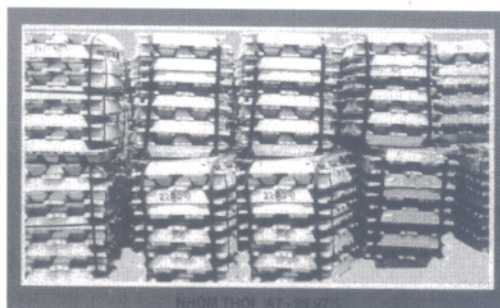
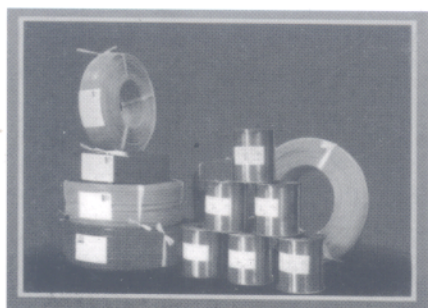
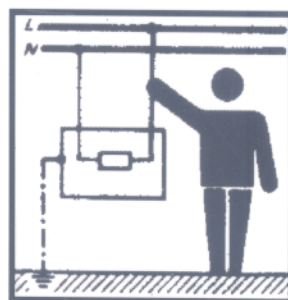
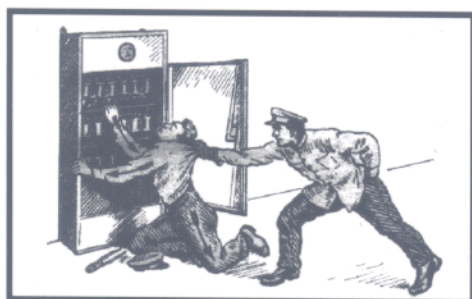
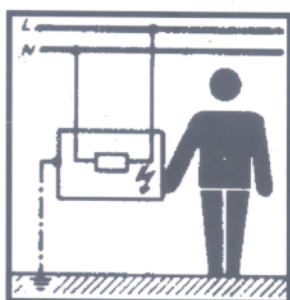
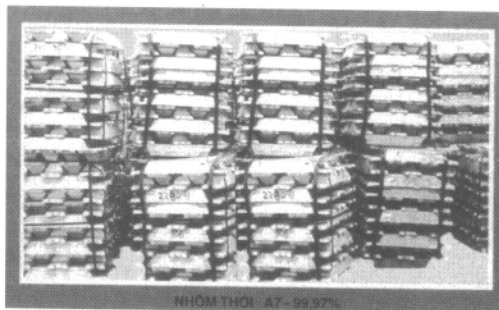
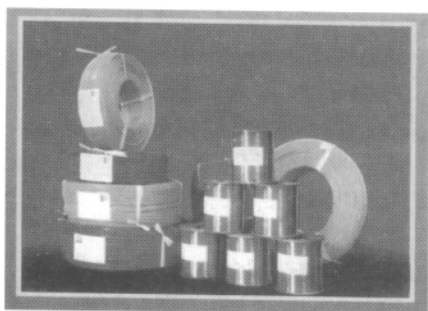
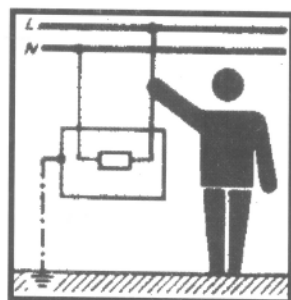
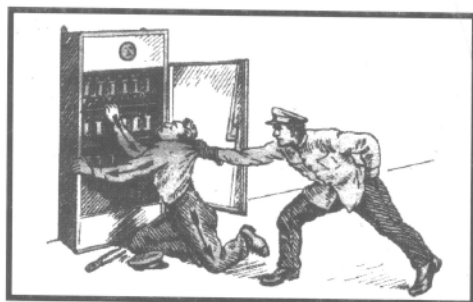
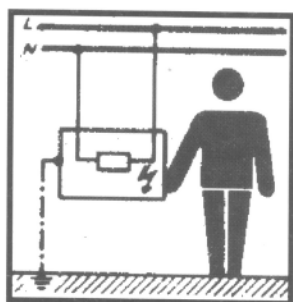


VẬT LIỆU KỸ THUẬT ĐIỆN & KỸ THUẬT AN TOÀN ĐIỆN



JICA - HIC, DỰ ÁN TĂNG CƯỜNG KHẢ NĂNG ĐÀO TẠO CÔNG NHÂN KỸ THUẬT
TRƯỜNG CAO ĐẲNG CÔNG NGHIỆP HÀ NỘI
BAN ĐIỀU KHIỂN ĐIỆN

**VẬT LIỆU KỸ THUẬT ĐIỆN
& KỸ THUẬT AN TOÀN ĐIỆN**



LỜI NÓI ĐẦU

Khoa học và công nghệ ngày một phát triển mạnh mẽ trên thế giới. Chúng ta cần cung cấp những kiến thức khoa học công nghệ cho công nhân trẻ, những người mong muốn được học tập và nghiên cứu để tiếp tục sự phát triển nền công nghiệp Việt Nam.

Để đáp ứng nhu cầu cần thiết trên, Dự án “ **Tăng cường Khả năng Đào tạo công nhân kỹ thuật tại trường Cao đẳng Công nghiệp Hà Nội** ” đã được thành lập và bắt đầu hoạt động từ ngày 1 tháng 4 năm 2000 theo thỏa thuận hợp tác kỹ thuật giữa hai chính phủ Việt Nam và Nhật Bản. Đây là dự án hợp tác kỹ thuật về dạy nghề trên 3 lĩnh vực: gia công kim loại tấm , điều khiển điện và gia công cơ khí .

Cuốn giáo trình “**Vật liệu kỹ thuật điện và an toàn điện**” được biên soạn với sự giúp đỡ, tạo điều kiện của các chuyên gia Nhật Bản đang hoạt động trong Dự án.

Nội dung cuốn giáo trình gồm 2 phần:

Phần I. Trình bày những kiến thức cơ bản về vật liệu dẫn điện, vật liệu cách điện, vật liệu bán dẫn, vật liệu từ và những ứng dụng chủ yếu của chúng trong kỹ thuật điện.

Phần II. Trình bày phân tích những khái niệm cơ bản về an toàn điện và các trường hợp mất an toàn trong các mạng điện đồng thời tập trung vào những biện pháp kỹ thuật an toàn trong quá trình sản xuất, phân phối và sử dụng điện.

Chúng tôi hy vọng giáo trình này sẽ được sử dụng hữu ích trong việc phát triển khả năng nghề của học viên tại môi trường làm việc công nghiệp đích thực.

Trong quá trình dịch và biên soạn chắc không tránh khỏi những sai sót. Chúng tôi mong nhận được các ý kiến góp của bạn đọc để cuốn giáo trình ngày càng hoàn thiện hơn. Các ý kiến đóng góp xin gửi về Ban điều khiển điện dự án JICA Trường CDCN Hà Nội.

Tháng 9 năm 2002

Dự án JICA – HIC

TẬP THỂ BAN ĐIỀU KHIỂN ĐIỆN

MỤC LỤC

Lời nói đầu

Phần 1. Vật liệu kỹ thuật điện

Chương 1. Những vấn đề chung	5
1.1. Cấu tạo nguyên tử	5
1.2. Cấu tạo của vật chất	6
1.2.1. Liên kết đồng hoá trị	6
1.2.2. Liên kết ion	7
1.2.3. Liên kết kim loại	8
1.2.4. Liên kết Vandecvan	8
1.3. Lý thuyết phân vùng năng lượng vật chất	10
Chương 2. Vật liệu dẫn điện	13
2.1. Khái niệm chung	13
2.1.1. Định nghĩa và phân loại	13
2.1.2. Điện trở suất của vật liệu dẫn điện	14
2.1.3. Hiệu điện thế tiếp xúc	16
2.2. Kim loại dẫn điện tốt	17
2.2.1. Đồng và hợp kim của đồng	17
2.2.2. Nhôm và hợp kim của nhôm	19
2.2.3. Sắt và hợp kim của sắt	21
2.3. Các kim loại khác	22
2.3.1. Wofram	22
2.3.2. Niken	23
2.3.3. Bạc	23
2.3.4. Vàng	24
2.3.5. Chì	24
2.3.6. Thiếc	24
2.3.7. Thuỷ ngân	25
2.4. Hợp kim có điện trở cao	25
2.4.1. Hợp kim Manganin	25
2.4.2. Hợp kim Constantan	25
2.4.3. Hợp kim Nikenin	26
2.4.4. Hợp kim Crôm - Niken	26
2.4.5. Hợp kim Crôm - Nhôm	26
2.5. Chất hàn và chất giúp chảy hàn	27
2.5.1. Chất hàn	27
2.5.2. Chất giúp chảy	28
2.6. Than kỹ thuật điện	28
Chương 3. Vật liệu cách điện	30
3.1. Đặc điểm của điện môi trong điện trường	30

3.1.1. Khái niệm về điện trường	30
3.1.2. Điện môi đặt trong điện trường	30
3.1.3. Độ bền cách điện	31
3.2. Tổn hao điện môi	33
3.3. Phân loại vật liệu cách điện	35
3.3.1. Phân loại theo trạng thái vật lý	35
3.3.2. Phân loại theo thành phần hoá học	36
3.3.3. Phân loại theo tính chịu nhiệt	36
3.4. Tính chất cơ lý hoá của vật liệu cách điện	37
3.4.1. Tính hút ẩm	38
3.4.2. Tính chịu nhiệt	41
3.4.3. Tính chất cơ học của vật liệu cách điện	42
3.5. Vật liệu cách điện thể khí	42
3.6. Vật liệu cách điện thể lỏng	44
3.7. Vật liệu cách điện thể rắn	48
Chương 4. Dây dẫn, thanh dẫn dây cáp và dây điện từ	63
4.1. Dây dẫn	63
4.2. Thanh dẫn	67
4.3. Cáp điện lực	68
4.4. Dây điện từ	72
Chương 5. Vật liệu bán dẫn	74
5.1. Đặc điểm dẫn điện của vật liệu bán dẫn	74
5.2. Vật liệu bán dẫn nguyên chất	75
5.3. Vật liệu bán dẫn tạp chất	77
Chương 6. Vật liệu từ	81
6.1. Khái niệm chung	81
6.2. Vật liệu sắt từ	82
6.3. Vật liệu từ có công dụng đặc biệt	86
Phần 2. An toàn điện	
Chương 7. Những khái niệm an toàn về điện	90
7.1. Các tai nạn về điện	90
7.2. Tác dụng của dòng điện đối với cơ thể người	91
7.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến dòng điện qua cơ thể người	94
7.4. Hiện tượng dòng điện tản trong lòng đất	98
Chương 8. Phân tích an toàn trong các mạng điện	102
8.1. Phân tích an toàn trong các mạng điện đơn giản	102
8.2. Phân tích an toàn trong mạng điện ba pha	109
Chương 9. Xử lý và cấp cứu người bị điện giật	116
9.1. Tách nạn nhân ra khỏi nguồn điện	116
9.2. Cấp cứu ngay sau khi tách nạn nhân ra khỏi nguồn điện	118
Chương 10. Các biện pháp cần thiết để đảm bảo an toàn điện	121

10.1. Quy tắc chung đảm bảo an toàn điện	121
10.2. Các biện pháp kỹ thuật an toàn điện.....	121
10.3. Nối đất bảo vệ	122
10.4. Bảo vệ nối dây trung tính.....	134
10.5. Bảo vệ bằng dùng thiết bị chống dò điện	141

Phần 1 . VẬT LIỆU KỸ THUẬT ĐIỆN

CHƯƠNG 1

NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

Mục đích chương này nhằm đưa ra một số kiến mang tính chất cơ sở, cơ bản về cấu tạo vật chất của vật liệu trước khi nghiên cứu những vật liệu kỹ thuật điện cụ thể.

1.1. CẤU TẠO NGUYÊN TỬ

Nguyên tử là phân tử cơ bản nhất của vật chất. Mọi vật chất đều được cấu tạo từ nguyên tử và phân tử theo mô hình nguyên tử của Bo.

Nguyên tử được cấu tạo bởi hạt nhân mang điện tích dương (gồm proton p và notron n) và các điện tử mang điện tích âm (electron, ký hiệu là e) chuyển động xung quanh hạt nhân theo một quỹ đạo xác định.

Ở điều kiện bình thường, nguyên tử trung hòa về điện, tức là:

$$|\sum(+) \text{hạt nhân}| = |\sum(-) e|$$

Khối lượng của e rất nhỏ: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ (Kg)

$$q_e = 1,601 \cdot 10^{-19}$$
 (C)

Do điện tử có khối lượng rất nhỏ cho nên ở một nhiệt độ nhất định, tốc độ chuyển động của electron rất cao. Nếu vì nguyên nhân nào đó một nguyên tử bị mất điện tử e thì nó trở thành ion (+), còn nếu nguyên tử nhận thêm e thì nó trở thành ion (-).

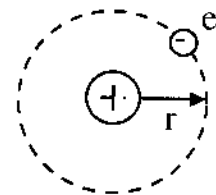
Quá trình biến đổi một nguyên tử trung hòa trở thành điện tử tự do hay ion (+) được gọi là quá trình ion hóa.

Để có khái niệm về năng lượng của điện tử xét trường hợp đơn giản của nguyên tử Hydro, nguyên tử này được cấu tạo từ một proton và một điện tử e (hình 1.1).

Khi điện tử chuyển động trên quỹ đạo có bán kính r bao quanh hạt nhân, thì giữa hạt nhân và điện tử e có 2 lực:

$$\text{Lực hút (lực hướng tâm): } f_1 = \frac{q^2}{r} \quad (1-1)$$

$$\text{và lực ly tâm: } f_2 = \frac{mv^2}{r} \quad (1-2)$$



Hình 1.1. Mô hình nguyên tử H

trong đó:

m - khối lượng của điện tử,

v - vận tốc dài của chuyển động tròn.

Ở trạng thái trung hòa, hai lực này cân bằng: $f_1 = f_2$ hay $mv^2 = \frac{q^2}{r}$ (1-3)

Năng lượng của điện tử sẽ bằng:

$$W_e = T + U \text{ (Động năng } T + \text{Thế năng } U)$$

trong đó: $T = \frac{mv^2}{2}$, $U = -\frac{q^2}{r}$.

$$\text{Vậy } W_e = T + U = \frac{q^2}{2r} - \frac{q^2}{r} = -\frac{q^2}{2r} \text{ hay } W_e = -\frac{q^2}{2r} \quad (1-4)$$

Biểu thức (1-4) chứng tỏ mỗi điện tử của nguyên tử đều tương ứng với một mức năng lượng nhất định. Năng lượng của điện tử phụ thuộc vào bán kính quỹ đạo chuyển động. Điện tử ngoài cùng có mức năng lượng thấp nhất do đó dễ bị bứt ra và trở thành trạng thái tự do. Năng lượng cung cấp cho điện tử để nó trở thành trạng thái tự do gọi là *năng lượng ion hóa* (W_i).

Để tách một điện tử trở thành trạng thái tự do thì phải cần một năng lượng $W_i \geq W_e$. Khi $W_i < W_e$ chỉ kích thích dao động trong một khoảng thời gian rất ngắn, các nguyên tử sau đó lại trở về trạng thái ban đầu.

Năng lượng ion hóa cung cấp cho nguyên tử có thể là năng lượng nhiệt, năng lượng điện trường hoặc do va chạm, năng lượng tia tử ngoại, tia cực tím, phóng xạ.

Ngược lại với quá trình ion hóa là quá trình kết hợp:

Nguyên tử + e $\rightarrow$ Ion (-).

Ion (+) + e $\rightarrow$ nguyên tử, phân tử trung hòa.

1.2. CẤU TẠO CỦA VẬT CHẤT

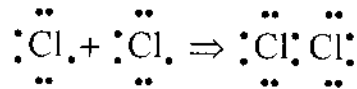
Vật chất được cấu tạo từ nguyên tử, phân tử hoặc ion theo các dạng liên kết dưới đây:

1.2.1. Liên kết đồng hóa trị

Liên kết này đặc trưng bởi sự kiện: một số điện tử đã trở thành chung cho các nguyên tử tham gia hình thành phân tử.

Lấy cấu trúc của phân tử clo làm ví dụ: phân tử này gồm 2 nguyên tử clo và như đã biết, nguyên tử clo có 17 điện tử, trong đó 7 điện tử ở lớp ngoài cùng (điện tử hoá trị). Hai nguyên tử clo liên kết bền vững với nhau bằng cách sử

dụng chung hai điện tử như trên hình 1.2. Lớp vỏ ngoài cùng của mỗi nguyên tử được bổ sung thêm một điện tử của nguyên tử kia.



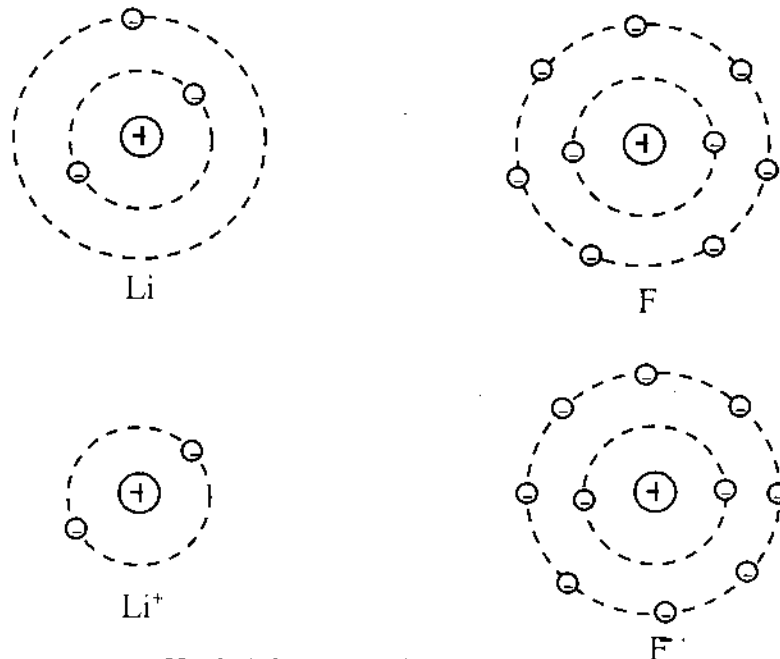
Hình 1.2.

Phân tử liên kết đồng hoá trị có thể là trung tính hoặc cực tính. Phân tử clo thuộc loại trung tính vì các trung tâm điện tích dương và điện tích âm trùng nhau.

Axit clohydric HCl là ví dụ của phân tử cực tính. Các trung tâm điện tích dương và âm cách nhau một khoảng và như vậy phân tử này được xem như một lưỡng cực điện.

1.2.2. Liên kết ion

Liên kết ion được xác lập bởi lực hút giữa các ion(+) và ion(-). Liên kết này khá bền vững, do vậy nhiệt độ nóng chảy của các chất có liên kết ion rất cao.



Hình 1.3. Liên kết ion của LiF

Các nguyên tử cho bớt điện tử lớp ngoài cùng trở thành ion dương (cation) hoặc thêm điện tử để điền đầy lớp ngoài cùng và trở thành ion âm (anion).

Hình 1.3 mô tả liên kết ion giữa Li và F để tạo thành LiF: nguyên tử Li cho một điện tử để trở thành Li^+ ; nguyên tử F nhận một điện tử để trở thành F^- ; kết quả tạo thành chất LiF.

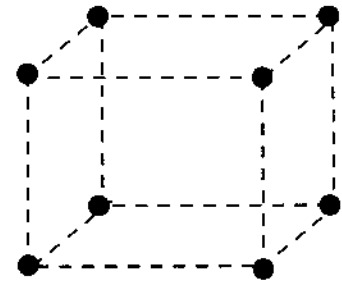
Liên kết ion thường tạo thành giữa các nguyên tố có nhiều điện tử hoá trị (nhóm VIB, VIIB trong bảng tuần hoàn Mendeleev) với các nguyên tố có ít điện tử hoá trị (nhóm IB, IIB). Các oxit kim loại (Al_2O_3 , MgO , CaO , NiO , Fe_3O_4 , ...) và muối halogen của kim loại kiềm có liên kết chủ yếu là liên kết ion.

1.2.3. Liên kết kim loại

Là liên kết trong các kim loại mà hạt nhân ở các nút mạng tinh thể. Xung quanh hạt nhân có các điện tử liên kết, ngoài ra còn có các điện tử tự do. Do đó, kim loại có tính chất dẫn điện, dẫn nhiệt tốt.

Khi không kể đến chuyển động nhiệt thì các hạt (gồm nguyên tử, phân tử hoặc ion) ở một vị trí xác định gọi là nút. Các nút được sắp xếp theo một trật tự xác định hợp thành mạng tinh thể.

Hình 1.4 là mạng tinh thể lập phương (cơ bản) của kim loại. Năng lượng liên kết là tổng hợp lực đẩy và hút tĩnh điện giữa các ion dương và mây điện tử tự do.



Hình 1.4. Mạng tinh thể cơ bản của kim loại

Liên kết kim loại thường được tạo nên từ những nguyên tử có ít điện tử hoá trị. Các nguyên tử ở nhóm IA trong bảng tuần hoàn Mendeleev, với một điện tử hoá trị, có tính kim loại điển hình. Càng dịch sang phải bảng tuần hoàn, tính chất đồng hoá trị trong liên kết của các nguyên tố tương ứng càng tăng và đến Bi (bismut) đã xuất hiện liên kết hỗn hợp “kim loại-hoá trị”.

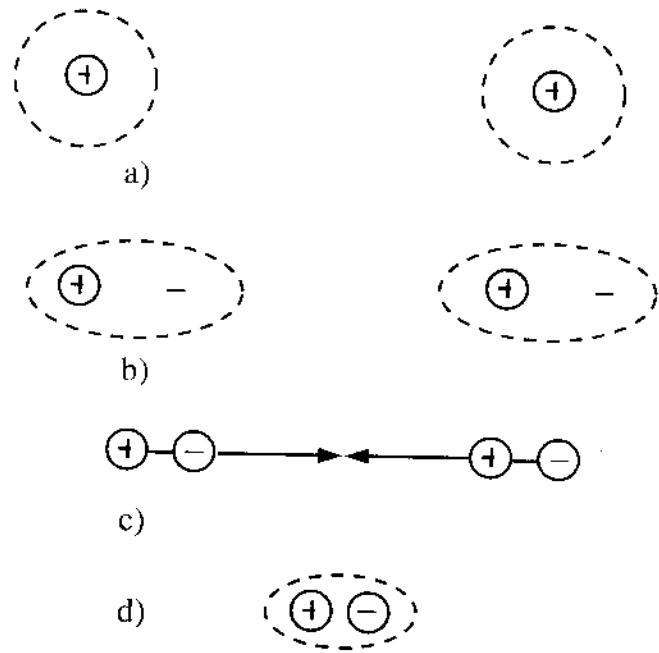
1.2.4. Liên kết Van-Der-Waals

Liên kết đồng hoá trị cho phép giải thích sự tạo thành những phân tử như nước (H_2O) hoặc polyetylen $(\text{C}_2\text{H}_4)_n$ nhưng không cho phép lý giải sự tạo thành một số vật rắn từ những phân tử trung hoà như nước đá, polyme,....

Trong nhiều phân tử có liên kết đồng hoá trị, do sự khác nhau về tính âm điện của các nguyên tử, trọng tâm điện tích dương và điện tích âm không trùng nhau, ngẫu cục điện sẽ tạo thành, *phân tử bị phân cực*. Liên kết VanderWaals là

liên kết do hiệu ứng hút nhau giữa các nguyên tử hoặc phân tử bị phân cực ở trạng thái rắn (hình 1.5).

Liên kết này thực chất là liên kết kim loại yếu, rất dễ bị phá vỡ bởi nhiệt độ, do vậy chất rắn trên cơ sở liên kết VanderWaals có nhiệt độ nóng chảy thấp.

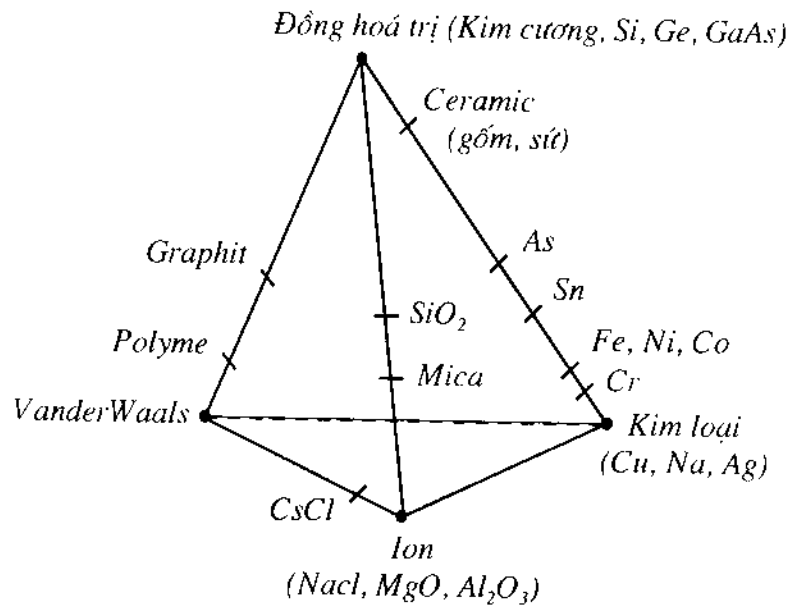


Hình 1.5. Mô hình liên kết VanderWaals

1.1.5. Quan hệ giữa cấu trúc và tính chất

Từ các trình bày ở trên, có thể thấy rằng yếu tố quyết định tính chất của vật liệu là dạng liên kết và cấu trúc của nó.

Trong thực tế phần lớn các vật liệu có dạng liên kết hỗn hợp: kim loại - đồng hoá trị; kim loại - ion; đồng hoá trị - ion;..., vì vậy tính chất của vật liệu sẽ là tổng hợp của các tính chất đặc trưng cho các dạng liên kết nêu trên.



Hình 1.6. Sơ đồ mô tả các dạng liên kết trong một số loại vật liệu hay gặp

Hình 1.6 đưa ra mô hình các dạng liên kết giữa các nguyên tử (phân tử) và bảng 1.1 cho những giá trị minh họa đặc điểm liên kết và tính chất của một số vật liệu.

Bảng 1.1. Đặc điểm liên kết và tính chất của một số vật liệu

Dạng liên kết	Chất	Năng lượng liên kết, (eV/nguyên tử)	Mô hình liên kết	Tính chất		
				T_c	ρ	Tính dẻo
Đồng hoá trị	Kim cương	7,0		Cao	Cao	Thấp
Ion	NaCl	3,3	- Cho (hoặc nhận) điện tử hoá trị - Lực hút, đẩy tĩnh điện	Cao	Cao	Thấp
Kim loại	Na	1,1	Mạng của các ion trong không gian điện tử tự do chung	Trung bình-cao	Trung bình-thấp	Cao
	Cu	3,5				
	Ti	4,8				
VanderWaals	H ₂	0,01	Lực hút ngẫu cực	Thấp	cao	Trung bình-thấp
	C H ₄	0,1				
	Cl ₂	0,3				

T_c -nhiệt độ nóng chảy; ρ -điện trở suất;

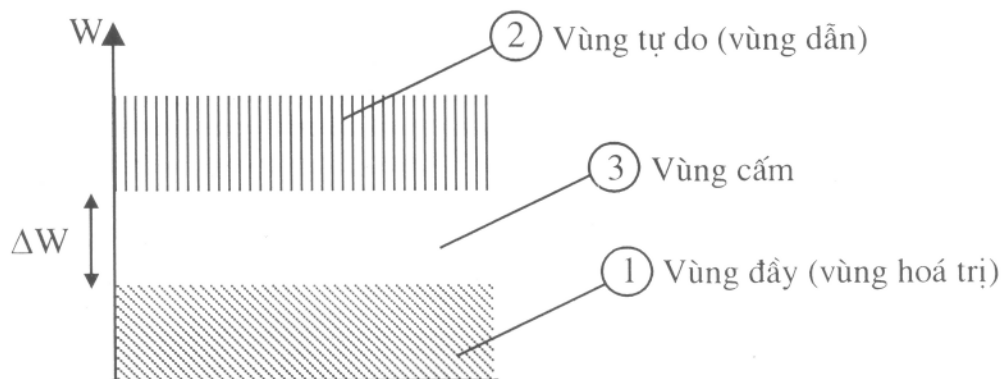
1.3. LÝ THUYẾT PHÂN VÙNG NĂNG LƯỢNG VẬT CHẤT

Trên hình 1.7 cho sơ đồ phân bố vùng năng lượng của vật rắn ở nhiệt độ tuyệt đối 0°K.

Mỗi một điện tử đều có một mức năng lượng nhất định. Các điện tử hóa trị của lớp ngoài cùng ở nhiệt độ 0°K chúng tập trung lại thành một vùng, gọi là vùng hóa trị hay vùng đầy (1).

Các điện tử tự do có mức năng lượng cao hơn tập hợp lại thành dải tự do gọi là vùng tự do hay vùng dẫn (2).

Giữa vùng đầy và vùng tự do có một vùng trống gọi là vùng cấm (3).



Hình 1.7. Sơ đồ phân bố vùng năng lượng của vật rắn ở 0°K

Để một điện tử hóa trị ở vùng đáy trở thành trạng thái tự do cần cung cấp cho nó một năng lượng W đủ để vượt qua vùng cấm:

$$W \geq \Delta W \text{ (}\Delta W: \text{ năng lượng vùng cấm).}$$

Khi điện tử từ vùng đáy vượt qua vùng cấm sang vùng tự do nó tham gia vào dòng điện dẫn. Tại vùng đáy sẽ xuất hiện các lỗ trống (hình dung như một điện tích dương) do điện tử nhảy sang vùng tự do tạo ra. Các lỗ trống liên tục thay đổi vì khi một điện tử của một vị trí bật ra tạo thành một lỗ trống thì một điện tử của nguyên tử ở vị trí lân cận lại nhảy vào lấp đầy lỗ trống đó và lại tạo ra một lỗ trống mới khác, ... cứ như vậy dẫn đến các lỗ trống liên tục được thay đổi tạo thành những cặp “điện tử lỗ” trong vật chất. Khi có tác động của điện trường các lỗ sẽ chuyển động theo chiều của điện trường giống như các điện tích dương, còn các điện tử sẽ chuyển động theo chiều ngược lại. Cả hai chuyển động này hình thành tính dẫn điện của vật chất.

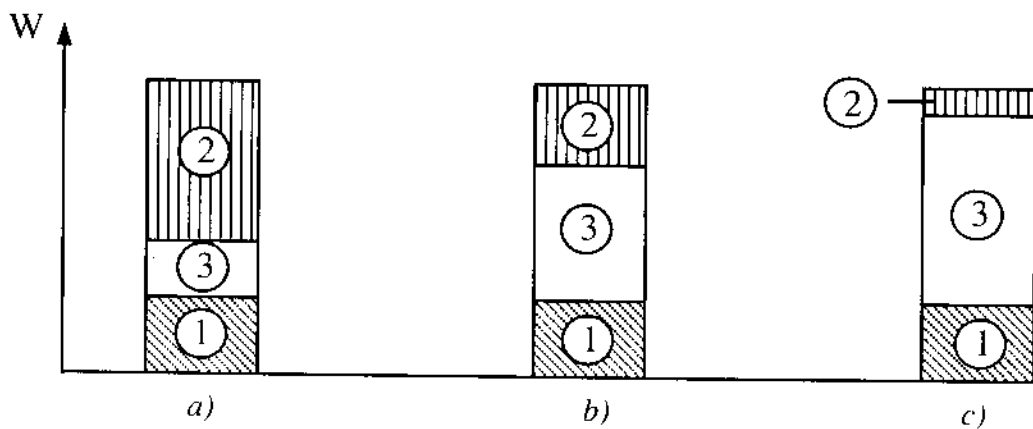
Số lượng điện tử trở thành trạng thái tự do tùy theo mức độ năng lượng từ cao xuống thấp.

Dựa vào lý thuyết phân vùng năng lượng, người ta chia vật liệu kỹ thuật điện thành: vật liệu dẫn điện, vật liệu bán điện và vật cách điện.

- Đối với vật liệu cách điện (hình 1.8c): Vùng dẫn (2) rất nhỏ, vùng cấm (3) rộng tới mức ở điều kiện bình thường các điện tử hoá trị tuy được cung cấp thêm năng lượng của chuyển động nhiệt vẫn không thể di chuyển tới vùng dẫn (2) để trở thành tự do.

Năng lượng ΔW của vùng (3) lớn, $\Delta W_{CD} = 1,5 \div \text{vài eV}$

Như vậy trong điều kiện bình thường vật liệu có điện dẫn bằng không (hoặc nhỏ không đáng kể).



Hình 1.8

a) Vật liệu dẫn điện

b) Vật liệu bán dẫn

c) Vật liệu cách điện

- Đối với vật liệu bán dẫn có vùng hoá trị (1) nằm sát hơn vùng dẫn (2) so với vật liệu cách điện (hình 1.8b). Năng lượng vùng cấm (3) lớn hơn so với vật liệu cách điện:

$$\Delta W_{BD} = 0,2 \div 1,5 \text{ eV}.$$

Ở điều kiện bình thường một số điện tử hoá trị trong vùng (1) với sự tiếp sức của chuyển động nhiệt đã có thể chuyển tới vùng (2) để hình thành tính dẫn điện của vật liệu.

- Đối với vật liệu dẫn điện (hình 1.8a): có vùng hoá trị (1) nằm sát hơn vùng dẫn (2) so với vật liệu bán dẫn, với mức năng lượng vùng cấm:

$$\Delta W_{DD} < 0,2 \text{ eV}.$$

Các điện tử hoá trị trong vùng (1) có thể di chuyển một cách không điều kiện tới vùng (2) và do đó loại vật liệu này có điện dẫn rất cao.

- Vật liệu dẫn điện tốt: $\Delta W \approx 0$.
- Vật liệu siêu dẫn: $\Delta W < 0$.

Chú ý: Vật liệu điện không phải cố định hoàn toàn. Chúng có thể chuyển đổi từ vật dẫn sang bán dẫn hoặc cách điện hoặc ngược lại... tùy thuộc vào năng lượng tác động giữa chúng hay phụ thuộc vào điều kiện tác động của môi trường. Ở điều kiện này có thể là vật cách điện nhưng ở điều kiện khác nó lại trở thành vật dẫn điện.

Ngoài cách phân loại vật liệu nêu trên, dựa vào độ từ thẩm μ người ta còn phân loại vật liệu theo từ tính.

Những chất có độ từ thẩm:

$\mu > 1$: gọi là vật liệu thuận từ.

$\mu < 1$: gọi là vật liệu nghịch từ.

$\mu \gg 1$: gọi là vật liệu dẫn từ.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 1

1. Cấu tạo nguyên tử và các dạng liên kết nguyên tử?
2. Cơ sở để phân loại vật liệu kỹ thuật điện?

CHƯƠNG 2

VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN

2.1. KHÁI NIỆM CHUNG

2.1.1. Định nghĩa và phân loại

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

Vật liệu dẫn điện có thể ở thể rắn, lỏng và trong một số điều kiện phù hợp có thể là thể khí hoặc hơi.

Vật liệu dẫn điện ở thể rắn gồm các kim loại và hợp kim của chúng (trong một số trường hợp có thể không phải là kim loại hoặc hợp kim).

Vật liệu dẫn điện ở thể lỏng bao gồm các kim loại lỏng và các dung dịch điện phân. Vì kim loại thường nóng chảy ở nhiệt độ rất cao (trừ thủy ngân có nhiệt độ nóng chảy ở -39°C) do đó trong điều kiện nhiệt độ bình thường chỉ có thể dùng vật liệu dẫn điện kim loại lỏng là thủy ngân.

Các chất ở thể khí hoặc hơi có thể trở nên dẫn điện nếu chịu tác động của điện trường lớn.

Vật liệu dẫn điện được phân thành 2 loại: vật liệu có tính dẫn điện tử và vật liệu có tính dẫn ion.

1. Vật liệu có tính dẫn điện tử: là vật chất mà sự hoạt động của các điện tích không làm biến đổi thực thể đã tạo thành vật liệu đó. Vật dẫn có tính dẫn điện tử bao gồm những kim loại ở trạng thái rắn hoặc lỏng, hợp kim và một số chất không phải kim loại như than đá. Kim loại và hợp kim có tính dẫn điện tốt được chế tạo thành dây dẫn điện, như dây cáp, dây quấn dẫn điện trong các máy điện và khí cụ điện,

Kim loại và hợp kim có điện trở suất lớn (dẫn điện kém) được sử dụng trong các khí cụ điện dùng để sưởi ấm, đốt nóng, chiếu sáng, làm biến trở....

2. Vật liệu có tính dẫn ion: là những vật chất mà dòng điện đi qua sẽ tạo nên sự biến đổi hóa học. Vật dẫn có tính dẫn ion thông thường là các dung dịch: dung dịch axit, dung dịch kiềm và các dung dịch muối.

2.1.2. Điện trở suất của vật liệu dẫn điện

1. Điện trở suất

Dòng điện đi trong vật dẫn được cho bởi công thức:

$$i = n_0 \cdot S \cdot v_{tb} \cdot e \quad (2.1)$$

trong đó:

n_0 : nhiệt độ phân tử mang điện.

S : tiết diện vật dẫn

v_{tb} : tốc độ chuyển động trung bình của điện tử dưới tác dụng của điện trường E .

e : điện tích của phân tử mang điện.

Thay $v_{tb} = uE$ (u - độ di chuyển của phân tử mang điện) vào (2.1), ta được dạng tổng quát của định luật ôm:

$$i = n_0 \cdot e \cdot u \cdot E = \gamma E \quad (2.2)$$

với $\gamma = n_0 \cdot e \cdot u$ được gọi là điện dẫn suất.

Đại lượng nghịch đảo của điện dẫn suất γ gọi là điện trở suất ρ

$$\rho = \frac{1}{\gamma} \quad (2.3)$$

Với một vật dẫn có tiết diện S và độ dài l không đổi thì ρ được xác định bởi biểu thức:

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l} \quad (2.4)$$

R là điện trở dây dẫn.

Đơn vị của điện trở suất là $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ hoặc $\mu\Omega\text{cm}$ hoặc Ωm hoặc Ωcm ,

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

Từ (2.4), ta có:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \frac{l}{\gamma S} (\Omega) \quad (2.5)$$

2. Các yếu tố ảnh hưởng đến điện trở suất ρ

a. Ảnh hưởng của nhiệt độ:

Điện trở suất của đa số kim loại và hợp kim đều tăng theo nhiệt độ, riêng điện trở suất của cacbon và của dung dịch điện phân giảm theo nhiệt độ.

Thông thường, điện trở suất ở nhiệt độ sử dụng t_2 được tính toán xuất phát từ nhiệt độ t_1 (t_1 thường là 20°C) theo công thức:

$$\rho_{t_2} = \rho_{t_1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (2.6)$$

α - là hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ ($1/^\circ\text{C}$).

Qua nghiên cứu, người ta thấy: các kim loại tinh khiết thì hệ số α gần như giống nhau và được lấy bằng:

$$\alpha = 4 \cdot 10^{-3} (1/^\circ\text{C}) \quad (2.7)$$

Đối với khoảng chênh lệch nhiệt độ ($t_2 - t_1$) thì α trung bình là:

$$\alpha = \frac{\rho_{t_2} - \rho_{t_1}}{\rho_{t_1}(t_2 - t_1)} \quad (2.8)$$

Bảng 2.1 đưa ra nhiệt độ nóng chảy, điện trở suất ρ và hệ số thay đổi điện trở suất α theo nhiệt độ của một số kim loại hay dùng trong kỹ thuật điện.

Bảng 2.1

Kim loại	Nhiệt độ nóng chảy ($^\circ\text{C}$)	Điện trở suất (ρ) ở 20°C ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	Hệ số α ($1/^\circ\text{C}$)
Vàng	1063	0,0220 - 0,0240	0,00350 - 0,00398
Bạc	961	0,0160 - 0,0165	0,00340 - 0,00429
Đồng	1083	0,0168 - 0,0182	0,00392 - 0,00445
Nhôm	657	0,0262 - 0,0400	0,00350 - 0,00398
Vônfram	3380	0,0530 - 0,0612	0,00400 - 0,00520
Kẽm	420	0,0535 - 0,0630	0,00350 - 0,00419
Niken	1455	0,0614 - 0,1380	0,00440 - 0,00692
Sắt	1535	0,0918 - 1,1500	0,00450 - 0,00657
Platin	1770	0,0866 - 0,1160	0,00247 - 0,00398
Thiếc	232	0,1130 - 0,1430	0,00420 - 0,00465
Chì	327	0,2050 - 0,2220	0,00380 - 0,00480
Thủy ngân	-39	0,9520 - 0,9590	0,00090 - 0,00099

Ở gần nhiệt độ 0^0K (nhiệt độ tuyệt đối), điện trở suất của kim loại tinh khiết giảm đột ngột, chúng thể hiện tính siêu dẫn. Về phương diện lý thuyết, ở nhiệt độ 0^0K , kim loại siêu dẫn có điện trở bằng 0.

Khi bị chảy dẻo thì điện trở suất của kim loại tăng, nhưng nếu tiến hành nung để cho nó kết tinh lại thì điện trở suất có thể giảm (giảm do tác dụng của sự biến dạng làm cho kết cấu của kim loại được chặt chẽ và do sự phá huỷ các màng oxit,...).

b. Ảnh hưởng của áp suất:

Khi kéo hoặc nén (áp suất thay đổi) thì điện trở suất của vật dẫn biến đổi theo biểu thức:

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 \pm k\sigma) \quad (2-9)$$

trong đó: ρ_0 - điện trở suất ban đầu của mẫu.

σ - ứng suất cơ khí của mẫu.

k - hệ số thay đổi của điện trở suất theo áp suất.

dấu (+) tương ứng với biến dạng do kéo

dấu (-) tương ứng với biến dạng do nén

Sự thay đổi của ρ khi kéo hoặc nén là do sự thay đổi biên độ dao động của mạng tinh thể kim loại: khi kéo thì ρ tăng, khi nén thì ρ giảm.

c. Các yếu tố ảnh hưởng khác:

- Tạp chất phi kim có trong kim loại cũng có thể làm ρ tăng.
- Thực nghiệm cho thấy điện trở suất còn chịu ảnh hưởng của trường từ và ảnh hưởng của ánh sáng.

2.1.3. Hiệu điện thế tiếp xúc

Khi hai kim loại khác nhau tiếp xúc với nhau thì giữa chúng có một hiệu điện thế gọi là hiệu điện thế tiếp xúc. Nguyên nhân phát sinh hiệu điện thế tiếp xúc là do công thoát của mỗi kim loại khác nhau do đó số điện tử tự do trong các kim loại (hoặc hợp kim) không bằng nhau. Hiệu điện thế tiếp xúc của các cặp kim loại dao động vài phần mười đến vài vôn.

Sự xuất hiện hiệu điện thế tiếp xúc đóng vai trò quan trọng ở hiện tượng ăn mòn điện hóa và được ứng dụng trong một số khí cụ đo lường, đặc biệt là ứng dụng để chế tạo các cặp nhiệt ngẫu dùng để đo nhiệt độ.

2.2. KIM LOẠI DẪN ĐIỆN CAO VÀ HỢP KIM CỦA CHÚNG

Kim loại có điện trở suất ρ nhỏ (hay điện dẫn suất γ lớn) là vật dẫn điện tốt. Đồng, nhôm, sắt, kẽm, vàng, bạc... và hợp kim của chúng là những chất dẫn điện tốt.

2.2.1. Đồng và hợp kim của đồng

1. Đồng (Cu)

Đồng là vật liệu dẫn điện quan trọng nhất trong tất cả các vật liệu dẫn điện dùng trong kỹ thuật điện vì nó có những ưu điểm nổi trội so với các vật liệu dẫn điện khác, đó là:

- Điện trở suất ρ_{Cu} nhỏ (chỉ lớn hơn so với bạc Ag nhưng do bạc đắt tiền hơn nên ít được dùng so với đồng).
- Có sức bền cơ giới đủ lớn.
- Trong đa số trường hợp có thể chịu được tác dụng ăn mòn (có sức đề kháng tốt đối với sự ăn mòn).
- Dễ gia công: cán mỏng thành lá, kéo thành sợi.
- Dễ uốn, dễ hàn.
- Có khả năng tạo thành hợp kim tốt.

Đồng được sử dụng trong công nghiệp là đồng tinh chế; nó được phân loại dựa trên mức độ tinh khiết (bảng 2.2)

Bảng 2.2

Ký hiệu	Cu % (tối thiểu)	Hướng dẫn sử dụng
Cu E	99,99	Đồng điện phân; dây dẫn điện; hợp kim nguyên chất mịn.
Cu 9	99,90	Dây dẫn điện; hợp kim mịn để dát mỏng; bán thành phẩm với những yêu cầu đặc biệt.
Cu 5	99,50	Bán thành phẩm như tấm, thanh, ống. Đồng thau dát mỏng với tỷ lệ dưới 60%Cu
Cu 0	99,00	Hợp kim với tỷ lệ dưới 60%Cu dùng để dát mỏng và rót. Những chi tiết chế tạo được đúc từ đồng.

Trong kỹ thuật điện, thường dùng đồng điện phân Cu E và Cu 9

Đồng dùng trong kỹ thuật điện phải được tinh luyện bằng điện phân, tạp chất lẫn trong đồng dù một lượng rất nhỏ thì tính dẫn điện của nó cũng giảm đi đáng kể.

Qua nghiên cứu, người ta thấy rằng: nếu trong đồng có 0,5% Zn, Ni hay Al thì điện dẫn suất của nó (γ_{Cu}) giảm đi 25% ÷ 40% và nếu trong đồng có 0,5% Ba, As, P, Si thì có thể giảm đến 55%. Vì vậy để làm vật dẫn, thường chỉ dùng đồng điện phân chứa trên Cu E và Cu 9.

Ngoài ra, người ta còn phân loại theo cách chế tạo:

- Đồng khi kéo nguội được gọi là đồng cứng: nó có sức bền cao, độ giãn dài nhỏ, rắn và đàn hồi (khi uốn).
- Đồng được nung nóng rồi để nguội gọi là đồng mềm: nó ít rắn hơn đồng cứng, sức bền cơ giới kém, độ giãn khi đứt rất lớn và có điện dẫn suất γ cao.

Ứng dụng: Đồng cứng được dùng ở những nơi cần sức bền cơ giới cao, chịu được mài mòn như làm cổ góp điện, các thanh dẫn ở tủ phân phối, các thanh cái các trạm biến áp, các lưỡi dao chính của cầu dao, các tiếp điểm của thiết bị bảo vệ...

Đồng mềm được dùng ở những nơi cần độ uốn lớn và sức bền cơ giới cao như: ruột dẫn điện cáp, thanh góp điện áp cao, dây dẫn điện, dây quấn trong các máy điện và khí cụ điện.

2. Hợp kim của đồng

Ngoài việc dùng đồng tinh khiết để làm vật dẫn, người ta còn dùng các hợp kim của đồng với các chất khác như: thiếc, silic, photpho, bêrili, crôm, mangan, cadmi..., trong đó đồng chiếm vị trí cơ bản, còn các chất khác có hàm lượng thấp. Căn cứ vào lượng và thành phần các chất chứa trong đồng, người ta chia hợp kim của đồng thành các dạng chủ yếu như sau:

1. Đồng thanh (đồng đỏ):

- Đồng thanh là một hợp kim của đồng, có thêm một số kim loại khác để tăng cường độ cứng, sức bền và dễ nóng chảy.

Tùy theo các vật liệu thêm vào, người ta phân biệt:

- Đồng thanh với thiếc.
- Đồng thanh với thiếc và kẽm.

- Đồng thanh với nhôm.
- Đồng thanh với Bêrili.
- Đồng thanh được dùng để chế tạo các chi tiết dẫn điện trong các máy điện và khí cụ điện; để gia công các chi tiết nối và giữ dây dẫn, các ốc vít, đai cho hệ thống nối đất, cổ góp điện, các giá đỡ và giữ,...

2. Đồng thau:

- Đồng thau là một hợp kim đồng với kẽm, trong đó kẽm không vượt quá 46%. Ở nhiệt độ cao, sức bền của đồng thau đối với sự ăn mòn do oxyt hóa sẽ giảm. Tốc độ oxyt hóa của đồng thau càng nhỏ (so với đồng tinh khiết) khi tỷ lệ phần trăm của kẽm càng lớn.

Nếu tỷ lệ phần trăm của kẽm lớn hơn 25%, thì lớp bảo vệ của oxyt kẽm tạo trên bề mặt của vật liệu càng nhanh khi nhiệt độ càng lớn.

Còn nếu tỷ lệ phần trăm của kẽm nhỏ thì trên bề mặt của vật liệu sẽ tạo một lớp màu hơi đen giàu oxyt đồng. Tính chất này của đồng thau với tỷ lệ lớn hơn 25% kẽm tạo thành một lớp bảo vệ ở 300°C và đôi khi được sử dụng để bảo vệ các chi tiết chống lại sự ăn mòn của không khí có Amôniac nếu không sử dụng một phương pháp bảo vệ nào khác.

