3



3EP-2K



3EP2-K3



3EP3-K

Hệ thống trung áp, lắp đặt ngoài trời	Hệ thống trung áp, lắp đặt ngoài trời	Hệ thống trung áp, lắp đặt ngoài trời các bộ bù tĩnh HVDC	Hệ thống cao áp, máy cắt cách điện khí vỏ kim loại kín	Hệ thống cao áp, máy cắt cách điện khí vỏ kim loại kín	Hệ thống cao áp, máy cắt cách điện khí vỏ kim loại kín
132			150	150	
145	525	525	170	170	525
189	444	444	168	168	144
10	10/20	20	20	20	20
3	5	5	4	4	5
850	1600	3900	1200	1200	1600
40	63	80	63	63	63
2 ¹⁾²⁾	20 ¹⁾²⁾	60 ¹⁾²⁾	-	-	-
Vỏ polyme	Vỏ polyme	Vỏ polyme	Kim loại	Kim loại	Kim loại

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Cơ sở lý thuyết khí cụ điện*. Bộ môn Máy điện - khí cụ điện, Đại học Bách khoa, Hà Nội, 1972.
2. *Giáo trình khí cụ điện*. Bộ môn Máy điện - khí cụ điện, Đại học Bách khoa - Hà Nội, 1978.
3. *Khí cụ điện hạ áp*. Bộ môn Máy điện - khí cụ điện, Đại học Bách khoa - Hà Nội, 1976.
4. *Khí cụ điện cao áp*. Bộ môn Máy điện - khí cụ điện, Đại học Bách khoa - Hà Nội, 1975.
5. *Thiết kế khí cụ điện*. Bộ môn Máy điện - khí cụ điện, Đại học Bách khoa - Hà Nội, 1987.
6. Phần tử tự động. Nguyễn Tiến Tôn, Phạm Văn Chối, Đại học Bách khoa - Hà Nội, 1984.
7. *Cẩm nang thiết bị đóng cắt ABB*. Lê Văn Doanh dịch, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1998.
8. *Bảo dưỡng, thử nghiệm thiết bị điện*. Lê Văn Doanh, Phạm Văn Chối..., NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1999.
9. *Bảo vệ các hệ thống điện*. Trần Đình Long, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2000.
10. *Электрические аппараты*. А. Чинихии. Энергия. Москва. 1978.
11. *Теория и расчет электрических аппаратов*. Ю. Новиков. Энергия. Ленинград. 1980.
12. *Электрически апарати*. П. Пенчев. Техника. София, 1984.
13. *Электромагнитные реле*. М. Витенберг. Энергия, 1980.
14. *High Voltage Circuit Breakers Design and Applications*. R.D. Garzon. New York, 2002.
15. *Switching Phenomena in High Voltage Circuit Breaker*. Kunio Nakanishi. Tokyo Denky University, 1991.
16. *Catalogues of Siemens, ABB, Schneider, Fuji, Omron, Mitshubishi, LG...*