Để tăng sức đề kháng đối với sự ăn mòn điện hoá, người ta thường tẩm thiếc hay tráng kẽm khi đồng thau còn nóng

- Đồng thau được dùng trong kỹ thuật điện để gia công các chi tiết dẫn dòng như ổ cắm điện, các phích cắm, dui đèn, các đầu nối đến hệ thống tiếp đất, các ốc, vít...

2.2.2. Nhôm và hợp kim của nhôm

1. Nhôm (Al)

Sau đồng, nhôm là vật liệu dẫn điện quan trọng thứ hai được sử dụng trong kỹ thuật điện, vì

- Nhôm có điện trở suất ρ nhỏ (chỉ lớn hơn Ag và Cu).
- Nhôm là vật liệu kim loại có rất nhiều ở vỏ quả đất (chiếm khoảng 7,5%)
- Trọng lượng nhẹ (trọng lượng Al nhỏ hơn Cu 3,5 lần), tính dẻo cao.

Nhôm dùng trong công nghiệp được phân loại trên cơ sở tỷ lệ phần trăm của kim loại tinh khiết và tạp chất. Nhôm được sử dụng làm dây dẫn điện trong kỹ

thuật điện thường phải đảm bảo tinh khiết, tối thiểu 99,5% Al, các tạp chất khác như sắt, silic tối đa là 0,45%, đồng và kẽm tối đa là 0,05%.

Ở nhiệt độ thường, khi để trong không khí, nhôm sẽ được bọc một lớp mỏng chắc nịt oxit, lớp này có điện trở lớn và nó ngăn ngừa việc oxyt hóa tiếp tục, do vậy nó đảm bảo là một lớp bảo vệ tốt đối với sự ăn mòn, ngay cả trong điều kiện môi trường khí hậu ẩm ướt và hay thay đổi. Song trong trường hợp tồn tại các khí khác trong khí quyển như CO_2 , NH_3 , SO_2 ... và độ ẩm lớn có thể phát sinh ăn mòn điện hóa. Hiện tượng ăn mòn điện hóa có thể xảy ra ở mỗi tiếp xúc giữa kim loại cơ bản và tùy theo tình hình cụ thể, có thể dẫn đến sự liên hệ từng phần tử nhỏ của chúng. Trong sự tồn tại của độ ẩm và các tạp chất có trong không khí sẽ tạo lên hàng loạt những phần tử điện Ganvanic bé nhỏ dẫn đến sự ăn mòn dây dẫn. Những liên hệ ấy có thể làm mất tính tinh khiết của nhôm và do đó dễ dàng tạo nên sự ăn mòn nhanh, đặc biệt ở những vị trí tiếp xúc trong quá trình lắp đặt điện.

Thông qua các thí nghiệm thực hiện trên bờ biển trong không khí với gió mạnh, bụi cát và không khí ẩm của biển, đối với dây dẫn nhôm có độ tinh khiết khác nhau, người ta thấy rằng: nhôm với độ tinh khiết 99,5% được gia công và lắp ráp dù cho sự chăm sóc cẩn thận nó vẫn bị ăn mòn nhiều hơn đồng.

Đặc biệt trong kỹ thuật điện hay phải nối điện đồng với nhôm. Nếu chỗ tiếp xúc bị ẩm thì ở đây sẽ có một sức điện động có chiều đi từ nhôm sang đồng, do đó phần nhôm ở chỗ tiếp xúc bị ăn mòn rất nhanh. Vì vậy chỗ tiếp xúc giữa nhôm và đồng cần được chú ý bảo vệ chống ẩm (ví dụ như quét sơn).

So với đồng, nhôm kém hơn về các mặt điện và cơ. Với dây dẫn có cùng tiết diện và độ dài thì dây bằng nhôm có điện trở lớn hơn đồng khoảng $0,0295/0,0175 = 1,68$ lần. Do đó nếu có hai dây dẫn bằng nhôm và đồng có điện trở như nhau thì dây nhôm phải có tiết diện lớn hơn 1,669 lần so với dây đồng (hay đường kính của dây nhôm lớn hơn so với dây đồng là $\sqrt{1,68} = 1,3$ lần).

Vì vậy, nếu bị ràng buộc bởi kích thước thì không thể thay đồng bằng nhôm được.

Trong kỹ thuật điện, nhôm được sử dụng phổ biến để chế tạo:

- Dây dẫn điện đi trên không để truyền tải và phân phối điện năng.
- Ruột cáp điện lực.

- Các thanh ghép, thanh dẫn và chi tiết cho trang thiết bị điện.
- Dây quấn trong các máy điện.
- Các lá nhôm để làm tụ điện, lõi dẫn từ máy biến áp, các rôto của động cơ điện,

2. Hợp kim của nhôm:

Nhôm có nhiều hợp kim dùng để đúc và để kéo dây dẫn điện.

Các hợp kim chính của nhôm dùng để đúc có thể là những loại sau:

Al-Zn-Cu, Al-Cu, Al-Cu-Ni, Al-Si, Al-Si-Cu, Al-Si-Mg, Al-Mg, Al-Mg-Mn.

Một hợp kim được dùng phổ biến để chế tạo dây dẫn là hợp kim "aldrey". Chúng là hợp kim của nhôm với $(0,3 \div 0,5)\% \text{Mg}$, $(0,4 \div 0,7)\% \text{Si}$, $(0,2 \div 0,3)\% \text{Fe}$. Tổ hợp làm cho hợp kim có tính chất cơ khí tốt. Dây dẫn bằng hợp kim loại "aldrey" nhận được thông qua việc tôi hợp kim (nung nóng đến $500 \div 600^\circ\text{C}$), kéo nó thành sợi ở kích thước mong muốn và làm già hóa nhân tạo bằng nung nóng $150 \div 200^\circ\text{C}$. Sức bền của dây dẫn "aldrey" lớn gấp khoảng 2 lần so với dây dẫn Al tinh khiết. Vì vậy, khi dùng dây dẫn "aldrey" có thể tăng khoảng cách giữa các cột của đường dây trên không, giảm chi phí xây dựng đáng kể.

2.2.3. Sắt và hợp kim của sắt

- Trong vỏ quả đất, sắt là kim loại có nhiều thứ hai (khoảng 5%), sau Al. Sắt được sản xuất tương đối dễ dàng nên giá thành hạ so với các kim loại khác. Trên cơ sở tỷ lệ Cacbon chứa trong sắt mà người ta phân thành:

- Gang: là sắt chứa tỷ lệ $(1,7 \div 4,5)\% \text{C}$

- Thép: là sắt chứa tỷ lệ $(0,5 \div 1,7)\% \text{C}$

- Sắt rèn: là sắt chứa tỷ lệ dưới $0,5\% \text{C}$

Sắt tinh khiết $(99,7 \div 99,9)\% \text{Fe}$ trong kỹ thuật thực tế rất ít được sử dụng.

- Thép được dùng làm vật dẫn thường dùng loại thép có hàm lượng Cacbon $(0,10 \div 0,19)\% \text{C}$, có giới hạn chịu kéo $(70 \div 75) \text{kg/mm}^2$, độ giãn khi đứt $(5 \div 8)\%$, điện trở suất lớn hơn đồng $(6 \div 7)$ lần.

Nhược điểm của thép là dễ bị ăn mòn thông qua hiện tượng rỉ ngay ở nhiệt độ bình thường và đặc biệt là rỉ rất nhanh ở nhiệt độ cao và ở môi trường ẩm ướt. Để khắc phục hiện tượng này, bề mặt tiếp xúc của sắt thường được phủ một lớp vật liệu ổn định hơn như Cadmi, Zn, Mặc dù có những nhược điểm, song nó

cũng có một số ưu điểm nổi trội so với các kim loại khác nên được sử dụng phổ biến làm vật dẫn:

- Thép có sức bền cơ khí lớn gấp $2 \div 2,5$ lần so với đồng và do đó dây dẫn thép có thể dùng ở những khoảng cột lớn, những tuyến vượt sông rộng...(có thể sử dụng với khoảng cột từ $1500 \div 1900\text{m}$).

- Sự phong phú của thép trong quặng thiên nhiên và giá thành hạ tạo cho dây dẫn hoặc thanh dẫn điện bằng thép có giá thấp hơn nhiều so với bằng đồng hoặc nhôm.

- Đối với đường dây dẫn truyền tải điện năng, người ta sử dụng dây dẫn bằng thép nhiều sợi hoặc bện thành chảo hoặc sử dụng chảo thép-nhôm, với thép được tráng kẽm được đặt ở giữa.

Để dùng thép làm thanh dẫn thường là thép cacbon dẹt mỏng khi nóng ($C = 0,74\%$, $Mn = 0,71\%$, $S = 0,002\%$, $Si = 0,25\%$, $P = 0,03\%$) có điện trở suất $\rho = 0,135 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Thép hay được dùng làm dây dẫn, thanh dẫn để bảo vệ quá điện áp (chống sét) và các trang thiết bị bảo vệ nối đất.

Ngoài ra, thép còn được dùng để chế tạo các điện trở phát nóng với nhiệt độ thích ứng $300 \div 500^\circ\text{C}$,

2.3. CÁC KIM LOẠI KHÁC

2.3.1. Wofram (W)

Wofram (Tungsten) tìm thấy trong tự nhiên dưới dạng mỏ: Woframit ($\text{FeOMnO})\text{WO}_3$, quặng selit (CaOWO_3), thông qua các phản ứng hóa học khác nhau, các quặng này chuyển thành Trioxyt Wofram (WO_3) rồi điều chế từ đây được Wofram (W) thông qua điện phân ở nhiệt độ cao $1050 \div 1300^\circ\text{C}$.

Wofram là một kim loại có sức bền đứt và độ cứng rất cao, nhiệt độ nóng chảy cao nhất trong số tất cả các kim loại được sử dụng trong kỹ thuật điện, được chế tạo thành sợi tóc trong các bóng đèn điện sợi đốt, chế tạo các điện trở phát nóng cho các lò điện,...Tuy nhiên, để cản trở sự oxyt hóa dây tóc và sự bay hơi của nó, các bóng đèn nung sáng được thực hiện trong chân không hay với môi trường khí trơ (argon, nitơ), khi đó có thể làm việc ở 2300°C .

Wofram tinh khiết ($99,5 \div 99,8\%$) còn được dùng để chế tạo các tiếp điểm điện có dòng điện nhỏ. Đối với tiếp điểm điện ở công suất lớn (dòng điện lớn), người ta dùng hợp kim của Wofram với bạc hay Wofram với đồng nén lại.

2.3.2. Niken (Ni)

Niken còn được gọi là kền, tồn tại dưới dạng mỏ trong thiên nhiên:

- Sulfua đa kim loại: quặng Milerit (NiS), Penlandit ($(\text{FeNi})_2\text{S}_8$).
- Silicat: Canarit ($2\text{NiO}_3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Gac-ni-erit (NiMgSiO_3)
- Sulfua và Asenua - Nikelen: NiAs , NiAs_2 .

Qua hàng loạt các phản ứng người ta có thể chế tạo được Niken với độ tinh khiết 99,9%.

Niken là kim loại màu trắng-xám tro, nó không bị oxyt hóa trong không khí và trong nước ở điều kiện bình thường (chỉ bị oxyt hóa ở nhiệt độ trên 500°C) là kim loại bền, dễ dát mỏng và vuốt giăn được cả khi nguội và khi nóng.

Niken được dùng để chế tạo các nhiệt ngẫu do nhiệt độ (Ni-Fe, Ni-Cr); chế tạo các tiếp điểm điện làm việc trong môi trường cacbua hydro đối với dòng điện nhỏ và điện áp lớn (đối với công suất lớn, tiếp điểm dùng hợp kim Ni-Ag); chế tạo các điện trở phát nóng, đến 900°C ; dùng để mạ bảo vệ cho những chi tiết bằng sắt thép thông qua phương pháp điện phân, dùng để chế tạo các máy điện cực dương (anot) của các acquy kiềm.

2.3.3. Bạc (Ag)

Bạc được điều chế từ các mỏ trong tự nhiên: Acgentit (Ag_2S), Pira-Acgirit (Ag_3SbS_3), Kera-Acgerit [$(\text{AgCl})\text{Ag}_2\text{Sb}$]... ngoài ra còn tìm thấy Ag trong nước biển ($0,001\text{mg}/1\text{lit}$). Thông qua điện phân tinh chế có thể thu được bạc tinh khiết ($99,80 \div 99,999$)%.

Bạc là kim loại có điện trở suất nhỏ $\rho = 0,016 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ nên dẫn điện tốt nhất trong tất cả các kim loại. Nó có màu trắng và chiếu sáng, chiếu sáng này không bị mất đi trong môi trường không khí. Ở nhiệt độ bình thường, thậm chí cả ở nhiệt độ cao bạc vẫn không bị oxyt hóa do vậy Ag được liệt vào nhóm kim loại quý.

Trong kỹ thuật điện, bạc được sử dụng:

- Làm dây dẫn, dây quấn, tiếp điểm trong kỹ thuật thu thanh, vô tuyến, làm dây chảy bảo vệ.
- Hợp kim với mangan hay niken được dùng làm dây dẫn trong các máy đo.
- Để mạ cho các kim loại khác, ngăn oxyt hóa, để tráng gương, tráng kim loại cho các dụng cụ chiếu sáng,...

2.3.4. Vàng (Au)

Vàng được tìm thấy trong thiên nhiên dưới dạng hạt, lá, bụi bột,...bằng cách đãi theo phương pháp đặc biệt rồi chưng cất, tinh luyện thông qua điện phân hoặc thông qua kết tủa chọn lọc có thể thu được vàng tinh khiết ($99,88 \div 99,998\%$).

Vàng là kim loại có màu vàng đặc trưng, sáng rực. Màu sáng này không bị mất đi trong không khí hay trong axit, không bị oxyt hóa ở nhiệt độ cao.

Trong kỹ thuật điện, vàng được sử dụng:

- Để làm các tiếp điểm điện, thường dưới dạng hợp kim:
 $70\% \text{ Au} + 24\% \text{ Ag} + 6\% \text{ Pt}$.
- Để mạ các vật liệu khác chống ăn mòn điện.
- Làm dây dẫn (hợp kim $\text{Au} + 20\% \text{ Cr}$), các điện trở trong điện kế, vì chúng có hệ số biến đổi điện trở suất theo nhiệt độ rất nhỏ.

2.3.5. Chì (Pb)

Chì được tinh luyện từ các mỏ có trong tự nhiên như: Galen (PbS), Xezurit (PbCO_3), Anglezit (PbSO_4)...Có thể thu được chì ở mức độ tinh khiết ($92 \div 99,94\%$).

Chì là kim loại có màu tro sáng, rất mềm, có thể uốn cong, dễ dàng dát mỏng và cắt bằng dao cắt công nghiệp, nhiệt độ nóng chảy thấp.

Chì có điện trở suất cao $\rho = 0,21 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ và nhiệt dẫn suất nhỏ. Nó là vật liệu bảo vệ tốt nhất đối với sự xuyên thủng của tia X (tia Röntgen). Một lớp chì dày 1mm ở $200 \div 300\text{kV}$ có tác dụng bảo vệ như một lớp thép dày 11,5mm hay một lớp gạch có chiều dày 110mm.

Chì và hợp kim của nó được dùng để làm lớp vỏ bảo vệ ở cáp điện nhằm chống lại ẩm ướt.

Chì còn được dùng để chế tạo các bản cực của acquy, dùng để làm dây chảy bảo vệ các đường dây dẫn điện và các thiết bị điện.

2.3.6. Thiếc (Sn)

Thiếc là kim loại có ánh sáng bạc, có sức bền đối với ảnh hưởng của môi trường, là kim loại rất mềm (sau chì), dễ dát mỏng và dễ uốn dẻo.

Thiếc được dùng trong kỹ thuật điện để chế tạo đồng thanh, làm lớp vỏ bọc bên ngoài để bảo vệ các vật liệu dễ bị ăn mòn bởi môi trường, để làm chất hàn,...

2.3.7. Thủy ngân (Hg)

Thủy ngân là kim loại duy nhất ở thể lỏng và có thể bay hơi trong điều kiện thường.

Thủy ngân tinh khiết có màu trắng bạc, chiếu sáng. Ở nhiệt độ $-38,87^{\circ}\text{C}$, nó đông rắn lại, tạo thành một khối tinh thể dễ dát mỏng và vuốt giãn được. Thủy ngân có sức bền đối với sự tác động của không khí khô. Khi nung nóng trong không khí nó bị oxyt hoá (ở nhiệt độ 350°C , nó bị oxyt hóa rất dễ dàng).

Thủy ngân được sử dụng trong các đèn chiếu sáng, đèn chỉnh lưu, đèn chiếu đặc biệt dùng trong y tế, máy chiếu, máy in,... Ngoài ra còn được dùng làm các tiếp điểm trong kỹ thuật đo, trong Rơle và các khí cụ điện.

2.4. HỢP KIM CÓ ĐIỆN TRỞ CAO

Hợp kim có điện trở cao được dùng trong kỹ thuật điện để chế tạo các dụng cụ đo lường, điện trở mẫu, biến trở, dụng cụ nung nóng. Đối với tất cả các thiết bị ấy đều yêu cầu dây dẫn có điện trở suất cao và hệ số biến đổi của điện trở suất đối với nhiệt độ nhỏ so với các phân tử hợp thành.

Hiện nay thường dùng các hợp kim có gốc là đồng: Manganin, Constantan và Nikennin, Niken-Crôm, Niken-Nhôm.

2.4.1. Hợp kim Manganin (86% Cu, 2% Ni, 12% Mn)

Hợp kim Manganin là hợp kim chủ yếu dùng trong thiết bị nung và điện trở mẫu (điện trở chính xác). Sở dĩ được dùng làm điện trở mẫu là bởi nó không làm sai lệch kết quả đo lường ở những dòng điện khác nhau cũng như ở những nhiệt độ môi trường xung quanh khác nhau.

2.4.2. Hợp kim Constantan (60% Cu, 40% Ni)

Constantan dễ hàn và dính rất chặt, hệ số biến đổi điện trở suất α theo nhiệt độ rất nhỏ và có trị số âm (Constantan với nghĩa của nó là hằng số).

Constantan được dùng làm biến trở và phân tử nung nóng, Constantan không được dùng ở nhiệt độ trên 450°C vì lúc đó nó sẽ bị oxyt hóa.

Constantan ghép với đồng hay sắt có sức nhiệt điện động lớn. Đó là nhược điểm khi dùng điện trở bằng Constantan trong các sơ đồ đo. Do có sự chênh lệch nhiệt độ ở chỗ tiếp xúc nên có sức nhiệt điện động xuất hiện, đó là nguồn sai số. Đặc biệt trong các cầu đo chỉ không và sơ đồ phân điện áp.

Constantan được dùng nhiều làm cặp nhiệt ngẫu để đo nhiệt độ đến 700°C .

2.4.3. Hợp kim Nikenin [(25÷35)%Ni, (2÷3)%Mn, 67%Cu]

Hợp kim Nikenin rẻ tiền hơn Constantan, dễ gia công, có điện trở suất nhỏ hơn và hệ số biến đổi của điện trở suất đối với nhiệt độ lớn hơn Constantan.

Người ta thường dùng hợp kim Nikenin làm biến trở khởi động và điều chỉnh.

2.4.4. Hợp kim Crôm-Niken (Nicrom)

Hợp kim *Nicrom* [1,5% Mn, (55÷78)%Ni, (15÷23)%Cr, còn lại là Fe] có sức bền tốt ở nhiệt độ cao, điện trở suất và hệ số biến đổi của điện trở suất theo nhiệt độ nhỏ.

Hợp kim này được dùng để làm các phần tử nung bằng điện như bếp điện, mỏ hàn,...với nhiệt độ đến 1000°C .

2.4.5. Hợp kim Crôm - Nhôm

Hợp kim Crôm - Nhôm là hợp kim rất rẻ được dùng để chế tạo các thiết bị nung lớn và lò điện lớn dùng trong công nghiệp.

Bảng 2.3. Tổng hợp hành phần và các tính chất cơ bản của một số hợp kim có điện trở cao hay dùng trong kỹ thuật điện.

Bảng 2.3

Tên hợp kim	Thành phần % có trong hợp kim						Tính chất cơ bản			
	Cu	Mn	Ni	Cr	Al	Fe	ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	α ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	Sức nhiệt điện động với đồng (mV/grad)	Giới hạn nhiệt độ làm việc ($^{\circ}\text{C}$)
Manganin	86	12	2	-			0,42÷0,8	10-15	1-2	100-200
Constantan	60		40				0,43÷0,52	-5	0,5	400-500
Nikenin	67	2÷3	25÷35				0,4	20		250
Crôm-Niken		1,5	55÷78	15÷23		còn lại	1,0÷1,2	0,00013		1100
Crôm-Nhôm				30	4	còn lại	1,2÷1,5	0,00014		1200

2.5. CHẤT HÀN VÀ CHẤT GIÚP CHẢY

2.5.1. Chất hàn

Chất hàn là một hợp kim đặc biệt sử dụng để gắn các bộ phận, chi tiết hoặc các chi tiết với nhau. Yêu cầu các hợp kim hàn phải có độ chảy loãng cao, liên kết tốt với vật liệu cơ sở, đảm bảo độ bền cơ hoặc có độ kín nhất định đồng thời tạo tiếp xúc điện tốt. Chất hàn là hợp kim đặc biệt dùng khi hàn, được chia thành hai nhóm chính: chất hàn mềm và chất hàn cứng.

- Chất hàn mềm: gồm các hợp kim có nhiệt độ nóng chảy dưới 300°C , thường là hợp kim trên cơ sở thiếc và chì. Tính dẫn điện của hợp kim này khoảng $9 \div 15\%$ của đồng.

- Chất hàn cứng: Gồm các hợp kim có nhiệt độ nóng chảy cao trên 300°C , phổ biến nhất hợp kim của đồng và kẽm, ngoài ra còn phải kể đến hợp kim của bạc với các phụ gia khác.

Bảng 2.4 dưới đây đưa ra thành phần, nhiệt độ nóng chảy và ứng dụng để hàn các vật liệu của một số chất hàn.

Bảng 2.4

Loại chất hàn	Thành phần chính	Nhiệt độ nóng chảy ($^{\circ}\text{C}$)	Dùng để hàn
Chì-thiếc	$(18 \div 90)\%\text{Sn}$ còn lại là Pb	$190 \div 277$	Đồng, hợp kim đồng, bạc, sắt mạ kẽm.
Chì-bạc-thiếc-cadini	$30\%\text{Sn}$, $63\%\text{Pb}$ $5\%\text{Cd}$, $2\%\text{Ag}$	225	Đồng, hợp kim đồng, bạc
Chì-thiếc-cadini	$(47 \div 50)\%\text{Sn}$, $(32 \div 36)\%\text{Pb}$	$145 \div 180$	Đồng, hợp kim đồng, bạc
Thiếc-cadini-kẽm-nhôm	$(40 \div 50)\%\text{Sn}$, $20\%\text{Cd}$, $25\%\text{Zn}$ $15\%\text{Al}$	$200 \div 250$	Nhôm và các hợp kim của nhôm
Đồng-kẽm	$(36 \div 54)\%\text{Cu}$, còn lại là Zn	$825 \div 860$	Đồng, hợp kim đồng, thép
Đồng-bạc-kẽm	$(26 \div 40)\%\text{Cu}$, $(25 \div 27)\%\text{Ag}$ $(4 \div 35)\%\text{Zn}$	$720 \div 765$	Đồng, hợp kim đồng, bạc, platin, Wonfram, thép

2.5.2. Chất giúp chảy

Chất giúp chảy là chất trợ giúp để các mối hàn được chắc chắn, thường có nhiệt độ nóng chảy thấp hơn nhiều so với chất hàn. Chất giúp chảy phải có tính chất:

- Hoà tan và tẩy sạch oxít và các vết dư bẩn trên bề mặt của kim loại được hàn.
- Bảo vệ trong quá trình hàn bề mặt và làm nóng chảy chất hàn đồng thời bảo vệ khỏi bị oxy hoá.
- Giảm bề mặt kéo của vật liệu hàn.
- Tăng tiếp xúc của liệu được hàn nối.

Tuỳ theo tác dụng đối với kim loại được hàn, chất giúp chảy được chia ra một số nhóm sau:

1. Chất giúp chảy hoạt tính (hay chất giúp chảy axit)

Nhóm này cơ bản là a xít clohydric (HCL) và Clorua của các kim loại. Nó có tác dụng hoà tan các lớp màng oxít trên bề mặt kim loại được hàn, nhờ đó mà độ bám dính của chất hàn được tăng lên. Nhưng có nhược điểm, nếu sót lại trên bề mặt kim loại sau khi hàn sẽ gây ăn mòn chất hàn và kim loại được hàn, vì vậy chất giúp chảy nhóm này chỉ dùng trong trường hợp có thể rửa được bề mặt sau khi hàn xong.

2. Chất giúp chảy không có axit

Thường dùng nhựa thông có thêm một số phụ gia khác như rượu, cồn hoặc glycerin hoặc những chất giúp chảy gốc nhựa thông.

3. Chất giúp chảy chống ăn mòn

Chủ yếu dùng axit photphoric (H_2PO_4) có thêm một số phụ gia hữu cơ có thành phần là axit hữu cơ. Khi dùng nhóm này làm chất giúp chảy, nếu còn lại trên bề mặt chất được hàn không gây ăn mòn.

2.6. THAN KỸ THUẬT ĐIỆN (các bon)

Các bon được tìm thấy nhiều trong tự nhiên. Trong kỹ thuật, chia các bon thành 3 dạng: Kim cương (diamant), graphit và các bon vô định hình (carbone

amorphe), trong đó kim cương, graphit khai thác từ các mỏ trong tự nhiên còn các bon vô định hình có thể được điều chế bằng nhiều phương pháp khác nhau.

Hàng số vật lý của chính của các loại các bon ở bảng 2.5

Bảng 2.5

Loại các bon	Trọng lượng riêng ở 18 ⁰ C (kg/dm ³)	Điện trở suất ở 20 ⁰ C, ρ (Ω cm)	Điện dẫn suất ở 15 ⁰ C, γ (1/ Ω cm)
Kim cương	3,514	4,74.10 ¹⁴	0,211.10 ⁻¹⁴
Graphit	2,216	0,00263	353
Các bon vô định hình	1,2218-1,919	4	0,25

Các bon được dùng rất nhiều trong kỹ thuật điện, điện tử để chế tạo:

- Các điện cực các bon (điện cực điện phân, hàn hồ quang điện).
- Chổi than (graphit, các bon vô định hình).
- Tiếp điểm điện.
- Điện trở đốt nóng, điện trở hoá học.
- Dùng trong các Micro, ống nói dưới dạng hạt nhỏ, khối hoặc màng.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 2

1. Định nghĩa và phân loại vật liệu dẫn điện?
2. Điện trở suất, điện dẫn suất, điện trở và các yếu tố ảnh hưởng đến chúng?
3. Hiệu điện thế tiếp xúc?
4. Đồng, nhôm, sắt và hợp kim của các kim loại này: tính chất, phân loại và công dụng của chúng trong kỹ thuật điện?
5. Wofram, Niken, bạc, vàng chì, thiếc, thuỷ ngân: đặc điểm và công dụng của chúng trong kỹ thuật điện?
6. Công dụng của hợp kim có điện trở cao trong kỹ thuật điện?

CHƯƠNG 3

VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

Vật liệu cách điện là các chất mà trong điều kiện bình thường điện tích xuất hiện ở đâu thì ở nguyên ở chỗ đấy, tức là ở điều kiện bình thường, chất cách điện là vật liệu không dẫn điện, điện dẫn γ của chúng bằng không hoặc nhỏ không đáng kể.

Điện môi là vật liệu cách điện (phi kim loại) có cấu trúc lưỡng cực điện tự nhiên hoặc nhân tạo ở mức độ phân tử hoặc nguyên tử.

3.1. ĐẶC ĐIỂM CỦA ĐIỆN MÔI ĐẶT TRONG ĐIỆN TRƯỜNG

Mục đích của việc sử dụng vật liệu cách điện trong kỹ thuật điện là để duy trì khả năng cách điện của chúng trong điện trường. Bởi vậy, khi nghiên cứu vật liệu cách điện không thể không xét đến ảnh hưởng của điện môi trong điện trường.

3.1.1. Khái niệm về điện trường

Sở dĩ các điện tích có tác dụng lực tương tác với nhau vì điện tích tạo ra trong không gian quanh nó một điện trường.

Để đặc trưng cho sự mạnh yếu của điện trường, người ta đưa ra khái niệm cường độ điện trường E :

$$E = \frac{F}{q}, \quad (\text{V/m}) \quad (3-1)$$

trong đó: F : lực điện tác dụng lên điện tích thử tại điểm ta xét, *Niuton* (N).

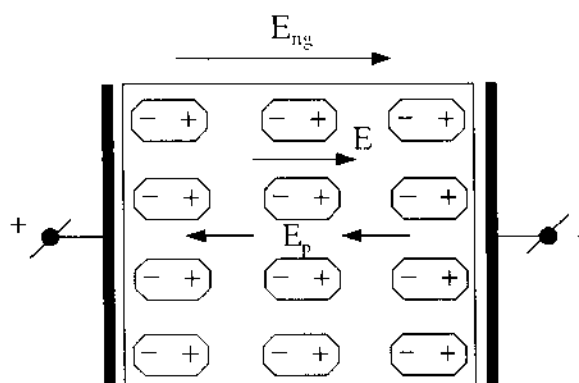
q : điện tích thử dương, *Culông* (C).

Cường độ điện trường tại một điểm là đại lượng vật lý đặc trưng cho điện trường về phương diện tác dụng lực, được đo bằng thương số của lực điện trường tác dụng lên một điện tích thử đặt tại điểm đó và độ lớn của điện tích thử đó.

3.1.2. Điện môi đặt trong điện trường

Khác với kim loại và các chất điện phân, trong điện môi không có các hạt mang điện tự do. Sự phân bố điện tích âm và điện tích dương trong phân tử thường đối xứng, các trọng tâm điện tích dương và điện tích âm trùng nhau. Người ta gọi các phân tử đó là loại phân tử không phân cực.

Khi đặt điện môi thuộc loại không phân cực trong điện trường (hình 3.1), điện trường sẽ chuyển các phân tử thành các lưỡng cực điện. Các lưỡng cực điện đầu dương hướng về phía cực âm của điện trường, đầu âm hướng về phía cực dương của điện trường. Kết quả là trong điện môi hình thành điện trường mới gọi là điện trường phân cực E_p , ngược chiều với điện trường ngoài. Cường độ điện trường phân cực E_p nhỏ hơn cường độ điện trường ngoài E_{ng} nên cường độ điện trường tổng hợp E trong chất điện môi có chiều cùng với chiều của điện trường ngoài và có trị số cường độ điện trường nhỏ hơn cường độ điện trường ngoài cho trước.



Hình 3.1 Sự phân cực của điện môi

Nếu cường độ điện trường trong chân không là E_0 thì khi đặt điện môi vào, cường độ điện trường sẽ là:

$$E = \frac{E_0}{\epsilon} \quad (3-2)$$

ϵ -gọi là hằng số điện môi tương đối của chất điện môi .

3.1.3. Độ bền cách điện

Trong điện môi có lẫn tạp chất có khả năng tạo ra một số điện tử tự do. Trong điều kiện bình thường độ dẫn điện của điện môi rất thấp, dòng điện qua điện môi gọi là dòng điện rò, trị số rất bé.

Khi cường độ điện trường đủ lớn, lực tĩnh điện tác dụng lên điện tử, có thể bứt điện tử ra khỏi mối liên kết với hạt nhân trở thành điện tử tự do. Độ dẫn điện của điện môi tăng lên. Dòng điện qua điện môi tăng lên đột ngột, điện môi trở thành vật dẫn. Đó là hiện tượng đánh thủng cách điện.

Cường độ điện trường đủ để gây ra hiện tượng đánh thủng điện môi gọi là cường độ đánh thủng E_{dt} . Điện môi có E_{dt} càng lớn thì độ bền cách điện càng tốt. Vì thế cường độ đánh thủng được gọi là độ bền cách điện.

Cường độ đánh thủng của điện môi phụ thuộc vào trạng thái của vật liệu cách điện như: độ ẩm, nhiệt độ, tác dụng của các tia bức xạ,...

Để đảm bảo cho điện môi làm việc tốt, cường độ điện trường đặt vào điện môi không vượt quá trị số giới hạn gọi là cường độ cho phép E_{cp} . Thông thường chọn trị số E_{cp} nhỏ hơn E_{dt} từ hai đến ba lần:

$$E_{dt} = k_{at} E_{cp} \quad (3-3)$$

(k_{at} - hệ số an toàn, thường lấy $k_{at} = 2-3$).

Căn cứ vào độ dày (d) của điện môi có thể xác định trị số điện áp đánh thủng U_{dt} và điện áp cho phép U_{cp} của thiết bị:

$$U_{dt} = E_{dt} \cdot d \quad (3-4)$$

$$U_{cp} = E_{cp} \cdot d \quad (3-5)$$

Bảng 3.1 nêu lên thông số đặc trưng của một số vật liệu cách điện thường gặp.

Ví dụ: Xác định điện áp cho phép và điện áp đánh thủng của một tấm cátông cách điện có bề dày $d = 0,15$ cm áp sát vào hai điện cực, cho biết hệ số an toàn bằng 3.

Giải

Tra bảng (3-1), được cường độ đánh thủng của cátông cách điện lấy trung bình $E_{dt} = 100$ kV/cm. Ta có điện áp đánh thủng theo (3-4):

$$U_{dt} = E_{dt} \cdot d = 100 \cdot 0,15 = 15 \text{ kV}$$

Điện áp cho phép:

$$U_{cp} = U_{dt} / k_{at} = 15 / 3 = 5 \text{ kV}$$

Bảng 3.1

Vật liệu	$E_{dt}, \text{kV/cm}$	ϵ	$\rho, \Omega\text{cm}$
Giấy tẩm dầu	100 ÷ 250	3,6	
Không khí	30	1	
Vải sơn	100 ÷ 400	3 ÷ 4	$10^{11} \div 10^{13}$
Đá hoa	30 ÷ 50	7 ÷ 8	$10^8 \div 10^{11}$
Paraphin	200 ÷ 250	2 ÷ 2,2	$10^{16} \div 10^{17}$
Polietylen	500	2,25	$10^{14} \div 10^{16}$
Cao su	150 ÷ 200	3 ÷ 6	$10^{13} \div 10^{14}$
Thủy tinh	100 ÷ 150	6 ÷ 10	10^{14}
Thủy tinh hữu cơ	400 ÷ 500	3	$10^{14} \div 10^{16}$
Vải thủy tinh	300 ÷ 400	3 ÷ 4	$5 \cdot 10^{13}$
Mica	500 ÷ 1000	5,4	$5 \cdot 10^{-3} \div 10^{14}$
Dầu Xovon	150	5,3	$5 \cdot 10^{14} \div 5 \cdot 10^{15}$
Dầu biến áp	50 ÷ 180	2 ÷ 2,5	$10^{14} \div 10^{15}$
Sứ	150 ÷ 200	5,5	$10^{15} \div 10^{16}$
Ebonit	600 ÷ 800	3 ÷ 3,5	$10^8 \div 10^{10}$
Các tông cách điện	80 ÷ 120	3 ÷ 3,5	$10^{11} \div 10^{13}$

3.2. TỔN HAO ĐIỆN MÔI

Trong điện môi xảy ra quá trình phân cực, phía cực dương xuất hiện điện tích âm, phía cực âm xuất hiện điện tích dương. Điện môi sẽ tạo thành tụ điện. Hai quá trình điện dẫn và phân cực nói trên tác động lên điện môi làm cho nó phát nóng gây tổn hao điện môi.

Phần điện năng tiêu hao để các hạt điện tích thắng lực liên kết khi chuyển động trong điện môi dưới tác dụng của điện trường bên ngoài E_{ng} gọi là tổn hao điện môi.

Khi khai thác các thiết bị điện, vấn đề tổn hao điện môi cần được chú ý đến, đặc biệt khi chúng làm việc ở điện áp cao hoặc tần số cao. Bởi trong điện trường, tổn hao điện môi có thể phá vỡ sự cân bằng nhiệt hoặc phá vỡ các liên kết hóa học trong điện môi, có thể dẫn đến phá hỏng cách điện dẫn đến điện môi mất hẳn khả năng cách điện.

Tổn hao điện môi có thể đặc trưng bởi suất tổn hao điện môi, đó là công suất tổn hao tính trong một đơn vị thể tích của điện môi.

Ở điện áp xoay chiều, người ta thường dùng góc tổn hao điện môi δ và ứng với nó là $\text{tg}\delta$. Góc tổn hao điện môi là góc phụ của góc lệch pha φ giữa dòng điện i và điện áp u trong điện môi.

Để đơn giản, ta xét tổn hao điện môi của chất điện môi giữa hai bản cực của một tụ điện.

Biết hằng số điện môi là ϵ , tụ được nối vào một điện áp xoay chiều U .

Khi đó: Dòng điện tích điện cho tụ điện I_t sẽ gồm hai thành phần (hình 3.2):

- Dòng tích điện thực sự, I_C sớm pha 90° so với điện áp đặt vào tụ mang tích chất điện dung có trị số:

$$I_C = \omega.C.U, \quad (A) \quad (3-6)$$

$$\text{hay } I_C = 2\pi f.C.U, \quad (A) \quad (3-7)$$

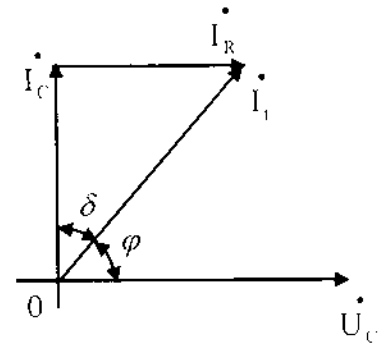
trong đó

C - điện dung của tụ (F)

f - tần số dòng điện (Hz)

U - điện áp đặt vào tụ (V)

ω - tần số góc, $\omega = 2\pi f$ (rad/s)



Hình 3.2. Sơ đồ phức của dòng điện và điện áp trên tụ điện

- Dòng điện I_R gây tổn hao, làm nóng điện môi, đồng pha với điện áp U .

⇒ Dòng tích điện:

$$I_t = \sqrt{I_C^2 + I_R^2} \quad (3-8)$$

$$\text{trong đó: } I_C = I_t \cos \delta$$

$$I_R = I_t \sin \delta$$

$$\Rightarrow \frac{I_R}{I_C} = \text{tg} \delta \quad \text{hay} \quad I_R = I_C \text{tg} \delta = \omega.C.U.\text{tg} \delta \quad (3-9)$$

Công suất tổn hao điện môi:

$$P = U.I_R = \omega.C.U^2.\text{tg} \delta \quad (W) \quad (3-10)$$

nếu thay: $C = \epsilon.C_0$

C_0 - điện dung của tụ điện với chất điện môi là không khí

ϵ - hằng số điện môi tương ứng

vào (3-10), ta được:

$$P = \omega \cdot \epsilon \cdot C_0 \cdot U^2 \cdot \text{tg}\delta \quad (3-11)$$

Với:

δ - góc tổn hao điện môi

$\text{tg}\delta$ - hệ số tổn hao điện môi, $\text{tg}\delta = \frac{I_R}{I_C}$.

$\epsilon \cdot \text{tg}\delta$ - số tổn hao.

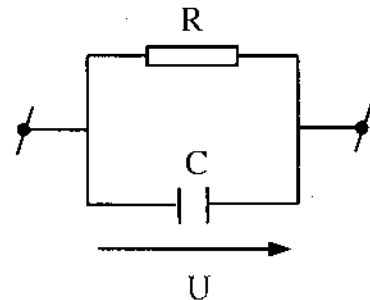
Từ (3-11) ta thấy P thay đổi tỷ lệ thuận theo $\text{tg}\delta$.

Sự thay đổi thành phần I_C chứng tỏ cách điện bị xuống cấp (sự thay đổi của I_C có thể do điện môi: bị ẩm hoặc có các lớp bị ngắn mạch, kích thước hình học thay đổi). Thành phần I_R đặc trưng cho tổn hao công suất trong điện môi do dòng điện rò.

Để tính tổn hao điện môi, có thể sử dụng sơ đồ thay thế khác nhau của điện môi phụ thuộc vào yêu cầu và mục đích tính toán. Dùng sơ đồ thay thế sẽ cho phép giải tích hóa một cách đơn giản các quá trình xảy ra trong điện môi (tổn hao, phân cực,...) và còn để mô hình hóa chúng trên các mô hình mạch điện.

Sơ đồ thay thế gồm hai thành phần điện dung C và điện trở R . Các sơ đồ thay thế cần được chọn sao cho thỏa mãn điều kiện công suất tổn hao của sơ đồ thay thế phải bằng công suất tổn hao trong điện môi và góc lệch pha của chúng cũng phải bằng nhau ở cùng một điện áp và cùng một tần số. Một sơ đồ thường hay dùng trong các mô hình mạch điện là sơ đồ đơn giản đấu song song phần tử R và C (hình 3.3).

Hình 3.3. Sơ đồ thay thế của điện môi đặt trong điện trường.



3.3. PHÂN LOẠI VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

3.3.1. Phân loại theo trạng thái vật lý

Theo trạng thái vật lý, có:

- Vật liệu cách điện thể khí,
- Vật liệu cách điện thể lỏng,
- Vật liệu cách điện thể rắn.

Vật liệu cách điện thể khí và thể lỏng luôn luôn phải sử dụng với vật liệu cách điện ở thể rắn thì mới hình thành được cách điện vì các phần tử kim loại không thể giữ chặt được trong không khí.

Vật liệu cách điện rắn còn được phân thành các nhóm: cứng, đàn hồi, có sợi, băng, màng mỏng.

Ở giữa thể lỏng và thể rắn còn có một thể trung gian gọi là thể mềm nhão như: các vật liệu có tính bôi trơn, các loại sơn tẩm.

3.3.2. Phân loại theo thành phần hóa học

Theo thành phần hoá học, người ta phân ra: vật liệu cách điện hữu cơ và vật liệu cách điện vô cơ.

1. Vật liệu cách điện hữu cơ: chia thành hai nhóm: nhóm có nguồn gốc trong thiên nhiên và nhóm nhân tạo.

- Nhóm có nguồn gốc trong thiên nhiên sử dụng các hợp chất cơ bản có trong thiên nhiên, hoặc giữ nguyên thành phần hóa học như: cao su, lụa, píp, xenluloit,...
- Nhóm nhân tạo thường được gọi là nhựa nhân tạo gồm có: nhựa phenol, nhựa amino, nhựa polyeste, nhựa epoxy, xilicon, polyetylen, vinyl, polyamit,....

2. Vật liệu cách điện vô cơ: gồm các chất khí, các chất lỏng không cháy, các loại vật liệu rắn như gốm, sứ, thủy tinh, mica, amiăng...

3.3.3. Phân loại theo tính chịu nhiệt

Phân loại theo tính chịu nhiệt là sự phân loại cơ bản, phổ biến vật liệu cách điện dùng trong kỹ thuật điện. Khi lựa chọn vật liệu cách điện, đầu tiên cần biết vật liệu có tính chịu nhiệt theo cấp nào. Người ta đã phân vật liệu theo tính chịu nhiệt như bảng 3.2.

Bảng 3.2

Cấp cách điện	Nhiệt độ cho phép (°C)	Các vật liệu cách điện chủ yếu
Y	90	Giấy, vải sợi, lụa, phíp, cao su, gỗ và các vật liệu tương tự không tẩm nhựa, các loại nhựa polyetylen, PVC, polistinol, anilin, abomit
A	105	Giấy, vải sợi, lụa trong dầu, nhựa polyeste, cao su nhân tạo, các loại sơn cách điện có dầu làm khô
E	120	Nhựa trắng Polyvinylphocman, poliamit, epoxi. Giấy ép hoặc vải ép có nhựa phendfocmandehit (gọi chung là Bakelit giấy). Nhựa Melaminfoocmandehit có chất độn xenlulo. Vải có tẩm thấm Polyamit. Nhựa Polyamit. Nhựa Phênol-Phurphurol có độn xenlulo.
B	130	Nhựa Polyeste, amiang, mica, thủy tinh có chất độn. Sơn cách điện có dầu làm khô dùng ở các bộ phận tiếp xúc với không khí. Sơn cách điện alkit, sơn cách điện từ nhựa phênol. Nhựa PhênolPhurol có chất độn khoáng, nhựa epoxi, sợi thủy tinh, nhựa Melaminfoocmandehit.
F	155	Sợi amiang, sợi thủy tinh có chất kết dính
H	180	Xilicon, sợi thủy tinh, mica có chất kết dính
C	>180	Mica không có chất kết dính, thủy tinh, sứ, Polytetraflotylen, Polymonoclortrifloetylen.

3.4. TÍNH CHẤT CƠ LÝ HOÁ CỦA VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

Khi lựa chọn, sử dụng vật liệu cách điện cần phải chú ý đến không những các phẩm chất cách điện của nó mà còn phải xem xét tính ổn định của những phẩm chất này dưới các tác dụng cơ học, hóa lý học, tác dụng của môi trường xung quanh,...gọi chung là các điều kiện vận hành tác động đến vật liệu cách điện. Dưới tác động của điều kiện vận hành, tính chất của vật liệu cách điện bị giảm sút liên tục, người ta gọi đó là *sự lão hóa* vật liệu cách điện. Do vậy, tuổi thọ của vật liệu cách điện sẽ rất khác nhau trong những điều kiện khác nhau.

Bởi thế cần phải nghiên cứu về tính chất cơ lý hoá, nhiệt của vật liệu cách điện để có thể ngăn cản quá trình lão hoá, nâng cao tuổi thọ của vật liệu cách điện.

3.4.1. Tính hút ẩm của vật liệu cách điện

Các vật liệu cách điện với mức độ khác nhau đều có thể hút ẩm (hút hơi nước từ môi trường không khí) và thấm ẩm (cho hơi nước xuyên qua).

Nước là loại điện môi cực tính mạnh, hằng số điện môi tương đối $\epsilon = 80 \div 81$, độ điện dẫn $\gamma = 10^{-5} \div 10^{-6}$ (1/cm) nên khi vật liệu cách điện bị ngấm ẩm thì phẩm chất cách điện bị giảm sút trầm trọng.

Hơi ẩm trong không khí còn có thể ngưng tụ trên bề mặt điện môi, đó là nguyên nhân khiến cho điện áp phóng điện bề mặt có trị số rất thấp so với điện áp đánh thủng.

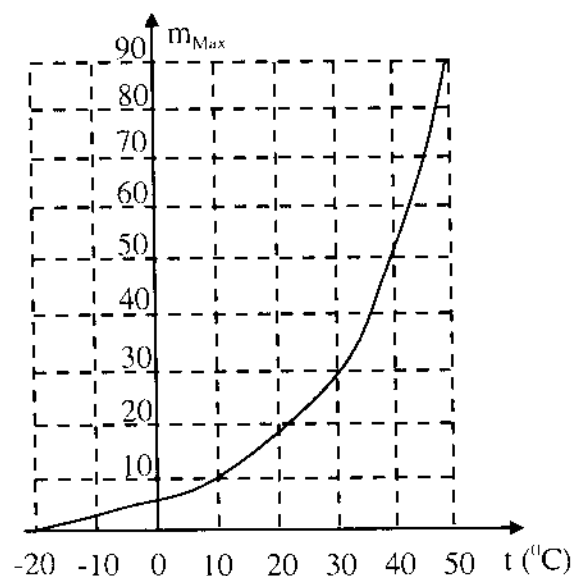
1. Độ ẩm của không khí

Trong không khí luôn chứa hơi ẩm, lượng ẩm trong không khí được xác định bởi tham số gọi là độ ẩm của không khí. Độ ẩm gồm có độ ẩm tuyệt đối và độ ẩm tương đối.

a. Độ ẩm tuyệt đối:

Độ ẩm tuyệt đối là khối lượng hơi nước trong 1 đơn vị thể tích không khí (g/m^3). Ở nhiệt độ xác định, độ ẩm tuyệt đối không thể vượt qua $m_{\max}$ ($m_{\max}$ được gọi là độ ẩm bão hòa). Nếu khối lượng nước nhiều hơn giá trị $m_{\max}$ thì hơi nước sẽ rơi xuống dưới dạng sương.

Quan hệ giữa độ ẩm bão hòa và nhiệt độ cho trên hình 3.4.



Hình 3.4. Quan hệ giữa độ ẩm bão hòa $m_{\max}$ theo nhiệt độ

b. Độ ẩm tương đối, $\varphi\%$

Độ ẩm tương đối là tỷ số:
$$\varphi\% = \frac{m}{m_{\max}} \cdot 100\% \quad (3-12)$$

Ở trạng thái bão hòa của hơi nước trong không khí sẽ có $\varphi\% = 100\%$. Thường các ẩm kế chỉ cho số liệu về độ ẩm tương đối $\varphi\%$ nên khi cần xác định độ ẩm tuyệt đối sẽ phải tính theo công thức:

$$m = \frac{\varphi\% \cdot m_{\max}}{100} \quad (3-13)$$

và do $m_{\max}$ là hàm của nhiệt độ môi trường không khí (t) nên $m = f(\varphi\%, t)$.

Như vậy, từ các số liệu về độ ẩm tương đối và nhiệt độ của không khí có thể xác định được độ ẩm tuyệt đối m (bằng cách tính toán, tra bảng số, đồ thị...). Theo quy ước quốc tế, điều kiện khí hậu chuẩn của không khí được qui định:

Áp suất $p = 760 \text{ mmHg}$.

Nhiệt độ $t = 20^\circ\text{C}$.

Độ ẩm tuyệt đối $m = 11 \text{ g/m}^3$ (độ ẩm tương đối $\varphi\%$ khoảng $60 \div 70\%$).

Khí hậu Việt Nam khác xa với khí hậu chuẩn. Khí hậu Việt Nam thuộc vùng khí hậu nhiệt đới. Ở miền Bắc, nhiệt độ trung bình hàng năm là $22,7^\circ\text{C}$, nhiệt độ cực đại có thể đạt tới $42,8^\circ\text{C}$. Độ ẩm thường xuyên cao là một trong các đặc điểm nổi bật của khí hậu nước ta. Độ ẩm tuyệt đối trung bình hàng năm ở đồng bằng Bắc bộ là $m = 24 \div 26 \text{ g/m}^3$, trong các tháng hè có thể lên tới $30 \div 33 \text{ g/m}^3$ và trong các tháng mùa đông cũng tới mức $13 \div 17 \text{ g/m}^3$.

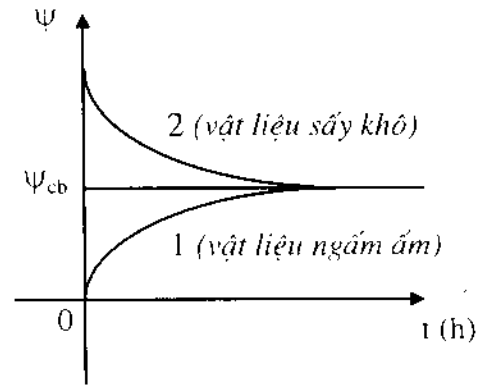
2. Độ ẩm của vật liệu ψ

Độ ẩm của vật liệu ψ là lượng hơi nước trong một đơn vị trọng lượng của vật liệu.

Khi đặt mẫu vật liệu cách điện trong môi trường không khí có độ ẩm $\varphi\%$ và nhiệt độ t ($^\circ\text{C}$) thì sau một thời gian nhất định, độ ẩm của vật liệu ψ sẽ đạt tới giới hạn được gọi là độ ẩm cân bằng (ψ_{cb}).

Nếu mẫu vật liệu vốn khô ráo được đặt trong môi trường không khí ẩm (vật liệu có độ ẩm ban đầu $\psi < \psi_{\text{cb}}$) thì vật liệu sẽ bị ẩm, nghĩa là nó hút hơi ẩm trong không khí khiến cho độ ẩm sẽ tăng dần tới trị số cân bằng ψ_{cb} như đường 1 trên hình 3.5 (vật liệu bị ngấm ẩm).

Ngược lại, khi mẫu vật liệu đã bị ẩm trầm trọng (có độ ẩm ban đầu $\psi > \psi_{cb}$) thì độ ẩm mẫu sẽ giảm tới trị số ψ_{cb} như đường 2 trên hình 3.5. (vật liệu sấy khô).



Hình 3.5

Đối với vật liệu xốp, loại vật liệu có khả năng hút ẩm rất mạnh, người ta đưa ra độ ẩm quy ước. Đó là trị số ψ_{cb} khi vật liệu được đặt trong không khí ở điều kiện khí hậu chuẩn.

3. Tính thấm ẩm

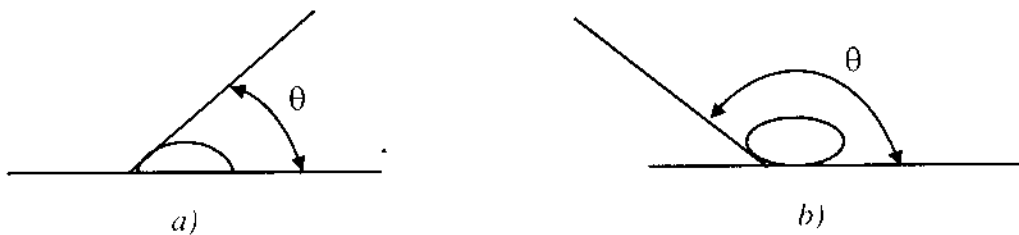
Tính thấm ẩm là khả năng cho hơi ẩm xuyên thấu qua vật liệu cách điện. Khi vật liệu bị thấm ẩm thì tính năng cách điện của nó giảm: $\rho \downarrow$ ($\gamma \uparrow$), $\varepsilon \uparrow$, $\tan \delta \uparrow \rightarrow E_{đi} \downarrow$.

Nếu vật liệu không thấm nước sẽ hấp thụ trên bề mặt một lượng nước hoặc hơi nước.

Căn cứ vào góc biên dính nước θ của giọt nước trên bề mặt phẳng của vật liệu (hình 3.6), người ta chia vật liệu cách điện hấp phụ tốt và hấp phụ yếu.

$\theta < 90^\circ$: vật liệu hấp phụ tốt (hình 3.6a).

$\theta > 90^\circ$: vật liệu hấp phụ yếu (hình 3.6b).



Hình 3.6

Vật liệu hấp phụ tốt sẽ dễ bị phóng điện, dòng dò lớn do $\rho \downarrow$ ($\gamma \uparrow$). Sự hấp phụ của vật liệu cách điện phụ thuộc vào loại vật liệu, kết cấu vật liệu, áp suất, nhiệt độ, độ ẩm,... của môi trường.

4. Nhận xét

Qua phân tích, ta thấy rằng tính hút ẩm của vật liệu cách điện không những phụ thuộc vào kết cấu và loại vật liệu mà nó còn phụ thuộc vào nhiệt độ, áp suất, độ ẩm...của môi trường làm việc. Nó sẽ làm biến đổi tính chất ban đầu của vật liệu dẫn đến lão hóa và làm giảm phẩm chất cách điện của vật liệu, $\text{tg}\delta \uparrow$, có thể dẫn đến phá hỏng cách điện. Đặc biệt là đối với các vật liệu cách điện ở thể rắn. Để hạn chế nguy hại do hơi ẩm đối với vật liệu cách điện cần sử dụng các biện pháp sau đây:

- Sấy khô và sấy trong chân không để hơi ẩm thoát ra bên ngoài.
- Tẩm các loại vật liệu xốp bằng sơn cách điện. Sơn tẩm lấp đầy các lỗ xốp khiến cho hơi ẩm một mặt thoát ra bên ngoài, mặt khác làm tăng phẩm chất cách điện của vật liệu.
- Quét lên bề mặt các vật liệu rắn lớp sơn phủ nhằm ngăn chặn hơi ẩm lọt vào bên trong.
- Tăng bề mặt điện môi, thường xuyên vệ sinh bề mặt vật liệu cách điện, tránh bụi bẩn bám vào làm tăng khả năng thấm ẩm có thể gây phóng điện trên bề mặt.

3.4.2. Tính chịu nhiệt của vật liệu cách điện

Tính chịu nhiệt của vật liệu cách điện là khả năng chịu tác dụng của nhiệt độ cao và sự thay đổi đột ngột của nhiệt độ. Mỗi loại vật liệu cách điện chỉ chịu được một nhiệt độ nhất định (tức là có độ bền chịu nhiệt độ nhất định). Độ bền chịu nhiệt được xác định theo nhiệt độ làm thay đổi tính năng của vật liệu cách điện.

Đối với vật liệu cách điện vô cơ, độ bền chịu nhiệt được biểu thị bằng nhiệt độ mà nó bắt đầu có sự biến đổi rõ rệt các phẩm chất cách điện như tổn hao $\text{tg}\delta$ tăng, điện trở cách điện giảm sút...

Đối với vật liệu cách điện hữu cơ, độ bền chịu nhiệt là nhiệt độ gây nên các biến dạng cơ học, những biến dạng này đương nhiên sẽ dẫn đến sự suy giảm các phẩm chất cách điện của nó.

Về mặt hóa học, nhiệt độ tăng sẽ dẫn đến tốc độ của các phản ứng hóa học xảy ra trong vật liệu cách điện tăng (thực nghiệm cho thấy tốc độ phản ứng hóa học tăng dạng hàm mũ theo nhiệt độ). Vì vậy, sự giảm sút phẩm chất cách điện của vật liệu gia tăng rất mạnh khi nhiệt độ tăng quá mức cho phép.

Bởi thế, ủy ban kỹ thuật điện quốc tế IEC (International Electrical Commission) đã phân loại vật liệu cách điện theo nhiệt độ làm việc lớn nhất cho phép (đã nêu ở bảng 3.2).

3.4.3. Tính chất cơ học của vật liệu cách điện

Trong nhiều trường hợp thực tế, vật liệu cách điện còn phải chịu tải cơ học, do đó khi nghiên cứu vật liệu cách điện cần xét đến tính chất cơ học của nó.

Khác với vật liệu dẫn điện kim loại có độ bền kéo σ_k , nén σ_n và uốn σ_u hầu như gần bằng nhau, còn vật liệu cách điện, các tham số trên chênh lệch nhau khá xa. Căn cứ các độ bền này, người ta tính toán, chế tạo cách điện phù hợp với khả năng chịu lực tốt nhất của nó.

Ví dụ: Thủy tinh có độ bền nén $\sigma_n = 2 \cdot 10^4 \text{ kG/cm}^2$ trong khi độ bền kéo $\sigma_k = 5 \cdot 10^2 \text{ kG/cm}^2$. Vì thế thủy tinh thường được dùng vật liệu cách điện dẽ.

Ngoài ra, khi chọn vật liệu cách điện cũng cần phải xét đến khả năng chịu va đập, độ rắn, độ giãn nở theo nhiệt của vật liệu. Đặc biệt chú ý khi gần các loại vật liệu cách điện với nhau cần phải chọn vật liệu có hệ số giãn nở vì nhiệt gần bằng nhau.

3.5. VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN THỂ KHÍ

Các khí cách điện thường dùng trong kỹ thuật điện là: không khí, sunfua hexaflo(SF_6), Hyđrô (H_2), Nitơ (N_2)...

3.5.1. Không khí

Trong số vật liệu cách điện ở thể khí vừa nêu, trước tiên phải kể đến không khí bởi nó được sử dụng rất rộng rãi để làm cách điện trong các thiết bị điện, phối hợp với chất cách điện rắn và lỏng, trong một số trường hợp nó là cách điện chủ yếu (Ví dụ: đường dây tải điện trên không).

3.5.2. Sunfua hexaflo (SF_6)

SF_6 còn có tên gọi êlêgaz là chất khí nặng hơn không khí 5 lần, hóa lỏng ở nhiệt độ -18°C . Ở trạng thái bình thường, SF_6 không mùi, không vị, không độc, không ăn mòn, không cháy và rất trơ. Cường độ cách điện của nó cao hơn cường độ cách điện của không khí $2\div 3$ lần, có độ ổn định cao, có khả năng dập tắt hồ quang tốt.

Nó được dùng làm môi trường cách điện chủ yếu trong các máy cắt cao áp, trung áp. Ngoài ra còn được dùng trong tụ điện, cáp điện lực,....

Tuy nhiên, khi sử dụng cần chú ý: SF_6 là khí tự phục hồi. Đó là do khí hấp thụ các điện tử tự do do hồ quang tạo ra làm ion hóa khí. Các ion tái hợp lại tạo khí SF_6 . Không phải tất cả ion và nguyên tử tự do tái hợp lại, vì vậy khí SF_6 bị hồ quang tạo nên các sản phẩm độc hại, thường là sunfua.

Sau nhiều lần thao tác khí có mùi trứng thối, nếu có mùi này cần tiến hành các bước sau:

- Tháo khí khỏi thiết bị.
- Mở cửa, thông gió cưỡng bức.
- Tách các sản phẩm hồ quang (thể rắn) trước khi đưa vào thiết bị
- Các sản phẩm hồ quang phải chứa trong thùng chất dẻo và đặt trong thùng kín để đảm bảo an toàn.

3.5.3. Nito (N_2)

Nitơ đôi khi được dùng để thay không khí trong các tụ điện khí do nó có cường độ cách điện gần không khí (nếu lấy cường độ cách điện của không khí là 1 thì của nitơ cũng khoảng gần 1). Mặt khác, vì nó không chứa oxy O_2 nên không có hiện tượng oxyt hóa các kim loại nó tiếp xúc.

3.5.4. Hyđrô (H_2)

Hydro là một loại khí rất nhẹ (nếu lấy tỷ trọng của không khí là 1 thì tỷ trọng của H_2 là 0,07) lại có hệ số tản nhiệt cao (nếu không khí 1 thì H_2 là 1,51) cho nên nó được dùng nhiều để làm mát các máy điện thay cho không khí. Do không có oxy nên nó sẽ làm chậm được tốc độ lão hóa vật liệu cách điện hữu cơ

và khử được sự cố cháy cuộn dây khi có ngắn mạch ở bên trong máy điện. Khi làm việc trong môi trường H_2 cách điện, chổi than được cải thiện hơn.

Song khi dùng H_2 để cách điện cần phải bọc kín máy điện lại và phải giữ cho áp suất của khí H_2 lớn hơn áp suất khí quyển để không cho không khí lọt vào tránh xảy ra cháy nổ.

3.5.5. Các khí khác

Ngoài các khí kể trên người ta còn dùng các khí như Argon, Nêon, hơi thủy ngân, hơi Natri, ... trong các dụng cụ chân không. Chẳng hạn các loại đèn điện dùng chiếu sáng trong kỹ thuật và đời sống sinh hoạt.

3.6. VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN Ở THỂ LỎNG

Trong số vật liệu cách điện ở thể lỏng, dầu mỏ và các loại dầu khác có nguồn gốc từ dầu mỏ được dùng nhiều trong kỹ thuật điện.

Dầu mỏ được khai thác trong thiên nhiên. Sau khi qua các biện pháp lọc đơn giản để khử nước và bùn rồi qua các biện pháp tinh luyện tương đối phức tạp sẽ được loại dầu tốt được sử dụng nhiều trong công nghiệp.

Dầu mỏ là hợp chất của các cacbua hydro (hàm lượng C khoảng $85 \div 87\%$ còn H là $11 \div 14\%$), ngoài ra còn có một số hợp chất khác của oxy, hợp chất sunfua, hợp chất Nitơ...).

Trong dầu mỏ có nhiều loại cacbua hydro, ví dụ parafin C_nH_{2n+2} , loại cacbua không no C_nH_{2n} , loại cacbua thơm C_nH_{2n-6} ...

Hợp chất của oxy chủ yếu là các loại axit, ví dụ axit naptenic $C_{60}H_{11}COOH$, các chất keo, hắc ín,... làm cho dầu có màu sắc và có cặn.

Hợp chất sunfua có nhiều toại như từ sunfit hydrogenn (khí sunfuro H_2S) đến bisunfit cao phân tử.

Ngoài ra do quá trình tinh luyện trong dầu mỏ còn có thêm một số chất khác, ví dụ sunfit sodium (SO_4Na), các hạt cao lanh rất nhỏ và chưa lọc được hết.

Như vậy, trong dầu mỏ có nhiều thành phần và hàm lượng của mỗi thành phần khác nhau, vì thế ảnh hưởng của chúng đến tính chất của dầu cũng khác nhau.

Dưới đây ta xét một số loại dầu mỏ phổ biến thường dùng trong kỹ thuật điện.

3.6.1. Dầu máy biến áp

Dầu máy biến áp là hỗn hợp của cacbua hydro ở thể lỏng, có màu sắc khác nhau.

Loại dầu này được dùng trong các máy biến áp với mục đích:

- Lấp kín các lỗ xẹp của vật liệu cách điện sợi, lấp kín các khoảng trống giữa các cuộn dây, giữa các cuộn dây và vỏ để làm tăng khả năng cách điện của vật liệu.
- Cải thiện điều kiện tản nhiệt do tổn hao công suất trong cuộn dây và lõi máy biến áp (dầu tản nhiệt tốt hơn không khí trung bình khoảng 28 lần).
- Ngoài ra, dầu máy biến áp còn được dùng trong các máy cắt điện có dầu, tụ điện, cáp điện lực,...

Quy định cường độ cách điện và tổn hao điện môi ở các cấp điện áp:

- Tiêu chuẩn về cường độ cách điện của dầu máy biến áp ở các cấp điện áp cho ở bảng 3.3

Bảng 3.3

Cấp điện áp (kV)	Cường độ cách điện của dầu mới (kV/mm)	Cường độ cách điện của dầu trong vận hành (kV/mm)
Đến 6 kV	12	8
6 kV ÷ 35 kV	12	10
Trên 35 kV	16	14

Nước, khí ẩm có ảnh hưởng nhiều đến cường độ cách điện của dầu. Càng xấu hơn nữa khi trong dầu có các sợi vải, giấy là các vật liệu dễ hút ẩm.

Vì vậy nếu kết quả thí nghiệm thấp hơn các trị số nêu ở bảng 3.3 thì cần phải thay thế dầu hoặc lọc và tái sinh.

- Quy định tgđ ở tần số $f = 50 \text{ Hz}$:
tgđ không được vượt quá 0,003 khi ở nhiệt độ 20°C .
tgđ không được vượt quá 0,025 khi ở nhiệt độ 70°C .

3. Một số điểm cần lưu ý khi sử dụng dầu máy biến áp

a. Các yếu tố ảnh hưởng đến sự lão hóa của dầu:

Trong quá trình vận hành, dầu thường bị xấu đi, phẩm chất cách điện của nó giảm. Đó là sự lão hóa của dầu. Khi dầu bị lão hóa thường có màu tối và đặc.

điều đó là do trong dầu hình thành nhiều keo, nhựa, hắc ín...gọi chung là bị nhiễm bẩn trong quá trình vận hành. Tốc độ lão hóa của dầu tăng nhanh khi:

- *Không khí xâm nhập vào dầu,*

Trong không khí chứa nhiều hơi nước và dầu lại rất nhạy cảm với độ ẩm. Mặt khác, quá trình lão hóa của dầu còn liên quan đến sự oxyt hóa bởi oxy có trong không khí.

- *Nhiệt độ cao.*

Dầu có sự thay đổi về hóa, sự thay đổi này có hại và tạo bọt trong dầu, làm cho độ nhớt giảm và làm nghẹt các khe hở trong cuộn dây và trong các bộ phận của máy biến áp.

- *Tiếp xúc với ánh sáng,* một số kim loại như Cu, Fe, Pb...và một số hóa chất khác có tác dụng như chất xúc tác của sự lão hóa dầu khi dầu tiếp xúc với ánh sáng.

b. Biện pháp khắc phục lão hóa dầu:

Để giảm sự lão hóa dầu máy biến áp, cần có cách làm hạn chế các yếu tố ảnh hưởng đã nêu ở trên trong quá trình sử dụng, làm tăng tuổi thọ thiết bị.

Khi dầu đã bị lão hoá, có thể thay thế dầu mới hoặc muốn sử dụng lại cần phải tái sinh lại nó (tức là khử các sản phẩm do sự già cỗi cách điện sinh ra và khôi phục tính chất ban đầu).

Trong việc tái sinh dầu, có thể dùng các biện pháp:

- Lọc bằng xiphông nhiệt.
- Dùng các hỗn hợp hay các chất hấp thụ để tái sinh như: hỗn hợp axit sunfuaric-kiềm-caolanh, hỗn hợp axit sunfuaric-caolanh, hỗn hợp silicagen-kiềm, hỗn hợp silicagen-caolanh.

3.6.2. Dầu tổng hợp

Dầu máy biến áp đã nêu ở trên có nhiều ưu điểm: có thể sản xuất với giá thành rẻ, sau khi bị đánh thủng do lão hóa, khả năng cách điện có thể phục hồi trở lại. Khi được làm sạch tốt thì tgđ bé nên cường độ cách điện cao (có thể đạt tới $200 \div 250$ kV/cm). Tuy nhiên, nó cũng có một số khuyết điểm, đó là: dễ cháy, khi cháy phát sinh khói đen, hơi bốc lên hòa lẫn với không khí làm thành hỗn hợp nổ, ít ổn định hóa học khi nhiệt độ cao và tiếp xúc với không khí, hằng số điện môi nhỏ ($\epsilon = 2,2 \div 2,5$ tương đương một nửa vật liệu cách điện rắn).

Vì vậy, trong những năm gần đây, người ta đã nghiên cứu, chế tạo được các loại dầu tổng hợp có một số đặc điểm tốt hơn so với dầu mỏ.

1. Dầu Xôvôn: Loại này là do sự clo hóa cacbua, nghĩa là thay bớt một số nguyên tử H bằng nguyên tử Cl.

Dầu Xôvôn là do sự clo hóa cacbua hydro điphenyl ($C_{12}H_{10}$ thay 5 nguyên tử Cl được $C_{12}H_5Cl_5$).

Ở nhiệt độ bình thường và tần số thấp, hằng số điện môi của nó $\epsilon = 5$ (nghĩa là lớn hơn dầu mỏ khoảng 2 lần) và quan hệ với nhiệt độ ổn định hơn so với dầu mỏ khi đặt trong điện trường.

Vì hằng số ϵ lớn hơn dầu máy biến áp nên dầu Xôvôn thường được dùng thay cho dầu máy biến áp để làm điện môi trong các tụ điện. Lúc đó, thể tích của tụ có thể giảm đi 2 lần mà công suất phản kháng không đổi.

Dầu *Xôvôn* cũng có một số nhược điểm: độ nhớt lớn, khó thâm nhập vào các khe, rãnh hẹp nên không dùng được trong các máy biến áp và đắt hơn dầu mỏ nhiều.

2. Dầu Xôtôn: Dầu Xôtôn là dầu Xôvôn được pha loãng bằng triclobenzen $C_6H_3Cl_3$ để có thể sử dụng được trong các máy biến áp. Song cũng như dầu Xôvôn, nó chịu nhiệt độ tốt nhưng không dùng trong các máy cắt điện có dầu vì khi bị huỳnh quang đốt cháy sinh ra nhiều bồ hóng ăn mòn kim loại. Mặt khác nó rất độc hại đối với con người.

3.6.3. Dầu thực vật

Ngoài dầu mỏ và dầu tổng hợp, người ta còn dùng dầu thực vật làm vật liệu cách điện. Dầu thực vật được lấy từ một số loại cây trong thiên nhiên.

1. Dầu tự khô (dầu gai)

Là loại dầu mà dưới tác dụng nhiệt, ánh sáng và tiếp xúc với không khí, nó sẽ chuyển sang trạng thái rắn có cường độ cách điện cao và có thể chịu được tác dụng của dung môi. Sự khô của nó không phải là do sự bốc hơi của dung môi mà

là một quá trình phức tạp có liên quan đến sự hấp thụ một lượng oxy, vì thế trọng lượng của nó tăng lên khi khô.

Có thể dùng loại dầu này để ngâm tẩm các cuộn dây trong các máy điện và thiết bị điện.

2. Dầu thầu dầu

Loại này không phải là dầu tự khô, nó khô rất chậm hoặc không khô nên không có giá công hóa học. Thường được dùng để tẩm giấy tụ điện.

3.7. VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN Ở THỂ RẮN

Vật liệu cách điện ở thể rắn đóng vai trò rất quan trọng trong kỹ thuật cách điện. Không thể nào làm cách điện cho thiết bị điện mà không dùng vật liệu cách điện thể rắn. Có nhiều chủng loại vật liệu cách điện thể rắn, với nhiều cấu tạo lý hóa khác nhau. Do đó ngoài những hiểu biết các tính chất và quy luật khái quát, cần thiết phải có những hiểu biết chi tiết về loại vật liệu được sử dụng.

Dưới đây giới thiệu một số vật liệu cách điện thể rắn hay được dùng trong kỹ thuật điện.

3.7.1. Mica và sản phẩm gốc mica

Mica là loại vật liệu khoáng sản cách điện rất quan trọng, bởi nó có nhiều tính chất tốt như: cường độ cách điện, tính chịu nhiệt, chịu ẩm rất tốt so với các vật liệu khác. Ngoài ra, mica có cường độ cơ giới, độ uốn cao nên nó được sử dụng để làm cách điện trong các thiết bị quan trọng, đặc biệt để làm cách điện của các máy điện có điện thế cao, công suất lớn và làm điện môi của tụ điện.

Trong thiên nhiên, mica ở dạng tinh thể, có thể bóc thành từng miếng mỏng. Theo thành phần hóa học, mica được chia thành hai loại:

- Mica mutscôvit có thành phần biểu thị bằng công thức: $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$, ở dạng mỏng trong suốt không màu (màu trắng) hoặc có màu hồng hoặc xanh, bề mặt nhẵn và bóng, độ bền cơ giới cao, tổn hao điện môi nhỏ.
- Mica flogopit: với thành phần $K_2O \cdot 6MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$, có màu vàng sáng, nâu hoặc xanh lá cây, đôi khi cả màu đen, bề mặt sù sì, có đường vân chẳng chặt.

So sánh theo tính chất về điện thì loại mica mutscôvit có tính năng điện môi tốt hơn loại mica flogopit. Ngoài ra nó còn rắn hơn, chắc hơn, đàn hồi và dễ uốn hơn so với loại mica flogopit.

Tuy nhiên, ở nhiệt độ $600\div 700^{\circ}\text{C}$, mutscôvit đã bị mất nước tinh thể, mất tính trong suốt và trở nên đục (hóa vôi). Còn flogôppit thì đến $900\div 1000^{\circ}\text{C}$ vẫn còn giữ nguyên được các tính năng, trừ khả năng cách điện thì đến $700\div 800^{\circ}\text{C}$ đã mất hẳn.

Khi mica bị nóng lên đến nhiệt độ nào đó thì nước trong mica bắt đầu bốc hơi. Khi đó, mica không còn trong suốt, độ dày của nó tăng lên (do bị phồng) và các tính chất cơ điện sẽ giảm. Mica chảy ở nhiệt độ khoảng $1250\div 1300^{\circ}\text{C}$. Không được sử dụng mica trong dầu vì nó sẽ bị phân huỷ và nhão ra.

Mica được sử dụng chủ yếu để làm cách điện cổ góp và cách điện các cuộn dây trong máy điện. Ngoài ra nó còn được dùng trong kỹ thuật vô tuyến để làm các tụ điện và các chi tiết cách điện trong thiết bị vô tuyến...

Gần đây, để nâng cao phẩm chất cách điện của mica, người ta đã chế tạo được mica nhân tạo có kết cấu giống mica tự nhiên nhưng chịu nhiệt tốt hơn, có nguồn gốc từ mica, đó là: micanit và micalec.

1. Micanit

Micanit là do mica dán lên các vật liệu sợi (giấy hoặc vải) bằng keo hoặc nhựa. Micanit có ưu điểm hơn so với mica thuần túy ở chỗ: nhẹ hơn, chịu nén tốt hơn, ít cứng hơn cho nên dễ gia công hơn, không có bọt khí...do đó, độ bền cách điện lớn hơn.

Tùy theo thành phần và công dụng, người ta có các loại micanit khác nhau:

- *Micanit dùng cho vành góp máy điện:* ở dạng tấm cứng, được đặt xen vào giữa các phiến đồng của vành góp trong máy điện để cách điện giữa các phiến ấy.
- *Micanit dùng để tạo hình:* ở nhiệt độ bình thường, loại micanit này cứng nhưng khi đốt nóng lại có thể dập được theo một hình dáng nào đó mà nó vẫn giữ nguyên sau khi nguội hẳn. Loại micanit này được dùng để chế tạo vòng đệm của vành góp (lớp cách điện giữa các vành góp và trục của máy điện, khung cuộn dây...).
- *Micanit dùng để đệm lót:* Loại này dùng để làm những tấm lót cách điện theo những hình dạng khác nhau và dùng làm vòng đệm (long đen).

- *Micanit mềm*: Loại này uốn được ở nhiệt độ bình thường, dùng làm lớp cách điện trong các rãnh máy điện và các thiết bị điện khác để cách điện giữa các cuộn dây dẫn điện với vỏ máy và giữa các phần dẫn điện với nhau.

2. Micaltec: Là loại vật liệu gốc mica có phẩm chất rất cao, tính chịu nhiệt, khả năng chịu va đập và chịu hồ quang tốt, có tổn hao điện môi nhỏ (nhỏ hơn so với vật liệu sứ cách điện từ 4 ÷ 5 lần).

Thành phần của micaltec gồm 60% mica và 40% thủy tinh dễ chảy (có BaO) và được ép mỏng ở nhiệt độ 600°C với áp lực 500 ÷ 700 kG/cm² trong khuôn thép thành bán sản phẩm có màu xám sáng trông như đá.

Micaltec được dùng làm buồng dập hồ quang trong máy cắt điện, tay nắm cách điện, phích cắm, các giá đèn công suất lớn, bảng panen trong kỹ thuật vô tuyến điện...

3.7.2. Amian và vật liệu amian

Amian là nhóm vật chất có cấu trúc sợi. Loại amian thông dụng có tên gọi Crizotin có thành phần hoá học: $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, màu trắng hoặc xanh lá cây. Amian có ưu điểm so với vật liệu sợi hữu cơ là tính chịu nhiệt cao (amian chỉ bị thay đổi cấu trúc tinh thể và mất độ bền cơ học ở nhiệt độ 400 ÷ 500°C), nóng chảy ở nhiệt độ 1500°C.

Từ amian người ta chế ra các loại vải, giấy, cactông và các sản phẩm khác có tính chịu nhiệt, độ bền cơ học và tính cách điện cao ứng dụng trong các lĩnh vực khác nhau. Dưới đây nêu vài sản phẩm amian thông dụng.

Giấy amian Quinterra là amian crizotin tẩm nhựa silicon, chịu nhiệt đến 200°C; chịu được axit, bazơ, dầu và chịu ẩm tốt. Với bề dày 0,1mm có thể chịu được điện áp 1550 V, hằng số điện môi $\epsilon = 5 \div 10$ dùng làm cách điện cuộn dây biến thế khô.

Giấy mica - amian bằng cách dán mica lên giấy amian, được sử dụng trong trường hợp không đòi hỏi độ bền cơ học cao mà chỉ đòi hỏi tính chịu nhiệt và cách điện cao như cuộn dây điện trở, phần tử đốt nóng, đệm ở nắp hộp khí cụ điện phân phối điện.

Xi măng - amian còn gọi là xi măng manhêzi cứng có đặc tính cơ, chịu nhiệt tốt. Được ép thành tấm hoặc ở hình dạng mong muốn dùng làm buồng dập hồ quang

trong các máy cắt điện và làm cách điện ở những nơi có nhiệt độ cao, kể cả trong dầu nóng.

3.7.3. Thủy tinh

Khái niệm thủy tinh có thể chỉ chung các loại vật liệu có cấu trúc vô định hình: thủy tinh hữu cơ, thủy tinh vô cơ, thủy tinh kim loại. Ở đây chỉ xét đến thủy tinh vô cơ.

Thủy tinh vô cơ nhận được bằng cách làm nguội một hợp chất vô cơ từ trạng thái nóng chảy hoàn toàn ở nhiệt độ cao đến trạng thái rắn không kết tinh. Như vậy thủy tinh có cấu trúc vô định hình (chất vô định hình là chất khi nung nóng chảy, dần dần mềm ra, bắt đầu loang ra và dần dần trở nên trạng thái lỏng, khi làm lạnh, nó dần dần rắn lại và ta không thể phát hiện thấy một dấu vết nào của tinh thể ở chỗ vỡ của chúng).

Thủy tinh là hỗn hợp phức tạp của các loại oxýt như: Na_2O , K_2O , CaO , BaO , PbO , ZnO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 ,... trong đó thành phần chủ yếu là SiO_2 và một số chất khác.

Các nguyên liệu nấu thủy tinh, ví dụ đối với thủy tinh silicat là cát trắng SiO_2 , soda Na_2CO_3 , đá vôi CaCO_3 , tràng thạch $(\text{K}, \text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$, đolômit CaCO_3 , MgCO_3 ,..., được cân trộn theo một tỷ lệ xác định để có phối liệu nấu thủy tinh. Phối liệu này được nấu chảy trong lò ở nhiệt độ $1400\text{--}1500^\circ\text{C}$. Thủy tinh ở trạng thái mềm ($1000\text{--}1200^\circ\text{C}$) được tạo hình thành các sản phẩm theo các phương pháp khác nhau như kéo tấm, kéo ống, kéo sợi, cán, ép dập, thổi, ... bằng máy hoặc thủ công. Sau đó, các sản phẩm được đưa vào lò ủ ở $500\text{--}600^\circ\text{C}$ rồi làm nguội chậm đến nhiệt độ phòng để khử ứng suất dư, tránh nứt vỡ.

Tính chất của thủy tinh phụ thuộc nhiều vào thành phần các oxýt và quá trình gia công nhiệt của nó.

Vật liệu thủy tinh có các tính chất quang học đặc biệt, độ bền hoá cao, khả năng chịu nhiệt cao, cách điện tốt, ... nên được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật khác nhau. Dưới đây trình bày khái quát một số loại thủy tinh chính dùng trong kỹ thuật điện.

- *Thủy tinh thạch anh* là thủy tinh đơn oxýt SiO_2 . Do nhiệt độ nóng chảy SiO_2 cao (trên 1700°C), lại gần nhiệt độ bay hơi (2100°C), độ nhớt cao nên sản xuất thủy tinh thạch anh không dễ dàng.

Tuỳ theo nguyên liệu ban đầu và phương pháp sản xuất, người ta có thể nhận được hai loại sản phẩm khác nhau: thủy tinh thạch anh trong suốt và thủy tinh thạch anh không trong suốt.

Thủy tinh thạch anh trong suốt là vật liệu kỹ thuật có tính năng quý: hệ số giãn nở nhiệt rất nhỏ, độ bền xung nhiệt cao, nhiệt độ biến mềm cao và bền hoá cao được sử dụng để chế tạo các dụng cụ và thiết bị chịu nhiệt cao, bền hoá cao.

Thủy tinh thạch anh với độ tinh khiết cao có tính chất đặc biệt là cho tia tử ngoại ($\lambda < 200\text{nm}$) đi qua, được dùng để chế tạo đèn phát tử ngoại.

Cáp quang, một phương tiện truyền tải thông tin hiện đại, được chế tạo trên cơ sở sợi thủy tinh thạch anh tinh khiết có chứa thêm B_2O_3 .

Thủy tinh thạch anh không trong suốt (hàm lượng bọt khí 5-7%) có độ bền cơ học thấp hơn so với thủy tinh thạch anh trong suốt, còn các tính chất nhiệt và hoá thì tương tự được sử dụng làm vật liệu chịu lửa, dụng cụ và thiết bị chịu nhiệt, chịu hoá.

Ngoài ra theo công dụng, có các loại thủy tinh như sau:

- *Thủy tinh tụ điện*: loại thủy tinh này được dùng làm điện môi trong các tụ điện (thường là tụ dùng trong các bộ lọc cao thế, trong các máy phát điện áp xung kích và các mạch dao động cao tần).
- *Thủy tinh định vị*: dùng để chế tạo sứ cách điện: sứ đỡ, sứ xuyên, sứ chuỗi.
- *Thủy tinh làm đèn chiếu sáng*: dùng làm bóng hoặc làm chân của các đèn chiếu sáng. Yêu cầu của loại thủy tinh này là phải có tính liên kết với kim loại.
- *Men thủy tinh*: là thủy tinh dễ chảy, có màu đục dùng để phủ mặt ngoài các sản phẩm, có tác dụng bảo vệ chống ăn mòn và làm tăng vẻ đẹp mặt ngoài.

Sợi thủy tinh: là thủy tinh được kéo thành sợi mềm dùng để chế tạo vật liệu dệt và các mục đích khác nhau. Thủy tinh ở dạng tấm là loại vật liệu giòn dễ vỡ nhưng nếu làm thành sợi càng mảnh thì có độ uốn càng cao nên được dùng để dệt. Từ các sợi thủy tinh có thể dệt thành vải và băng thủy tinh. Vải và băng thủy tinh làm cách điện thường dày $0,025 \div 0,28 \text{ mm}$.

Sợi thủy tinh được dùng làm cách điện cho các cuộn dây.

Ưu điểm của sợi thủy tinh có tính chịu nhiệt cao, có sức bền tốt, ít hút ẩm so với các sợi hữu cơ khác. Vì vậy cách điện thủy tinh được dùng để làm việc trong môi trường có nhiệt độ và độ ẩm cao.

Khuyết điểm của sợi thủy tinh là ít đàn hồi, độ uốn kém, ít chịu được mài mòn hơn so với sợi hữu cơ. Vì thế cách điện thủy tinh rất dễ bị hỏng khi bị va đập vào mép nhọn.

3.7.4. Vật liệu cách điện gốm sứ

1. Giới thiệu

Vật liệu gốm sứ cách điện là vật liệu vô cơ, dùng để chế tạo các chi tiết cách điện có hình dáng khác nhau.

Trước kia, vật liệu gốm được tạo thành chủ yếu từ đất sét và được nung ở nhiệt độ cao để được các chi tiết có một số tính chất cần thiết. Hiện nay còn có nhiều vật liệu gốm khác có hàm lượng đất sét ít, thậm chí không chứa đất sét nữa.

Trong kỹ thuật điện, thường dùng loại gốm cách điện, trong đó loại vật liệu sứ có nhiều ý nghĩa quan trọng trong kỹ thuật cách điện. Cho đến nay, sứ vẫn là loại vật liệu cách điện chủ yếu, đặc biệt là cách điện ở điện cao áp.

Vật liệu sứ có thành phần từ: cao lanh ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), fenspat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O}$ hoặc $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O}$) và thạch anh (SiO_2). Chất cao lanh chịu nhiệt, fenspat đảm bảo độ bền cách điện và thạch anh đảm bảo tính cơ.

Để chế tạo sứ, đem hỗn hợp này nghiền thật nhỏ, khử hết các tạp chất và hòa vào nước tạo nên một chất dẻo. Khối chất dẻo ấy sau khi đã khử hết nước được đưa vào khuôn theo các hình dáng, chi tiết mong muốn. Sau đó chúng được tráng men và nung nóng từ từ đến nhiệt độ khoảng $1300 \div 1350^\circ\text{C}$ (nếu dùng cho cao áp cần nhiệt độ nung đến $1300 \div 1410^\circ\text{C}$) trong thời gian từ $20 \div 70$ giờ. Vì sứ có tính xốp và khi nung nóng, bề mặt của nó không bóng, do đó cần phải tráng men để các lỗ xốp và các chỗ lõm trên bề mặt sứ được lấp kín sẽ ngăn cản được tính hút ẩm của sứ, làm cho sứ cách điện có thể làm việc ở ngoài trời. Ngoài ra men còn làm cho mặt ngoài của sứ đẹp hơn, ít bám bụi, ít bị rò điện và nâng cao được điện áp phóng điện mặt ngoài.

2. Phân loại theo công dụng

Trong kỹ thuật điện, sứ được dùng để chế tạo các loại sứ cách điện cho đường dây tải điện cao áp và hạ áp, cho các trạm biến áp, các máy cắt điện, dao cách ly, thiết bị chống sét (chống sét ống, chống sét van) và các chi tiết bằng sứ. Căn cứ vào công dụng của nó, người ta chia sứ thành một số loại như sau:

- *Sứ đỡ*: có chân đế bằng kim loại (thường là sắt) để bắt chặt vào giá đỡ hoặc tường. Sứ đỡ dùng để đỡ và giữ chặt các phần dây dẫn trên các cột đường dây tải điện và các dây dẫn, thanh dẫn trong các trạm biến áp phân phối điện (ở cấp điện áp dưới 35 kV).
- *Sứ xuyên*: dùng để đưa dây dẫn điện cao áp từ trong máy biến áp ra ngoài và làm cách điện cho dây dẫn qua tường.
- *Sứ treo*: sứ cách điện treo thường gồm hàng chuỗi các bát, dùng để treo và giữ chặt dây dẫn trên các đường dây tải điện điện áp 35kV và trên 35kV trên không. Số lượng các bát cách điện phụ thuộc vào điện áp đường dây.

Ví dụ: Đối với đường dây 35 kV: trong chuỗi có $2 \div 3$ bát sứ.

Đối với đường dây 110 kV: trong chuỗi có $6 \div 7$ bát sứ.

Đối với đường dây 220 kV: trong chuỗi có $12 \div 14$ bát sứ.

- *Sứ kẹp dây*: dùng để giữ và kẹp chặt dây dẫn, chủ yếu dùng trong các mạng điện hạ áp.

3.7.5. Nhựa

Nhựa là nhóm vật liệu có nguồn gốc và tính chất khác nhau rất nhiều. Chúng là một hỗn hợp hữu cơ phức tạp, chủ yếu ở dạng cao phân tử.

Nhựa được dùng trong kỹ thuật điện là loại nhựa không hòa tan trong nước, ít hút ẩm. Theo nguồn gốc của nhựa, người ta chia ra làm hai loại:

1. Nhựa thiên nhiên: nhựa thiên nhiên là sản phẩm của một số loài động vật và thực vật.

a. Nhựa cánh kiến: là loại nhựa do một loại côn trùng sống ở vùng nhiệt đới sinh ra. Về hình thức, nó là các vảy mỏng dòn màu nâu hoặc hơi đỏ.

Thành phần cơ bản của cánh kiến là các axit hữu cơ có thành phần hóa học phức tạp. Nó dễ bị hòa tan trong rượu hoặc cồn nhưng không hòa tan trong cacbua hydro. Nhựa cánh kiến có:

$$\rho = 10^5 \div 10^6 (\Omega m) \quad \varepsilon = 3,5 \quad \lg \delta = 0,01 \quad E_{đi} = 20 \div 30 \text{ kV/mm.}$$

Ở nhiệt độ $50 \div 60^\circ\text{C}$ thì dễ uốn, khi nhiệt độ cao hơn nó sẽ bị mềm và chảy, nhưng nếu tiếp tục nung nóng thì nó đông lại.

Nhựa cánh kiến được sử dụng trong kỹ thuật điện để chế tạo sơn dán, vecni và đặc biệt là để chế tạo micanit.

b. Nhựa thông: là loại nhựa có được khi chưng cất dầu thông, có màu vàng hoặc nâu đen. Nhựa thông có:

$$\rho = 10^{14} \div 10^{15} (\Omega m) \quad E_{đi} = 10 \div 15 \text{ kV/mm.}$$

Nhựa thông bị hòa tan trong dầu mỡ, đặc biệt khi nung nóng. Vì vậy, trong kỹ thuật điện nó được dùng để tạo nên các dung dịch dùng với dầu mỡ để ngâm, tẩm các vật liệu khác.

2. Nhựa nhân tạo

Nhựa nhân tạo là sản phẩm của sự trùng hợp, chúng là một hỗn hợp hữu cơ phức tạp dạng cao phân tử.

Sau đây sẽ giới thiệu một số loại nhựa nhân tạo hay được dùng trong kỹ thuật điện.

a. Nhựa phenol-focmandehyt (bakelit): đây là sản phẩm của sự ngưng tụ phenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) và focmandehyt (H_2CO) với chất xúc tác thường là amoniac.

Nhựa bakelit được sử dụng rất rộng rãi và vào loại quan trọng nhất trong kỹ thuật điện từ khi chế tạo được (1907). Bột bakelit ép thành cuộn dây, hộp, vỏ cách điện. Những ống cách điện có hình dạng, kích thước khác nhau được ép từ giấy bakellit có công dụng rất đa dạng.

Nhựa bakelit dùng để tinh chế các chất dẻo, vải tẩm nhựa, giấy tẩm nhựa, sơn, keo. Đặc biệt nó có thể chịu được tác dụng của hồ quang điện nên hay được dùng trong các thiết bị đóng cắt điện, các thiết bị chống sét,...

b. Nhựa polyeste: là loại nhựa được chế tạo từ sự trùng hợp, ngưng tụ của các loại rượu, cồn nhiều hóa trị (Etylenglycol, glyxerin,...) và axit hữu cơ khác nhau (hoặc các anhydric của chúng).

Trong số này có nhựa gliptan và nhựa lapxan hay được dùng trong kỹ thuật điện:

- Nhựa Gliptan được chế tạo từ ptalicenhydrit ($C_8H_4O_3$) và glyxerin ($C_3H_8O_3$). Nhựa này có độ bám tốt, chịu được ẩm, dầu và chịu được tác dụng của hồ quang điện. Người ta dùng nhựa gliptan để chế tạo sơn, keo để dán micanit, để tẩm cách điện của động cơ và các thiết bị điện khác.
- Nhựa Lapxan (polyetylenterafatalat): có công thức $(-CH_2-CH_2-O-CO-C_6H_4-CO-)$ và được chế tạo từ glucol $[CH_2(OH)-CH_2(OH)]$ và axit terafatalat ($COOH-C_6H_4-COOH$). Loại nhựa này được dùng để làm cách điện giữa các lớp dây trong cuộn dây của máy biến áp, của cuộn cảm kháng điện, để chế tạo các tụ điện có nhiệt độ làm việc cao (đến $150^{\circ}C$).

c. *Nhựa epoxy*: là loại nhựa đặc trưng bởi nhóm epoxy trong thành phần của nó:



Ưu điểm của loại nhựa này là có độ dính cao và sau khi đông lại có đặc tính cơ cao, tính chống ẩm tốt. Để nhựa epoxy tăng độ bền cơ giới thường cho thêm vào nó các chất độn như mica, thạch anh, bioxyt-tian,...

Nhựa epoxy được dùng nhiều để chế tạo các hỗn hợp cách điện để tẩm ngâm các bộ phận của các thiết bị điện tử vô tuyến điện, để chế tạo các loại sơn bảo vệ, keo có độ dính cao, các chất dẻo cách điện. Đặc biệt trong những năm gần đây, người ta còn chế tạo các epoxy có thể dùng thay các loại sứ đứng (sứ đặt), sứ xuyên tường, sứ cách điện đỡ. Sử dụng nó cho phép giải quyết đơn giản các vấn đề về hình dáng, cấu trúc và độ bền cách điện. Ở Mỹ, người ta dùng hàng loạt các vật liệu cách điện bằng nhựa epoxy trên các đường dây tải điện đến 110 kV. Trong tương lai, vật liệu cách điện này có thể dùng để treo đỡ các đường dây, các thanh dẫn ở cấp điện áp cao hơn.

Một nhược điểm lớn của epoxy là độc hại đối với cơ thể người, do vậy cần có các biện pháp đề phòng khi tiếp xúc với nó.

d. *Nhựa xilicon*: có lịch sử chế tạo năm 1944, được coi là một trong những nhựa mới nhất dùng trong kỹ thuật điện. Nó có tính chống nước, chịu nhiệt cao (đến $180^{\circ}C$), có độ bám tốt, đàn hồi. Nhựa này dùng để bọc cách điện dây dẫn,

dùng để tẩm các cuộn dây trong máy điện. Ngoài nhựa xilicon còn có dầu xilicon.

e. *Nhựa Polyetylen (PE)* có công thức cấu tạo $(-CH_2-CH_2-)_n$ là vật liệu cách điện dẻo, nóng chảy ở nhiệt độ thấp (110^0C), hệ số dẫn nhiệt cao, đặc tính cơ điện tốt, chịu ẩm, chịu được tác dụng của axit và bazơ, dễ chế tạo, giá thành hạ. Nhiệt độ làm việc đến 75^0C , thường dùng được sử dụng làm cách điện cho cáp điện lực hạ áp và cao trung áp. Ngoài ra còn được dùng làm các điện cho cáp cao tần của thiết bị vô tuyến truyền hình, cáp thông tin, (kể cả khi cáp đi dưới lòng đất và dưới lòng đại dương).

f. *Nhựa Polyviniclo (PVC)* có công thức cấu tạo $(H_2C=CH-Cl)_n$ là vật liệu cách điện dẻo, đàn hồi, chịu ẩm, kiềm, axit loãng, dầu, rượu, có đặc tính cơ và điện tốt. Thường được sử dụng cách điện ở điện áp đến 600V và nhiệt độ làm việc cực đại 60^0C . PVC có thể được sử dụng để làm vỏ bảo cáp; cách điện các dây điện thoại và các loại dây dẫn khác; chế tạo sơn, sợi nhân tạo, các chất dẻo và các vật liệu có đặc tính giống như cao su.

g. *Polyzobutylen*: còn có tên gọi là oppanal, là loại nhựa nhân tạo có tính năng như cao su, điều chế bằng cách polyme hóa Isobutylen. Nó có tính đàn hồi tốt, chịu được nhiệt độ trên 110^0C , chịu được axit, xút, ẩm, ozon, chịu được nước hoàn toàn (khi độn với một ít bồ hóng hoặc grafit) nhưng có thể tan trong xăng, dầu. Có thể dùng nhựa này thay vỏ chì bọc dây cáp.

3.7.6. Cao su

Cao su và một số vật liệu tương tự gần với cao su có tầm quan trọng trong lĩnh vực kỹ thuật và đời sống.

Đặc tính nổi bật của cao su là tính đàn hồi và ít thấm ẩm, được dùng làm vật liệu cách điện ở những nơi đòi hỏi chống ẩm, kín nước và dễ uốn như: dây dẫn điện, cáp điện ngầm (đặt dưới lòng đất), các phần cách điện của các máy điện cầm tay, dụng cụ điện hay phải di chuyển...

Cao su có hai loại: cao su tự nhiên và cao su nhân tạo.

1. Cao su tự nhiên: là nhựa lấy từ cây cao su, do ngưng tụ mủ cao su và các tạp chất.

Thành phần hóa học của nó là cacbua hydro có công thức phân tử C_5H_8 và trong công thức cấu tạo có liên kết đôi. Cao su tự nhiên có:

$$\rho = 10^6(\Omega\text{m}) \quad \varepsilon = 2,4 \quad \text{tg}\delta = 0,002$$

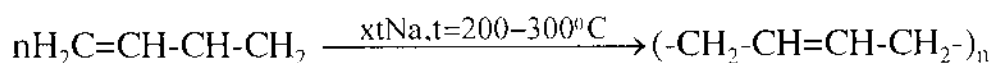
Ở nhiệt độ 50°C thì nó trở nên mềm và dính. Do không chịu được tác dụng ở nhiệt độ cao nên trong thực tế không được dùng để làm cách điện. Khi muốn sử dụng, người ta phải khắc phục nhược điểm này bằng cách "lưu hóa" (cho thêm lưu huỳnh). Khi đó, kết cấu của nó mất tính chuỗi, chuyển sang tính chất không gian và thuộc loại nhiệt cứng.

Tuỳ theo hàm lượng lưu huỳnh mà có các loại cao su khác nhau:

- Rêrin: là loại cao su tự nhiên có hàm lượng (1÷3)%S, mềm và có tính co giãn, đàn hồi. Loại này thường được dùng làm cách điện trong các mạch tần số thấp (kỹ thuật điện tử), dùng cách điện trong dây dẫn và dây cáp. Ngoài ra còn được dùng để chế tạo các dụng cụ phòng hộ như: găng tay, ủng, thảm cách điện, ...
- Ebonit: với hàm lượng (30÷35)%S, là loại vật liệu rắn có khả năng chịu được tải trọng, chịu được dầu, lão hóa chậm.

2. Cao su nhân tạo (còn gọi là cao su tổng hợp)

a. Cao su butadien: là cao su nhân tạo đầu tiên do kết quả của sự trùng hợp cacbua hydro butadien có công thức hóa học: $(-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-)_n$



Cao su này dùng để thay thế cao su tự nhiên trong việc chế tạo Rêrin và êbonit. Nó có cường độ cơ giới, tính chịu nhiệt cao và chịu được tác dụng của axit và dung môi hữu cơ. Cao su butadien trong kỹ thuật còn gọi là Excapon và có các thông số như sau:

$$\rho = 10^{17}(\Omega\text{m}); \quad \varepsilon = 2,7\div 3; \quad \text{tg}\delta = 0,0005$$

Cao su này được dùng làm vật liệu cách điện cho mạch cao tần.

Trong thực tế còn dùng cao su buna N (Butdien acrilonitril) được tạo ra từ axetylen có tính chịu nhiệt và chịu dầu rất tốt, thường dùng để đệm kín dầu trong các máy biến áp dầu và các thiết bị khác.

b. Cao su Polycloropen: còn có tên khác là Neopren hoặc Dupren, cũng được chế tạo từ axetylen. Cao su này ít bị oxy hoá, đàn hồi tốt, khó cháy, chịu được ẩm, chịu tác dụng cơ học nhưng sẽ mất tính đàn hồi khi ở nhiệt độ cao, ít chịu được dầu, ozon. Nó được sử dụng để bọc bảo vệ cáp điện rất tốt.

c. *Cao su butadien styrol*: là kết quả của sự đồng trùng hợp butadien và styrol. Về tính chất cách điện thì gần như cao su tự nhiên nhưng có tính chịu nhiệt, chịu dầu cao hơn.

3.7.7. Sơn cách điện

Sơn là dung dịch keo của nhựa bitum (bitum là nhóm vật liệu thuộc loại vô định hình gồm hỗn hợp phức tạp của cacbua hydro và một ít oxy, lưu huỳnh), dầu khô và các chất tự tạo nên gốc sơn trong dung môi bay hơi. Khi sấy thì dung môi sẽ bay hơi còn gốc sơn sẽ chuyển sang trạng thái rắn tạo nên màng sơn.

Theo công dụng, trong kỹ thuật điện, có thể chia sơn cách điện ra thành các loại: sơn tẩm, sơn bảo vệ, sơn dán.

- *Sơn tẩm*: Dùng để sơn, tẩm các chất cách điện rắn, xốp như giấy các tông, sơn vải, cách điện của các cuộn dây máy biến áp. Sau khi sơn tẩm thì điện áp đánh thủng U_{dt} tăng cao, tính hút ẩm giảm, tính chịu nhiệt cao.
- *Sơn bảo vệ*: Dùng để tạo lên một màng sơn chắc, bóng, giảm bám bụi, chịu ẩm trên mặt được quét sơn. Sơn này hay dùng để quét lên bề mặt vật liệu cách điện rắn đã được tẩm nhằm nâng cao thêm các tính chất cách điện của vật liệu được sơn.
- *Sơn dán*: Dùng để dán các vật liệu cách điện rắn hay để dán vật liệu kim loại rắn với kim loại.

Êmay: chính là sơn có chất nhuộm màu và chất độn vô cơ. Mục đích của chất nhuộm màu và chất độn để làm tăng độ rắn, độ bền cơ học, chống ẩm, chống hồ quang điện và để đánh dấu phân biệt khi cần.

Êmay thường được dùng để sơn các thanh dẫn cứng theo các màu sắc tiêu chuẩn: pha A - vàng; pha B - xanh, pha C - đỏ; thanh dẫn trung tính- trắng (khi không nối đất trung tính) hoặc tím (khi trung tính nối đất) và sơn cách điện dây quấn máy điện, khí cụ điện (dây điện từ).

3.7.8. Vật liệu cách điện gỗ, giấy

Vật liệu cách điện gỗ, giấy là vật liệu có nguồn gốc từ xenlulo (sợi thực vật) có công thức phân tử $(C_6H_{10}O_5)_n$.

1. Gỗ

Gỗ là loại vật liệu dễ gia công và sau khi gia công xong, người ta thường tẩm bằng parafin (Hydro cacbon no C_nH_{2n+2} với $n=10÷36$), dầu gai, nhựa và dầu

máy biến áp để nâng cao cường độ cách điện (tăng 1,5÷2 lần so với khi chưa tẩm).

Trong kỹ thuật điện, gỗ được dùng để làm cầu truyền động của dao cách ly và máy cắt điện, các chi tiết đỡ và gắn trong máy biến áp, làm nêm trong rãnh các máy điện, cột và xà của đường dây tải điện, đường dây thông tin.

2. Giấy và vật liệu có tính chất gần với nó

a. Giấy: thành phần chủ yếu của giấy là xenlulo vì nó được chế tạo từ gỗ. Tùy theo công dụng của nó trong kỹ thuật điện, người ta chia ra làm hai loại: giấy tụ điện và giấy cáp.

- *Giấy tụ điện:* Là loại giấy dùng làm điện môi trong tụ điện giấy. Giấy cách điện dùng trong tụ điện khác với các loại giấy cách điện khác là rất mỏng ($0,007 \div 0,022\text{mm}$), thường làm việc ở cường độ rất cao và nhiệt độ khoảng $70 \div 100^{\circ}\text{C}$ nên đòi hỏi phẩm chất của giấy rất cao.
- *Giấy cáp:* Thường có độ dày khoảng $0,08 \div 0,17\text{mm}$, dùng làm cách điện của cáp điện lực, cáp thông tin. Đối với giấy cáp cần chú ý đến sức bền cơ giới và số lần xoắn mà nó có thể chịu được.

Nhìn chung, để làm việc được đảm bảo, các loại giấy này đều phải tẩm dầu hoặc hỗn hợp dầu-nhựa thông.

b. Vật liệu gần giống giấy:

- *Các tông:* dùng trong kỹ thuật điện và cũng được chế tạo từ sợi thực vật như giấy nhưng có độ dày lớn hơn.

Có hai loại giấy các tông:

- Loại dùng trong không khí có độ rắn và đặc tính cao, được sử dụng lót rãnh các máy điện, vỏ cuộn dây, tấm đệm.
- Loại dùng trong dầu: mềm hơn các tông dùng trong không khí và có thể thấm dầu. Tùy theo độ dày yêu cầu của loại các tông này mà được chế tạo thành cuộn ($0,1 \div 0,8\text{mm}$) hoặc thành tấm ($1 \div 3\text{mm}$).
- *Vải sơn:* là vải (bông hoặc lụa) được tẩm bằng sơn dầu. Vải có tác dụng về mặt cơ, còn lớp sơn có tác dụng về mặt cách điện. Vải sơn được dùng để cách điện trong các máy điện, các thiết bị khác và cáp...

3.8. ĐIỆN MÔI DẠNG SÁP (NẾN)

Điện môi dạng sáp là những chất rắn dễ nóng chảy có cấu tạo tinh thể, có độ bền cơ yếu và tính hút nước thấp. Các vật liệu này thường dùng để tẩm hoặc rót lấp kẽ hở. Nhược điểm lớn nhất của loại vật liệu này là tính co rút (ngót) rất nhiều khi chúng nguội đi (khoảng 15-20%). Sau đây là một số điện môi dạng này hay được sử dụng trong kỹ thuật điện.

3.8.1. Parafin

Đây là vật liệu rất rẻ, là sản phẩm phụ khi chưng cất dầu mỏ. Parafin sạch có khối lượng riêng $0,85 \div 0,9 \text{ g/cm}^3$; nhiệt độ nóng chảy $50 \div 55^\circ\text{C}$; điện trở suất $\rho = 10^{16} \Omega\text{m}$ ở 20°C ; $\text{tg}\delta = 0,0003 \div 0,0007$; $\varepsilon = 1,5 \div 2,2$. Ở nhiệt độ bình thường độ bền điện của parafin có tính ổn định hoá học cao, nhưng ở nhiệt độ $130 \div 140^\circ\text{C}$ nó dễ dàng bị o xy hoá và ρ giảm khoảng 100 lần.

Trong kỹ thuật điện người ta sử dụng parafin để tẩm chống ẩm trong các cuộn dây máy điện có công suất nhỏ, tẩm giấy tụ điện có điện áp thấp, tẩm giấy các tông và để bôi trơn khi quấn máy điện.

3.8.2. Xerezin

Cũng tương tự như parafin, xerezin cũng là các bua hydro có công thức phân tử $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ nhưng số lượng nguyên tử các bon trong phân tử nhiều hơn so với Parafin từ $10 \div 36$ lần (tức số lượng nguyên tử các bon trong phân tử xerezin: $n = 39 \div 53$) ngoài ra phân tử xerezin phân nhánh rất mạnh. Ưu điểm của xerezin so với parafin là nhiệt độ nóng chảy cao hơn (nhiệt độ nóng chảy của xerezin $65 \div 80^\circ\text{C}$), bền vững trong không khí, điện trở suất lớn hơn và $\text{tg}\delta$ nhỏ hơn. Vì vậy, mặc dù đắt hơn parafin nhưng nó vẫn được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật làm tụ giấy.

3.8.3 Vazelin

Vazelin là hỗn hợp của các bua hydro lỏng và rắn. Ở nhiệt độ bình thường có dạng nửa chất lỏng.

Vazelin có: $\rho = 5.10^{12} \Omega\text{m}$, $\text{tg}\delta = 0,0002$, độ bền điện là 20 Mg/m ở 20°C và $\rho = 5.10^9 \Omega\text{m}$, $\text{tg}\delta = 0,002$ ở 100°C .

Vazelin thường được sử dụng để tẩm giấy tụ điện.

3.9. CHẤT DẼO KỸ THUẬT ĐIỆN

Trong kỹ thuật điện người ta hay dùng chất dẻo nhiều lớp làm vật liệu kết cấu và cách điện. Sau đây sẽ giới thiệu một số chất dẻo nhiều lớp dùng trong kỹ thuật điện với mục đích trên.

3.9.1. Hetinac

Nhận được bằng cách ép nóng giấy đã được tẩm bakelit có chất lượng tốt. Tẩm giấy có thể có nhiều cách khác nhau. Một trong những phương pháp thông dụng nhất là phương pháp dùng huyền phù phenolformaldehyt trong nước để tẩm cho giấy ; khi sấy khô giấy thì hơi nước bốc đi sau đó giấy được cắt đúng kích thước yêu cầu và được sắp xếp thành từng bó rồi cho vào máy ép thuỷ lực giữ nhiệt độ 160-165⁰C bakelit bị nóng chảy và lấp đầy các lỗ trống giữa các sợi giấy. Sau khi ép xong hetinac được làm nguội ở nhiệt độ 60⁰C và cuối cùng ngâm trong nước cho đến khi nguội hẳn.

Hetinac dùng để chế tạo các mạch in.

3.9.2. Testtolit

Đây là chất dẻo có tính tương tự như hetinac, nhưng giấy tẩm được thay bằng vải tẩm. Testtolit đắt gấp 6-7 lần hetinac và có độ bền va đập cao hơn hetinac, do đó chỉ được sử dụng ở những nơi có va đập nhiều.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 3

1. Đặc điểm của điện môi đặt trong điện trường?
2. Tổn hao điện môi?
3. Phân loại vật liệu cách điện?
4. Tính chất cơ lý hoá của vật liệu cách điện?
5. Đặc điểm và ứng dụng của vật liệu cách điện thể khí?
6. Đặc điểm và ứng dụng của vật liệu cách điện thể lỏng?
7. Đặc điểm và ứng dụng của vật liệu cách điện thể rắn?
8. Đặc điểm và ứng dụng chất dẻo kỹ thuật điện?
9. Đặc điểm và ứng dụng của điện môi dạng sáp?

CHƯƠNG 4**DÂY DẪN, THANH DẪN, DÂY CÁP VÀ DÂY ĐIỆN TỬ**

Trong các mạng điện, người ta dùng dây dẫn trần hay cách điện và các thanh dẫn (thanh góp).

Dây trần làm bằng đồng, nhôm hay thép và không bọc cách điện. Dây trần chỉ được dùng trong những điều kiện con người không động chạm được đến nó. Chạm vật dẫn điện vào một hay vài dây dẫn sẽ đưa tới ngắn mạch và làm cho một phần của mạng điện phải ngừng làm việc.

Dây cách điện là dây dẫn bằng đồng, nhôm hay thép và được bọc cách điện bảo vệ. Đại đa số các mạng điện đặt trong nhà đều dùng dây cách điện.

Vấn đề xây dựng các đường dây của mạng điện và các đường dây điện thoại, điện tín đặt ra rất cấp thiết trong sự phát triển các thành phố và các khu dân cư đông đúc. Đặc biệt các phân xưởng cần rất nhiều đường dây dẫn tới và các máy móc thiết bị bên trong cũng vậy, nên nếu dùng các đường dây trên không sẽ ngốn ngang có thể gây mất an toàn, khó khăn trong quá trình sản xuất và làm việc của công nhân.

Bởi vậy người ta thường không dùng đường dây trên không mà đặt các đường dây cáp ngầm dưới đất với cấu tạo đặc biệt có vỏ cách điện để bảo vệ.

4.1. DÂY DẪN

Vật liệu phổ biến nhất dùng để làm dây dẫn dẫn dòng điện là đồng, nhôm, các hợp kim của chúng và thép. Các điều kiện làm việc khác nhau của các đường dây dẫn điện, đòi hỏi các đường dây có cấu tạo khác nhau. Theo cách chế tạo, phân biệt dây dẫn một sợi và nhiều sợi.

- Dây dẫn một sợi chỉ có một sợi tròn (hình 4.1a)

- Dây dẫn nhiều sợi được bện bằng nhiều sợi tròn riêng biệt đường kính mỗi sợi 2-3 mm. Khi tiết diện dây dẫn thì số sợi càng nhiều, ví dụ: dây nhôm tiết diện 35 mm^2 gồm 7 sợi (hình 4.1b), còn dây nhôm tiết diện 185 mm^2 gồm 19 sợi.

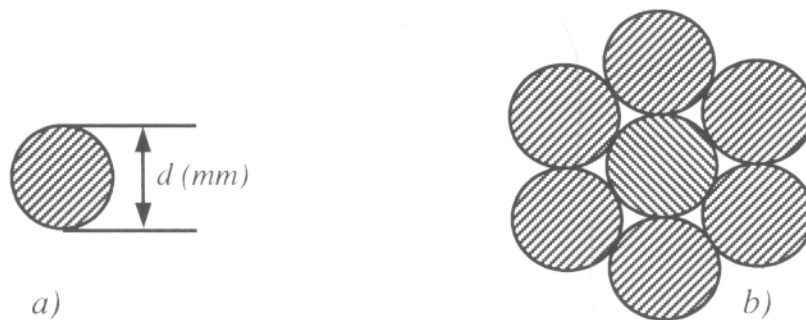
Các lớp sợi sát nhau cuốn chặt theo các hướng khác nhau để đảm bảo dây dẫn có hình dạng tròn và làm cho dây dẫn khó bị tháo ruột ra.

Dây dẫn nhiều sợi so với dây dẫn một sợi có những ưu điểm sau:

+ Dây dẫn nhiều sợi mềm hơn dây dẫn một sợi cùng tiết diện, đảm bảo không biến hình và thuận tiện trong thi công đường dây (đặc biệt đối với đường dây cao áp tiết diện lớn).

+ Sức chống đứt của kim loại chỉ lớn ở các sợi dây đường kính tương đối không lớn lắm. Dây dẫn một sợi tiết diện $25-35 \text{ mm}^2$ và lớn hơn có sức chống đứt nhỏ. Hư hỏng trong một sợi dây nhiều sợi không làm sức bền cơ học của toàn dây dẫn giảm xuống không nhiều so với dây dẫn một sợi.

Các ưu điểm trên của dây dẫn nhiều sợi là nguyên nhân làm cho dây dẫn một sợi chỉ được chế tạo với tiết diện nhỏ.



Hình 4.1. Dây dẫn điện bằng kim loại
a) Dây dẫn một sợi b) Dây dẫn nhiều sợi

Ngoài ra đối với mạng điện có điện áp 220 KV cần thiết phải có dây dẫn đường kính khoảng 25 mm^2 , người ta còn chế tạo và sử dụng dây đồng rỗng giữa để giảm ảnh hưởng của hiện tượng hiệu ứng mặt ngoài và hiệu ứng ở gần.

4.1.1. Dây đồng

Dây đồng là một trong những dây dẫn điện tốt nhất, có khả năng chống lại các sự biến đổi khí hậu bên ngoài và một số lớn phản ứng hoá học trong không khí tương đối tốt. Bên ngoài các sợi dây đồng nhỏ có lớp oxít đồng bao bọc và chúng không bị phá hoại tiếp tục. Do lớp màng mỏng oxít dẫn điện xấu, nên dòng điện của dây dẫn được chia ra nhiều dòng điện khác nhau chạy trong các sợi nhỏ của dây dẫn. Do kết quả trên và do vặn xoắn, điện trở tác dụng của dây đồng vặn xoắn lớn hơn điện trở của dây dẫn không vặn xoắn từ $2 \div 3\%$ (tức là chiều dài của mỗi sợi vặn xoắn lớn hơn chiều dài của dây đo theo trục khoảng $2 \div 3\%$).

Bảng 4.1. đưa ra các đặc tính của dây dẫn bằng đồng.

Bảng 4.1

Thứ tự	0 Tên dây dẫn	Phẩm chất	Điện trở suất ở 20°C, $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	Hệ số biến đổi của điện trở suất theo nhiệt độ	sức bền kéo đứt khi kéo căng, kG/mm^2
1	Dây đồng được bọc - Một sợi: $S = 1,5 \div 16 \text{ mm}^2$ - Nhiều sợi: $S = 10 \div 150 \text{ mm}^2$	Cu E	0,0177 0,0186	0,00393 0,00393	30 ÷ 37 39
2	Dây đồng trần - Một sợi: $S = 6 \div 16 \text{ mm}^2$ - Nhiều sợi: $S = 10 \div 300 \text{ mm}^2$	Cu E	0,01786	0,00393	40

4.1.2. Dây nhôm

Dây nhôm dẫn điện không tốt bằng dây đồng vì điện dẫn suất của nhôm bé hơn điện dẫn của đồng (khoảng 1,6 lần); ứng suất nhỏ do đó khi làm dây dẫn trên không sẽ có độ võng lớn hơn dây dẫn bằng đồng và bằng các kim loại khác. Độ võng của dây tăng làm cho cho cột điện phải làm cao lên.

Về sự chịu đựng ảnh hưởng của môi trường, dây nhôm tốt ngang với dây đồng (với điều kiện dây dẫn nhôm phải rất nguyên chất). Lớp oxit mỏng bao bọc quanh sợi dây, bảo vệ cho dây khỏi bị phá hoại sau này.

Trước đây dây nhôm chỉ được dùng trong các mạng điện địa phương có điện áp đến 35 KV, ngày nay người ta đã nghiên cứu và cho thấy dây nhôm có khả năng dùng ở các đường dây điện áp đến 500 KV.

Khi cần kết hợp dây dẫn có điện trở nhỏ mà sức bền cơ học lớn, người ta dùng dây đồng đổ lõi thép hoặc hợp kim "aldrey" lõi thép (ứng suất của "aldrey" gấp 2 lần nhôm, điện trở suất của lớn hơn nhôm khoảng 10-12%).

Trong tất cả các trường hợp, khi mà dây dẫn bằng kim loại mẫu không thể sử dụng được triệt để, thì sử dụng dây thép. Điện trở, điện kháng của dây thép cao hơn các dẫn điện bằng kim loại mẫu, vì vậy phạm vi sử dụng dây thép bị giới hạn. Chủ yếu chỉ dùng cho các mạng điện nông thôn và các mạng thành thị có công suất nhỏ có điện áp đến 35 KV.

4.1.3. Dây nhôm lõi thép

Dây dẫn của đường dây trên không phải có điện trở nhỏ để giảm bớt tổn thất công suất và điện áp trong các mạng điện. Thêm vào đó, dây dẫn của đường dây trên không là việc ở ngoài trời trong những điều kiện khí hậu nặng nề như: mưa, gió, thay đổi nhiệt độ...cho nên phải khá bền về cơ học và chịu được tác dụng của khí quyển và các tạp chất hoá học trong không khí. Đặc biệt khi các đường dây đi qua những vùng gần biển, hồ nước mặn và các xí nghiệp công nghiệp thải vào không khí các loại khí có thể gây ăn mòn hóa học.

Để đảm bảo được các điều kiện này, các mạng điện truyền tải trên không, có thể dùng dây dẫn đồng và nhôm đã kể ở trên. Trong thực tế các mạng 35-500 KV người thường dùng dây nhôm lõi thép. Đường dây 500 KV của nước ta dùng dây nhôm lõi thép, một pha gồm 4 dây, mỗi dây tiết diện 330mm^2 dùng dây $(4 \times \text{AC}-330)$. Dây nhôm lõi thép gồm những sợi bên làm lõi bên trong bằng thép với ứng suất cao $110-120 \text{ kG/mm}^2$, còn lớp sợi bên ngoài làm bằng nhôm. Lõi thép dùng để tăng cường sức bền cơ học của dây dẫn, nhôm là phần dẫn điện. Mặc dù tiết diện phần thép trung bình nhỏ hơn 5 lần tiết diện phần nhôm nhưng phần thép chịu gần 40% toàn bộ tải trọng cơ học. Để cho tiện, các nhà chế tạo Liên xô (cũ) ký hiệu:

- M là đồng, A là nhôm, C là thép.

- Dây dẫn nhôm lõi thép AC có tỷ số tiết diện nhôm (S_A) và thép (S_C):

$$\frac{S_A}{S_C} = 5,5 \div 6.$$

- Dây dẫn nhôm lõi thép cấu tạo nhẹ ACO có tỷ số tiết diện nhôm và thép:

$$\frac{S_A}{S_C} = 7,8 \div 8$$

- Dây dẫn nhôm lõi thép cấu tạo chắc ACY có tỷ số tiết diện nhôm và thép:

$$\frac{S_A}{S_C} = 4,5$$

Dây ACO thường chế tạo với tiết diện phần nhôm 150 mm^2 và lớn hơn sử dụng tiện lợi nhất. Khi tiết diện của phần nhôm trong dây dầy dưới 120 mm^2 dùng dây nhãn hiệu AC. Dây dẫn ACY được dùng khi cần phải vượt những khoảng vượt lớn và trong những trường hợp đặc biệt khác.

Tiết diện định mức của dây dẫn (trị số tính tròn của tiết diện thực của dây dẫn) được ghi bên cạnh nhãn hiệu. Ví dụ A-50 chỉ dây nhôm (A), tiết diện 50mm^2 ; AC-150 chỉ dây nhôm lõi thép (AC), tiết diện 150mm^2 .

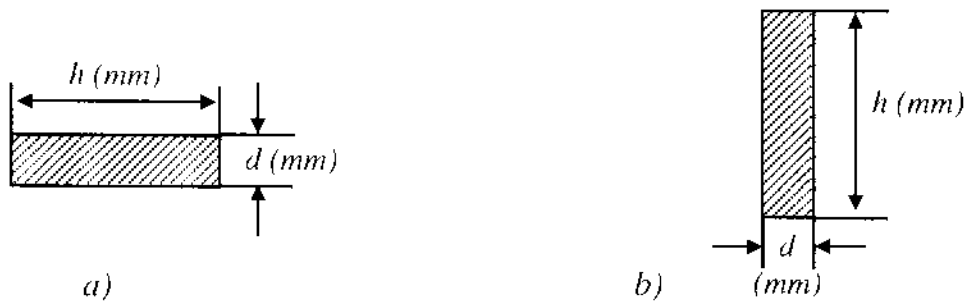
4.2. THANH DẪN

Những thiết bị, khí cụ chính trong hệ thống truyền tải, phân phối điện năng như: máy phát điện, máy biến áp, động cơ điện, máy cắt điện dao cách ly,... được nối với nhau bằng thanh dẫn, thanh góp, dây dẫn và cáp điện lực. Thanh dẫn, thanh góp tùy theo yêu cầu, có thể có chiều dài từ 0,5 - 30 m và gồm hai loại chính: thanh dẫn cứng và thanh dẫn mềm.

4.2.1. Thanh dẫn cứng

Thanh dẫn cứng thường làm bằng đồng hoặc nhôm; còn thép chỉ được dùng khi có dòng điện dưới 200 - 300A. Thanh dẫn cứng dùng làm thanh góp máy phát điện, để nối từ đầu cực máy phát điện với phía cuộn sơ cấp máy biến áp truyền tải; dùng làm thanh góp ở các trạm biến áp có điện áp dưới 35 KV và trong các tủ phân phối điện, tủ động lực,... Tùy theo dòng phải tải mà thanh dẫn có cấu tạo khác nhau.

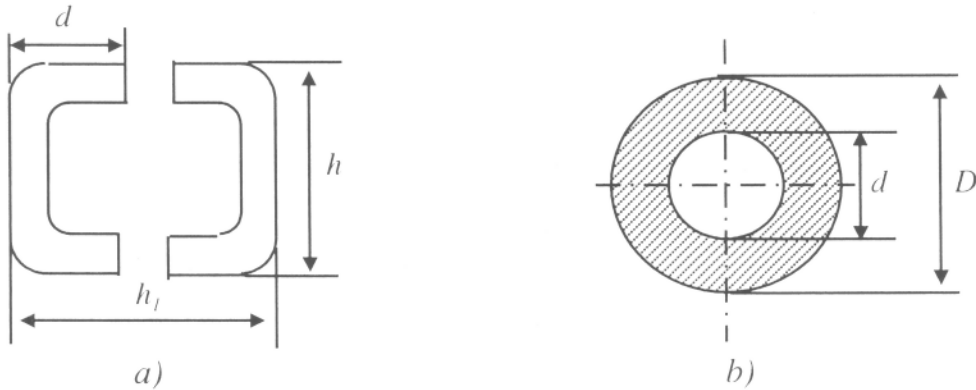
Khi dòng nhỏ thường dùng thanh dẫn cứng tiết diện hình chữ nhật, kích thước tiết diện d/h từ 1/16 đến 10/12 (hình 4.2). Khi dòng điện lớn thì dùng thanh dẫn ghép gồm hai thanh hoặc ba thanh chữ nhật đơn trên mỗi pha và có thể đặt nằm ngang (hình 4.2a) hoặc thẳng đứng (hình 4.2b).



Hình 4.2. Thanh dẫn cứng hình chữ nhật
a) Đặt nằm ngang b) Đặt thẳng đứng

Còn đối với dòng điện trên 3000A thì dùng thanh dẫn hình máng (hình 4.3a) để giảm hiệu ứng mặt ngoài và hiệu ứng gần, đồng thời tăng khả năng làm

mát cho chúng. Khi dòng điện lớn nữa thì dùng thanh dẫn cứng tiết diện hình ống (hình 4.3b).



Hình 4.3
a) Thanh dẫn hình máng b) Thanh dẫn hình ống

4.2.2. Thanh dẫn mềm

Thanh dẫn mềm thường dùng để làm thanh gố thanh dẫn cho thiết bị ngoài trời điện áp 35KV trở lên. Nó là dây vặn xoắn bằng đồng hoặc nhôm lõi thép. Khi dùng một sợi dây không đủ tải dòng điện cần phải dùng chùm các dây dẫn mềm. Chùm các dây dẫn mềm gồm nhiều dây dẫn phân bố đều và kẹp chặt trên vòng kim loại thường có dạng vòng tròn.

Thanh dẫn, thanh gố của ba pha được bố trí nằm ngang, thẳng đứng hoặc ba pha trên các đỉnh tam giác.

4.3. CÁP ĐIỆN LỰC

Cáp đóng vai trò rất quan trọng trong việc truyền dẫn năng lượng và tín hiệu điện từ. Các đặc tính về điện, cơ lý và môi trường là yếu tố trong việc chọn và sử dụng cáp trong truyền tải và phân phối điện.

Các loại cáp đều gồm 3 bộ phận chính là: lõi thường là dây đồng hoặc nhôm (một hay nhiều lõi cách điện xoắn với nhau), tiếp theo là các lớp cách điện và điều chỉnh điện trường, ngoài cùng là lớp vỏ bảo vệ để có thể đặt cáp trong hầm dưới đất.

Sau đây sẽ xét cụ thể một số loại cáp điện lực hay dùng.

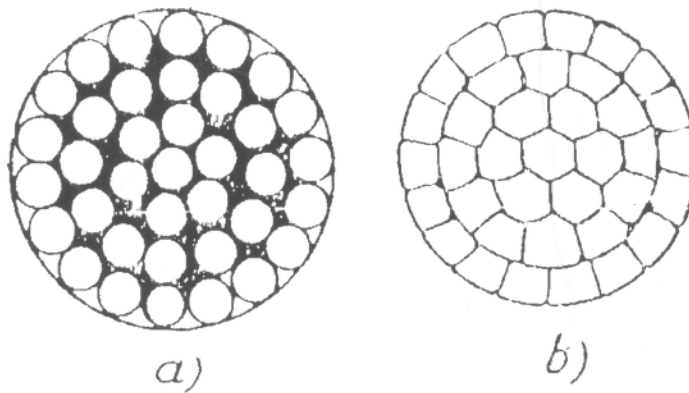
4.3.1. Cáp điện lực cách điện bằng giấy tẩm dầu điện áp 1 đến 35 KV

1. Phần lõi dẫn điện

Được chế tạo bằng các sợi đồng hay nhôm. Lõi đồng được làm bằng các sợi đồng mềm có điện trở nhỏ hơn làm bằng đồng kéo nguội.

Các sợi nhôm không được nung nóng vì độ dẫn điện của dây không phụ thuộc vào mức nung nóng.

Để giảm đường kính của lõi, điều này cũng làm giảm chi phí vật liệu cách điện và vật liệu khác trong cáp, cũng như để giảm sự chảy của các giấy tẩm dầu, các thành phần của lõi cáp phải thật chặt và khít nhau. Các sợi dây tròn biến thành đa giác giáp khít sợi nọ với sợi kia (hình 4.4)



Hình 4.4. Lõi cáp hình tròn

a) Không khít

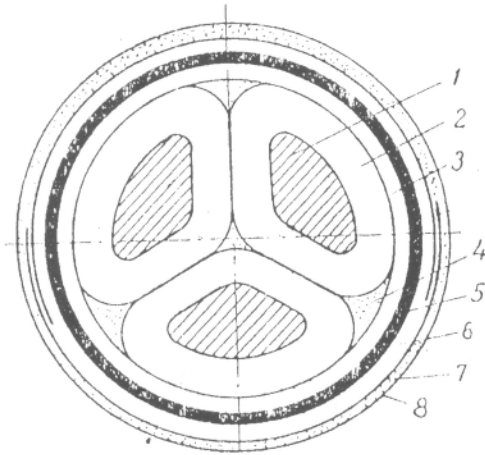
b) Khít

Tất cả lõi dẫn điện tiết diện 2,5 đến 16 mm² đều chế tạo bằng một sợi tiết diện tròn. Trong cáp một lõi 25 mm² thì lõi được chế tạo bằng nhiều sợi ghép lại thành hình tròn, trong cáp 3 lõi hay 4 lõi thì các lõi do tạo bằng nhiều sợi ghép lại thành các hình quạt ghép khít với nhau

2. Phần cách điện

Cách điện giữa các pha của lõi dây cáp dùng các băng giấy tẩm dầu cuốn nhiều lớp (hình 4.7). Các dây đã được cách điện, xoắn lấy nhau, sau đó các khe hở giữa chúng được lấp kín bằng các nêm giấy, được đặt trong chất cách điện bằng giấy. Giấy cách điện của cáp được tẩm dầu.

Mặt ngoài lớp cách điện ngoài cùng, để bảo vệ đảm bảo cách điện khỏi bị ẩm ướt và khỏi bị lực cơ giới phá hoại, người ta bọc một lớp vỏ kín bằng chì hay nhôm (hình 4.5)



Hình 4.5. Cáp 3 lõi hình quạt

1. Lõi dẫn điện; 2. Cách điện giữa các pha; 3. Cách điện chung; 4. Cái đệm; 5. Vỏ (nhôm); 6. Lớp ngăn vỏ bọc; 7. Vỏ bọc bằng thép; 8. Vỏ bảo vệ

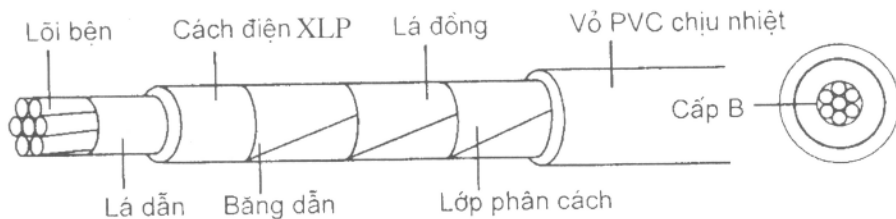


Hình 4.6. Cáp 4 lõi

a) Ba lõi hình quạt và lõi trung tâm hình tròn.
b) Các lõi hình quạt.

Cáp 35 KV với cách điện bằng giấy dầu được chế tạo với lõi bọc chì riêng biệt, mỗi lõi hình tròn cách điện được bọc một lớp vỏ chì. Lớp vỏ chì này có mục đích tạo nên một điện trường rất đều.

Ngày nay người ta đã chế tạo được các loại cáp mới có cấu tạo hoàn hảo hơn và được sử dụng rất rộng rãi trong thực tế. Cấu tạo của loại này: có lõi đồng hoặc nhôm cách điện bằng XLP, mặt ngoài lớp vỏ có lớp màng bằng các băng đồng mỏng (lá đồng), ngoài băng đồng có lớp vỏ bọc kín bằng nhựa PVC (hình 4.7)



Hình 4.7

4.3.2. Cáp điện lực 35 đến 220 KV

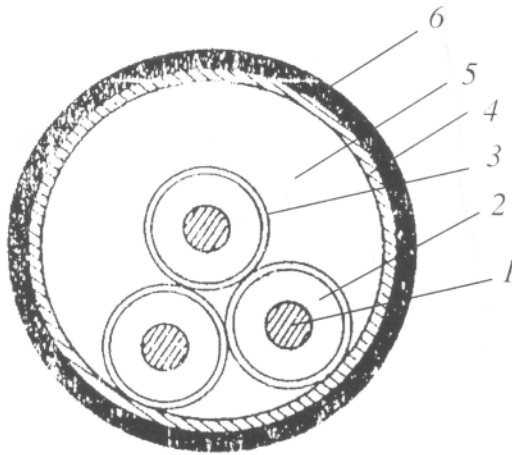
ở cấp điện áp 35-220 KV trong trường hợp dẫn điện vào các trạm hạ áp trong trung tâm thành phố không thể dùng đường dây trên không, cáp có cấu tạo như đã kể trên cũng không thể đảm bảo ở cấp điện áp này. Lúc đó người ta phải

chế tạo những cáp điện lực với những yêu cầu cách điện khắt khe hơn rất nhiều về chất làm cách điện.

Dưới đây giới thiệu một vài loại cáp 35-220 KV.

1. Cáp dây khí

Cách điện giữa lõi dẫn điện và vỏ chì vẫn dùng cách điện bằng băng giấy tẩm dầu, nhưng ở lớp trung gian giữa các băng giấy có hơi (khí) ép. ở điện áp 35 KV áp suất 3-5 at, còn cáp 110 KV 10-15 at. khí chứa trong cáp phải có độ bền về điện cao, độ dẫn nhiệt tốt, phải là khí trơ, rẻ tiền (thường dùng khí nitơ độ nguyên chất trên 99,5%, nếu lẫn oxy và hơi nước sẽ làm giảm cách điện). Phổ biến nhất là loại cáp dây khí 110 KV có cấu tạo như (hình 4.8)



Hình 4.8. Cáp chứa dây khí

- 1. Lõi; 2. Cách điện; 3. Vỏ;
- 4. Ống thép; 5. Khí nén;
- 6. Lớp bảo vệ chống ăn mòn

Ba lõi của cáp cách điện bằng giấy, đặt trong ống thép. Trong ống có khí trơ (nitơ) áp suất 10-15 at chứa trong lớp trung gian giữa lớp giấy cách điện và khoảng trống trong lớp cách điện.

2. Cáp dầu có cách điện bằng giấy tẩm dầu, trong khoảng trống chứa đầy dầu có áp suất, dùng trong các mạng điện 110 - 400 KV.

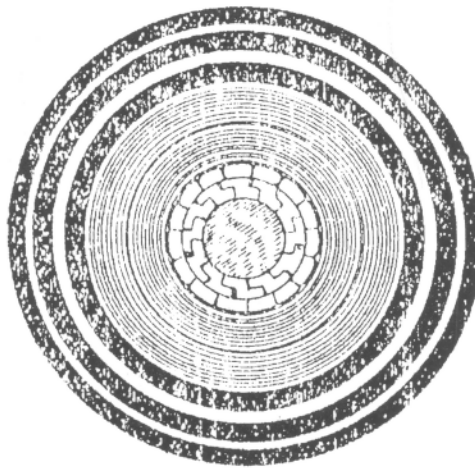
Phổ biến nhất là loại cáp có áp suất dầu trung bình 2-4 at trong khi làm việc. Cáp dầu áp suất cao 10-15 at dùng thích hợp với điện áp đến 400 KV. Cáp

dầu áp suất cao yêu cầu vỏ chì rất kiên cố, các khớp nối vào các thiết bị rất phức tạp.

Cáp chứa đầy dầu một lõi trên hình 4.9 có lõi rỗng làm bằng các sợi tròn uốn quanh một lõi hình xoắn ốc hay là dây cắt có các vết khía đặc biệt, đảm bảo cho dầu chảy từ đường dẫn dầu trung tâm đến cách điện. Dầu chảy theo đường dẫn dầu trong ống rỗng. Sự tản của cáp đầy dầu được thực hiện nhờ dầu ít nhớt (dầu có độ nhớt thấp) có độ bền về điện cao và đặc tính điện ổn định cao trong không khí, đồng và chì.

Áp suất của dầu biến đổi phụ thuộc dòng điện phụ tải của dây cáp và nhiệt độ môi trường xung quanh. Để duy trì áp suất dầu trong một giới hạn nhất định người ta dùng một thùng điều hoà áp suất.

Lớp vỏ bảo vệ bên ngoài của cáp đặt trong hầm làm bằng nhựa đường và bao gồm từ trong ra ngoài: lớp nhựa đường, băng giấy, lớp sợi cáp có tẩm dầu và vỏ cứng.



Hình 4.9. Cáp chứa đầy dầu 1 lõi

4.4. DÂY ĐIỆN TỪ

Kim loại dùng làm dây điện từ thường bằng đồng, cũng có thể bằng nhôm tiết diện hình tròn hoặc hình chữ nhật có bọc cách điện bằng một lớp sơn emay hoặc các sợi vải sơn bao quanh dây. Dây điện từ chính là các dây quấn trong các máy điện (máy phát điện, máy biến áp và động cơ điện) và các khí cụ điện. Bảng 4.2 đưa ra một số loại dây đồng hay dùng để quấn dây trong các máy điện và khí cụ điện.

Bảng 4.2

Tên dây	Phẩm chất	Sức bền kéo đứt, (kG/mm ²)	ρ ở 20°C, (Ω mm ² /m)	Hệ số α , (1/°C)
Dây tròn cách điện bằng sợi bông (cotton)	Cu E	20-27	0,01754	0,00393
Dây đồng cách điện bằng tơ lụa	Cu E	20-27	0,01754	0,00393
Dây đồng chữ nhật cách điện bằng sợi bông	Cu E	20-27	0,01754	0,00393
Dây đồng cách điện bằng men vecni	Cu E	20-27	0,01754	0,00393
Dây đồng cách điện bằng men vecni và sợi bông	Cu E	20-27	0,01754	0,00393
Dây đồng chữ nhật cách điện bằng giấy	Cu E	20-27	0,01754	0,00393

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 4

1. Các loại dây dẫn điện? So sánh ưu nhược điểm của chúng?
2. Thanh dẫn điện: cấu tạo và ứng dụng?
3. Cáp điện lực: cấu tạo và sử dụng trong thực tế?
4. Dây điện từ?

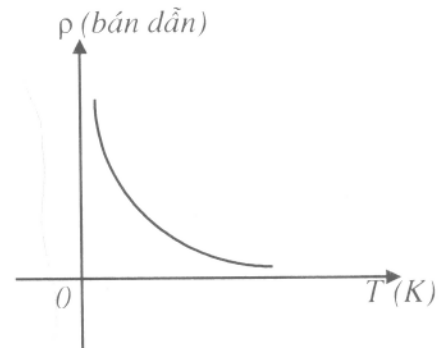
CHƯƠNG 5

VẬT LIỆU BÁN DẪN

5.1. ĐẶC ĐIỂM DẪN ĐIỆN CỦA VẬT LIỆU BÁN DẪN

Vật liệu bán dẫn (VLBD) gồm nhóm vật chất có tính trung gian giữa vật liệu dẫn điện và vật liệu cách điện. Đặc điểm của nó là điện trở suất lớn hơn vật liệu dẫn điện nhưng nhỏ hơn của vật liệu cách điện ($\rho = 10^{-4} \div 10^{10} \Omega \text{cm}$). Tuy nhiên không có một danh giới rõ rệt giữa ba loại vật liệu kể trên.

Điểm khác biệt quan trọng giữa vật liệu bán dẫn và vật liệu dẫn điện là sự biến thiên của điện trở suất theo nhiệt độ: khi nhiệt độ tăng, điện trở suất của vật liệu dẫn điện tăng lên, còn điện trở suất của vật liệu bán dẫn lại giảm đi có dạng như đồ thị hình 5.1

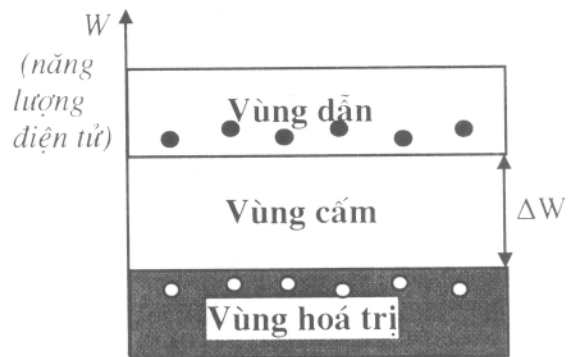


Hình 5.1

Như vậy ở nhiệt độ thấp chất bán dẫn có tính cách điện như điện môi, còn ở nhiệt độ cao thì chất bán dẫn lại dẫn điện tốt. Điều này có thể giải thích như sau :

Chương 1 ta đã biết cấu trúc các vùng năng lượng của chất bán dẫn ở OK được mô tả trên hình 5.2.

- điện tử tự do
- lỗ trống trong vùng hoá trị



Hình 5.2

Vùng hoá trị và vùng dẫn cách nhau bởi **vùng cấm**. Ở OK, vùng hoá trị hoàn toàn đầy, vùng dẫn còn trống, chất bán dẫn có tính cách điện.

Khi nhiệt độ tăng cao hơn thì điện tử tự do có thể bứt khỏi vùng hoá trị, vượt qua vùng cấm vào vùng dẫn, nên chất bán dẫn có tính dẫn điện.

Các chất có tính bán dẫn điện tồn tại rất phổ biến trong tự nhiên và được ứng dụng rất nhiều trong kỹ thuật điện, đặc biệt trong kỹ thuật điện tử.

Chất bán dẫn trong thực tế có thể ở dưới dạng nguyên chất, còn gọi là chất bán dẫn thuần (Si, Ge, As, C, P, S, Se,...) hoặc ở dạng hợp chất, gọi là bán dẫn tạp chất (tất cả các oxit kim loại, các sêlenua và telurua của nhiều kim loại).

5.2. VẬT LIỆU BÁN DẪN NGUYÊN CHẤT

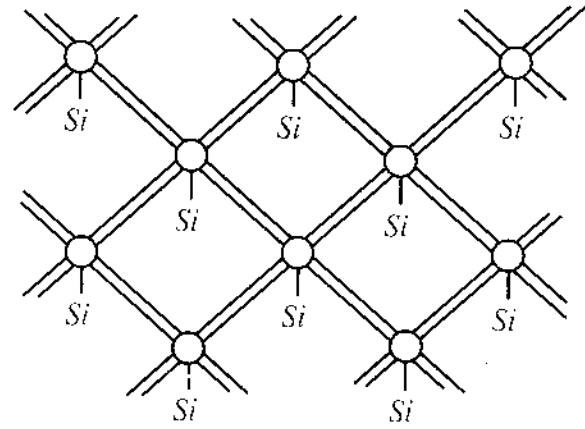
5.2.1. Dòng điện trong chất bán dẫn nguyên chất

Để hiểu được bản chất sự dẫn điện của bán dẫn ta nghiên cứu cấu trúc bên trong của nó. Ta hãy xét tinh thể Silic là một bán dẫn điển hình.

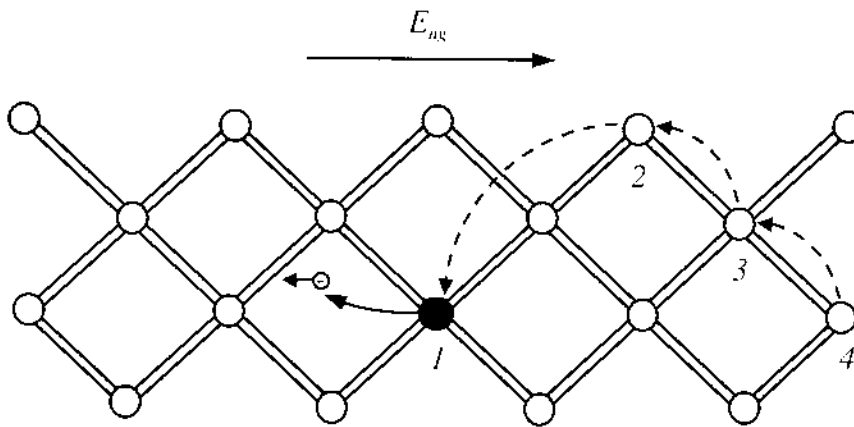
Trong mạng tinh thể, mỗi nguyên tử Si liên kết với 4 nguyên tử Si khác ở bên cạnh bằng 4 mối liên kết đồng hoá trị (Hình 5.3).

Ở nhiệt độ thấp những liên kết này rất bền vững. Do đó chất bán dẫn Si có tính dẫn điện.

Khi đốt nóng, mạng tinh thể chất bán dẫn Si thu thêm năng lượng. Do chuyển động nhiệt, một số nguyên tử mất liên kết với hạt nhân, trở thành điện tử tự do. Hình 5.4 giúp ta hình dung được tình trạng của chất bán dẫn lúc này.



Hình 5.3 Mô hình cấu trúc nguyên tử Si



Hình 5.4

Giả sử khi một điện tử tách khỏi nguyên tử số 1, nguyên tử này trở thành ion dương, xem như một lỗ trống có thể lấy điện tử của một nguyên tử 2 nào đó

ở gần để lấp lỗ trống và trở thành trung hoà. Nguyên tử số 2 vừa mất điện tử lại trở thành lỗ trống và lại lấy điện tử của nguyên tử 3 nào đó ở gần. Hiện tượng cứ tiếp diễn như vậy gây ra sự chuyển dịch của vị trí lỗ trống. Nếu không có điện trường ngoài E_{ng} tác động, hiện tượng xảy ra hỗn độn, trong chất bán dẫn không có dòng điện. Còn nếu có điện trường ngoài E_{ng} , điện tử sẽ chuyển dịch ngược chiều điện trường (hình 5.4) tạo thành dòng điện. Tính dẫn điện của chất bán dẫn Si tăng lên.

Vậy bản chất của dòng điện trong chất bán dẫn là dòng chuyển dời có hướng đồng thời của điện tử ngược chiều điện trường và lỗ trống thuận chiều điện trường.

5.2.2. Một số chất bán dẫn thường gặp

1. Silic, (Si)

Si là một trong những nguyên tố có rất nhiều trong thiên nhiên dưới dạng SiO_2 trong các mỏ khác nhau và dưới dạng Silicat (Si chiếm khoảng 28% trong lớp vỏ trái đất). Nhưng, kỹ thuật để sản xuất Si tinh khiết rất phức tạp nên những dụng cụ sử dụng bán dẫn Si rất đắt so với các dụng cụ bán dẫn sử dụng các chất khác mặc dù các chất này trong thiên nhiên hiếm hơn nhiều so với Si.

Điện dẫn suất của Si biến đổi trong phạm vi rộng, $\gamma = (7 \cdot 10^2 \div 10^{-2}) \text{ } 1/\Omega \text{ cm}$.

Silic nguyên chất được chế tạo làm các điện trở phi tuyến trong mạch điện tần số cao, dùng làm chất bán dẫn điện trong các máy tách sóng, trong các bộ khuếch đại,...

Silic được sử dụng như chất khử oxy trong luyện kim.

Silic trong hợp kim Sắt - Silic (4% Si) được chế tạo dưới dạng tấm, lá dùng để làm lõi thép dẫn từ của các máy biến áp. Ngoài ra nó còn được sử dụng để chế tạo các hợp kim khác của sắt - Si ; đồng thanh, đồng thau - Silic, ... được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp

2. Giecmani, (Ge)

Ge rất hiếm trong tự nhiên, có mặt trong các hợp chất dưới dạng mỏ: ác-girô-dít ($\text{GeS}_2 \cdot 4\text{Ag}_2\text{S}$), Canfidit [$4\text{Ag}_2(\text{GeSn})\text{S}_2$], Cu_3GeS , ngoài ra còn tìm thấy rất ít trong các mỏ kẽm và trong tro.

Điện dẫn suất của Ge, $\gamma = (10^3 \div 10^{-2}) \text{ } 1/\Omega \text{ cm}$.

Ge được dùng để chế tạo các chất bán dẫn trong các máy tách sóng, các bộ chỉnh lưu phẳng, các transisto và các bộ khuếch đại....

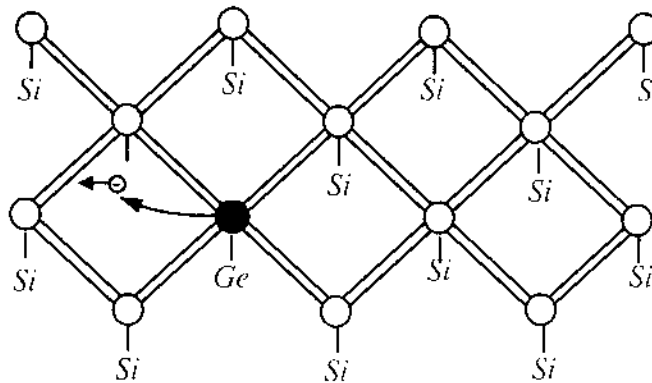
5.3. VẬT LIỆU BÁN DẪN TẠP CHẤT

5.3.1. Dòng điện trong vật liệu bán dẫn tạp chất

Trong thực tiễn, chế tạo các chất bán dẫn nguyên chất rất khó khăn. Các bán dẫn thường có lẫn một ít tạp chất, hơn nữa trong kỹ thuật người ta còn chủ động pha thêm tạp chất vào chất bán dẫn nguyên chất.

Nếu có một ít tạp chất lẫn vào (dù là một lượng rất nhỏ, không đáng kể) cũng đủ làm cho độ dẫn điện của chất bán dẫn tăng lên nhiều lần, thậm chí hàng chục nghìn lần.

Ví dụ, nếu cho vào Si một ít Ge là chất có 5 điện tử hoá trị; khi vào mạng tinh thể Si, 4 điện tử hoá trị của Ge kết chặt từng đôi một với 4 điện tử của các nguyên tử Si láng giềng, còn điện tử thứ 5 trở thành điện tử tự do chuyển động tự do trong mạng tinh thể (hình 5.5). Khi đó mật độ điện tử tự do trong chất bán dẫn Si tăng lên rất nhiều. Dưới tác dụng của điện trường, các điện tử tự do này chuyển động có hướng tạo thành dòng điện. Loại bán dẫn có tính chất dẫn điện chủ yếu bằng điện tử tự do gọi là *chất bán dẫn loại n* hay bán dẫn điện tử.



Hình 5.5

Nếu ta cho vào Silic một chút các nguyên tố thuộc nhóm III trong bảng hệ thống tuần hoàn Mendeleev, chẳng hạn Indi (In) : ở vành ngoài cùng của In có 3 điện tử hoá trị, nên khi vào mạng tinh thể Si, nó tạo ra một lỗ trống trong mối liên kết giữa các nguyên tử. Điện tử của nguyên tử bên cạnh dễ dàng nhảy vào lỗ trống này và tạo thành lỗ trống mới, quá trình cứ tiếp diễn mãi; lỗ trống chạy tự do trong tinh thể. Khi đó mật độ lỗ trống trong chất bán dẫn tăng lên rất nhiều.

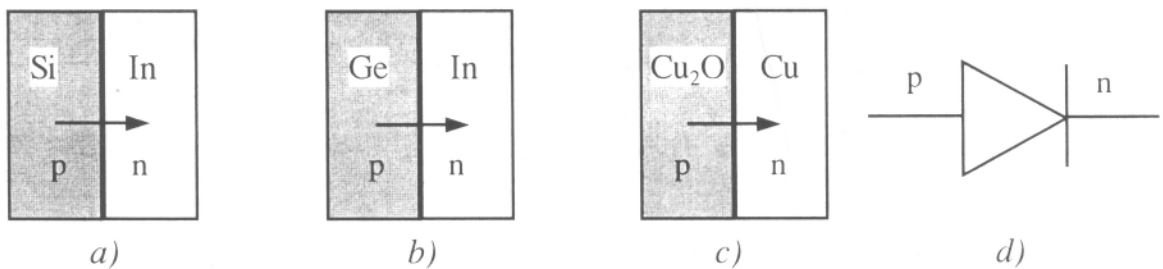
Dưới tác dụng của điện trường, điện tử chuyển dời có hướng ngược chiều điện trường, còn lỗ trống thì chuyển dịch thuận chiều điện trường. Ta xem lỗ trống tương tự như điện tích dương và dòng điện chạy trong chất bán dẫn này là dòng những lỗ trống chuyển động. Chất bán dẫn này gọi là *chất bán dẫn loại p* hay bán dẫn lỗ trống.

5.3.2. Những ứng dụng chủ yếu của vật liệu bán dẫn tạp chất

Bằng cách ghép các bán dẫn loại n với loại p, người ta đã chế tạo được rất nhiều dụng cụ điện, điện tử quan trọng.

1. Điốt bán dẫn (đèn bán dẫn 2 cực).

Điốt bán dẫn gồm 2 chất bán dẫn loại p và n tiếp xúc nhau. Điện tử tự do bên n khuếch tán sang p và lỗ trống bên p khuếch tán sang n. Ranh giới giữa 2 chất tạo thành điện trường tiếp xúc E_{tx} chiều từ n sang p ngăn không cho lỗ trống và điện tử khuếch tán sang nữa.



Hình 5.6

a) Điốt Silic, b) Điốt Gecmani, c) Điốt Oxit đồng, d) Sơ đồ Điốt trong các mạch điện

Nếu đặt một điện áp thuận vào hai chất bán dẫn (Cực dương ở p và cực âm ở n) thì điện trường do nguồn điện ngoài E_{ng} sinh ra sẽ ngược chiều với điện trường tiếp xúc E_{tx} và có tác dụng khử ảnh hưởng của E_{tx} . Điện tử và “lỗ” lại dễ dàng chuyển qua mặt tiếp xúc, điốt dẫn điện tốt.

Nếu đặt một điện áp ngược lại, điốt gần như không dẫn điện.

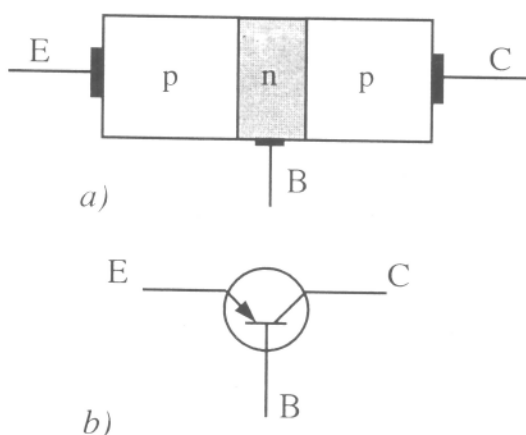
Vậy Điốt chỉ dẫn điện đi theo 1 chiều từ chất bán dẫn loại p sang loại n.

Do tính chất này, điốt bán dẫn được dùng làm chỉnh lưu dòng điện (nắn điện). Trên hình 5.6 là các loại điốt hay dùng trong kỹ thuật.

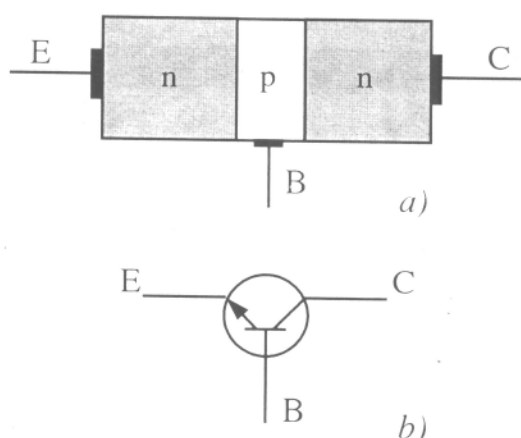
2. Transisto (đèn bán dẫn 3 cực).

Transisto là một loại đèn bán dẫn có khả năng khuếch đại. Nó gồm 3 lớp bán dẫn có tính dẫn điện khác nhau hợp thành.

Transisto loại p-n-p như hình 5.7 và transisto loại n-p-n như hình 5.8.



Hình 5.7 Transisto loại n-p-n

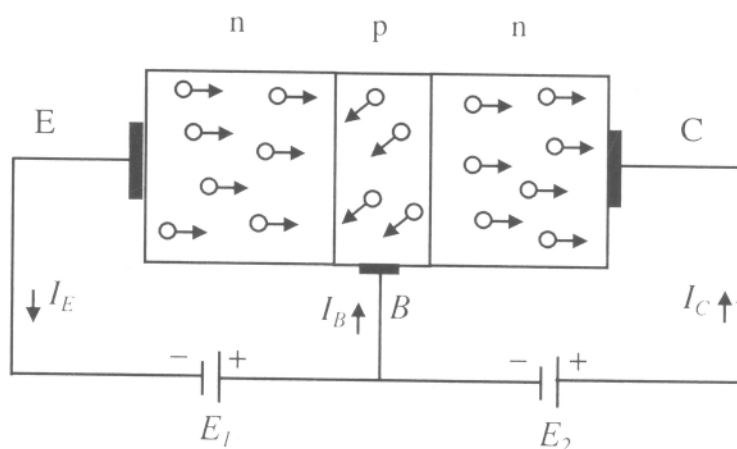


Hình 5.8 Transisto loại p-n-p

Quy ước, phần giữa của transisto, cực nối với chất bán dẫn p gọi là cực gốc hay bazo (B). Cực đặt điện áp thuận với cực gốc là cực phát hay êmetơ (E), cực còn lại là cực góp hay côlectơ (C).

Sau đây, ta xét nguyên lý làm việc của loại n-p-n (hình 5.9), còn loại p-n-p cũng xét tương tự, chỉ cần thay đổi vai trò của điện tử và lỗ trống.

Khi cho 3 lớp n-p-n tiếp xúc với nhau, giữa chúng sẽ tạo ra những điện trường tiếp xúc. Giữa 2 chất bán dẫn n và p (bên trái) đặt một nguồn điện áp thuận E_1 nhỏ còn giữa 2 chất bán dẫn n và p (bên phải) đặt một nguồn điện áp ngược E_2 lớn (thường E_2 lớn hơn E_1 từ 5 đến 10 lần).



Hình 5.9

Vì điện áp giữa cực phát E và gốc B thuận nên dòng điện dễ dàng từ cực phát sang cực gốc. Lớp p rất mỏng nên đa số các điện tử từ n lọt sang p chưa kịp

lắp vào lỗ trống thì bị điện trường mạnh của điện áp ngược kéo về cực góp C. Chỉ có một số ít điện tử lắp vào lỗ trống ở lớp p và tạo nên dòng điện cực - gốc rất nhỏ.

Như vậy có thể nói dòng điện cực góp xấp xỉ bằng dòng điện cực phát nhưng vì giữa cực phát và cực gốc có điện áp thuận nên chỉ cần một sự thay đổi nhỏ của E_1 cũng làm thay đổi dòng điện cực phát và cực góp nhiều, nên điện áp lấy ra sẽ thay đổi lớn. Do đó transisto có tính khuếch đại liên tục.

Transisto được ứng dụng rất nhiều trong kỹ thuật hiện đại: các mạch khuếch đại, tạo ra dao động điện, các vi mạch điện tử bán dẫn,...trong máy thu thanh, vô tuyến truyền hình và trong các máy tính.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 5

1. Đặc điểm dẫn điện của vật liệu bán dẫn ?
2. Đặc điểm và ứng dụng của chất bán dẫn nguyên chất ?
3. Đặc điểm và ứng dụng của chất bán dẫn tạp chất ?

CHƯƠNG 6

VẬT LIỆU TỪ

6.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ VẬT LIỆU TỪ

6.1.1. Sự nhiễm từ của các chất

Ta đã biết nếu xung quanh dòng điện có môi trường vật chất thì cảm ứng từ trong môi trường này khác cảm ứng từ của từ trường trong chân không gây ra bởi cùng dòng điện đó. Vì khi môi trường vật chất đặt trong từ trường của dòng điện thì trong môi trường đó sẽ xuất hiện thêm từ trường phụ. Ta nói môi trường đó bị nhiễm từ. Môi trường có khả năng nhiễm từ gọi là chất từ hay vật liệu từ.

Để giải thích từ tính của nam châm, Ampe là người đầu tiên nêu lên giả thuyết về các dòng điện kín tồn tại trong lòng nam châm gọi là dòng điện phân tử. Theo Ampe thì từ trường của nam châm chính là từ trường của các dòng điện phân tử trong lòng nam châm đó. Ngày nay ta hiểu dòng điện phân tử chính là do các điện tử chuyển động bên trong nguyên tử, phân tử tạo thành. Có thể dùng khái niệm dòng điện phân tử để giải thích sự nhiễm từ của các chất thuận từ và nghịch từ, còn đối với sự nhiễm từ của các chất sắt từ thì không thể giải thích bằng dòng điện phân tử mà bằng một lý thuyết khác. Tuy nhiên cái chính của giả thuyết Ampe là dòng điện sinh ra từ trường thì vẫn giữ nguyên giá trị.

6.1.2. Phân loại vật liệu theo từ tính

Tại mỗi điểm trong từ trường, hệ số từ thẩm bằng tỷ số giữa cường độ từ cảm B và cường độ từ trường H .

Môi trường là chân không, có các trị số cường độ từ cảm B_0 và từ trường H_0 , thì:

$$\mu_0 = \frac{B_0}{H_0} \quad (6.1)$$

μ_0 -hệ số từ thẩm tuyệt đối của chân không, về trị số $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/m}$. Đơn vị Vs/m còn gọi là Henry/mét (H/m).

Trong môi trường khác chân không, ta có:

$$\mu \mu_0 = \frac{B}{H} \text{ hay } B = \mu \mu_0 H \quad (6.2)$$

μ - hệ số từ thẩm tương đối của môi trường từ trường khác chân không, cho biết hệ số từ thẩm tuyệt đối của môi trường so với hệ số từ thẩm của chân không μ_0 là bao nhiêu.

Theo hệ số từ thẩm và từ tính của vật chất, người ta chia ra các chất thuận từ, nghịch từ và dẫn từ.

1. Chất thuận từ: là chất có độ từ thẩm $\mu > 1$ và không phụ thuộc vào cường độ từ trường ngoài. Loại này gồm có oxy, nitơ, oxyt, muối sắt, muối coban, muối niken, kim loại kiềm, nhôm, bạch kim.

2. Chất nghịch từ: là chất có độ từ thẩm $\mu < 1$ và không phụ thuộc vào cường độ từ trường ngoài. Loại này gồm có hydro, các khí hiếm, đa số các hợp chất hữu cơ, đồng, kẽm, bạc, vàng, thủy ngân, antimon, gali,....

Các chất thuận từ và nghịch từ giống nhau ở chỗ từ yếu, tức là cùng có độ từ thẩm μ sắp xỉ bằng 1. Ví dụ nhôm là chất thuận từ có $\mu = 1,000023$, còn đồng là chất nghịch từ có $\mu = 0,999995$.

3. Chất dẫn từ: là chất có độ từ thẩm $\mu \gg 1$ và phụ thuộc vào cường độ từ trường ngoài. Loại này gồm có sắt, niken, coban và các hợp kim của chúng, hợp kim crôm - mangan, gadôlonit và ferit có các thành phần khác nhau.

6.2. VẬT LIỆU SẮT TỪ

6.2.1. Vật liệu sắt từ

Vật liệu quan trọng nhất được sử dụng trong kỹ thuật điện, điện tử là sắt từ và các hợp chất sắt từ (ferit).

Trong tự nhiên có một số ít chất (sắt, coban, niken và các hợp kim của chúng) có tính nhiễm từ rất mạnh. Các vật liệu này gọi chung là vật liệu sắt từ. Độ từ thẩm của các chất này lớn hàng nghìn lần, thậm chí có trường hợp cao hơn rất nhiều. Tính chất sắt từ thể hiện khi các chất ở trạng thái tinh thể.

6.2.2. Sự nhiễm từ của sắt

Tính nhiễm từ mạnh của sắt giải thích tại sao nam châm và sắt bao giờ cũng hút nhau. Một miếng sắt đặt gần một nam châm sẽ bị nhiễm từ rất mạnh và cũng trở thành một nam châm. Đầu miếng sắt gần cực bắc của nam châm, sẽ trở thành cực nam và ngược lại. Hai cực khác tên bao giờ cũng hút nhau.

Tính nhiễm điện của sắt không thể giải thích bằng các dòng điện phân tử mà bằng các miền nhiễm từ tự nhiên. Khi không có từ trường ngoài các miền nhiễm từ tự nhiên này được sắp xếp sao cho từ trường của các miền nhiễm từ tự nhiên khử lẫn nhau. Khi đặt vào từ trường ngoài thì sẽ xảy ra sự phân bố lại các miền nhiễm từ tự nhiên dẫn đến kết quả là sắt bị nhiễm từ mạnh.

6.2.3. Các tính chất của vật liệu sắt từ

1. Hệ số từ thẩm μ của vật liệu sắt từ rất lớn

Hệ số từ thẩm lớn nhất μ_{Max} của một số chất ở bảng 6.1.

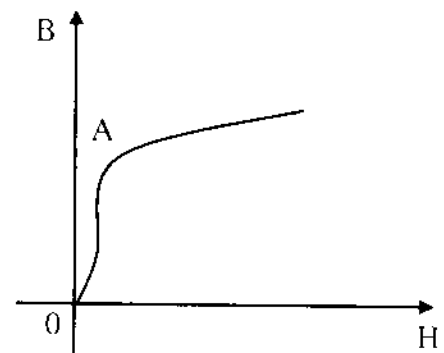
Bảng 6.1

STT	Vật liệu sắt từ	Hệ số μ_{Max}
1	Sắt nguyên chất	280.000
2	Sắt non	8.000
3	Thép Silic kỹ thuật điện	15.000
4	Pecmaloi (78%Ni, 22%Fe)	80.000
5	Siêu hợp kim (79Ni, 15Fe, 5Mn, 0,5 Mn)	1.500.000

2. Hệ số từ thẩm μ của vật liệu sắt từ không phải là hằng số

Quá trình từ hoá của vật liệu từ được đặc trưng bằng quan hệ giữa từ cảm B và cường độ từ trường H, $B = f(H)$ gọi là đường cong từ hoá (không phải là đường thẳng). Đường cong từ hoá của tất cả các vật liệu sắt từ gần giống nhau (hình 6.1). Đường cong này là đường cong từ hoá ban đầu (cơ bản).

Ở giai đoạn đầu khi tăng dòng điện từ hoá trong cuộn dây, thì cường độ từ trường H sẽ tăng và cảm ứng từ B cũng tăng theo, quan hệ $B = f(H)$ ở đoạn OA. Tiếp tục tăng H thì B tăng ít hơn: giai đoạn gần bão hoà. Hệ số từ thẩm μ giảm dần. Đến khi cường độ từ trường H đủ lớn thì từ cảm B hầu như không tăng lên nữa: giai đoạn bão hoà, hệ số từ thẩm μ sẽ tiến đến 1.



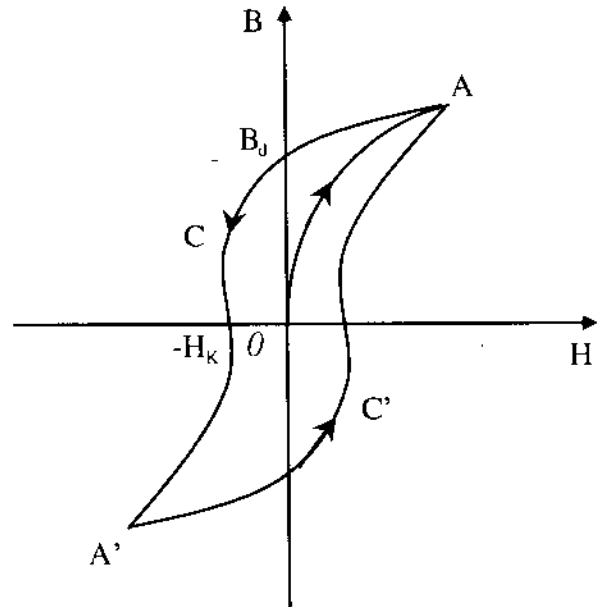
Hình 6.1 Đường cong từ hoá cơ bản

3. Mọi vật liệu sắt từ đều có tính từ dư

Tính từ dư thể hiện ở chỗ khi đã cắt bỏ từ trường ngoài (cho $H = 0$, khi cắt bỏ dòng điện từ hoá trong các cuộn dây) thì chất sắt từ vẫn còn giữ từ tính (duy trì một từ trường có từ cảm B).

Tính chất từ dư được khảo sát trong quá trình từ hoá vật liệu sắt từ bằng cách thay đổi chiều và cường độ từ trường H tác động lên môi trường sắt từ.

Hình 6.2 vẽ đường cong biểu diễn quan hệ $B = f(H)$ trong vật liệu sắt từ.



Hình 6.2 Đường cong từ trễ

Đầu tiên khi tăng dòng điện từ hoá trong cuộn dây, từ trường H tăng và từ cảm B cũng tăng theo OA . Sau đó nếu giảm H thì B giảm theo đường ACA' .

Tiếp tục lại tăng H tại điểm A' thì từ cảm B cũng sẽ tăng nhưng theo đường $A'C'A$. Đường cong $ACA'C'A$ ứng với quá trình từ hoá như trên gọi là chu trình từ trễ (thường gọi là đường cong từ trễ).

Nói một cách khác, khi từ hoá vật liệu sắt từ với cường độ từ trường thay đổi cả trị số và chiều thì từ cảm B trong vật liệu sắt từ luôn biến thiên chậm trễ hơn.

Các kết quả của quá trình từ trễ cần chú ý:

- **Từ dư B_d :** Khi từ trường $H = 0$ thì từ cảm B trong lõi thép vẫn còn trị số B_d gọi là cảm ứng từ dư.
- **Cường độ từ trường khử từ H_k** (còn gọi là lực khử từ): Muốn khử từ dư trong vật liệu sắt từ, $B = 0$ thì phải đổi chiều cường độ từ trường H và tăng đến trị số H_k . Như vậy khi $H = H_k$ thì $B = 0$ từ dư bị khử hoàn toàn.
- **Tổn hao từ trễ:** Trong quá trình làm việc, khi biến thiên liên tục cường độ từ trường H và từ cảm B , vật liệu sắt từ xuất hiện tổn hao năng lượng làm chúng nóng lên. Ta gọi đó là tổn hao từ trễ. Người ta nhận thấy rằng khi vật liệu có từ cảm B_d lớn, lực khử H_k lớn thì tổn hao từ trễ sẽ lớn. Như vậy tổn hao từ trễ tỷ lệ với diện tích đường cong từ trễ.

5.2.4. Các loại vật liệu sắt từ

1. Vật liệu từ mềm

Vật liệu từ mềm được sử dụng làm mạch từ của các thiết bị và dụng cụ điện có từ trường không đổi hoặc biến đổi (lõi máy biến áp, stato máy điện, nam châm điện các loại, ...).

Vật liệu từ mềm là từ trường khử từ H_K nhỏ (dưới 400 A/m), độ từ thẩm μ lớn và tổn hao từ trễ nhỏ. Vì có những đặc điểm như vậy nên các hợp kim phải ở trạng thái cân bằng nhất, ít có yếu tố gây xô lệch mạng nhất và hạt lớn, đó cũng chính là yếu tố làm sắt và hợp kim của nó trở nên mềm dẻo, mà người ta gọi chúng là từ “mềm”. Vật liệu sắt từ mềm gồm có thép kỹ thuật, thép ít cacbon, thép lá kỹ thuật điện, hợp kim sắt - niken (pecmaloi) và ferit.

a. *Thép kỹ thuật* (gồm cả gang) được dùng làm từ trường trong mạch từ không đổi. Thép kỹ thuật có cường độ từ cảm bão hoà cao (tới 2,2 Tesla), hằng số từ thẩm lớn và cường độ khử từ nhỏ.

b. *Thép lá kỹ thuật điện* là hợp chất sắt-silic (1-4%Si). Silic cải thiện đặc tính từ của sắt kỹ thuật: tăng hằng số từ thẩm, giảm cường độ khử từ, tăng điện trở suất (để giảm dòng điện Fucô hay dòng điện xoáy).

c. *Pecmaloi* là hợp kim sắt - niken (22%Ni), ngoài ra còn có một số tạp chất: Molipden, crôm, silic, nhôm. Pecmaloi có hằng số từ thẩm lớn gấp 10-50 lần so với thép lá kỹ thuật điện, chỉ cần một cường độ từ trường nhỏ vài phần đến vài chục phần trăm A/m, thép đã đạt tới cường độ từ cảm bão hoà.

d. *Ferit* là vật liệu sắt từ gồm có bột oxýt sắt, kẽm và một số nguyên tố khác. Khi chế tạo, hỗn hợp được ép trong khuôn với công suất lớn và nung đến nhiệt độ khoảng 1200°C, thành phẩm sẽ có dạng theo ý muốn. Ferit có điện trở suất rất lớn, thực tế có thể coi gần như không dẫn điện, nên dòng điện xoáy chạy trong ferit rất nhỏ. Bởi vậy cho phép dùng ferit làm mạch từ của từ trường biến thiên với tần số cao. Ferit niken-kẽm bằng cách nhiệt phân muối, gọi là Oxyfe. Ferit và Oxyfe có hằng số từ thẩm ban đầu lớn, từ dư nhỏ (0,18-0,32 Tesla) và từ trường khử từ nhỏ (8-80 A/m). Chúng được sử dụng rất rộng rãi làm mạch từ của các linh kiện điện tử, khuếch đại từ, máy tính,....

2. Vật liệu từ cứng

Vật liệu từ cứng được dùng để chế tạo nam châm vĩnh cửu. Yêu cầu cơ bản của vật liệu từ cứng là lực khử từ H_K lớn, năng lượng $(B.H)_{\max}$ và tổn hao từ trễ lớn. Tất cả các yếu tố gây ra xô lệch mạng đều có tác dụng làm tăng H_K và đó cũng là các yếu tố làm tăng độ cứng của thép và hợp kim, do vậy có tên là “từ cứng”. Thành phần, từ dư và trường khử từ của một số vật liệu từ cứng cho ở bảng 6.2.

Bảng 6.2

Vật liệu từ cứng	Thành phần tạp chất (%) trong sắt							Từ trường khử từ, H_K (A/m)	Cường độ từ cảm dư, B_d (T)
	Wonfram	Al	Cr	Co	Ni	Cu	Si		
Wonfram	6							4800	1
Thép crôm			3					4800	0,9
Thép coban			5	5				7200	0,9
Anni		14			25	5		44000	0,44
Annisi		14			34		1	64000	0,4
Annico		10		12	17	6		40000	0,7
Macnico		8		24	13	3		44000	1,25
Gốm annico								45000	1,1
Ferit bary								130000	0,35

6.3. VẬT LIỆU TỪ CÓ CÔNG DỤNG ĐẶC BIỆT

6.3.1. Lưu trữ từ

Vật liệu từ ngày càng quan trọng trong lĩnh vực lưu trữ thông tin. Trong khi các linh kiện bán dẫn chỉ dùng làm bộ nhớ sơ cấp, thì các đĩa và băng từ lại có khả năng lưu trữ những lượng thông tin lớn và với giá thành thấp hơn. Ngày nay ngành công nghiệp ghi âm và truyền hình đang hy vọng nhiều vào băng từ để lưu trữ và cải tạo các chương trình audio (nghe) và video (nhìn).

Các dữ liệu máy tính, âm thanh hoặc hình ảnh dưới dạng các tín hiệu điện tử đều được chuyển nạp rồi lưu giữ lại trong các khu vực rất nhỏ của môi trường lưu trữ từ. Việc nạp thông tin và lấy thông tin ra từ băng hoặc đĩa được thực hiện nhờ một đầu từ. Đó là một cuộn dây quấn xung quanh một lõi (vật liệu từ) có xẻ một khe. Từ trường này sẽ từ hoá một khu vực rất nhỏ trên băng hoặc

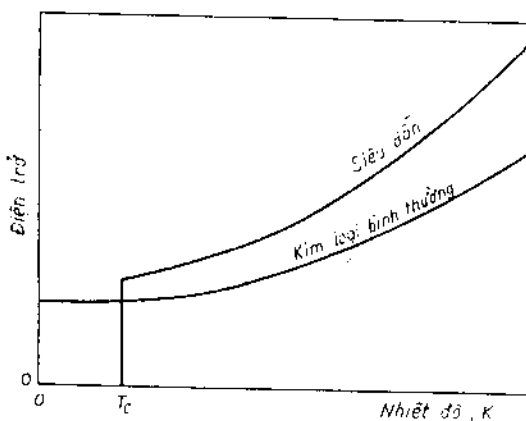
đĩa (nằm trực tiếp bên trong đầu từ). Khi ngắt trường, sự từ hoá vẫn còn lưu lại và tín hiệu được lưu trữ. Cũng chính đầu từ đó được dùng để tái hiện (tức “đọc”) thông tin lưu trữ. Khi băng hoặc đĩa đi qua khe của đầu từ, mỗi một biến đổi của từ trường băng, đĩa sẽ sinh ra một điện áp cảm ứng trong cuộn dây đầu từ. Điện áp này được khuếch đại rồi chuyển về dạng (hoặc đặc trưng) nguyên gốc.

Để lưu trữ từ tốt, yêu cầu vật liệu từ phải có vòng từ trễ cho môi trường lưu trữ phải tương đối hẹp và chữ nhật. Yêu cầu này bảo đảm cho sự lưu trữ được vĩnh cửu và đảo chiều từ hoá chỉ xảy ra trong khoảng hẹp của cường độ từ trường đặt vào. Thông thường mật độ từ thông bão hoà nằm trong khoảng 0,4 và 0,6 Tesla.

6.3.2. Siêu dẫn

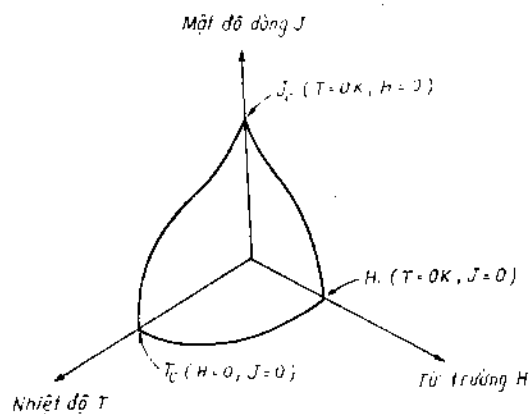
Siêu dẫn về cơ bản là một hiện tượng điện; tuy nhiên, có những vấn đề phức tạp liên quan đến trạng thái siêu dẫn và ngoài ra các vật liệu siêu dẫn được ứng dụng trước tiên trong các nam châm có khả năng tạo ra những từ trường cao.

Đa số các kim loại khi được làm lạnh xuống đến 0°K thì điện trở giảm xuống từ từ, đạt tới một giá trị nhất định, đó là đặc tính riêng của kim loại. Tuy nhiên có một số ít vật liệu, khi ở nhiệt độ rất thấp, điện trở giảm đột ngột từ một giá trị xác định xuống tới không và vẫn giữ nguyên như vậy khi tiếp tục làm lạnh nữa. Đó là hiện tượng siêu dẫn (điện). Các vật liệu có hiện tượng như vậy gọi là chất siêu dẫn. Nhiệt độ tại đó đạt tới trạng thái siêu dẫn được gọi là *nhiệt độ tới hạn* T_c .



Hình 6.1

Sự phụ thuộc điện trở-nhiệt độ của vật liệu siêu dẫn ở gần 0°K



Hình 6.2

Giản đồ nhiệt độ-mật độ dòng điện-từ trường tại hạn phân chia các trạng thái siêu dẫn và dẫn điện bình thường.

Hình 6.1 cho biết đặc trưng điện trở-nhiệt độ của các vật liệu siêu dẫn và không siêu dẫn. Nhiệt độ thay đổi tùy theo tính chất siêu dẫn, nhưng chỉ trong khoảng từ 1 - 20⁰K đối với kim loại và hợp kim. Mới đây người ta đã phát hiện được một số gốm oxyt phức hợp có nhiệt độ siêu dẫn đến 100⁰K hoặc cao hơn (siêu dẫn ở nhiệt độ cao), ví dụ, hệ Bi-Sr-Ca-Cu-O có T_c khoảng 115⁰K, hệ Hg-Ba-Cu-O có T_c khoảng 130⁰K,

Ở nhiệt độ T_c , trạng thái siêu dẫn sẽ mất đi khi đặt vào một từ trường đủ mạnh, gọi là từ trường tới hạn H_K , H_K phụ thuộc nhiệt độ và giảm khi nhiệt độ tăng. Tương tự đối có một mật độ dòng điện tới hạn J_c , thấp hơn nó vật liệu vẫn là siêu dẫn. Hình 6.2 là sơ đồ (giản đồ) không gian nhiệt độ-từ trường-mật độ dòng điện, phân chia các trạng thái dẫn thường và siêu dẫn.

Hiện tượng siêu dẫn có những ứng dụng thực tế rất đa dạng. Các nam châm siêu dẫn có khả năng tạo ra từ trường với công suất tiêu thụ thấp hiện đang được dùng trong các thiết bị thử nghiệm và nghiên cứu khoa học. Hiện tại các lĩnh vực đang được khai thác gồm:

- Truyền tải điện năng bằng vật liệu siêu dẫn với tổn hao công suất thấp và trang thiết bị sẽ được vận hành dưới điện áp thấp;
- Nam châm trong các máy gia tốc hạt năng lượng cao, các nam châm giúp đóng cắt tiếp điểm của máy cắt điện thay cho các cơ cấu đóng cắt cơ khí công kênh,
- Truyền tín hiệu và chuyển mạch tốc độ cao hơn máy tính;
- Tàu đệm từ cao tốc với đệm nâng nhờ lực đẩy từ trường (có thể đạt vận tốc vài trăm kilomet/giờ).

6.3.3. Vật liệu từ giảo

Sự thay đổi trạng thái từ của mẫu sắt từ dẫn tới sự thay đổi độ dài và hình dạng của nó; hiện tượng này gọi là từ giảo.

Vật liệu từ giảo là vật liệu ứng dụng của nó dựa trên hiện tượng từ giảo và hiện tượng đàn hồi hay có sự thay đổi kích thước vật thể trong từ trường và sự thay đổi tính chất từ của một số vật liệu dưới sự ảnh hưởng của lực cơ học tác động. Vật liệu này bao gồm các kim loại nguyên chất, các hợp kim và các ferit khác nhau.

Trước đây sử dụng rộng rãi vật liệu từ giả là Ni. Ngày nay, vật liệu từ giả được sử dụng nhiều nhất là gốm ferit vì có những ưu điểm nổi trội so với vật liệu từ giả Ni và các vật liệu từ giả khác như: có điện trở suất cao, tổn hao dòng điện xoáy không đáng kể và đặc biệt là không bị tác động của môi trường.

Vật liệu từ giả được dùng để chế tạo, sản xuất lõi biến đổi điện cơ (bức xạ và thu) cho điện âm học và kỹ thuật siêu âm. Được sử dụng trong các thiết bị tự động và kỹ thuật đo lường - phần tử cần có độ nhạy cao.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 6

1. Sự nhiễm từ của các chất ?
2. Phân loại vật liệu từ ?
3. Vật liệu sắt từ: sự nhiễm từ của sắt, các tính chất của vật liệu sắt từ?
4. Các loại vật liệu sắt từ và ứng dụng của nó?
5. Vật liệu từ có công dụng đặc biệt?

Phần 2 . KỸ THUẬT AN TOÀN ĐIỆN

CHƯƠNG 7

KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ AN TOÀN ĐIỆN

7.1. CÁC TAI NẠN VỀ ĐIỆN

7.1.1 Các tai nạn về điện

1. Điện giật: do có dòng điện đủ lớn chạy qua gây tác dụng về mặt sinh lý lên cơ thể khi cơ thể tiếp xúc (chạm điện) vào các phần tử có điện áp.

Dòng điện rất lớn có thể gây bỏng hoặc cháy các bộ phận trong cơ thể mà nó đi qua. Điều này có thể xảy ra khi người phải chịu một điện áp rất lớn, hoặc khi thay cầu chì trong khi lưới điện đang có sự cố ngắn mạch chưa được khắc phục, hoặc đóng ngắt cầu dao trong khi đang có tải,....

2. Hoả hoạn, cháy nổ do điện: do để các vật liệu dễ cháy nổ ngay cạnh các thiết bị điện hoặc đường dây dẫn điện khi dòng điện chạy trong dây dẫn quá giới hạn cho phép (có thể do quá tải, hoặc các sự cố ngắn mạch,...) dẫn đến đốt nóng dây dẫn hoặc khi đóng cắt mạch, chạm chập,... phát ra hồ quang, các vật liệu do để gần cạnh nên có thể bốc cháy gây hoả hoạn, cháy nổ.

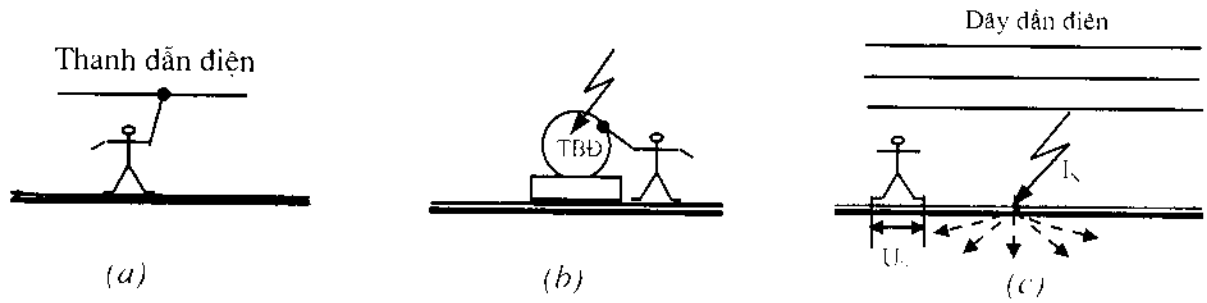
So với điện giật thì số tai nạn do hoả hoạn cháy nổ vì điện ít hơn. Người ta đã thống kê được điện giật chiếm khoảng 80% trong tổng số tai nạn và (85-87)% số vụ tai nạn chết người là do điện giật.

3. Các tình huống dẫn đến tai nạn điện giật

Các tình huống dẫn đến tai nạn điện là do chạm điện trực tiếp hoặc chạm điện gián tiếp.

a. Chạm điện trực tiếp: tình huống mà người chạm trực tiếp với các bộ phận bình thường mang điện như: chạm vào thanh dẫn, dây dẫn, các cuộn dây trong máy điện (hình 5.1.a).

b. Chạm điện gián tiếp: tình huống mà người chạm vào các bộ phận bình thường không mang điện nhưng vì một nguyên nhân nào đó có điện. Chẳng hạn chạm vào vỏ máy điện đang làm việc khi cách điện pha - vỏ bị hỏng (hình 7.1.b), người chịu một điện áp bước giữa hai bước chân do dòng điện chạm đất gây nên tại chỗ chạm đất (hình 7.1.c),....



Hình 7.1. Các tình huống chạm điện

- (a)- Người chạm vào thanh dẫn điện (chạm điện trực tiếp)
 (b)- Người chạm vào vỏ TĐĐ khi cách điện pha vỏ bị chọc thủng
 (c)- Người phải chịu điện áp U_b .

4. Số liệu thống kê về tai nạn điện giết

Dưới đây nêu số liệu thống kê về tai nạn điện giết theo tài liệu của một số nước trên thế giới, từ đó chúng ta có một số suy nghĩ cần thiết và cũng là một trong những xuất phát điểm để đưa ra phương án bảo vệ nhằm giảm mức nguy hiểm tối thiểu do dòng điện gây ra.

a. Tỷ lệ tai nạn điện giết theo cấp điện áp

Có khoảng 76,4% tai nạn xảy ra ở mạng điện hạ áp ($U \leq 1000 \text{ V}$)

Có khoảng 23,6% tai nạn xảy ra ở mạng điện cao áp ($U > 1000 \text{ V}$)

b. Tỷ lệ tai nạn điện giết theo nghề nghiệp

Có khoảng 42,2% tai nạn xảy ra với những người trong ngành điện

Có khoảng 57,8% tai nạn xảy ra với những người không thuộc ngành điện

c. Tỷ lệ tai nạn điện giết theo nguyên nhân tiếp xúc điện

- Có khoảng 55,9% tai nạn xảy ra là do chạm điện trực tiếp

Trong đó: 30,6% không do yêu cầu công việc

1,7% do yêu cầu công việc

23,6% do đóng điện nhầm trong lúc kiểm tra, sửa chữa

- Có khoảng 42,9% tai nạn xảy ra là do chạm điện gián tiếp

Trong đó:

22,2% chạm các bộ phận kim loại không có nối đất

0,6% chạm các bộ phận kim loại đã được nối đất

20,1% chạm các phần tử phi kim (như tường, nền nhà, các vật cách điện,...)

- Có khoảng 1,12% tai nạn xảy ra do hồ quang điện.

- Có khoảng 0,08% tai nạn xảy ra do xuất hiện trong khu vực điện trường mạnh.

d. Tỷ lệ tai nạn điện giết theo lứa tuổi

Lứa tuổi	Tỷ lệ tai nạn điện giết (%)
Dưới 20	14,5
21 ÷ 30	51,7
31 ÷ 40	21,3
Trên 40	12,5

7.2. TÁC DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN ĐỐI VỚI CƠ THỂ NGƯỜI

Khi người tiếp xúc với các phần tử có điện áp (kể cả tiếp xúc trực tiếp hoặc gián tiếp), sẽ có dòng điện chạy qua cơ thể, các bộ phận của cơ thể phải chịu tác động nhiệt, điện phân và tác dụng sinh học của dòng điện làm rối loạn, phá huỷ các bộ phận này, có thể dẫn đến tử vong.

Tác động nhiệt của dòng điện đối với cơ thể người thể hiện qua hiện tượng gây bỏng, phát nóng các mạch máu, dây thần kinh, tim, não và các bộ phận khác trên cơ thể dẫn đến phá huỷ các bộ phận này hoặc làm rối loạn hoạt động của chúng khi dòng điện chạy qua.

Tác động điện phân của dòng điện thể hiện ở sự phân huỷ các chất lỏng trong cơ thể, đặc biệt là máu, dẫn đến phá vỡ các thành phần của máu và các mô trong cơ thể.

Tác động sinh học của dòng điện biểu hiện chủ yếu qua sự phá huỷ các quá trình điện - sinh, phá vỡ cân bằng sinh học, dẫn đến phá huỷ các chức năng sống.

Những thí nghiệm còn cho thấy sự rung cơ tim (cơ tim bị kích thích làm việc khác thường có thể dẫn đến tim ngừng đập) do tác động của dòng điện được xem là lý do chủ yếu dẫn đến tử vong.

Mức độ nguy hiểm của dòng điện đối với cơ thể người tùy thuộc vào trị số của dòng điện, loại dòng điện (dòng điện một chiều hoặc dòng điện xoay chiều) và thời gian duy trì dòng điện chạy qua cơ thể.

Bảng 7.1 nêu tác dụng của dòng điện phụ thuộc vào trị số, loại dòng điện và thời gian dòng điện chạy qua cơ thể.

Bảng 7.1. Tác dụng của trị số, loại dòng điện và thời gian đối với cơ thể người.

TRỊ SỐ DÒNG ĐIỆN (mA)	TÁC DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN ĐỐI VỚI CƠ THỂ	
	Dòng điện xoay chiều tần số 50-60 Hz	Dòng điện một chiều
0,6 ÷ 1,5	Bắt đầu thấy ngón tay tê tê	Không có cảm giác gì
2 ÷ 3	Ngón tay tê rất mạnh	Không có cảm giác gì
3 ÷ 7	Bắt thịt co lại và rung	Đau như kim châm, cảm thấy nóng
8 ÷ 10	Tay khó rời khỏi vật có điện nhưng vẫn rời được Ngón tay, khớp tay, lòng bàn tay cảm thấy đau	Nóng tăng lên
20 ÷ 25	Tay không rời khỏi vật có điện, đau, khó thở	Nóng càng tăng lên, cơ tay co lại nhưng chưa mạnh
50 ÷ 80	Cơ quan hô hấp bị tê liệt, tim bắt đầu đập mạnh	Cảm thấy nóng mạnh, cơ tay co rút, khó thở
90 ÷ 100	Cơ quan hô hấp bị tê liệt, nếu thời gian quá 3 giây tim sẽ bị tê liệt dẫn đến ngừng đập	Cơ quan hô hấp bị tê liệt (nghẹt thở)

Ta nhận thấy:

Dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp 50 - 60 Hz nguy hiểm hơn so với dòng điện một chiều. Với một trị số dòng điện nhất định thì sự tác dụng của nó vào cơ thể người hầu như không thay đổi.

Cho đến nay người ta đã đưa ra trị số an toàn cho phép của dòng điện (I_{cp}) đối với cơ thể người như sau:

Dòng điện xoay chiều: $I_{cp} = 10 \text{ mA}$

Dòng điện một chiều: $I_{cp} = 50 \text{ mA}$

7.3. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN MỨC ĐỘ NGUY HIỂM CỦA DÒNG ĐIỆN ĐỐI VỚI CƠ THỂ

7.3.1. Điện áp tiếp xúc

Điện áp tiếp xúc (U_{ix}) là điện áp giữa hai điểm trên đường đi của dòng điện qua cơ thể người (hay chính là điện áp đặt lên cơ thể người khi người tiếp xúc điện) thường là giữa tay và tay hoặc giữa tay và chân.

Điện áp tiếp xúc càng cao thì dòng điện qua người càng lớn. Vì vậy người sẽ càng nguy hiểm. Trong lĩnh vực an toàn điện, ngoài giá trị dòng điện cho phép người ta còn đưa ra giá trị điện áp tiếp xúc cho phép (U_{ixcp}). Căn cứ này rất thuận lợi, vì mỗi mạng điện có một điện áp tương đối ổn định (luôn giữ ở trị định mức). Nhìn chung, tiêu chuẩn điện áp tiếp xúc tối đa cho phép ở mỗi nước một khác nhau. Nước ta theo TCVN 4756-1989 là 42 V. Tiêu chuẩn IEC 364 - 41 đề ra các điện áp tiếp xúc qui ước phụ thuộc vào điều kiện môi trường:

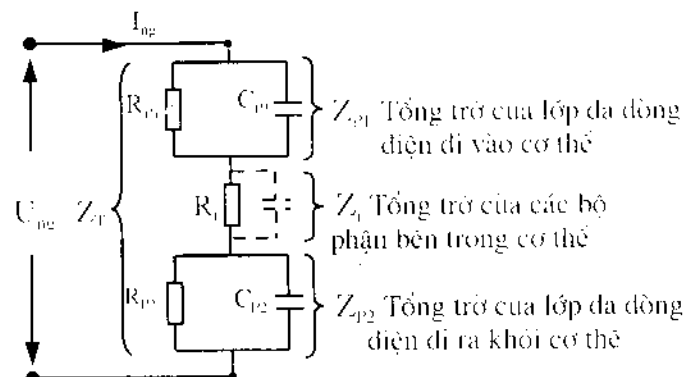
- Phòng khô: $U_{ixcp} = 50 \text{ V}$
- Phòng ẩm: $U_{ixcp} = 25 \text{ V}$
- Phòng đọng nước: $U_{ixcp} = 12 \text{ V}$

7.3.2. Tổng trở cơ thể

Tổng trở cùng với điện áp tiếp xúc là hai yếu tố xác định giá trị dòng điện đi qua cơ thể người khi tiếp xúc với phân tử có điện.

Qua nghiên cứu người ta thấy rằng giữa dòng điện đi qua cơ thể và điện áp đặt vào người có sự lệch pha, vì thế tổng trở là một đại lượng không thể thuần nhất. Đặc tính tổng trở của từng người khác nhau, chúng phụ thuộc vào hệ cơ bắp, cơ quan nội tạng, hệ thần kinh, điều kiện môi trường xung quanh...; đối với một người thì cũng không thể có cùng một tổng trở trong những điều kiện khác nhau hay những thời điểm khác nhau. Vì vậy, tổng trở cơ thể là đại lượng phi tuyến khi phải kể đến tất cả các yếu tố ảnh hưởng thì khó có thể thể hiện được.

Hình 7.2 tổng trở cơ thể theo IEC-479-1, coi tổng trở cơ thể gồm 2 thành phần chính, tổng trở lớp da Z_{p1} , Z_{p2} và tổng trở của các bộ phận bên trong cơ thể $Z_i \approx R_i$ (coi là thuần trở)



Hình 7.2. Tổng trở của cơ thể người

Lớp da khô sẽ có tác dụng như chất cách điện.

Các thí nghiệm cho thấy rằng nếu lớp da còn nguyên vẹn và khô thì tổng trở cơ thể có thể đạt đến giá trị từ 40.000Ω đến 100.000Ω thậm trí còn cao hơn; nhưng khi lớp da không còn nguyên vẹn lại ẩm ướt (có thể do bị cắt, bị tổn thương, đổ mồ hôi,...hoặc môi trường xung quanh ẩm ướt) tổng trở cơ thể có thể giảm xuống chỉ còn 600Ω , thậm trí 200Ω .

Tổng trở cơ thể phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố tác động từ bên ngoài, trong đó cần kể đến:

1. Điện áp tiếp xúc và thời gian duy trì điện áp

Khi đặt một điện áp lớn vào cơ thể thì lớp da sẽ bị xuyên thủng. Lớp da bắt đầu bị xuyên thủng thì tổng trở bắt đầu giảm. Người ta đã xác định được sự xuyên thủng da bắt đầu ở điện áp giữa 10 V và 50 V. Thời gian duy trì điện áp càng lớn (cũng tức là duy trì dòng điện qua người) thì tổng trở cơ thể càng giảm do sự xuyên thủng da dưới tác dụng của điện áp. Các thí nghiệm cho thấy rằng hiện tượng xuyên thủng da bắt đầu sau 0,5 giây nhưng sẽ chấm dứt hoàn toàn sau 5 ÷ 6 giây.

Bảng 7.2 cho ta giá trị trở tổng cơ thể Z_T theo tỷ lệ phần trăm dân số đối với người đang sống khi dòng điện đi từ tay này đến tay kia hay từ tay đến chân đối với các trị số điện áp tiếp xúc.

Bảng 7.2. Giá trị tổng trở cơ thể người khi dòng điện đi từ tay này sang tay kia hay từ tay đến chân.

Điện áp tiếp xúc (V)	Giá trị của Z_T (Ω) không vượt quá đối với tỷ lệ phần trăm của dân số		
	5%	50%	90%
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1100	700	1050	1500
Giá trị tiệm cận	650	750	850

2. Môi trường xung quanh:

a Độ ẩm: khi độ ẩm của môi trường xung quanh càng tăng, thì độ dẫn điện của lớp da sẽ tăng lên tức là tổng trở cơ thể sẽ giảm vì thế mức độ nguy hiểm cũng tăng.

b. Nhiệt độ: khi nhiệt độ của môi trường xung quanh càng tăng, tuyến mồ hôi hoạt động nhiều thì độ dẫn điện của lớp da sẽ tăng lên tức là tổng trở cơ thể sẽ giảm vì thế mức độ nguy hiểm cũng tăng.

3. Diện tích tiếp xúc và tần số của dòng điện.

Nếu diện tích tiếp xúc càng lớn thì tổng trở của người sẽ giảm, vì thế sự nguy hiểm do điện càng tăng.

Như đã nêu, tổng trở cơ thể có thành phần điện dung của lớp da vì vậy nó sẽ bị ảnh hưởng của tần số dòng điện qua người, điều này cũng cho thấy rằng mức độ nguy hiểm của điện đối với cơ thể có liên quan tới tần số. Song cho đến nay các nhà nghiên cứu chưa khẳng định với tần số bao nhiêu là nguy hiểm nhất và tần số nào ít nguy hiểm nhất. Nhìn chung các nhà khoa học thì đều cho rằng sẽ ít nguy hiểm hơn khi tăng hoặc giảm tần số của dòng điện qua trị số 50-60 Hz.

Trong tính toán an toàn để đơn giản người ta thường bỏ qua thành phần điện dung của lớp da vì điện dung này rất nhỏ, khi đó tổng trở cơ thể là thuần điện trở (R_{ng}). Theo nhiều thí nghiệm và từ các kết quả nghiên cứu thống kê điện giật, trong kỹ thuật an toàn điện thường lấy điện trở cơ thể người trong trường hợp chung $R_{ng} = 1000\Omega$ khi lộ trình đường đi của dòng điện từ tay đến chân hoặc từ tay trái sang tay phải. Nhưng cần chú ý trong các điều kiện không thuận lợi kể trên điện trở cơ thể người có thể giảm dưới giá trị 1000Ω nên khi tính toán thực hiện bảo vệ cũng như khi cần xác định sự nguy hiểm điện giật phải xét cụ thể từng trường hợp có thể (môi trường, loại mạng điện và điện áp mạng,...) làm cho điện trở cơ thể giảm xuống dưới mức 1000Ω .

7.3.3. Đường đi của dòng điện

Qua nghiên cứu người ta thấy rằng đường đi của dòng điện qua cơ thể cũng góp phần quan trọng vào sự nguy hiểm của dòng điện đối với cơ thể, đặc biệt khi đường đi này liên quan nhiều đến các cơ quan hô hấp và tim. Bảng 7.3

cho thấy phân lượng dòng điện đi qua tim để đánh giá mức độ nguy hiểm của đường đi dòng điện trong cơ thể.

Bảng 7.3. Phân lượng dòng điện qua tim theo đường đi dòng điện qua người

Dòng điện đi qua người	Tỷ lệ phần trăm của dòng điện tổng đi qua tim (%)
Từ tay qua tay	3,3
Từ tay trái qua chân	3,7
Từ tay phải qua chân	6,7
Từ chân sang chân	0,4

Ở đây ta thấy dòng điện đi từ chân sang chân (chịu điện áp bước) ít nguy hiểm nhất, nhưng nếu quá hốt hoảng do các bắp thịt và các cơ của chân bị co rút, người bị ngã thì rất dễ lại chuyển thành các trường hợp nguy hiểm hơn.

7.3.4. Tình trạng sức khỏe

Qua nghiên cứu người ta thấy rằng hiện tượng choáng điện thể hiện rất rõ nếu người ở trạng thái mệt mỏi hoặc trong tình trạng say rượu. Phụ nữ và trẻ em nhạy cảm với hiện tượng choáng điện hơn nhiều so với nam giới. Bảng 7.4 và bảng 7.5 cho biết giá trị lớn nhất cho phép để không gây rung cơ tim đối với người khỏe và người yếu.

Bảng 7.4. Giá trị lớn nhất cho phép để không gây rung cơ tim đối với người khỏe

Dòng điện, mA	10	60	90	110	160	250	500
Thời gian điện giật, giây	30	10-30	3	2	1	0,4	0,1

Bảng 7.5. Giá trị lớn nhất cho phép để không gây rung cơ tim đối với người yếu

Dòng điện, mA	50	100	300	
Thời gian điện giật, (giây)	1	0,5	0,15	Không nghiên cứu dưới 0,1 (giây)

7.4. HIỆN TƯỢNG DÒNG ĐIỆN TÀN VÀO TRONG ĐẤT

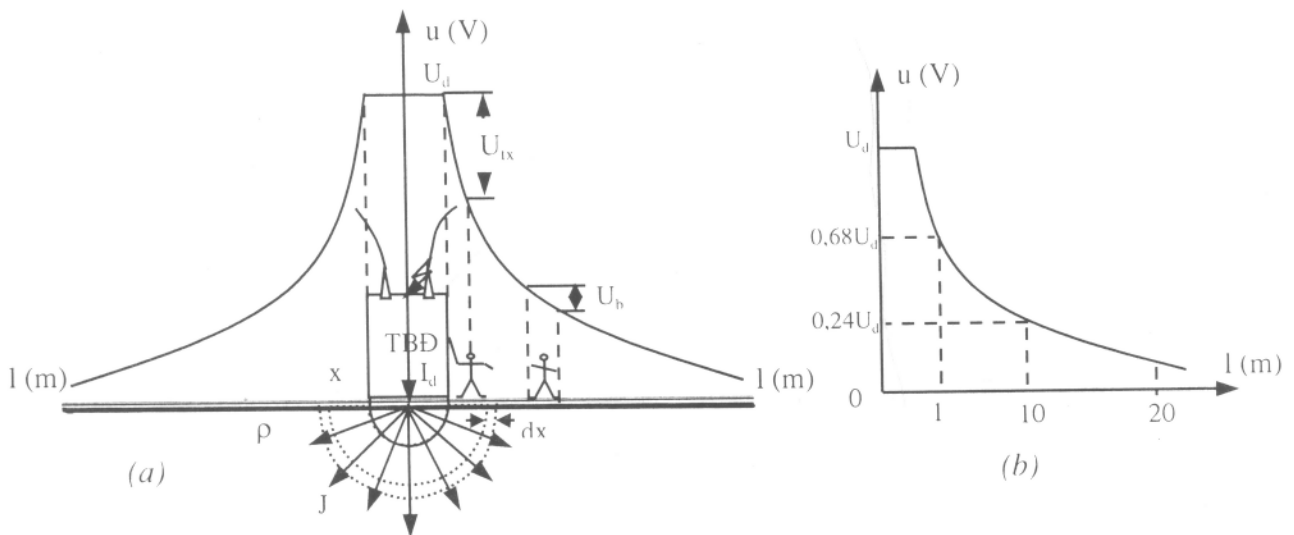
Khi vỏ thiết bị điện (TBD) hỏng cách điện, hoặc dây dẫn có điện áp bị đứt rơi xuống đất,...tại chỗ chạm đất sẽ có dòng điện chạy tản vào trong đất. Dòng điện đó sẽ tản như thế nào ở trong đất, vấn đề này khá phức tạp, xong để đơn

giả ta xét trường hợp dòng điện đi vào đất thông qua một hệ thống nối đất chỉ là một điện cực bán cầu kim loại chôn sát mặt đất có bán kính r_0 . Với giả thiết:

- Môi trường đất chôn điện cực có điện trở suất thuần nhất ρ (Ωcm).
- Dòng điện chạm đất: I_d đi từ tâm bán cầu toả ra đường bán kính (hình 7.3.a)
- Trên cơ sở của lý thuyết tương tự chúng ta có thể xem trường của dòng điện

đi trong đất giống dạng trường trong tĩnh điện, nghĩa là tập hợp những đường sức và đường đẳng thế của chúng giống nhau.

Bây giờ ta đi xét sự phân bố thế tại chỗ có dòng điện chạm đất, điện áp tiếp xúc và điện áp bước trong trường hợp dòng điện tản thông qua bán cầu kim loại với các giả thiết vừa nêu.



Hình 7.3 Dòng điện tản vào trong đất thông qua điện cực bán cầu kim loại chôn sát mặt đất

7.4.1. Sự phân bố thế tại chỗ dòng điện chạm đất

Đại lượng cơ bản trong điện trường của môi trường dẫn điện là mật độ dòng điện J . Véc tơ này hướng theo hướng của véc tơ cường độ điện trường.

Theo định luật Ôm dưới dạng vi phân:

$$J = \gamma E \text{ hay } E = \rho J \quad (7-1)$$

Trong đó:

γ : điện dẫn suất ($\gamma = 1/\rho$)

ρ : điện trở suất.

E : điện áp trên đơn vị chiều dài dọc theo đường đi của dòng điện.

Mật độ dòng điện tại điểm cách tâm bán cầu một đoạn x bằng:

$$J = \frac{I_d}{2\pi x^2} \quad (7-2)$$

Điện áp trên một đoạn vô cùng bé dx dọc trên đường đi của dòng điện là:

$$du = Edx = \rho \cdot J dx = \frac{\rho \cdot I_d}{2\pi x^2} dx \quad (7-3)$$

Điện áp tại một điểm x nào đó chính là hiệu số điện áp giữa điểm x và điểm vô cùng xa (điện áp của điểm vô cùng xa có thể xem như bằng 0) bằng:

$$U_x = U_\infty - U_\infty = \int_x^\infty du = \frac{\rho \cdot I_d}{2\pi} \int_x^\infty \frac{1}{x^2} dx = \frac{\rho \cdot I_d}{2\pi x} \quad (7-4)$$

Nếu chuyển điểm x đến vật nối đất, ta có điện áp cao nhất đối với đất:

$$U_d = \frac{\rho \cdot I_d}{2\pi r_0} \quad (7-5)$$

Từ (5-5) ta thấy, vì r_0 là bán kính mặt cầu nên U_d là hằng số và tích $r_0 \cdot U_d$ cũng là hằng số nên ta có: $\frac{U_x}{U_d} = \frac{r_0}{x}$ hay $U_x = r_0 \cdot U_d \cdot \frac{1}{x} = K \cdot \frac{1}{x}$ là đường hypebol.

Như vậy sự phân bố thế trong vùng điện rò trong đất đối với điểm vô cực ngoài vùng rò có dạng đường hypebol (hình 7.3.a).

Các thí nghiệm cho thấy: Sự phân bố điện áp trên mặt đất gần vật nối đất gần giống đường Hypebol. Sở dĩ tình trạng phân bố điện áp trong các trường hợp đều tương tự nhau do đặc điểm vật dẫn điện là quả đất.

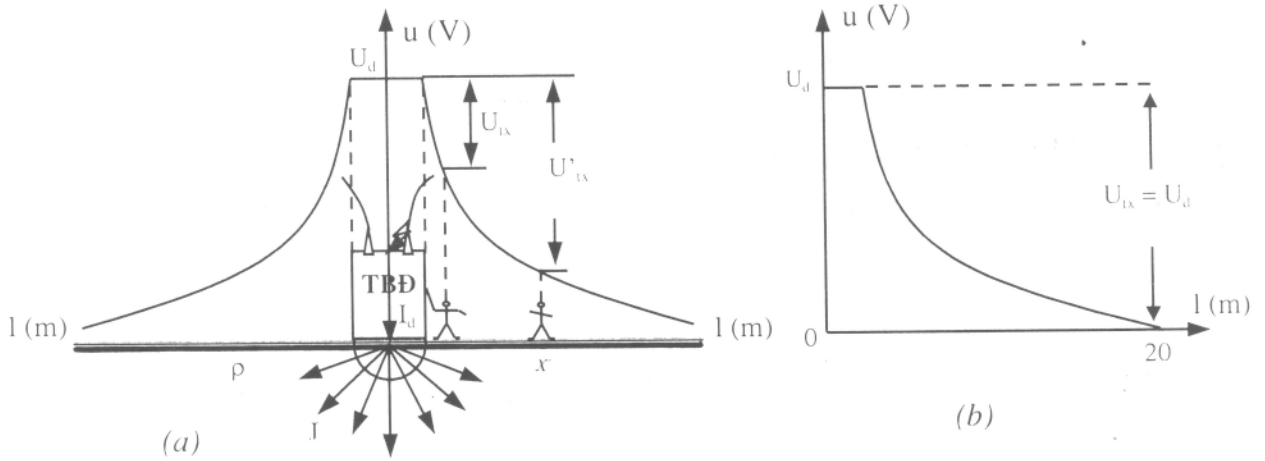
Đất ở gần vật nối đất có điện trở cực đại đối với dòng điện vì ở đây dòng điện đi qua một tiết diện nhỏ cho nên tại những điểm đó điện áp giáng lớn nhất.

Bằng cách đo trực tiếp điện áp rơi trên từng điểm, người ta vẽ được đường cong phân bố điện áp đối với đất trong vùng dòng điện tản trong đất như sau (Hình 7.3.b):

- Trong vùng cách vật nối đất 1m có khoảng 68% điện áp rơi ($0.68 U_d$),
- Trong vùng cách vật nối đất 10 m còn 24%.
- Trong vùng cách vật nối đất 20 m còn 8%
- Trong vùng cách vật nối đất trên 20 m gần như 0% (vùng có thể bằng không).

7.4.2. Điện áp tiếp xúc (U_{tx})

Khi chân người tiếp xúc trực tiếp với đất còn tay chạm vào thiết bị điện có sự cố cách điện, điện áp tiếp xúc là điện áp giữa tay và chân người, chân người đứng tại điểm x (hình 7.4.a).



Hình 7.4. Điện áp tiếp xúc

Ta có:
$$U_{tx} = U_{tay} - U_{chân} = U_d - U_x = \frac{\rho \cdot I_d}{2\pi x} - \frac{\rho \cdot I_d}{2\pi x} = \frac{\rho \cdot I_d (x - r_0)}{2\pi x} \quad (7-6)$$

Từ (7-6) cho thấy: điện áp tiếp xúc phụ thuộc vào khoảng cách từ vỏ thiết bị được nối đất đến vật nối đất và mức độ cân bằng thế. Càng xa điện cực nối đất (x càng lớn), thế của đất càng giảm (U_x giảm), tức là U_{tx} càng tăng gần đến trị số U_d ($x' > x$ thì $U'_{tx} > U_{tx}$). Kết quả nghiên cứu thấy rằng khi khoảng cách trên 20 m điện áp tiếp xúc có thể coi như bằng U_d (hình 7.4.b).

7.4.3. Điện áp bước (U_b)

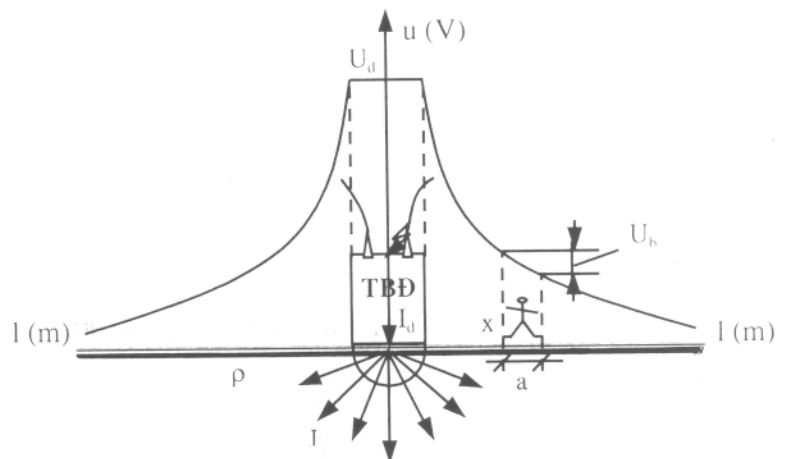
Điện áp đặt giữa hai chân người do dòng điện chạm đất tạo nên gọi là điện áp bước (hình 7.5).

$$U_b = U_x - U_{x+a} = \frac{\rho \cdot I_d}{2\pi x} - \frac{\rho \cdot I_d}{2\pi (x+a)} = \frac{\rho \cdot I_d \cdot a}{2\pi (x+a)} \quad (7-7)$$

a -độ dài một bước chân (khoảng 0,8m)

x -khoảng cách từ chỗ dòng điện chạm đất đến chân gần điện cực hơn.

Từ (7-7) ta thấy rằng càng đứng xa chỗ dòng điện chạm đất (điện cực nối đất) điện áp bước càng có trị số nhỏ. Khi người đứng cách chỗ chạm đất trên 20 m có thể coi điện áp bước bằng không.



Hình 7.5. Điện áp bước

Như vậy điện áp bước và điện áp tiếp xúc thay đổi hoàn toàn trái ngược nhau khi khoảng cách đến chỗ chạm đất thay đổi.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Các tai nạn và tình huống dẫn đến tai nạn về điện?
2. Tác dụng của dòng điện đối với cơ thể người?
3. Tổng trở cơ thể người và các yếu tố ảnh hưởng đến nó?
4. Sự phân bố thế, điện áp tiếp xúc và điện áp bước tại chỗ có dòng điện chạm đất?

CHƯƠNG 8

PHÂN TÍCH AN TOÀN TRONG CÁC MẠNG ĐIỆN

8.1. PHÂN TÍCH AN TOÀN TRONG CÁC MẠNG ĐIỆN ĐƠN GIẢN

Mạng điện đơn giản là mạng điện xoay chiều một pha hoặc mạng điện một chiều; mạng có thể có một dây hoặc hai dây; có thể đi trên không hoặc dưới dạng cáp ngầm.

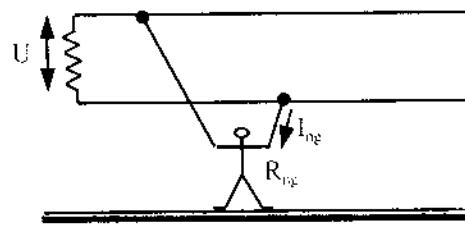
Các trường hợp mất an toàn trong mạng điện này có thể là do chạm vào hai cực (hai dây) hoặc một cực.

- Trường hợp người chạm cả hai dây thì rất nguy hiểm vì gần như toàn bộ điện áp của mạng sẽ tác dụng lên người (hình 8.1), khi đó dòng điện qua người sẽ bằng:

$$I_{ng} = \frac{U}{R_{ng}}$$

U - điện áp của mạng điện

R_{ng} - điện trở của người



Hình 8.1.

Người chạm vào hai cực của mạng điện đơn giản

Ví dụ: $U = 110 \text{ V}$, $R_{ng} = 1000 \Omega$ thì $I_{ng} = \frac{U}{R_{ng}} = \frac{110}{1000} = 0,11 \text{ A} = 110 \text{ mA}$

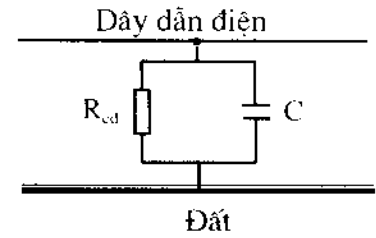
Giá trị dòng điện I_{ng} lớn hơn giá trị an toàn cho phép (I_{cp}) đã nêu rất nhiều nên rất nguy hiểm.

- Trường hợp người tiếp xúc một dây thì mức độ nguy hiểm phụ thuộc vào tình trạng làm việc của mạng điện đối với đất, mạng đó nối đất hay không nối đất.

Trong thực tế vận hành rất ít khi xảy ra trường hợp chạm vào cả hai cực mà thường xảy ra trường hợp chạm vào một cực. Vì vậy ở đây chủ yếu phân tích an toàn trong trường hợp chạm vào một cực của mạng điện đơn giản.

8.1.1. Mạng điện có điện dung nhỏ

Vì không có cách điện nào là hoàn hảo nên lớp điện môi giữa đường dây mang điện so với đất vẫn có dòng điện rò. Qua nghiên cứu người ta thấy rằng lớp điện môi này có thể thay thế bởi các thông số điện trở cách điện: R_{cd} (hoặc điện dẫn g_{cd}) và điện dung C (hình 8.2)



Hình 8.2. Sơ đồ thay thế của lớp điện môi giữa dây dẫn điện và đất

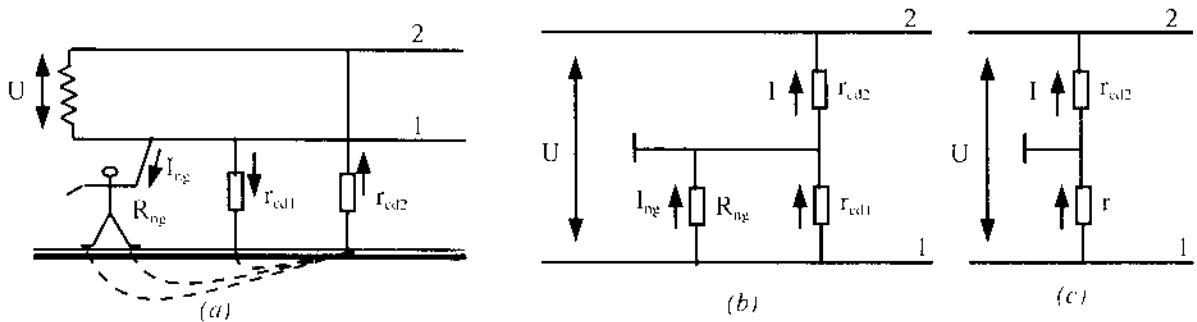
Mạng xoay chiều hoặc một chiều hạ áp dây đi trên không có điện dung C rất nhỏ có thể bỏ qua, trong sơ đồ thay thế của lớp điện môi giữa dây dẫn điện với đất chỉ còn lại điện trở cách điện R_{cd} (hoặc điện dẫn g_{cd}). Bây giờ ta sẽ phân tích an toàn khi người chạm vào một cực của mạng điện này.

1. Mạng cách điện đối với đất

Trên hình 8.3 vẽ mạng điện đơn giản hai dây cách điện đối với đất điện áp U dưới 1000 V.

r_{cd1}, r_{cd2} là điện trở cách điện của dây 1 và dây 2 với đất.

Khi người có điện trở R_{ng} chạm vào một cực của mạng điện sẽ tạo thành một mạch kín.



Hình 8.3 a) Người chạm vào 1 cực của mạng đơn giản 2 dây cách điện với đất
(b), (c) là sơ đồ thay thế

Lúc đó, người sẽ phải chịu một dòng điện có trị số chạy qua:

$$I_{ng} = \frac{U \cdot r_{cd1}}{R_{ng} (r_{cd1} + r_{cd2}) + r_{cd1} \cdot r_{cd2}} \quad (8-1)$$

$$\begin{cases} U - \text{là điện áp của mạng điện, V} \\ R_{ng} - \text{là điện trở người, } \Omega \\ r_{cd1}, r_{cd2} - \text{là điện trở cách điện của dây 1 và dây 2 với đất, } \Omega \end{cases}$$

Có thể chứng minh như sau:

Theo sơ đồ đẳng trị (hình 5.8.b và c), ta có:

$$r = \frac{R_{ng} \cdot r_{cd1}}{R_{ng} + r_{cd1}} \quad (8-2)$$

Dòng điện tổng của mạch:

$$I = \frac{U}{r + r_{cd2}} \quad (8-3)$$

Điện áp đặt vào người:

$$U_{ng} = I \cdot r \quad (8-4)$$

Dòng điện chạy qua người:

$$I_{ng} = \frac{U_{ng}}{R_{ng}} = \frac{U \cdot r}{R_{ng} (r + r_{cd2})} \quad (8-5)$$

Thay (5-9) vào (5-12) ta được:

$$I_{ng} = \frac{U \cdot r_{cd1}}{R_{ng} (r_{cd1} + r_{cd2}) + r_{cd1} \cdot r_{cd2}}$$

Từ đây có thể cho ta rút ra các nhận xét sau:

+ Có thể coi điện trở cách điện: $r_{cd1} = r_{cd2} = r_{cd}$, khi đó (5-8) trở thành:

$$I_{ng} = \frac{U}{2R_{ng} + r_{cd}} \quad (8-6)$$

(coi $r_{cd1} = r_{cd2} = r_{cd}$ vì khoảng cách giữa dây 1 và dây 2 đối với đất thực tế là gần như nhau).

+ Thấy rõ vai trò của cách điện đối với điều kiện an toàn. Nếu trị số an toàn của dòng điện chạy qua cơ thể là $I_{cp} = 10 \text{ mA}$ (hay $0,01 \text{ A}$) thì điện trở cách điện không được bé hơn trị số sau:

$$I_{ng} = \frac{U}{2R_{ng} + r_{cd}} \leq I_{cp} = 0,01 \text{ (A)} \Rightarrow r_{cd} \geq 100U - 2R_{ng} \text{ (}\Omega\text{)} \quad (8-7)$$

Ví dụ: Nếu lấy $U = 220 \text{ V}$, $R_{ng} = 1000 \Omega$ thì cần $r_{cd} \geq 20000 \Omega = 20 \text{ K}\Omega$

+ Trong trường hợp nếu người chạm điện đi giày, dép hoặc đứng trên bàn ghế, thảm,...có điện trở càng lớn thì dòng điện qua người càng giảm, tức là sẽ an toàn hơn khi chân tiếp xúc trực tiếp với đất.

Vì khi đó dòng điện chạy qua người sẽ là:

$$I_{ng} = \frac{U}{2(R_{ng} + r_n) + r_{cd}} \quad (8-8)$$

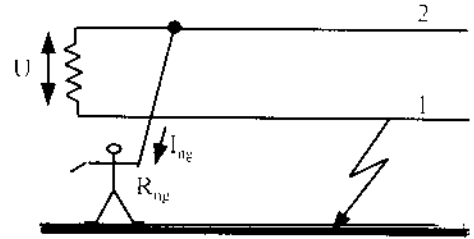
trong đó: r_n - là điện trở nền (điện trở các vật người đứng lên trong khi chạm điện)

+ Trường hợp nguy hiểm nhất trong khi dây 1 chạm đất mà người chạm vào dây 2 (hoặc người chạm vào dây 1 trong khi dây 2 chạm đất), hình 8.4.

Vì lúc đó người phải chịu gần như toàn bộ điện áp của mạng như trường hợp người chạm vào cả hai cực đã đề cập ở phần trên, tức là:

$$I_{ng} = \frac{U}{R_{ng}}, \quad (A)$$

với U - là điện áp của mạng điện, V

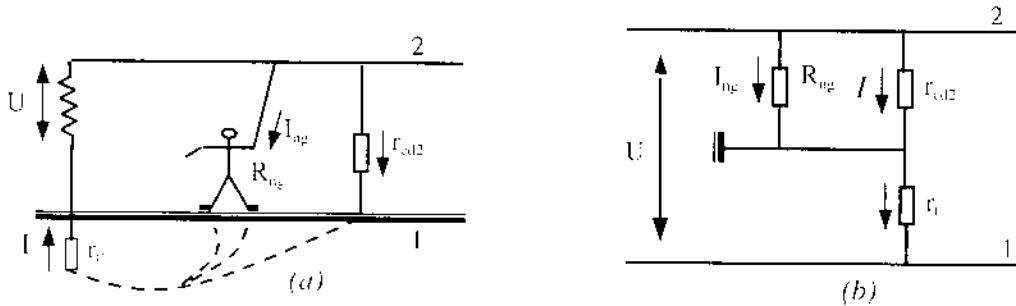


Hình 8.4. Người chạm vào 1 dây trong khi dây kia đang chạm đất

2. Mạng có một cực nối đất

a) Mạng có 1 dây (Hình 8.5)

Thực chất mạng này vẫn có 2 dây, một dây đi trên không còn một dây là đất hoặc đường ray. Mạng điện này được dùng để chạy tàu điện hoặc xe điện.



Hình 8.5

a) Người chạm vào 1 cực của mạng có 1 dây

b) Sơ đồ thay thế khi người chạm vào 1 cực của mạng có 1 dây

Bằng cách giải mạch tương tự mục 1, ta tìm được:

$$I_{ng} = \frac{U \cdot r_{cd2}}{R_{ng} (r_0 + r_{cd2}) + r_0 \cdot r_{cd2}} \quad (8-9)$$

ở đây: r_0 - là điện trở nối đất làm việc

+ Nếu coi: $r_0 = 0$, biểu thức (8-9) trở thành:

$$I_{ng} = \frac{U}{R_{ng}} \quad (8-10)$$

+ Nếu người đứng trên nền có điện trở r_n , biểu thức (8-10) trở thành:

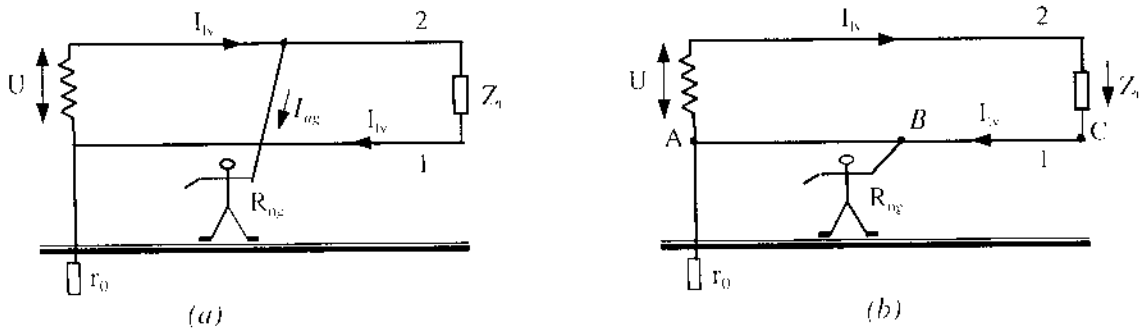
$$I_{ng} = \frac{U}{R_{ng} + r_n}$$

(8-11)

Qua đây ta thấy rằng, nếu chân người tiếp xúc trực tiếp với đất chạm vào mạng điện này người sẽ phải chịu gần như toàn bộ điện áp của mạng điện, rất nguy hiểm vì thế khi sử dụng và làm việc với mạng điện này cần phải chú ý treo dây dẫn cao cách mặt đất một khoảng an toàn.

b. Mạng có 2 dây: Hình 8.6 sơ đồ mạng có hai dây trong đó dây 1 nối đất qua điện trở làm việc r_0 rất nhỏ.

- Khi người chạm vào dây 2 (hình 8.6.a) lúc đó xem chân người đứng chạm vào dây 1 nên gần như người phải chịu toàn bộ điện áp của mạng điện: $U_{ng} = U$, rất nguy hiểm.



Hình 8.6. Người chạm vào 1 cực của mạng có 1 dây nối đất
a) người chạm vào cực không nối đất của mạng 2 dây
b) người chạm vào cực nối đất của mạng 2 dây

- Khi người chạm vào dây 1, giả sử tại điểm B, có thể xem chân người như đang ở điểm A, nên điện áp đặt vào người U_{ng} bằng điện áp U_{AB} :

$$U_{ng} = U_{AB} = R_{AB} \cdot I_{lv}$$

ở đây: R_{AB} - điện trở của đoạn dây AB

I_{lv} - dòng điện làm việc của mạng

Điện áp đặt lên người lớn nhất khi người chạm vào điểm C, tức là:

$$U_{ng \text{ Max}} = R_{AC} \cdot I_{lv} = 5\% U$$

ở đây: R_{AC} - điện trở của đường dây AC

I_{lv} - dòng điện làm việc của mạng

$5\%U$ - tổn thất điện áp cho phép trên đường dây AC

(độ lệch áp tại điểm A và điểm C qui định cho phép $\leq 5\%U$)

Ví dụ: Nếu điện áp của mạng $U = 220 \text{ V}$ thì điện áp lớn nhất người phải chịu khi chạm vào dây 1 là:

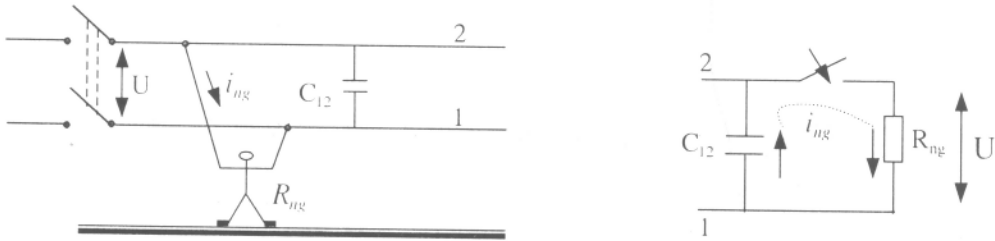
$$U_{ng \text{ Max}} = 5\% U = \frac{5}{100} \cdot 220 = 11 \text{ V}$$

Đây chính là trường hợp người chạm vào dây trung tính của mạng điện dân dụng xoay chiều một pha của nước ta.

8.1.2. Mạng điện cách điện đối với đất có điện dung lớn

Mạng xoay chiều hoặc một chiều cao áp dây đi trên không hoặc dạng cáp (riêng mạng điện dùng cáp kể cả hạ áp) là mạng có điện dung lớn. Sở dĩ mạng cáp hạ áp cũng có điện dung lớn vì: khoảng cách giữa các pha và giữa các pha với đất nhỏ hơn rất nhiều so với đường dây trên không nhưng lại có lớp cách điện rất tốt ($R_{cd} \approx \infty$) cho nên một cách gần đúng có thể bỏ qua điện dẫn ($g_{cd} = \frac{1}{R_{cd}} \approx 0$) trong sơ đồ thay thế của lớp điện môi giữa dây dẫn điện với đất.

1. Chạm vào 2 cực của đường dây đã cắt điện (hình 8.7)



Hình 8.7. Người chạm vào 2 cực của đường dây đã cắt điện

Tuy đường dây đã được cắt ra khỏi nguồn điện, nếu đường dây không được tiếp địa thì điện tích tàn dư của đường dây vẫn có thể gây nguy hiểm cho người. Khi đó người sẽ phải chịu dòng điện phóng qua người dạng hàm mũ:

$$i_{ng} = \frac{U}{R_{ng}} \cdot e^{-\frac{t}{R_{ng} C_{12}}} \quad (8-12)$$

U - điện áp giữa dây 1 và dây 2 tại thời điểm người chạm điện, (V)

C_{12} - điện dung giữa dây 1 và dây 2, (F)

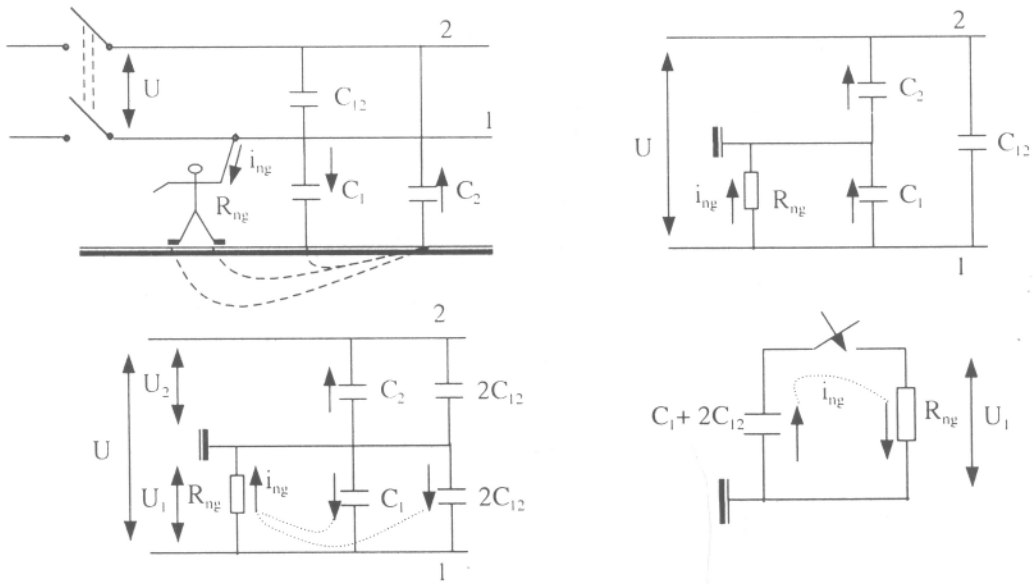
2. Chạm vào 1 cực của đường dây đã cắt điện (hình 8.8)

Khi đường dây chưa được tiếp địa tốt mà chạm vào, người sẽ phải chịu dòng điện:

$$i_{ng} = \frac{U}{2R_{ng}} \cdot e^{-\frac{t}{R_{ng}(2C_{12} + C_1)}} \quad (8-13)$$

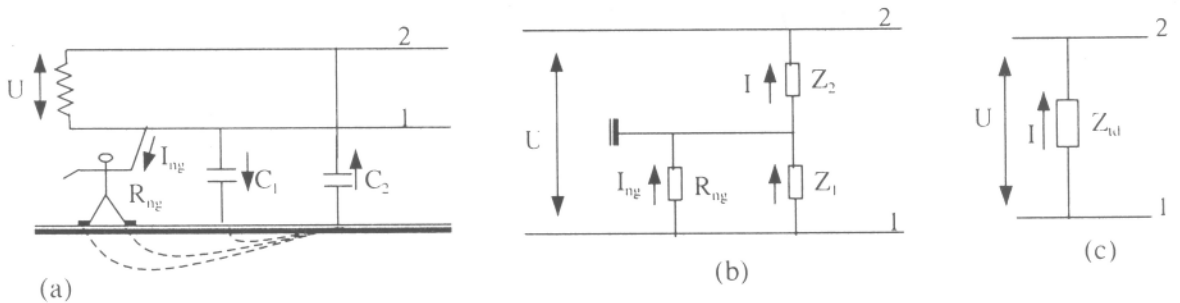
U - điện áp giữa dây 1 và dây 2 tại thời điểm người chạm điện, (V)

C_1, C_{12} - điện dung dây 1 với đất và điện dung giữa dây 1 với dây 2, (F)



Hình 8.8. Người chạm vào đường dây đã cắt điện

3. Chạm vào một dây của mạng điện xoay chiều đang vận hành (hình 8.9)



Hình 8.9. Người chạm vào 1 cực của mạng điện xoay chiều đang làm việc

Ở mạng điện này khi người chạm vào một dây người sẽ phải chịu một dòng điện đi qua:

$$I_{ng} = \frac{\omega CU}{\sqrt{1 + 4\omega^2 C^2 R_{ng}^2}} \quad (8-14)$$

Trong đó: U - Trị số điện áp hiệu dụng của mạng,

ω - tần số góc dòng điện,

C - điện dung của mạng điện (coi $C_1 = C_2 = C$).

Trên hình 8.9b là sơ đồ thay thế của mạch khi người chạm vào 1 dây

Giải mạch bằng phương pháp biến đổi tương đương và áp dụng số phức tìm dòng điện qua người;

Giả sử điện áp của mạng ở dạng sin: $u = U\sqrt{2} \sin \omega t$ có ảnh phức là:

$$\dot{U} = U \angle 0^\circ = U$$

C_1, C_2 là điện dung của dây 1 và dây 2 đối với đất (có thể coi $C_1 = C_2 = C$ vì khoảng cách giữa dây 1 và dây 2 đối với đất thực tế là gần như nhau).

Khi đó điện dung có dung kháng ở dạng phức:

$$Z_1 = Z_2 = Z = -jX_C = -j \frac{1}{\omega C}, \Omega$$

Tổng trở phức tương đương trên sơ đồ hình 8.9c là:

$$Z_{td} = Z + \frac{Z.R_{ng}}{Z + R_{ng}} \quad (8-15)$$

Dòng điện của mạch ở dạng phức:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z_{td}} \frac{Z}{Z + R_{ng}} \quad (8-16)$$

Điện áp đặt lên người ở dạng phức:

$$\dot{U}_{ng} = \dot{I} \frac{Z.R_{ng}}{Z + R_{ng}} \quad (8-17)$$

Dòng điện chạy qua người ở dạng phức:

$$\dot{I}_{ng} = \dot{I} \cdot \frac{Z}{Z + R_{ng}} = \frac{\dot{U}}{Z_{td}} \cdot \frac{Z}{Z + R_{ng}} = \frac{\dot{U}}{Z + 2R_{ng}} \quad (8-18)$$

$$\text{Thay } Z = -j \frac{1}{\omega C} \Omega \text{ vào và tính được: } \dot{I}_{ng} = \frac{j\omega C \cdot \dot{U}}{1 + j2\omega C R_{ng}} \quad (8-19)$$

$$\text{Vậy giá trị dòng điện chạy qua người: } I_{ng} = \frac{\omega C U}{\sqrt{1 + 4\omega^2 C^2 R_{ng}^2}}$$

8.2. PHÂN TÍCH AN TOÀN TRONG MẠNG ĐIỆN BA PHA.

8.2.1. Giới thiệu chung

Mạng điện 3 pha điểm trung tính có vai trò hết sức quan trọng trong chế độ làm việc. Dây trung tính là dây nối với điểm trung tính làm nhiệm vụ dẫn dòng điện trở về nguồn khi mạng không đối xứng. Điểm trung tính và dây trung tính gọi chung là trung tính.

Nếu trung tính không nối đất hoặc nối đất qua tổng trở lớn hoặc nối đất qua thiết bị bù dòng điện dung được gọi là **trung tính cách điện với đất**. Nếu trung tính trực tiếp nối với hệ thống nối đất có điện trở nhỏ gọi là **trung tính nối đất trực tiếp**.

Mạng có điện áp $U \geq 110 \text{ KV}$ (110, 220, 500 KV,...) thường là mạng trung tính nối đất trực tiếp. Khi điện áp của mạng $\leq 35 \text{ KV}$ (35, 20, 10 KV,...) thường là mạng trung tính cách điện với đất.

Mạng có điện áp $U \leq 1 \text{ KV}$ (là mạng hạ áp) thường là 220/127 V hoặc 380/220 V có thể là trung tính nối đất hoặc không nối đất. Nước ta hiện đang dùng phổ biến mạng 3 pha 4 dây 380/220 V trung tính nối đất trực tiếp.

Các tình huống có thể dẫn đến tai nạn nguy hiểm của dòng điện trong mạng 3 pha:

- Chạm trực tiếp vào 1 pha, 2 pha hoặc 3 pha,
- Chạm gián tiếp (chạm khi thiết bị điện có sự cố hỏng cách điện hoặc phải chịu điện áp bước).

Chạm vào vỏ thiết bị hỏng cách điện (thường là do 1 pha chạm vỏ) có thể coi là trường hợp chạm vào 1 pha của mạng điện 3 pha.

Trong các tình huống kể trên thì tình huống chạm vào 1 pha là phổ biến nhất, vì thế ở đây chỉ phân tích an toàn trong trường hợp này. Song mức độ nguy hiểm còn tùy thuộc vào từng loại mạng điện 3 pha (cao áp hay hạ áp; trung tính có nối đất hay không nối đất).

8.2.2. Mạng điện 3 pha có trung tính cách điện với đất

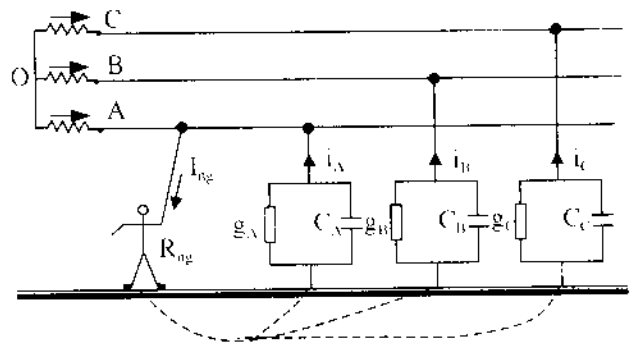
1. Trường hợp chung (hình 8.10)

Trường hợp chung là khi điện dẫn và điện dung của mạng có trị số bất kỳ, nghĩa là:

$$g_A \neq g_B \neq g_C \neq 0$$

$$\text{và } C_A \neq C_B \neq C_C \neq 0$$

Khi người chạm vào 1 pha, giả sử pha A người sẽ phải chịu dòng điện chạy qua người có trị số như biểu thức (8-20).



Hình 8.10. Người chạm vào 1 pha của mạng 3 pha trung tính cách điện với đất

$$I_{ng} = \frac{U \cdot g_{ng}}{2} \sqrt{\frac{[3(g_B + g_C) + \omega\sqrt{3}(C_C - C_B)]^2 + [\sqrt{3}(g_B - g_C) + 3\omega(C_C + C_B)]^2}{(g_A + g_B + g_C + g_{ng})^2 + \omega^2(C_A + C_B + C_C)^2}} \quad (8-20)$$

Có thể chứng minh biểu thức (8-20) như sau:

- Trước khi người chạm vào pha A, theo định luật Kiếckhốp 1:

$$i_A + i_B + i_C = 0$$

$$\text{Hay: } g_A u_A + g_B u_B + g_C u_C + C_A \frac{du_A}{dt} + C_B \frac{du_B}{dt} + C_C \frac{du_C}{dt} = 0 \quad (8-21)$$

$$\text{Mặt khác, ta lại có: } \begin{cases} u_{BA} = u_A - u_B \\ u_{CA} = u_A - u_C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} u_B = u_A - u_{BA} \\ u_C = u_A - u_{CA} \end{cases}$$

Với: u_A, u_B, u_C là trị số tức thời của điện áp các pha với đất (điện áp pha),

u_{BA}, u_{CA} là trị số tức thời điện áp dây.

Thay các trị số này vào biểu thức (5-28), ta được :

$$(g_A + g_B + g_C)u_A + (C_A + C_B + C_C) \frac{du_A}{dt} - g_B u_{BA} - C_B \frac{du_{BA}}{dt} - g_C u_{CA} - C_C \frac{du_{CA}}{dt} = 0 \quad (8-22)$$

Đặt $g_A + g_B + g_C = g$ và $C_A + C_B + C_C = C$, rồi biểu diễn phức (8-22), ta được :

$$\dot{U}_A \cdot (g + j\omega C) - \dot{U}_{BA} \cdot (g_B + j\omega C_B) - \dot{U}_{CA} \cdot (g_C + j\omega C_C) = 0 \quad (8-23)$$

Mặt khác, ta lại có:

$$\dot{U}_{BA} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = U(1 - a^2)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_A - \dot{U}_C = U(1 - a)$$

Trong đó: $a = 1 \angle 120^\circ = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ gọi là toán tử pha.

U - Trị hiệu dụng của điện áp pha.

Thay vào (5-29) và quy về một ẩn:

$$\dot{U}_A = \frac{U}{2} \cdot \frac{[3(g_B + g_C) + \omega\sqrt{3}(C_C - C_B)] + j[\sqrt{3}(g_B - g_C) + 3\omega(C_B + C_C)]}{g + j\omega C} \quad (8-24)$$

Trị hiệu dụng:

$$U_A = \frac{U}{2} \sqrt{\frac{[3(g_B + g_C) + \omega\sqrt{3}(C_C - C_B)]^2 + [\sqrt{3}(g_B - g_C) + 3\omega(C_B + C_C)]^2}{(g_A + g_B + g_C)^2 + \omega^2(C_A + C_B + C_C)^2}} \quad (8-25)$$

- Khi người chạm vào pha A thì người phải chịu điện áp có trị số U'_A chỉ khác U_A thay thế số hạng $(g_A + g_B + g_C) = (g_{ng} + g_A + g_B + g_C)$ dưới mẫu của biểu thức (8-25). Tức là lúc này người sẽ chịu một dòng điện chạy qua có trị số:

$$I_{ng} = \frac{U \cdot g_{ng}}{2} \sqrt{\frac{[3(g_B + g_C) + \omega\sqrt{3}(C_C - C_B)]^2 + [\sqrt{3}(g_B - g_C) + 3\omega(C_C + C_B)]^2}{(g_A + g_B + g_C + g_{ng})^2 + \omega^2(C_A + C_B + C_C)^2}}$$

2. Trường hợp mạng có điện áp dưới 1000 V: khi dây dẫn đi trên không vì điện áp nhỏ nên có điện dung nhỏ, còn ở mạng cáp, mặc dù có điện dung lớn hơn nhưng thường lại có chiều dài dây ngắn nên điện dung cũng rất nhỏ, để tính gần đúng dòng điện qua người trong trường hợp này có thể coi:

$$\begin{cases} C_A = C_B = C_C = 0 \\ g_A = g_B = g_C = g = \frac{1}{r_{cd}} \end{cases}$$

thay vào (8-20) ta được:

$$I_{ng} = \frac{3U}{3R_{ng} + r_{cd}} \quad (8-26)$$

3. Trường hợp mạng có điện áp trên 1000 V: vì điện áp lớn cho nên điện dung lớn, không thể bỏ qua được nhưng ở mạng cao áp cách điện thường rất tốt nên điện trở cách điện lớn (tức là điện dẫn rất nhỏ, có thể bỏ qua). Vì vậy để tính gần đúng dòng điện qua người trong trường hợp này có thể coi:

$$\begin{cases} C_A = C_B = C_C = C \\ g_A = g_B = g_C = g = \frac{1}{r_{cd}} = 0 \end{cases}$$

thay vào (8-20) ta được:

$$I_{ng} = \frac{3\omega CU}{\sqrt{1 + 9\omega^2 C^2 R_{ng}^2}} \quad (8-27)$$

4. Trường hợp 1 pha đang có sự cố chạm đất, người chạm vào 1 trong 2 pha còn lại:

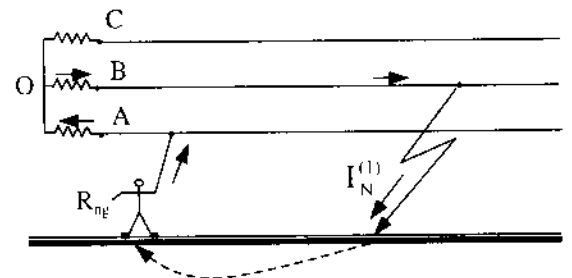
Trường hợp này rất nguy hiểm bởi vì lúc đó người sẽ phải chịu điện áp lớn hơn điện áp pha và có thể đạt tới điện áp dây nên dòng điện qua người cũng tăng theo.

Trên hình 5.16 là ví dụ: Khi pha B chạm đất, người chạm vào pha A.

Lúc đó nếu bỏ qua điện trở chỗ chạm đất thì dòng điện qua người sẽ là:

$$I_{ng} = I_N^{(1)} = \frac{U_{AB}}{R_{ng}},$$

(với U_{AB} là điện áp dây của mạng)



Hình 8.11. Trong khi có 1 pha chạm đất, người chạm vào 1 trong 2 pha còn lại của mạng 3 pha trung tính cách điện với đất

Thực tế vận hành xảy ra do các nguyên nhân sau:

- Dòng điện chạm đất 1 pha (còn gọi là dòng ngắn mạch 1 pha $I_N^{(1)}$) thường rất nhỏ không đủ để các thiết bị bảo vệ phát hiện được.

- Được phát hiện, nhưng vì phải đảm bảo cung cấp điện liên tục cho các phụ tải quan trọng nên vẫn phải tiếp tục làm việc cho đến khi đóng được nguồn dự trữ hoặc đến khi sửa chữa xong pha bị sự cố.

8.2.3. Mạng điện 3 pha có trung tính nối đất trực tiếp

Nối đất trung tính nhằm mục đích giữ điện áp gần như không thay đổi khi có chạm đất 1 pha $N^{(1)}$. Vì thế nối đất trung tính có một ý nghĩa cực kỳ to lớn về kinh tế cũng như về an toàn.

1. Về lĩnh vực kinh tế

Người ta đã thống kê được $N^{(1)}$ chiếm khoảng 80 - 90% các loại sự cố trong hệ thống điện. Như đã trình bày ở trên đối với mạng điện có trung tính cách điện đối với đất khi có $N^{(1)}$ thì các pha còn lại, điện áp pha sẽ tăng đến điện áp dây (tức là tăng lên $\sqrt{3}$ lần). Do đó, khi chọn cách điện cho các thiết bị điện ở mạng điện này, cần phải chọn theo điện áp dây. Trong khi đó, nếu ở mạng trung tính nối đất chỉ cần chọn cách điện của các thiết bị điện theo điện áp pha. Như vậy, sẽ tiết kiệm được vật liệu cách điện sẽ lợi về kinh tế, đặc biệt đối với mạng điện có điện áp cao, thì phân cách điện đòi hỏi những vật liệu phải đảm bảo nhiều yêu cầu khắt khe.

2. Về lĩnh vực an toàn

a. Mạng điện có điện áp trên 1000 V

Khi điện áp lớn hơn 1000 V dù trung tính có nối đất hay không nối đất, khi người chạm điện trực tiếp hay gián tiếp thì đều rất nguy hiểm. Tuy nhiên trong trường hợp khi có sự cố chạm đất 1 pha mà người chạm vào 1 trong hai pha còn lại thì mạng điện có trung tính nối đất sẽ ít nguy hiểm hơn so với mạng có trung tính cách điện đối với đất ở cùng cấp điện áp.

Mặt khác trong mạng có trung tính nối đất, vỏ thiết bị điện thường được nối với trung tính nên khi có chạm vỏ sẽ biến thành sự cố ngắn mạch pha - trung tính dòng điện sự cố tăng, các thiết bị bảo vệ sẽ tác động nhanh cắt sự cố khỏi nguồn sẽ an toàn cho người và thiết bị. Còn khi trung tính cách điện với đất do dòng sự cố chạm đất nhỏ, thiết bị bảo vệ có thể không làm việc dẫn đến sự cố duy trì, nếu người chạm phải rất nguy hiểm.

b. Mạng điện có điện áp đến 1000 V

Đối với mạng điện có điện áp trên 1000 V việc chọn thiết bị bảo vệ để cải thiện sự cố dễ dàng, nhưng đối với mạng có điện áp dưới 1000 V tình trạng chạm đất thường là duy trì như ở mạng trung tính trực tiếp nối đất nên có thể nguy hiểm cho người. Để minh họa, ta xét ví dụ sau:

Mạng 380/220 V trong tính nối đất trực tiếp với điện trở $r_0 = 4 \Omega$, điện trở chỗ chạm đất $r_{chđ} = 12 \Omega$ (giá trị bé nhất nếu không xét đến trường hợp chạm dây nối thiết bị).

$$\text{Khi đó dòng điện chạm đất: } I_d = \frac{U_p}{r_0 + r_{chđ}} = \frac{220}{4 + 12} = 13,7 \text{ A ;}$$

dòng điện này chỉ làm chảy cầu chì có dòng định mức: $I_{dmcc} \leq \frac{13,7}{2 + 2,5} = 4 \div 6 \text{ A}$

trong khi đó các mạng xí nghiệp thường đặt cầu chì có $I_{dmcc} = 10 \div 30 \text{ A}$ hoặc lớn hơn.

Vì thế theo quy trình hiện hành thì mạng 380/220 V trung tính nối đất trực tiếp phải thực hiện đồng thời hai loại bảo vệ: bảo vệ nối đất và bảo vệ nối dây trung tính.

8.3. KẾT LUẬN CHUNG

Qua phân tích, rút ra một số kết luận sau, về an toàn điện trong các mạng điện:

1. Khi người chạm vào phần tử có điện áp trong các mạng điện, đều có dòng điện chạy qua người, những dòng điện này đều có thể gây nguy hiểm đến tính mạng. Bởi thế để đảm bảo an toàn, phương pháp đúng đắn nhất là cần chấp hành nghiêm chỉnh các quy định của cơ quan và ngành điện lực về an toàn điện.

2. Cần học tập nghiên cứu nâng cao trình độ hiểu biết và từ đó đề ra các biện pháp kỹ thuật an toàn nhằm hạn chế tối đa những rủi ro do dòng điện gây ra đối với con người.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 8

1. Hãy phân tích an toàn khi người chạm vào 1 dây của mạng điện đơn giản có điện dung nhỏ?
2. Hãy phân tích an toàn khi người chạm vào 1 dây của mạng điện đơn giản có điện dung lớn?
3. Hãy phân tích an toàn khi người chạm vào 1 pha của mạng điện ba pha trung tính nối đất trực tiếp?
4. Hãy nêu ý nghĩa của nối đất điểm trung tính trong mạng điện ba pha?

CHƯƠNG 9

XỬ LÝ VÀ CẤP CỨU NGƯỜI BỊ ĐIỆN GIẬT

Khi có người bị điện giật bất cứ ai nhìn thấy cũng phải có trách nhiệm tìm mọi biện pháp để cứu người bị nạn. Việc cứu người cần được tiến hành nhanh chóng, kịp thời và có phương pháp, bởi nó là yếu tố quyết định đến tính mạng của nạn nhân.

Những thống kê về tai nạn điện giật cho thấy rằng, nếu việc xử lý, cấp cứu được tiến hành càng nhanh thì tỷ lệ nạn nhân được cứu sống càng cao, trong 1 phút nếu được tách khỏi nguồn và được sơ cấp cứu thì tỷ lệ được cứu sống khoảng 98%, còn nếu kéo dài đến 6 phút thì tỷ lệ được cứu sống chỉ còn khoảng 10%.

Vậy xử lý, cấp cứu người bị điện giật cần thực hiện theo trình tự hai bước cơ bản sau:

9.1. TÁCH NẠN NHÂN RA KHỎI NGUỒN ĐIỆN

9.1.1. Trường hợp cắt được nguồn điện: thì cần nhanh chóng cắt nguồn điện bằng cách cắt các thiết bị đóng cắt gần nạn nhân nhất như công tắc, cầu dao, áp to mát, máy cắt điện,...(hình 9.1). Khi cắt cần chú ý:

- Nếu người bị nạn đang ở trên cao thì cần có biện pháp hứng đỡ khi người đó rơi xuống.
- Cắt điện trong trường hợp này cũng có thể dùng dao, búa, rìu v.v...có cán cách điện để chặt đứt dây dẫn điện (hình 9.2c).

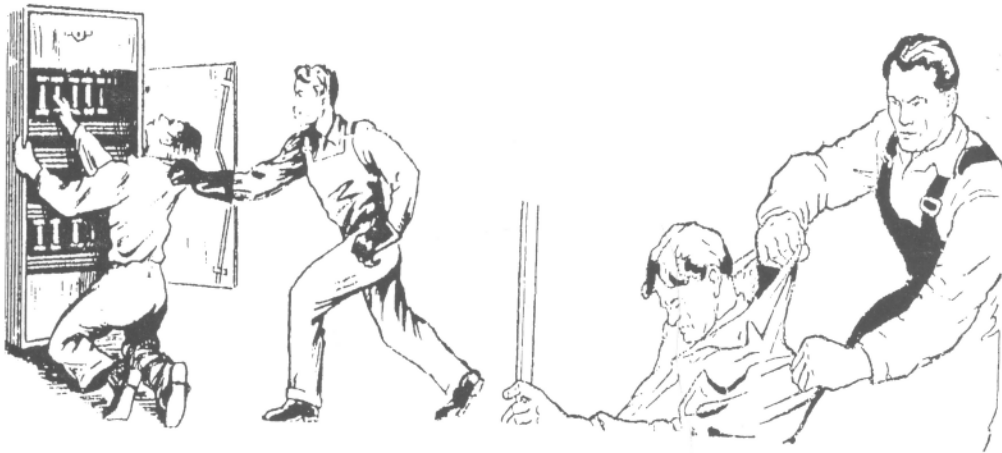


Hình 9.1

Cắt nguồn điện bằng cầu dao (công tắc, aptomat)

9.1.2. Trường hợp không cắt được nguồn điện: cần phân biệt người bị nạn là do điện hạ áp hay điện cao áp mà thực hiện các biện pháp sau:

1. **Nếu người bị nạn do điện hạ thế:** người cứu cần có biện pháp an toàn cá nhân tốt như dùng các vật cách điện: sào, gậy tre hoặc gỗ khô,... để gạt dây điện ra khỏi nạn nhân; nếu nạn nhân nắm chặt vào dây điện cần phải đứng trên các vật cách điện khô như bàn, ghế, bệ gỗ, thảm hoặc đi ủng hoặc đi găng tay cách điện để gỡ nạn nhân ra hoặc cũng có thể dùng dao, búa, rìu cán cách điện.v.v... để chặt dây điện (hình 9.2).



a)



b)



c)

Hình 9.2. Cách tách nạn nhân ra khỏi nguồn điện

2. **Nếu người bị nạn do điện cao thế:** tốt nhất là người cứu có các dụng cụ an toàn như: đi ủng, găng cách điện hoặc sào cách điện,... khi tách nạn nhân ra khỏi mạch điện. Nếu trong trường hợp không có các dụng cụ an toàn kể trên thì cần làm ngắn mạch đường dây (tạo ngắn mạch để các thiết bị bảo vệ tự động cắt đường dây ra khỏi nguồn) bằng cách lấy dây đồng, dây nhôm hoặc dây thép ném lên đường dây tạo ngắn mạch các pha. Trong trường hợp người bị nạn chỉ chạm vào một pha thì chỉ cần nối đất

một đầu dây còn đầu kia ném vào pha đó, nhưng tránh ném vào người bị nạn.

9.2. CẤP CỨU NGAY SAU KHI TÁCH NẠN NHÂN RA KHỎI NGUỒN ĐIỆN

Ngay sau khi người bị nạn thoát khỏi nguồn điện, phải căn cứ vào tình trạng sức khỏe của nạn nhân để xử lý cho thích hợp.

9.2.1. Người bị nạn chưa mất tri giác

Khi người bị nạn chưa mất tri giác, chỉ bị mê man trong chốc lát, còn thờ yếu v.v... cần đặt nạn nhân ở nơi thoáng khí, yên tĩnh và cấp tốc đi mời Y-Bác sỹ ngay, nếu không mời Y-Bác sỹ thì cần chuyển người bị nạn đến cơ quan y tế gần nhất.

9.2.2. Người bị nạn mất tri giác

Khi người bị nạn đã mất tri giác nhưng vẫn còn thở nhẹ, tim đập yếu, cần đặt nạn nhân ở nơi thoáng khí, yên tĩnh (nếu trời lạnh phải đặt trong phòng thoáng), nới rộng quần áo, thắt lưng và xem có gì trong miệng thì lấy ra rồi cho ngửi amoniac, nước giải, xoa bóp toàn thân cho nóng lên đồng thời đi mời Y-Bác sỹ ngay.

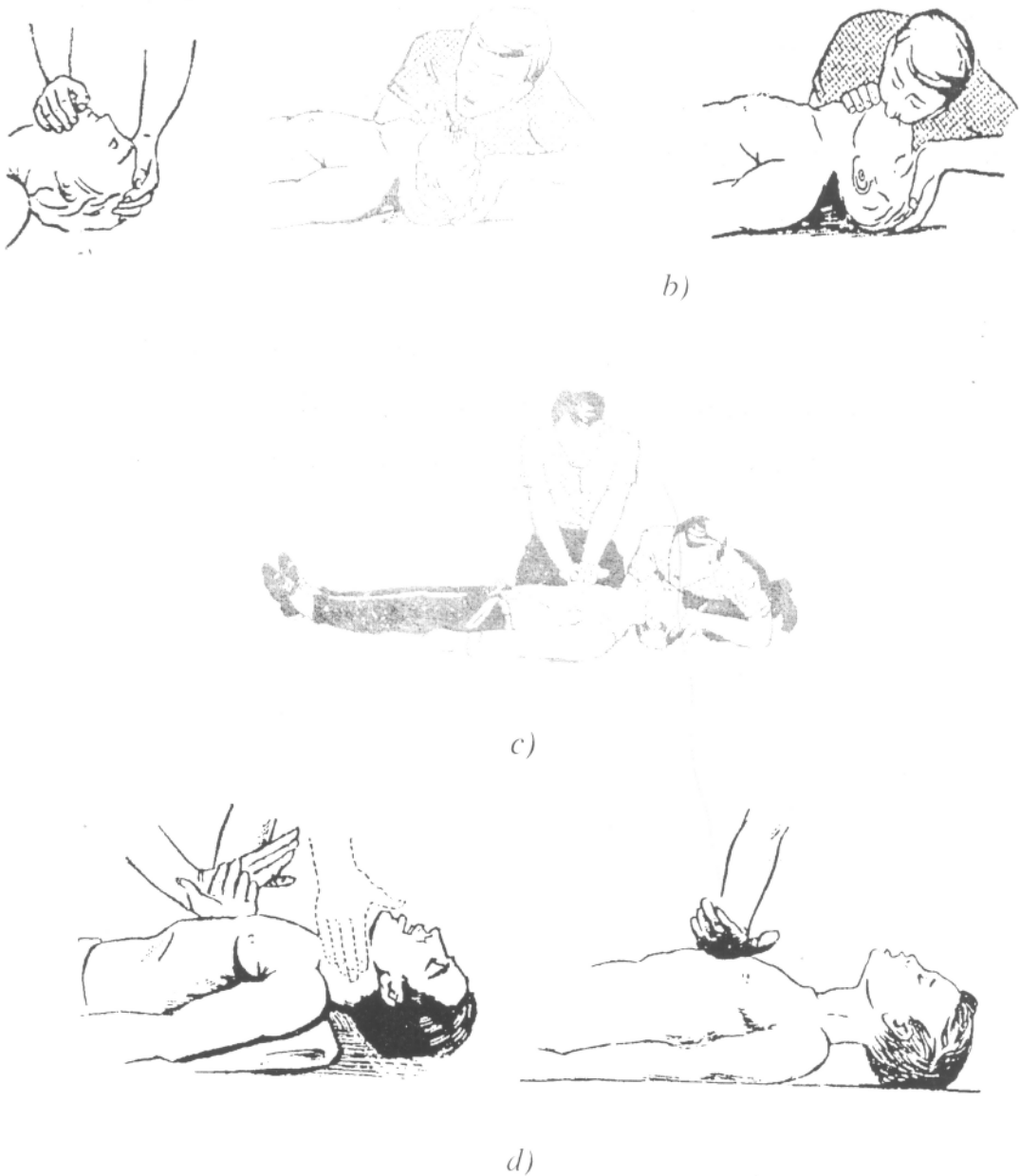
9.2.3. Người bị nạn đã tắt thở

Nếu người bị nạn đã tắt thở, tim ngừng đập, toàn thân sinh cơ giật như chết cần đặt nạn nhân ở nơi thoáng khí, bằng phẳng, nới rộng quần áo và thắt lưng; lau sạch máu, nước bọt và các chất bẩn; kiểm tra miệng xem có vướng gì không rồi thực hiện hô hấp nhân tạo. Cần thực hiện hô hấp nhân tạo cho đến khi có Y-Bác sỹ đến, có ý kiến quyết định mới thôi.

9.2.4. Phương pháp hô hấp nhân tạo

- Đặt nạn nhân nằm ngửa, kê gáy bằng vật mềm và để đầu ngửa về phía sau. Kiểm tra khí quản có thông suốt không và lấy các dị vật ra. Nếu hàm bị co cứng phải mở miệng bằng cách để tay áp vào phía dưới của góc hàm dưới, tỳ ngón cái vào mép hàm để đẩy hàm dưới ra.

- Kéo ngửa nạn nhân về phía sau sao cho cằm và cổ trên một đường thẳng đảm bảo cho không khí vào được dễ dàng. Đẩy hàm dưới về phía trước, để phòng lưỡi rơi xuống đóng thanh quản (hình 9.3a).



Hình 9.3. Phương pháp hô hấp nhân tạo

- Mở miệng và bịt mũi nạn nhân. Người cấp cứu hít hơi và thổi mạnh vào miệng nạn nhân, nên đặt gạc sạch lên miệng nạn nhân khi thổi (hình 9.3b). Nếu không thể thổi vào miệng được thì có thể bịt kín miệng nạn nhân và thổi vào mũi. Việc thổi khí cần làm nhịp nhàng và liên tục 10 - 12 lần trong 1 phút với người lớn, 20 lần trong 1 phút với trẻ em. Lập lại các thao tác trên nhiều lần.

- Nếu có hai người cấp cứu thì một người hà hơi thổi ngạt, còn người kia xoa bóp nhịp tim (hình 9.3c). Người xoa bóp tim đặt hai tay chồng lên nhau và đặt ở 1/3 phần dưới xương ức của nạn nhân, ấn khoảng 4-6 lần thì dừng lại 2 giây để

người kia thổi không khí vào phổi nạn nhân. Khi ấn, cần ép mạnh lồng ngực xuống khoảng 4-6 cm sau đó giữ tay lại khoảng 1/3 giây rồi mới để tay trở về vị trí ban đầu (hình 9.3d).

Các thao tác phải được thực hiện liên tục cho đến khi có Y-Bác sỹ đến và có ý kiến quyết định mới thôi.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 9

1. Nêu phương pháp tách nạn nhân ra khỏi nguồn điện?
2. Phương pháp cấp cứu sau khi tách nạn nhân ra khỏi nguồn điện?

CHƯƠNG 10**CÁC BIỆN PHÁP CẦN THIẾT ĐỂ BẢO ĐẢM AN TOÀN ĐIỆN****10.1. QUY TẮC CHUNG ĐẢM BẢO AN TOÀN ĐIỆN**

Để đảm bảo an toàn điện cần thực hiện tốt các quy định sau đây:

1. Phải che chắn các thiết bị và bộ phận mang điện để tránh nguy hiểm khi tiếp xúc bất ngờ vào vật dẫn điện
2. Phải chọn đúng điện áp sử dụng và thực hiện nối đất hoặc nối dây trung tính các phần tử bình thường không mang điện nhưng có nguy cơ bị rò điện theo đúng quy chuẩn.
3. Nghiêm chỉnh sử dụng các thiết bị, dụng cụ và bảo vệ khi làm việc.
4. Nghiêm chỉnh thực hiện, chấp hành các quy định, các quy trình, quy phạm về an toàn điện.
5. Tổ chức kiểm tra, vận hành theo đúng quy tắc an toàn.
6. Thường xuyên kiểm tra dự phòng cách điện của các thiết bị điện và hệ thống điện.

10.2. CÁC BIỆN PHÁP KỸ THUẬT AN TOÀN ĐIỆN.

Để phòng ngừa, hạn chế tác hại do tai nạn điện, cần áp dụng các biện pháp kỹ thuật an toàn điện sau đây:

1. Các biện pháp chủ động đề phòng xuất hiện tình trạng nguy hiểm có thể gây tai nạn:
 - Đảm bảo tốt cách điện của thiết bị.
 - Đảm bảo khoảng cách an toàn, bao che, rào chắn các bộ phận mang điện.
 - Sử dụng điện áp thấp, máy biến áp cách ly.
 - Sử dụng tín hiệu, biển báo, khóa liên động.
2. Các biện pháp để ngăn ngừa, hạn chế tai nạn điện khi xuất hiện tình trạng nguy hiểm:
 - Thực hiện nối dây trung tính bảo vệ (nối không)
 - Thực hiện nối đất bảo vệ, cân bằng thế, nối không.

- Sử dụng máy cắt điện an toàn, thiết bị chống rò điện (máy cắt vi sai).
- Sử dụng các phương tiện bảo vệ, dụng cụ phòng hộ.

Các mục tiếp theo của chương này xin giới thiệu cách thực hiện một số biện pháp kỹ thuật an toàn cơ bản hay dùng trong thực tế.

10.3. NỐI ĐẤT BẢO VỆ

10.3.1. Những vấn đề chung

Bảo vệ bằng cách nối đất được xem như một trong những biện pháp bảo vệ rất cổ điển nhưng lại là một biện pháp rất hay dùng để bảo vệ điện giật do tiếp xúc gián tiếp vì nó rất đơn giản và đại đa số trong các trường hợp lại ít tốn kém.

Tác dụng của nối đất là để tản dòng điện và giữ mức điện thế thấp trên các vật được nối đất.

1. Các hình thức nối đất

- Theo công dụng của nối đất, trong ngành điện người ta phân ra các dạng nối đất chủ yếu sau:

a. Nối đất làm việc: là nối điện một số điểm của mạng điện (thường là các điểm trung tính) với hệ thống nối đất, nhằm nâng cao độ tin cậy cung cấp điện, kinh tế khi vận hành hệ thống điện cả trong chế độ làm việc bình thường cũng như khi xảy ra sự cố.

b. Nối đất an toàn (hay nối đất bảo vệ): là nối điện các bộ phận bình thường không mang điện áp (như khung máy, vỏ máy, các giá đỡ kim loại, chân sứ,...) của thiết bị điện với hệ thống nối đất, nhằm đảm bảo an toàn khi cách điện giữa chúng và phần tử mang điện bị hỏng. Khi cách điện bị hỏng, trên các bộ phận này sẽ xuất hiện điện áp nhưng do đã được nối đất nên giữ được mức điện áp thấp,...do đó đảm bảo an toàn cho người khi tiếp xúc chúng.

c. Nối đất chống sét: là nối điện thiết bị chống sét (kim thu lôi, dây thu sét, lưới thu sét,...) với hệ thống nối đất nhằm tản dòng điện sét vào trong đất và giữ cho điện áp tại mọi điểm không quá lớn, đảm bảo an toàn cho các công trình, thiết bị và con người khi có sét đánh.

Trong tài liệu này chủ yếu chỉ đề cập nối đất an toàn. Tuy nhiên, các công thức, trị số điện trở nối đất yêu cầu, cách thức thực hiện tính toán thiết kế,... trình bày trong tài liệu này có thể áp dụng chung được cho 3 dạng nối đất kể trên.

- Nếu hệ thống nối đất sử dụng các điện cực có sẵn trong đất, ví dụ: ống dẫn nước kim loại, nền móng bê tông cốt thép,...(trừ các ống dẫn nguyên liệu lỏng và khí dễ cháy nổ) người ta gọi là *nối đất tự nhiên*.

Điện trở nối đất tự nhiên được xác định bằng cách đo lường thực tế hoặc nếu biết hình dáng điện cực và điện trở suất của vùng đất có điện cực cũng có thể tính toán theo công thức cho ở bảng 10.3.

- Nếu hệ thống nối đất được thực hiện bằng cách chôn các điện cực kim loại sâu trong đất và nối điện chúng lại với nhau gọi là *nối đất nhân tạo*. Điện cực nối đất nhân tạo tốt nhất là dùng các loại cọc bằng đồng. Thực tế để giảm bớt tổn kém, thường hay dùng cọc sắt thép (thép tròn, thép dẹt, thép góc, hoặc hỗn hợp các loại thép này). Điện cực được chôn thẳng đứng hoặc thanh dài đặt nằm ngang trong đất.

Một hệ thống nối đất có thể bao gồm nối đất tự nhiên và nối đất nhân tạo.

2. Điện trở của hệ thống nối đất

- Điện trở của một hệ thống nối đất gồm 2 thành phần: Điện trở của bản thân các điện cực và điện trở của khối đất xung quanh điện cực tham gia quá trình tản dòng điện vào trong đất.

Trong tính toán người ta thường bỏ qua thành phần điện trở của bản thân điện cực và chỉ quan tâm đến điện trở của khối đất tham gia quá trình tản dòng điện, người ta gọi là điện trở tản hay điện trở phân tán.

Điện trở tản phụ thuộc chủ yếu vào điện trở suất của đất chôn điện cực ρ (ρ là tham số đặc trưng của môi trường dẫn điện).

Điện trở suất của đất thay đổi trong phạm vi rất rộng do thành phần đất rất phức tạp. Thực nghiệm cho thấy điện trở suất của đất phụ thuộc chủ yếu vào những nguyên tố sau:

- Loại đất (đất cát, đất thịt, đất sét,...)
- Nồng độ muối, axit,...chứa trong đất.
- Độ ẩm và nhiệt độ của đất.
- Độ chặt của đất.

Khi tính toán nối đất, trước tiên cần phải biết điện trở suất của đất ở vùng sẽ tiến hành nối đất. Có thể coi vùng đất có điện trở suất là thuần nhất, xác định điện trở suất bằng cách đo hoặc lấy gần đúng qua đặc tính của đất.

Bảng 10.1 dẫn ra trị số điện trở suất gần đúng của một số loại đất có thể dùng khi thiết kế sơ bộ.

Bảng 10.1 Điện trở suất của một số loại đất

STT	Loại đất	Phạm vi biến đổi của điện trở suất (Ωm)	Trị số có thể dùng khi thiết kế sơ bộ (Ωm)
1	Than bùn	10 ÷ 30	20
2	Đất vườn	40	40
3	Cát	400 ÷ 1000	700
4	Đất pha cát	150 ÷ 400	300
5	Đất sét	8 ÷ 70	40
6	Đất pha sét	40 ÷ 150	100
7	Đất đá vôi		1000 ÷ 2000

Trong khi áp dụng các công thức tính toán bảo vệ nối đất, điện trở suất của đất được lấy như sau:

ρ_{do} - là điện trở suất của đất đo được

$\rho = \rho_{do} \cdot k_m$ k_m - hệ số mùa, xét đến ảnh hưởng của thời tiết, phụ thuộc vào hình thức nối đất và độ chôn sâu.

Hệ số k_m cho trong bảng 10.2

Bảng 10.2. Hệ số mùa k_m

Hình thức nối đất	Độ chôn sâu điện cực nối đất, t (m)	Hệ số mùa, k_m	Ghi chú
Thanh (cọc) chôn nằm ngang	0,5	1,4 ÷ 1,8	• Lấy theo cận trên khi đất khô (đo vào mùa khô)
	0,8 ÷ 1	1,25 ÷ 1,45	
Cọc chôn thẳng đứng	0,8 ÷ 1	1,2 ÷ 1,4	• Lấy theo cận dưới khi đất ẩm (đo vào mùa mưa)
	> 1	1,4 ÷ 2	

10.3.2. Mục đích của nối đất an toàn

Các phần tử bình thường không mang điện áp (thường là khung máy, bệ máy, vỏ máy điện,...) nhưng có thể do cách điện pha-vỏ bị hỏng nên chúng sẽ mang điện. Khi người chạm vào những phần tử này sẽ có dòng điện chạy qua và có thể gây nguy hiểm đến tính mạng. Mục đích của nối đất an toàn là giảm giá

trị dòng điện chạy qua người đến trị số an toàn. Nối đất còn làm cho dòng điện sự cố tăng tới điều kiện thuận lợi cho các thiết bị bảo vệ (cầu chì, aptomat, role...) làm việc nhanh chóng, cắt phần tử bị sự cố chạm vỏ ra khỏi mạng điện, sẽ an toàn cho con người và thiết bị.

Để đạt được những điều nêu trên thì hệ thống nối đất phải có điện trở đủ nhỏ để phân tán dòng điện chạm vỏ thật nhanh vào trong đất. Ngoài ra hệ thống nối đất còn có tác dụng cân bằng thế để giảm điện áp tiếp xúc U_{tx} và điện áp bước U_b .

10.3.3. Phạm vi ứng dụng của bảo vệ nối đất an toàn

1. Thiết bị điện hạ áp (điện áp đến 1000 V).

Khi dùng bảo vệ nối đất cho thiết bị điện hạ áp cần xác định chế độ làm việc của trung tính của mạng cung cấp điện.

- Nếu mạng có trung tính nối đất trực tiếp thì không nên dùng bảo vệ nối đất mà dùng bảo vệ nối dây trung tính (sẽ đề cập ở phần bảo vệ nối dây trung tính).
- Nếu trung tính của mạng cách điện đối với đất thì nên dùng bảo vệ nối đất.
 - Khi điện áp lớn hơn 150 V (220, 380, 500 V) phải dùng bảo vệ nối đất cho tất cả các thiết bị điện không phụ thuộc vào điều kiện môi trường xung quanh.
 - Khi điện áp nhỏ hơn 150 V thì chỉ cần dùng bảo vệ nối đất trong các trường hợp cụ thể sau:
 - + Nhà xưởng đặc biệt nguy hiểm về an toàn điện (nơi có độ ẩm rất cao)
 - + Nhà xưởng có nguy cơ dễ cháy nổ.
 - + Thiết bị điện đặt ngoài trời

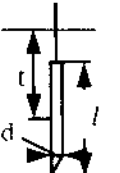
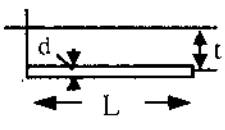
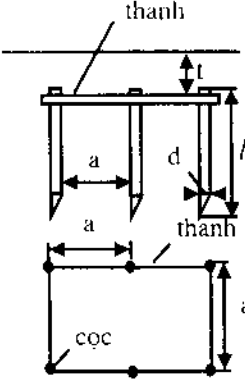
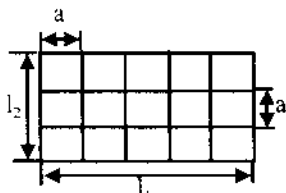
2. Thiết bị điện cao áp (điện áp trên 1000 V)

Phải dùng bảo vệ nối đất trong mọi trường hợp không phụ thuộc vào chế độ nối đất trung tính của mạng cung cấp điện, nhà xưởng và môi trường xung quanh.

10.3.4. Công thức tính điện trở nối đất

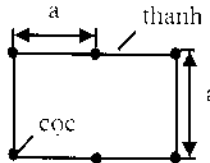
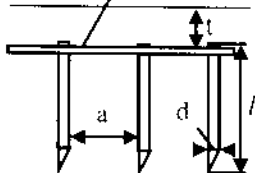
Điện cực nối đất thường dùng cọc dài 2÷3m bằng sắt tròn hoặc sắt góc chôn thẳng đứng hoặc thanh dẹt, dài chôn nằm ngang,...Chúng thường được chôn ở độ sâu 0.5 ÷ 0.8 m đặt theo hình tia hoặc mạch vòng hoặc tổ hợp của hai hình thức trên. Trị số điện trở tản của hình thức nối đất cọc, thanh hoặc tổ hợp của chúng được xác định theo các công thức cho ở bảng 10.3.

Bảng 10.3. Công thức tính điện trở tản của một số điện cực nối đất hay dùng.

Điện cực	Sơ đồ nối đất	Công thức tính điện trở tản, Ω	Ghi chú												
Bán cầu chôn sát mặt đất		$R = \frac{\rho}{2\pi r_0}$	ρ - điện trở suất tính toán của đất, Ω m r_0 - bán kính hình cầu, m												
Cọc chôn thẳng đứng		$R_c = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	l -chiều dài điện cực, m thường $l = 2 \div 3$ m d -đường kính của điện cực nếu là sắt tròn, m												
Cọc chôn thẳng đứng sâu trong đất		$R_c = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right)$ (t - tính từ mặt đất đến giữa cọc)	Nếu là sắt dẹt lấy $d=b/2$ (b là chiều rộng của sắt dẹt) Nếu là thép góc lấy $d= 0,95b$ (b là chiều rộng của thép góc)												
Cọc chôn nằm ngang trong đất (thanh ngang)		$R_t = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{KL^2}{t \cdot d}$ L : chiều dài của điện cực (mạch vòng lấy bằng chu vi).	t -độ chôn sâu điện cực trong đất, thường $t = 0,5 - 0,8$ m K - Hệ số phụ thuộc sơ đồ nối đất.												
Cọc và thanh chôn sâu trong đất (hệ thống nối đất hỗn hợp)		$R = \frac{R_c \cdot R_t}{\eta_t \cdot R_c + \eta_c \cdot R_t}$ n - số lượng cọc η_c, η_t - Hệ số sử dụng của cọc và thanh, phụ thuộc vào tỷ số $\frac{a}{l}$ Thực tế thường bố trí $a = 2l$ (m). Nếu số cọc $n = 2 - 6$ cọc thì có thể lấy: $\eta_c = 0,6 \div 0,8$ $\eta_t = 0,4 \div 0,6$ (trị số lớn ứng với số cọc ít và các cọc bố trí xa nhau, còn khi nhiều cọc và bố trí gần nhau lấy trị số nhỏ)	<table><tr><th>Sơ đồ nối đất</th><th>K</th></tr><tr><td></td><td>1</td></tr><tr><td></td><td>1.46</td></tr><tr><td></td><td>2.38</td></tr><tr><td></td><td>8.45</td></tr><tr><td></td><td>1.27</td></tr></table>	Sơ đồ nối đất	K		1		1.46		2.38		8.45		1.27
			Sơ đồ nối đất	K											
				1											
	1.46														
	2.38														
	8.45														
	1.27														
<table><tr><th>Hình chữ nhật</th><th>l_1/l_2</th><th>K</th></tr><tr><td rowspan="4"></td><td>1</td><td>5,5</td></tr><tr><td>1,5</td><td>5,81</td></tr><tr><td>2</td><td>6,42</td></tr><tr><td>3</td><td>8,17</td></tr><tr><td></td><td>4</td><td>10,40</td></tr></table>	Hình chữ nhật	l_1/l_2	K		1	5,5	1,5	5,81	2	6,42	3	8,17		4	10,40
Hình chữ nhật	l_1/l_2	K													
	1	5,5													
	1,5	5,81													
	2	6,42													
	3	8,17													
	4	10,40													
Thanh đan thành lưới (có cọc hay không có cọc)		$R = 0,9\rho \left(\frac{0,416\sqrt{S} - 0,34l}{S} + \frac{1}{L + n/l} \right)$ n, l - số lượng và chiều dài cọc, m S - diện tích lưới nối đất. $S=l_1 \times l_2, m^2$ L - tổng chiều dài điện cực nằm ngang (thanh), m													

trong đó: η_c , η_t - hệ số sử dụng của cọc và thanh, phụ thuộc vào tỷ số $\frac{a}{l}$ cho ở bảng 10.4.

Bảng 10.4. Hệ số sử dụng của cọc và thanh, phụ thuộc vào tỷ số $\frac{a}{l}$

Số cọc chôn thẳng đứng, n		Tỷ số $\frac{a}{l}$ (a-khoảng cách giữa các cọc, l-chiều dài cọc)					
		$\frac{a}{l} = 1$		$\frac{a}{l} = 2$		$\frac{a}{l} = 3$	
		η_c	η_t	η_c	η_t	η_c	η_t
Khi các cọc chôn theo thanh ngang là mạch vòng (hình tròn, chữ nhật, vuông), ví dụ: 	4	0,69	0,45	0,78	0,55	0,85	0,70
	6	0,62	0,40	0,73	0,48	0,80	0,64
	8	0,58	0,36	0,71	0,43	0,78	0,60
	10	0,55	0,34	0,69	0,40	0,76	0,56
	20	0,47	0,27	0,64	0,32	0,71	0,47
	30	0,43	0,24	0,60	0,30	0,68	0,41
	50	0,40	0,21	0,56	0,28	0,66	0,37
	70	0,38	0,20	0,54	0,26	0,64	0,35
	100	0,35	0,19	0,52	0,24	0,62	0,33
Khi các cọc chôn theo thanh ngang là hình tia, ví dụ: 	3	0,78	0,80	0,86	0,92	0,91	0,95
	4	0,74	0,77	0,83	0,87	0,88	0,92
	5	0,70	0,74	0,81	0,86	0,87	0,90
	6	0,63	0,72	0,77	0,83	0,83	0,88
	10	0,59	0,62	0,75	0,75	0,81	0,82
	15	0,54	0,50	0,70	0,64	0,78	0,74
	20	0,49	0,42	0,68	0,56	0,77	0,68
	30	0,43	0,31	0,65	0,46	0,75	0,58

10.3.5. Tính toán nối đất

Khi tính toán, thiết kế hệ thống nối đất nhân tạo, nên làm theo trình tự sau:

Bước 1. Xác định trị số điện trở nối đất yêu cầu R_{yc} . Điện trở nối đất yêu cầu xác định theo qui phạm cho trên bảng 10.5.

Bảng 10.5. Trị số điện trở nối đất yêu cầu theo TCVN 4756-89.
Quy phạm nối đất-nối dây trung tính các thiết bị điện.

Điện áp lưới (V)	Chế độ TT nguồn	Trị số điện trở nối đất yêu cầu, R_{yc} (Ω)	Đối tượng cần nối đất
Lớn hơn 1000 (cao áp)	Nối đất trực tiếp	$R \leq 0,5 \Omega$ Riêng nối đất nhân tạo: $R \leq 1,0 \Omega$	Trung tính và vỏ thiết bị điện
	Cách li với đất	• Chung cho cả hạ áp: $R = \frac{125}{I_N} \Omega \leq 10 \Omega$ • Chỉ riêng cao áp: $R = \frac{250}{I_N} \Omega \leq 10 \Omega$ (I_N - Dòng điện ngắn mạch chạm đất)	Vỏ thiết bị điện
Đến 1000 (hạ áp)	Cách li với đất	• Trường hợp chung: $R \leq 4 \Omega$ • Khi công suất $S \leq 100$ KVA, chỉ cần thực hiện: $R \leq 10 \Omega$	Vỏ thiết bị điện
	Nối đất trực tiếp	• Cấp điện áp 660/380 V: $R \leq 2 \Omega$ • Cấp điện áp 380/220 V: $R \leq 4 \Omega$ • Cấp điện áp 220/127 V: $R \leq 8 \Omega$	Trung tính nguồn và vỏ biến áp
		• Cấp điện áp 660/380 V: $R \leq 5 \Omega$ • Cấp điện áp 380/220 V: $R \leq 10 \Omega$ • Cấp điện áp 220/127 V: $R \leq 20 \Omega$	Nối đất lặp lại

Bước 2. - Đo điện trở suất của vùng đất dự kiến nối đất, hoặc lấy gần đúng khi biết đặc tính của đất (bảng 10.1).

- Sơ bộ tính toán nối đất: xác định hình dáng, số lượng và kích thước điện cực rồi áp dụng công thức cho ở bảng 10.3.

- So sánh với điện trở nối đất yêu cầu R_{yc}

Nếu $R \leq R_{yc}$ thì hệ thống nối đất đã đạt yêu cầu;

Nếu $R > R_{yc}$ thì cần tiếp tục sử dụng thêm cọc, thanh đến bao giờ trị số điện trở nối đất của các điện cực đạt yêu cầu thì thôi.

Bước 3. Kiểm tra độ bền nhiệt của dây dẫn hoặc thanh dẫn

Đối với thiết bị ở điện áp $U > 1000V$ cần kiểm tra điều kiện này vì dòng chạm đất có trị số lớn.

Tiết diện của thanh dẫn hay dây dẫn phải thoả mãn điều kiện:

$$S \geq \sqrt{\frac{I_x^2 \cdot t}{a \cdot \theta}}, \quad \text{mm}^2$$

Trong đó: I_x - dòng điện ổn định lúc chạm đất 1 pha, A

t - thời gian tồn tại dòng chạm đất 1 pha, giây

θ - nhiệt độ cho phép lúc phát sóng ngắn hạn ($\theta_{thép} = 400^\circ C$)

a - hệ số phụ thuộc vào vật liệu, thép: $a = 21$

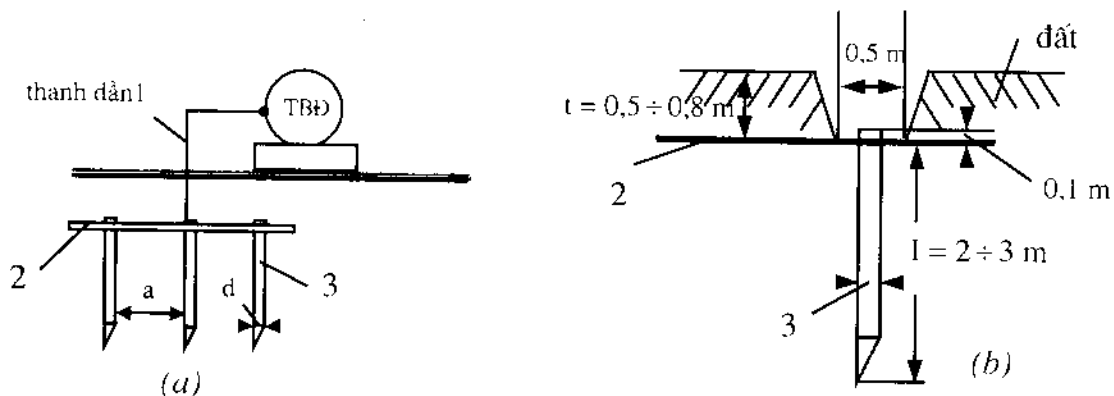
nhôm: $a = 74$

đồng: $a = 172$.

Bước 4. Tiến hành thi công lắp đặt.

Hệ thống nối đất gồm các cọc, thanh ngang và dây dẫn (hoặc thanh dẫn), hình 10.1a

- Cọc nối đất thường dùng là sắt tròn hoặc ống có đường kính $d = 20 \div 30$ mm hoặc thép góc $60 \times 60 \times 6$ mm dài $l = 2 \div 3$ m, được đóng trong đất ở độ sâu $t = 0,5 \div 0,8$ m (hình 10.1b)



Hình 10.1

a) Hệ thống nối đất ;

b) Bố trí điện cực nối đất

1. Thanh dẫn hoặc dây dẫn ; 2. Thanh ngang ; 3. Cọc

- Thanh ngang thường là sắt tròn đường kính $d = 14 \div 16$ mm hoặc sắt dẹt 40×5 mm. Thanh phải được hàn chắc chắn với cọc. Nếu thanh và cọc cùng là sắt tròn

thì phải dùng thanh gia cường với chiều dài mỗi hàn bằng 6 lần đường kính thanh dẫn; còn là sắt dẹt hoặc sắt góc bằng 2 lần chiều rộng của thanh dẫn.

- Dây nối đất để nối vỏ thiết bị điện với điện cực nối đất, có thể dùng dây đồng tiết diện lớn hơn 4 mm^2 hoặc sắt tròn có đường kính $d = 6 \div 10 \text{ mm}$. Dây nối đất được nối điện với bộ máy bằng cách hàn hoặc bắt bu lông. Các bu lông phải mạ chống rỉ, còn khi dùng các thanh chung cho các máy trong phân xưởng thì tiết diện không được nhỏ hơn tiết diện thanh nối đất và được sơn chống rỉ.

Bước 5. Dùng thiết bị đo lường để kiểm tra hệ thống nối đất và trị số điện trở nối đất yêu cầu.

Nếu chưa đạt cần có các biện pháp bổ xung để đảm bảo yêu cầu.

Ví dụ 1: Tính toán nối đất điểm trung tính máy biến áp. Biết rằng:

- Máy biến áp này cung cấp cho phụ tải có công suất $S = 100 \text{ KVA}$, điện áp $380/220 \text{ V}$.

- Vùng đất đặt thiết bị điện trở suất đo được ở mùa khô là: $\rho_{\text{đo}} = 2 \cdot 10^2 \Omega \text{ m}$

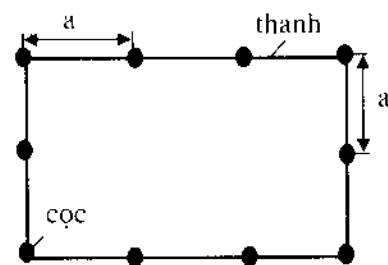
Bài giải

Bước 1. Xác định điện trở nối đất yêu cầu R_{yc} .

Bài yêu cầu thiết kế nối đất an toàn cho thiết bị điện hạ áp mà nguồn cấp $S = 100 \text{ KVA}$ nên theo qui phạm (bảng 10.5) cần phải tính toán điện trở nối đất đạt yêu cầu là: $R_{\text{yc}} \leq 10 \Omega$

Bước 2.

Dự kiến dùng điện cực hỗn hợp gồm 10 cọc thép góc $60 \times 60 \times 6$ dài $l = 2,5 \text{ m}$ chôn thẳng đứng đóng xuống đất theo mạch vòng hình chữ nhật, mỗi cọc cách nhau một khoảng $a = 2l = 5 \text{ m}$ (hình 10.2). Thanh ngang dùng sắt dẹt $40 \times 5 \text{ mm}$ và thanh được chôn ở độ sâu $t_1 = 0,8 \text{ m}$.



Hình 10.2. Điện cực nối đất hỗn hợp

Vậy ta có thể áp dụng công thức:
$$R = \frac{R_c \cdot R_l}{\eta_l \cdot R_c + n \eta_c \cdot R_l}$$

Bây giờ xác định các giá trị trong công thức.

- Điện trở của cọc: $R_c = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4l+1}{4l-1} \right)$

ở đây:

Chiều dài cọc $l = 2,5 \text{ m}$

Độ chôn sâu của cọc $t_c = t_1 + \frac{l}{2} = 0,8 + 1,25 = 2,05 \text{ m}$

$d = 0,95b = 0,95 \times 60 = 57 \text{ mm} = 0,057 \text{ m}$

$\rho = \rho_{do} \cdot k_m = 2 \cdot 10^2 \cdot 2 = 4 \cdot 10^2 \Omega \text{ m}$ (lấy $k_m = 2$ là dựa vào vào bảng 10.2)

Thay vào công thức, ta được: $R_c = \frac{2 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,057} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,05 + 1}{4 \cdot 2,05 - 1} \right) = 63 \Omega$

- Điện trở của thanh: $R_t = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{KL^2}{t \cdot d}$

$t = 0,8 \text{ m}$

$\rho = \rho_{do} \cdot k_m = 2 \cdot 10^2 \cdot 1,45 = 2,9 \cdot 10^2 \Omega \text{ m}$ (lấy $k_m = 1,45$ là dựa vào bảng 10.2)

$d = \frac{b}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$

$L = 5^m \cdot 10 = 50 \text{ m}$

(vì thanh nối 10 cọc với nhau, mỗi cọc cách nhau $a = 5 \text{ m}$)

$K = f\left(\frac{l_1}{l_2}\right) = \frac{15}{10} = 1,5$, tra bảng 10.3, được $K = 5,81$

Thay vào công thức, ta được: $R_t = \frac{2,9 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \ln \frac{5,81 \cdot 50^2}{0,8 \cdot 0,002} = 15 \Omega$

- Lấy $\eta_c = 0,67$

$\eta_t = 0,4$

- Điện trở của điện cực hỗn hợp:

$$R = \frac{R_c \cdot R_t}{\eta_t \cdot R_c + \eta_c \cdot R_t} = \frac{63 \cdot 15}{0,4 \cdot 63 + 0,67 \cdot 15} = 8 \Omega < R_{yc} = 10 \Omega$$

Như vậy điện trở của điện cực dự kiến gồm cọc và thanh như ban đầu là phù hợp.

Dây dẫn nối vỏ thiết bị điện với các điện cực nối đất có thể dùng sắt $d = 6 \text{ mm}$

Bước 3. Kiểm tra điều kiện ổn định nhiệt vì là thiết bị hạ áp nên không cần kiểm tra.

Bước 4. Tiến hành bố trí, thi công trên thực địa. Kiểm tra lại bằng máy đo điện trở nối đất.

Ví dụ 2: Tính toán nối đất cho trạm biến áp 35/ 0,4 kV công suất 560 KVA ở vùng đất có điện trở suất $\rho_{\pm} = 3.10^2 \Omega \text{ m}$.

Bài giải

Ví dụ trên đã trình bày tương đối chi tiết, ở đây xin trình bày vắn tắt.

- Vì trạm biến áp công suất 560 KVA nên điện trở nối đất yêu cầu theo qui định $R_{yc} \leq 4 \Omega$

- Chọn lưới nối đất hình chữ nhật có chiều dài $l_1 = 40 \text{ m}$, chiều rộng $l_2 = 30 \text{ m}$, mỗi chiều dùng 4 điện cực ngang, số cọc là 60 cọc. Chọn điện cực ngang là thép tròn CT3 $\phi 16$ còn cọc là thép góc $60 \times 60 \times 6$ dài $l = 3 \text{ m}$. Ta có công thức tính điện trở tản:

$$R = 0,9\rho \left(\frac{0,416\sqrt{S} - 0,34l}{S} + \frac{1}{l + n\bar{l}} \right) \quad (10-1)$$

Trong đó:

$$L = 4(l_1 + l_2) = 4(40 + 30) = 280 \text{ m},$$

$$S = l_1 \times l_2 = 40 \times 30 = 1200 \text{ m}^2$$

$$\text{Vậy } R = 0,9.300 \left(\frac{0,416\sqrt{1200} - 0,34.3}{1200} + \frac{1}{280 + 60.3} \right) = 3,65 \Omega < 4 \Omega : \text{Đạt yêu cầu.}$$

Trong thực tế khi áp dụng công thức (10-1), tùy theo điều kiện mặt bằng của xí nghiệp hoặc mặt bằng nơi đặt trạm biến áp, có thể chọn diện tích nối đất hợp lý của lưới nối đất về phương diện kinh tế - kỹ thuật nên dùng nối đất mạch vòng chỉ dùng điện cực nằm ngang. Diện tích nối đất hợp lý có thể xác định theo công thức :

$$S_{ht} = 0,436 \cdot \frac{\rho_{\pm}^2}{R_{\pm}^2}, \text{ m}^2 \quad (10-2)$$

Tuy nhiên, không phải lúc nào cũng chọn được một diện tích đúng bằng S_{ht} , song diện tích càng gần với S_{ht} và càng gần hình vuông càng tốt.

Ví dụ 3: Tính toán nối đất cho trạm biến áp như đã nêu ở ví dụ 2.

Nếu chỉ dùng một mạch vòng, tạo nên một diện tích bằng S_{ht} .

Bài giải

- Diện tích hợp lý được tính theo công thức (10-2):

$$S_{hl} = 0,436 \cdot \frac{P_n^2}{R_n^2} = 0,436 \cdot \frac{300^2}{4^2} = 2452, \text{ m}^2$$

- Vậy nên dùng nối đất mạch vòng hình vuông chỉ gồm điện cực ngang có cạnh là:

$$\sqrt{S_{hl}} = \sqrt{2452} = 49,5 \text{ m}$$

- Dùng thép tròn **CT3** ϕ **16** làm thanh ngang sẽ đạt được điện trở nối đất là 3,63 Ω

So với cách bố trí tùy ý như ở ví dụ 2 thì cách bố trí hợp lý này sẽ giảm được 2,7 lần khối lượng sắt thép và giảm được 1,4 lần khối lượng đất đào lấp.

10.3.6. Một số điều cần chú ý khi thực hiện bảo vệ nối đất.

1. Ở những vùng có điện trở suất lớn, việc nối đất và đảm bảo điện trở nối đất theo yêu cầu rất khó khăn. Để có thể đạt được trị số điện trở nối đất yêu cầu người ta có thể dùng một số biện pháp kỹ thuật như sau:

- Dùng cọc nối đất dài đóng sâu khoảng 10 ÷ 12 m nhằm tận dụng các lớp đất phía dưới có điện trở suất nhỏ. Và nên tận dụng các kết cấu kim loại có sẵn trong đất như móng bê tông cốt thép, ống nước hoặc dẫn các chất lỏng,... (trừ ống dẫn những chất dễ cháy nổ) ***gọi điện trở của các kết cấu này là điện trở nối đất tự nhiên R_m*** . Bằng cách tính theo công thức bảng 10.3 (nếu biết hình dáng) hoặc bằng cách đo trực tiếp sẽ tìm được R_m .

+ Nếu $R_m < R_{yc}$ đã nêu trên bảng 10.5 thì có thể dùng luôn hệ thống nối đất tự nhiên mà không cần thực hiện thêm nối đất nhân tạo (trừ thiết bị điện áp cao hơn 1000 V có dòng điện chạm đất lớn, nhất thiết phải nối đất nhân tạo với điện trở không được lớn hơn 1 Ω)

+ Nếu $R_m > R_{yc}$ thì cần thực hiện thêm nối đất nhân tạo. Lúc đó điện trở của hệ thống nối đất được xác định: $R_{HT} = R_m // R$.

- Cải tạo đất bằng cách đổ xuống vùng đất chôn điện cực một số chất có khả năng dẫn điện tốt nhưng không ăn mòn điện cực hay dùng là bột Bentonit. ở Nhật bản hay sử dụng bột Grafit trộn với vôi chưa tôi để cải tạo nối đất. ở nước ta cũng đã nghiên cứu áp dụng các biện pháp này đạt kết quả tốt.

- Ngoài có thể dùng những điện cực chuyên dụng cho những nơi đất có điện trở suất cao.

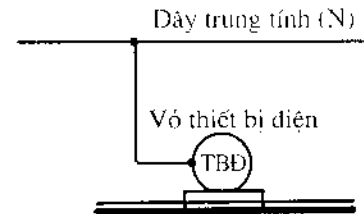
2. Để đảm bảo yêu cầu an toàn nên tận dụng lưới cân bằng thể tự nhiên bằng cách nối các kết cấu kim loại cố sẵn trong nhà xưởng với vỏ thiết bị điện rồi nối với trang bị nối đất nhằm giảm điện áp bước và điện áp tiếp xúc khi có sự cố chạm vỏ.

3. Trong quá trình làm việc, chất lượng của trang bị nối đất có thể bị giảm do ảnh hưởng của nhiều yếu tố như độ ẩm, tác động cơ học, ăn mòn do hoá chất,... dẫn đến điện trở tăng làm giảm hiệu quả nối đất. Bởi vậy cần kiểm tra, đo đặc điện trở nối đất, đánh giá chất lượng lưới nối đất trước và trong quá trình sử dụng. Nên định kỳ khoảng 6 tháng kiểm tra một lần.

10.4. BẢO VỆ NỐI DÂY TRUNG TÍNH

10.4.1. Mục đích dùng bảo vệ nối dây trung tính.

Bảo vệ nối dây trung tính (BVNDTT) là thực hiện nối các phần kim loại bình thường không mang điện với dây trung tính hay dây không, trên hình 10.3 ví dụ về BVNDTT thực hiện nối vỏ thiết bị điện với dây trung tính



Hình 10.3. BVNDTT

Mục đích dùng BVNDTT nhằm biến sự cố chạm vỏ TBD thành sự cố ngắn mạch pha - trung tính làm tăng dòng điện sự cố giúp các thiết bị bảo vệ (cầu chì, aptomat, máy cắt điện,...) tác động nhanh cắt thiết bị điện có sự cố cách điện ra khỏi nguồn điện tránh nguy hiểm cho con người trong các mạng điện hạ áp trung tính nối đất trực tiếp mà người hay chạm phải.

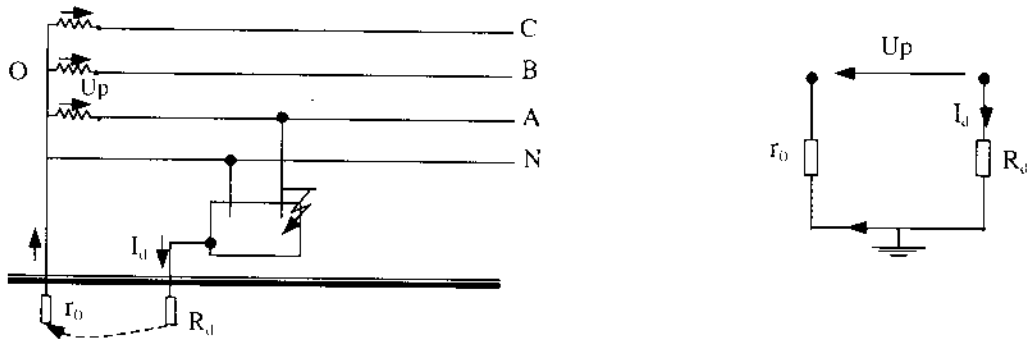
Việc sử dụng BVNDTT mà không dùng bảo vệ nối đất ở mạng điện hạ áp trung tính nối đất trực tiếp có thể được giải thích như sau:

Hình 10.4 vẽ sơ đồ bảo vệ nối đất trong mạng điện áp dưới 1000 V (mạng hạ áp) trung tính nối đất trực tiếp.

Khi cách điện của thiết bị điện bị chọc thủng, sẽ có dòng điện chạm vỏ rồi đi xuống đất I_d được tính gần đúng: $I_d = \frac{U_p}{r_0 + R_d}$,

Ở đây: U_p - điện áp pha;

r_0, R_d - điện trở nối đất làm việc và điện trở nối đất an toàn.



Hình 10.4. Phân tích an toàn khi dùng BVND ở mạng hạ áp trung tính nối đất trực tiếp

• Khi điện áp dưới 1000 V, dòng điện I_d không phải lúc nào cũng đủ lớn để dây chảy hoặc các thiết bị bảo vệ khác làm việc để loại trừ thiết bị bị hư hỏng cách điện.

Ví dụ: Với mạng 380/220 V: $r_0 = R_d = 4 \Omega$ thì $I_d = \frac{U_p}{r_0 + R_d} = \frac{220}{4 + 4} = 27,5 \text{ A}$

Với trị số $I_d = 27,5 \text{ A}$ chỉ làm chảy dây chảy có dòng điện định mức:

$$I_{dmCC} = \frac{27,5}{2 + 2,5} = 14 \div 11 \text{ A, rất khó thực hiện.}$$

• Nếu chọn dây chảy lớn sẽ dẫn đến sự cố chạm vỏ tồn tại lâu dài, lúc đó vỏ thiết bị sẽ có điện áp $U_{vỏ}$ nếu người chạm vào sẽ phải chịu toàn bộ điện áp này:

$$U_{ng} = U_{vỏ} = I_d \cdot R_d = \frac{U_p}{r_0 + R_d} \cdot R_d$$

Với $U_p = 220 \text{ V}$, $r_0 = R_d = 4 \Omega$ thì $U_{ng} = \frac{U_p}{r_0 + R_d} \cdot R_d = 110 \text{ V} \gg U_{txcp}$ (điện áp tiếp

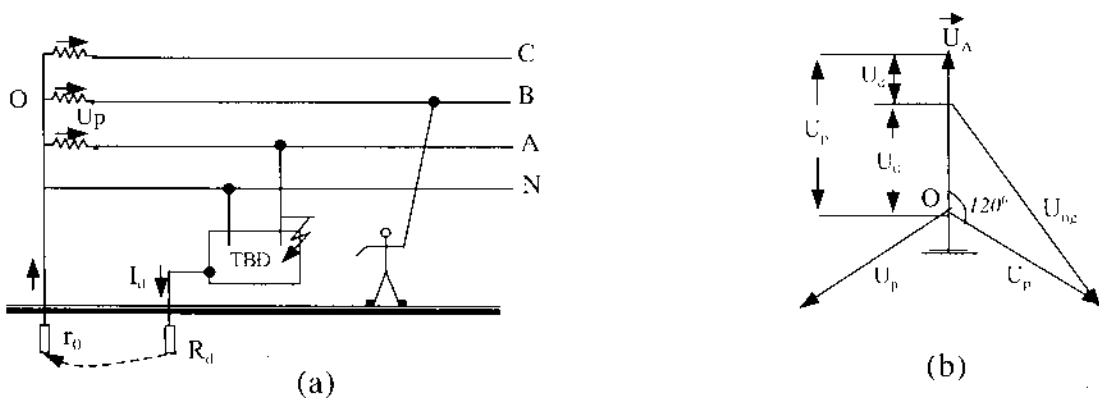
xúc cho phép), rất nguy hiểm. Nếu muốn an toàn thì nối đất an toàn cần phải đảm bảo:

$$R_d \leq \frac{U_{txcp}}{U_p - U_{txcp}} \cdot r_0 \approx 1 \Omega, \text{ có thể thực hiện được nhưng rất tốn kém về}$$

kinh tế.

Mặt khác, khi có sự cố chạm vỏ mặc dù nối đất ở thiết bị đảm bảo yêu cầu U_{txcp} nhưng nếu người chạm phải một trong hai pha kia thì khi người sẽ phải chịu một điện áp lớn hơn điện áp pha có thể rất nguy hiểm, hình 10.5.

$$U_{ng} = \sqrt{U_p^2 + U_0^2 + U_p \cdot U_0} > U_p$$



Hình 10.5.

- (a)-Khi một pha đang có sự cố chạm vỏ mà người chạm vào 1 trong 2 pha còn lại,
 (b)-giản đồ véc tơ khi 1 pha chạm đất, người chạm vào 1 trong 2 pha còn lại.

Ví dụ: Mạng 380/220 V, $U_{dt} = U_{v0} = 40V$ (điện áp an toàn) thì:

$$U_{ng} = 347 \text{ V} > U_p = 220 \text{ V}$$

10.4.2. Phạm vi ứng dụng bảo vệ nối dây trung tính

Bảo vệ nối dây trung tính được áp dụng rộng rãi cho các thiết bị điện hạ áp trong mạng ba pha có trung tính nối đất trực tiếp, là mạng được sử dụng phổ biến cho các xí nghiệp, nhà máy và công trường. Khi thiết bị điện có điện áp xoay chiều lớn hơn 42 V và điện áp một chiều lớn hơn 110 V ở mạng điện này cần thiết phải dùng bảo vệ nối dây trung tính.

Ở một số nước trong đó có nước ta, dây trung tính còn được dùng để cấp điện cho phụ tải một pha, đồng thời vừa dùng làm dây bảo vệ cho các thiết bị điện.

10.4.3. Tính toán dùng thiết bị bảo vệ khi thực hiện nối dây trung tính

Để các thiết bị bảo vệ cắt nhanh phần tử bị sự cố ra khỏi lưới điện thì phải tính toán được dòng điện sự cố và căn cứ vào đó chọn các thiết bị bảo vệ.

1. Cách tính dòng điện sự cố ngắn mạch pha - trung tính I_{SC} .

Việc chọn các thiết bị bảo vệ một cách đảm bảo cắt khi có sự cố cần thiết phải tính được dòng điện sự cố chạm đất.

Để tính chính xác dòng chạm đất cần tới các phương pháp các thành phần đối xứng. Tuy nhiên như đã nói ở phần khái niệm chung về an toàn điện, các tai nạn về điện chủ yếu xảy ra ở mạng hạ áp nên ở đây sẽ chỉ nêu cách xác định

dòng sự cố chạm đất để chọn các thiết bị bảo vệ an toàn ở các mạng hạ áp. Ở mạng hạ kích thước thường ngắn, dòng điện thứ tự không rất bé khó xác định, vì vậy các phương pháp gần đúng hay được áp dụng. Ba phương pháp thường được áp dụng là: Phương pháp tổng trở, Phương pháp tổng hợp và phương pháp qui ước. Sau đây ta nêu từng phương pháp.

a. Phương pháp tổng trở: là phương pháp căn cứ trên tổng các tổng trở (nhưng chỉ xét thành phần thứ tự thuận) của mạch vòng ngắn mạch bao gồm các phần tử: dây pha, dây trung tính bảo vệ, MBA,... (nguồn) mà dòng chạm vỏ chạy qua.

Đường đứt quãng trên hình 10.6a là đường đi của dòng I_{SC} .

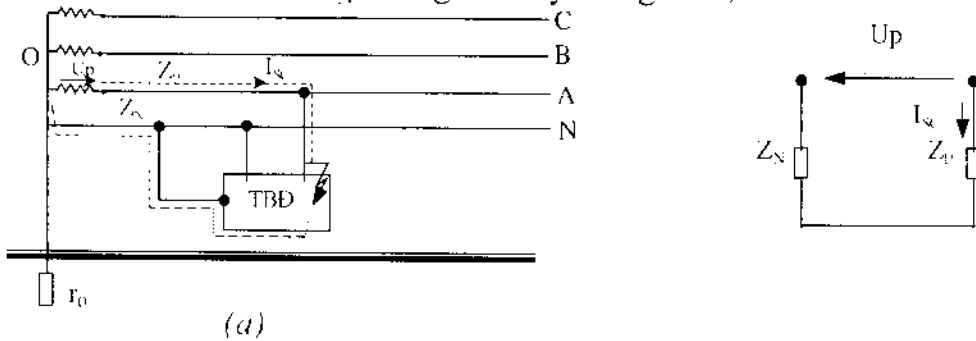
Hình 10.6b vẽ sơ đồ thay thế dùng để tính gần đúng dòng I_{SC} (đã bỏ qua tổng trở nguồn):

$$I_{SC} = \frac{U_p}{Z_p + Z_N}, A \quad (10-3)$$

Với: U_p - điện áp pha sự cố, V

Z_p - tổng trở dây pha sự cố, Ω

Z_N - tổng trở dây trung tính, Ω



Hình 10.6. Phân tích tính dòng sự cố khi dùng BVND ở mạng điện áp thấp trung tính nối đất trực tiếp

Tính Z_p và Z_N như sau:

$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$$

$$Z_N = \sqrt{R_N^2 + X_N^2}$$

R_p, R_N là điện trở của dây pha và dây trung tính, Ω

X_p, X_N là điện kháng của dây pha và dây trung tính, Ω

Xác định R_p, R_N, X_p, X_N có thể bằng cách tính trực tiếp hoặc tra bảng hoặc tra phụ lục các sách phục vụ thiết kế điện khác (Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật) khi biết loại dây dẫn thông qua điện trở và điện kháng trên 1 km.

Khi áp dụng tính toán nên tra bảng cho nhanh. Ở đây chỉ nêu cách tính trực tiếp.

- Đối với điện trở:
$$R = \rho \frac{L}{S}, \Omega \quad (10-4)$$

trong đó: ρ là điện trở suất của vật liệu làm dây dẫn, $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

(theo NFC-100, ρ của đồng là $0,0225 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$, còn của nhôm $0,036 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

L là chiều dài của dây tính từ nguồn (trạm biến áp hoặc máy phát), m

S là tiết diện của dây dẫn, mm^2

- Đối với điện kháng, áp dụng công thức:

$$x = 9,2 \cdot \pi \cdot L \cdot \lg \frac{D}{r} \cdot 10^{-4}, \Omega \quad (10-5)$$

trong đó: L - chiều dài dây dẫn tính từ nguồn, km

D - khoảng cách giữa hai dây dẫn, cm

r - bán kính của dây dẫn, cm

b. Phương pháp tổng hợp: là phương pháp cho phép ước tính dòng ngắn mạch ở cuối mạch vòng ngắn mạch khi biết dòng ngắn mạch ở gần nguồn hơn.

$$I_{sc} = \frac{U \cdot I_n}{U + Z_{sc} \cdot I_n} \quad (10-6)$$

U -điện áp pha định mức;

Z_{sc} -tổng trở mạch vòng ngắn mạch;

I_n -dòng ngắn mạch đầu nguồn.

Ghi chú: Ở phương pháp này, các thành phần tổng trở được cộng số học với nhau (ngược với phương pháp tổng trở). Kết quả tính được sẽ cho giá trị dòng ngắn mạch bé hơn dòng thực tế. Nếu các thiết bị quá dòng được chỉnh định dựa trên các giá trị này, chúng sẽ tác động chắc chắn hơn.

• **Phương pháp qui ước:** là phương pháp cho phép tính dòng ngắn mạch bé nhất kết hợp với việc sử dụng bảng làm cho kết quả tính đạt được nhanh hơn. Khi chỉ cần độ chính xác đủ để xác định giới hạn độ dài lớn nhất của cáp nên dùng phương pháp này.

Việc tính toán dựa vào nguyên tắc tính dòng điện ngắn mạch với giả thiết điện áp tại điểm ngắn mạch (chỗ đặt thiết bị bảo vệ) duy trì ở trị $\geq 80\%U$ (hay $0,8U$ -điện áp pha-trung tính định mức). Giá trị $0,8U$ đã xem xét tất cả các điện áp rơi từ phía nguồn tới điểm đặt thiết bị bảo vệ.

Chú ý: Trong mạng cấp hạ áp, thường tất cả các dây dẫn của mạng 3 pha 4 dây được đặt gần nhau, do hiệu ứng gần và hiệu ứng bề mặt, điện cảm cũng như hồ cảm của các dây dẫn rất nhỏ so với điện trở của chúng nên có thể bỏ qua. Điều gần đúng này chỉ có giá trị cho cáp có tiết diện $\leq 120 \text{ mm}^2$, còn khi cáp lớn hơn 120 mm^2 , điện trở R cần được hiệu chỉnh theo bảng 10.6.

Bảng 10.6. Cách hiệu chỉnh điện trở khi tiết diện trên 120 mm^2

Tiết diện lõi, S (mm^2)	Giá trị điện trở
150	$R + 15\%$
185	$R + 20\%$
240	$R + 25\%$

2. Cách chọn thiết bị bảo vệ theo dòng sự cố I_{sc} .

- Nếu dùng cầu chì (dây chảy) thì điều kiện là:

$$I_{sc} \geq (2 \div 3) I_{dmCC} \text{ hay } I_{dmCC} \leq \frac{I_{sc}}{2 \div 3}$$

Với I_{dmCC} - dòng điện định mức của cầu chì, A (10-7)

- Nếu dùng Aptomat có bộ phận cắt điện từ thì điều kiện là:

$$I_{sc} \geq k_1 k_2 I_{dATM} \text{ hay } I_{dATM} \leq \frac{I_{sc}}{k_1 k_2}$$

Với I_{dATM} - dòng điện tác động của aptomat, A (10-8)

Trong đó:

k_1 - hệ số tính đến sai lệch (số liệu của nhà chế tạo), $k_1 = (1,25 \div 1,4)$

Khi không có số liệu của nhà chế tạo thì có thể lấy hệ số sai lệch:

$k_1 = 1,4$ đối với các aptomat có dòng định mức đến 100 A,

$k_1 = 1,25$ đối với các aptomat khác.

k_2 - hệ số dự trữ, $k_2 = 1,1$

3. Ví dụ: Một lưới điện trung tính nối đất trực tiếp, điện áp 380/220 V, đường dây đi trên không, dây pha và dây trung tính bằng nhau và dùng dây đồng tiết diện bằng $S = 25 \text{ mm}^2$, khoảng cách giữa các dây dẫn $D = 50 \text{ cm}$.

Hãy chọn thiết bị bảo vệ cho hộ tiêu thụ điện bị sự cố ngắn mạch 1 dây pha và dây trung tính. Biết chiều dài từ trạm biến áp cung cấp đến hộ tiêu thụ có sự cố $L = 1500 \text{ m}$.

Bài giải

- Xác định dòng điện sự cố theo công thức:

$$I_{sc} = \frac{U_p}{Z_p + Z_N} = \frac{U_p}{2Z_p}, A$$

(Vì dây pha và dây trung tính cùng là đồng và có cùng tiết diện)

$$R_p = \rho \frac{L}{S} = 0,0225 \frac{1500}{25} = 1,35 \, \Omega$$

$$X_p = 9,2 \cdot \pi \cdot 10^{-4} \frac{D}{r} \cdot 10^{-4} \approx 0,98 \, \Omega$$

$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2} = \sqrt{1,35^2 + 0,98^2} = 1,67 \, \Omega$$

$$\text{Dòng điện sự cố: } I_{sc} = \frac{U_p}{2Z_p} = \frac{220}{2 \cdot 1,67} = 66 \, A$$

- Vậy cần phải chọn loại dây cháy cầu chì có dòng điện định mức là:

$$I_{dmcc} \leq \frac{I_{sc}}{2 \div 3} = \frac{66}{2 \div 3} = 33 \div 22 \, A$$

Hoặc nếu dùng Aptomat thì dòng tác động:

$$I_{dATM} \leq \frac{I_{sc}}{1,375 \div 1,54} = \frac{66}{1,375 \div 1,54} = 55 \div 44 \, A$$

10.4.4. Một số điều cần chú ý khi thực hiện bảo vệ nối dây trung tính

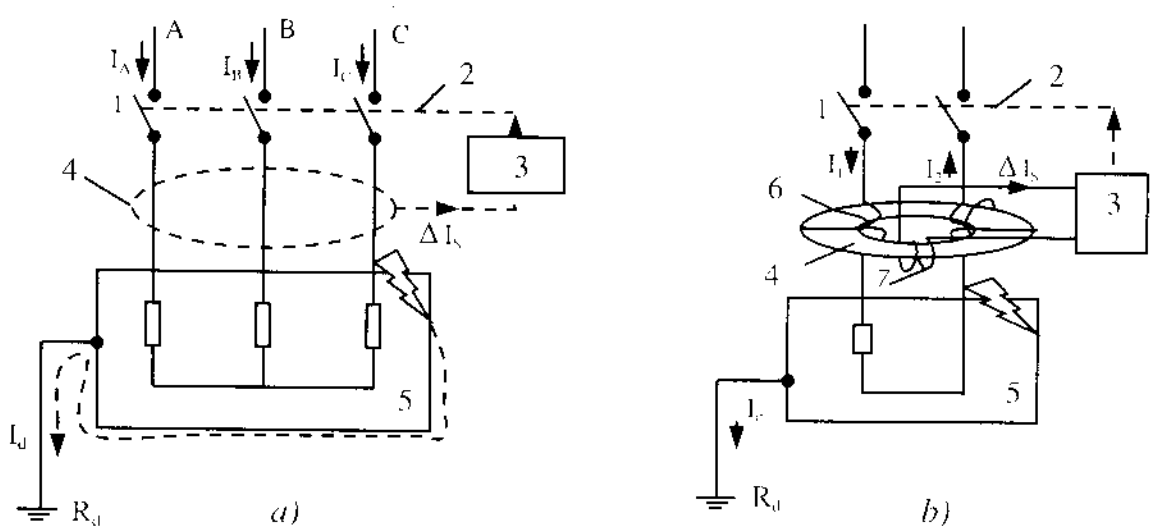
1. BVNDTT chỉ thực hiện được khi dây trung tính ít nhất phải được nối đất ở đầu nguồn với điện trở nối đất r_0 , ngoài ra trên mỗi đoạn dài khoảng 280 - 300 m cần nối đất dây trung tính một lần. Làm như vậy người ta gọi là nối đất lặp lại (R_l) dây trung tính. Mục đích của nối đất lặp lại có tác dụng giảm điện áp tồn tại trên dây trung tính và trên thiết bị điện khi có chạm vỏ (cả khi dây trung tính còn nguyên và cả khi dây trung tính bị đứt). Quy định hiện hành về điện trở nối đất đầu nguồn và nối đất lặp lại như yêu cầu đã nêu ở bảng 10.5 phần bảo vệ nối đất.
2. Không được đặt bất kỳ thiết bị bảo vệ (cầu chì, cầu dao, aptomat, máy cắt điện...) trên đường dây trung tính mà vẫn phải nối đất.
3. Để kinh tế mà vẫn đảm bảo về mặt kỹ thuật trong thực tế thường chọn tiết diện của dây trung tính bằng 50 - 100% tiết diện của dây pha cùng vật liệu dẫn điện (Điều kiện bắt buộc là dây trung tính phải có tiết diện không được nhỏ hơn 1/2 tiết diện dây pha cùng vật liệu dẫn điện).

10.5. BẢO VỆ AN TOÀN BẰNG THIẾT BỊ TỰ ĐỘNG CHỐNG DÒNG ĐIỆN RÒ

10.5.1. Giới thiệu chung

Để đảm bảo an toàn chống điện giật ngoài một số biện pháp kỹ thuật đã nêu, một biện pháp hiện nay đang được sử dụng rộng rãi trên thế giới để bảo vệ hữu hiệu chống những nguy hiểm do chạm điện trực tiếp và gián tiếp (đặc biệt ở chạm điện gián tiếp vì ta thường hay mất cảnh giác) là sử dụng các thiết bị chống dòng điện rò hay còn gọi là Aptomat vi sai hay máy cắt vi sai có ký hiệu quốc tế RCD (Residual Current Devices). RCD có thể làm việc ở dòng điện 6 mA, 10 mA, 30 mA đến 500 mA bằng cách cắt nguồn một cách tự động với thời gian đủ nhỏ từ 0,1 ÷ 5 giây để ngăn ngừa những tổn thương do dòng điện gây ra đối với người.

RCD thường làm việc dựa trên nguyên tắc so lệch: so sánh dòng điện ở đầu và ở cuối của mạch điện. Trên hình 10.7 là sơ đồ nguyên lý cơ bản của thiết bị RCD.



Hình 10.7. Sơ đồ nguyên lý của loại RCD so lệch

1-Tiếp điểm công suất; 2- Hệ thống đưa tín hiệu để đóng-mở tiếp điểm; 3-Rơ le phát hiện

4-Lõi từ hình xuyên; 5-Thiết bị điện; 6-Cuộn dây chính; 7-Cuộn dây phát hiện

a) Sơ đồ 3 pha,

b) Sơ đồ 1 pha

• Khi thiết bị điện làm việc bình thường:

- Sơ đồ 3 pha: $\dot{\Delta I}_S = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ (tức $I_A = I_B = I_C$)

- Sơ đồ 1 pha: $\Delta \dot{I}_S = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0$ (tức $I_1 = I_2$)

• Khi thiết bị điện có sự cố chạm vỏ:

- Sơ đồ 3 pha: $\Delta \dot{I}_S = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_d \neq 0$

- Sơ đồ 1 pha: $\Delta \dot{I}_S = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_d \neq 0$

Dòng điện ΔI_S sẽ đi vào rơle 3. Khi $\Delta I_S \geq \Delta I_{KB}$ (ΔI_{KB} là dòng điện so lệch chỉnh định hay giá trị dòng điện khởi động của rơle 3) rơle 3 sẽ tác động đưa tín hiệu để cắt thiết bị điện có sự cố chạm vỏ ra khỏi nguồn điện.

Lưu ý: Để RCD so lệch làm việc được cần phải cho dòng I_d đi xuống đất, tức là chỉ cho I_d đi qua vòng xuyên 1 lần.

10.5.2. Cấu trúc mạng lưới điện

Sở dĩ cần nêu các cấu trúc khác nhau của mạng điện là bởi hình thức bảo vệ chống chạm điện bằng các RCD đòi hỏi cần có sự phối hợp với cấu trúc lưới điện. Hình 10.8 đến 10.10 nêu cấu trúc các mạng khác nhau theo qui ước của Pháp, Đức và quốc tế (IEC 364-3).

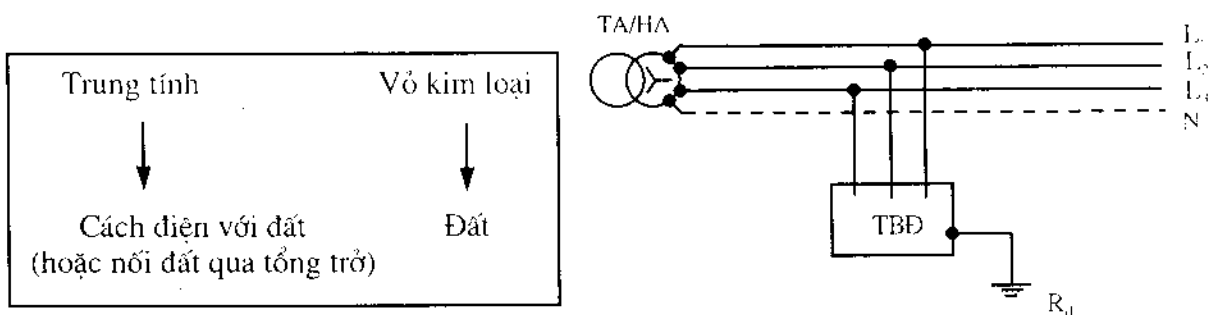
Các cấu trúc được đặc trưng bởi cách nối đất điểm trung tính hạ thế của trạm biến áp phân phối (hoặc của các nguồn khác) và cách thức nối đất vỏ các thiết bị điện của lưới hạ thế.

Người ta dùng hai chữ cái để chỉ định nghĩa cơ bản các loại hệ thống. Bên cạnh hai chữ cái người ta dùng thêm 1 hoặc 2 chữ cái nữa để chỉ cách bố trí dây dẫn bảo vệ và trung tính.

Chữ cái đầu tiên để chỉ mối quan hệ nguồn điện và hệ thống tiếp đất.

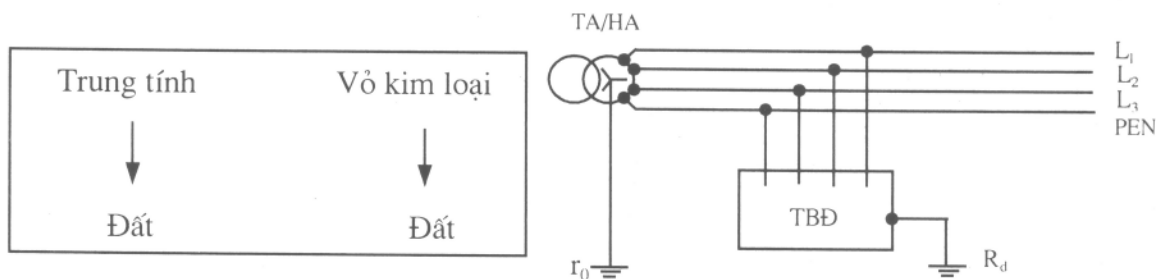
Chữ cái thứ hai để chỉ mối quan hệ của các phân dẫn điện lộ ra ngoài của hệ thống lắp đặt (thường là vỏ thiết bị điện) và hệ thống tiếp đất.

1. Sơ đồ IT



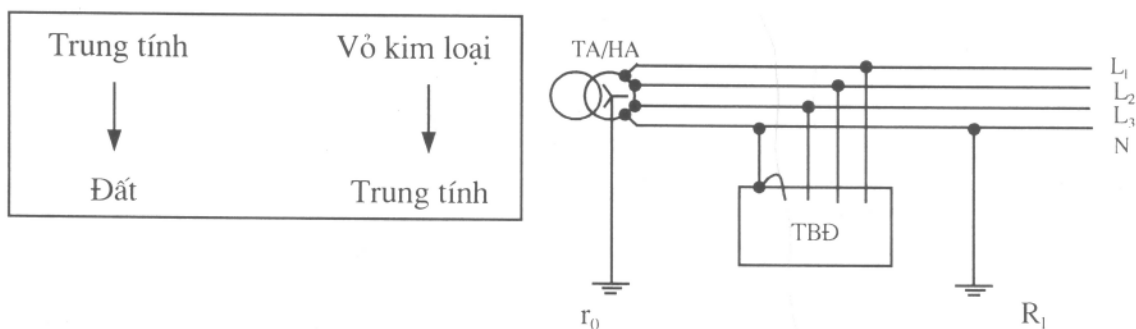
Hình 10.8. Sơ đồ IT

2. Sơ đồ TT



Hình 10.9. Sơ đồ TT

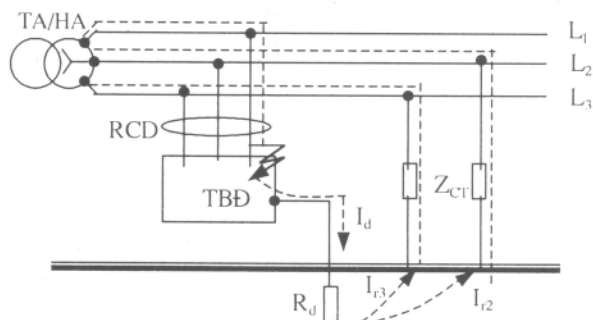
3. Sơ đồ TN



10.5.3. Thực hiện thiết bị RCD trong các sơ đồ. Hình 10.10. Sơ đồ TN

1. Sơ đồ IT

Trong thực tế mọi dây dẫn trong mạng đều có điện dung và điện trở so với đất (vì không có cách điện nào là hoàn hảo cả). Trong sơ đồ vẽ gộp điện dung và điện trở thành tổng trở cách điện Z_{CT} .



Hình 10.11 Thực hiện RCD trong sơ đồ IT khi có chạm đất điểm thứ nhất

- Điện dung rò của cáp: $C = 0,3\mu F/Km$
- Điện trở cách điện: $R = 10 M\Omega/Km$
- Tổng trở: $Z_{CT} = (3 \div 4) \cdot 10^3 \Omega/Km$
(Thường lấy $Z_{CT} = 3,5 \cdot 10^3 \Omega/Km$)

a. Khi có chạm đất điểm thứ nhất.

Khi có chạm đất điểm thứ nhất ở sơ đồ kiểu IT dòng điện chạm đất I_d rất nhỏ (cỡ mA) các thiết bị bảo vệ quá dòng sẽ không tác động cắt nguồn nhưng cũng gây nên điện áp tiếp xúc nguy hiểm cho người.

Hình 10.11 vẽ sơ đồ IT khi chạm đất một điểm, pha L_1 bị sự cố chạm đất nên Z_{CT} ở pha này coi như không có.

Ví dụ: Xét mạng có điện áp 380/220 V trung tính cách điện với đất, dây dẫn dài 1 km, tổng trở của các dây pha so với đất $Z_{CT} = 3500 \Omega$, điện trở nối đất bảo vệ $R_d = 4\Omega$ (hình 10.11).

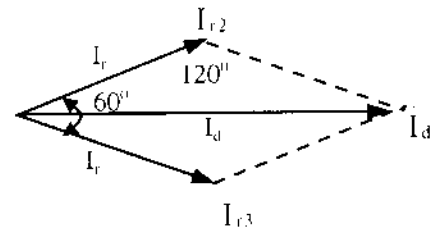
+ Khi làm việc bình thường (không có sự cố) thì dòng điện rò xuống đất của các pha:

$$I_{r2} = I_{r3} = I_r = \frac{U_p}{Z_{CT}} = \frac{220}{3500} = 63 \text{ mA/pha}$$

+ Khi có sự cố 1 pha chạm đất thì dòng điện đi xuống đất qua điện trở nối đất R_d là:

Theo Kiếchốp1: $I_d = I_{r2} + I_{r3}$ (hình 10.12)

$$\begin{cases} I_{r2} = I_{r3} = I_r \text{ (trị hiệu dụng)} \\ \text{Về góc lệch pha 1 góc } 60^\circ \end{cases}$$



Hình 10.12 Giản đồ phức của dòng điện rò

$$\text{Cho nên } I_d = \sqrt{I_{r2}^2 + I_{r3}^2 + I_{r2} \cdot I_{r3}} = \sqrt{3} I_r = \sqrt{3} \cdot 63 = 110 \text{ mA}$$

Dòng điện này rất nhỏ không đủ để các bảo vệ tác động dẫn đến sự cố duy trì

+ Nếu người chạm vào vỏ TĐĐ người sẽ phải chịu điện áp tiếp xúc:

$$U_{tx} = U_{ng} = R_d \cdot I_d = 4 \cdot 110 = 440 \text{ mV} = 0,44 \text{ V}$$

Điện áp này không gây nguy hiểm cho con người.

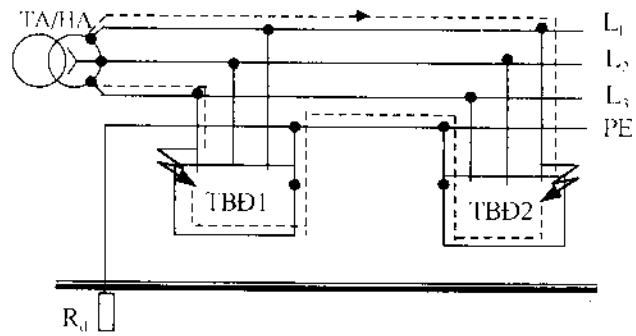
Vậy ở mạng IT khi có sự cố chạm đất điểm thứ nhất vẫn có thể tiếp tục cho phép làm việc vì dòng I_d rất nhỏ, nó không đe dọa người sử dụng, cũng không ảnh hưởng tới thiết bị. Đây là ưu điểm lớn so với các mạng khác.

Song cần có thiết bị báo hiệu khi xảy ra chạm điện điểm thứ nhất (bằng âm thanh, đèn, tia chớp hoặc hiển thị số) để nhanh chóng xác định điểm chạm đất và tiến hành sửa chữa nếu muốn hệ thống nối đất kiểu IT làm việc trong chế độ hoàn toàn tin cậy.

b. Khi có chạm đất điểm thứ hai.

Sự cố điểm thứ hai sẽ tương đương ngắn mạch giữa các pha. Dòng điện sự cố trong trường hợp này có thể đủ để tác động các thiết bị bảo vệ kinh điển (cầu chì, aptomat,...)

- Trường hợp khi tất cả vỏ dẫn điện của các thiết bị điện nối đất dây PE chung (hình 10.13), các bảo vệ quá dòng thông thường được sử dụng mà không cần thiết phải sử dụng thêm RCD.



Hình 10.13. Chạm đất điểm thứ 2 trong trường hợp các vỏ máy bị chạm điện nối vào dây bảo vệ chung (PE)

- Trường hợp khi vỏ các thiết bị được nối đất độc lập hoặc riêng từng nhóm, mỗi thiết bị hoặc mỗi nhóm phải được bảo vệ bằng một RCD (thêm vào khâu bảo vệ quá dòng).

RCD được đặt ở các máy cắt tổng của cả nhóm và tại từng nhánh thiết bị có nối đất riêng. Lý do đặt thêm các RCD khi các điện cực nối đất độc lập “kết nối” qua đất, dòng ngắn mạch pha-pha thường bị giới hạn khi đi qua các điện trở nối đất. Điều này làm cho các bảo vệ quá dòng lớn làm việc không tin cậy. Các RCD có độ nhạy cao hơn nên sẽ tác động chắc chắn hơn. Tuy nhiên, trường hợp này các RCD phải có dòng đặt lớn hơn dòng chạm đất điểm thứ nhất

2. Sơ đồ TT

Tự động cắt nguồn nhờ RCD.
Dòng chỉnh định phải đảm bảo điều kiện:

$$\Delta I \leq \frac{U_{txcp}}{R_d}$$

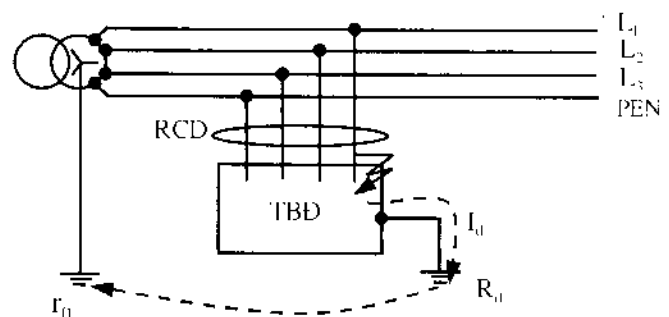
Trong đó:

ΔI - Dòng điện so lệch tác động định mức.

U_{txcp} - Điện áp tiếp xúc cho phép (50V hoặc 25V).

R_d - Điện trở nối đất bảo vệ.

Ở mạng điện này dùng RCD để bảo vệ an toàn là rất tốt.



Hình 10.14. Thực hiện RCD trong sơ đồ TT

Các RCD làm việc đúng thì vỏ TBĐ cần được nối đất để khi cách điện bị hỏng thì dòng điện sẽ chạy qua vỏ TBĐ xuống đất. Lúc đó dòng so lệch khác không ($\Delta I_S \neq 0$). Nếu $\Delta I_S \geq \Delta I_{KD}$ (ΔI_{KD} - giá trị định sẵn của RCD) nó sẽ tác động cắt TBĐ có sự cố ra khỏi mạch.

Điện trở nối đất bảo vệ cần thực hiện trong mạng này, có thể tính như sau:
 Khi có chạm vỏ, người chạm vào vỏ TBĐ thì điện áp tiếp xúc là:

$$U_{tx} = U_{ng} = R_d \cdot I_d$$

Để đảm bảo an toàn cần: $U_{tx} = U_{ng} = R_d \cdot I_d \leq U_{txcp}$

$$\text{Suy ra cần thực hiện } R_d \leq \frac{U_{txcp}}{I_d}$$

Ví dụ: Nếu $U_{txcp} = 50 \text{ V}$; $I_d = 500 \text{ mA} = 0,5 \text{ A}$ thì $R_d \leq \frac{U_{txcp}}{I_d} = \frac{50}{0,5} = 100 \ \Omega$

Đây chính là điện trở nối đất bảo vệ lớn nhất cho phép để RCD tác động khi đặt trị số dòng khởi động $\Delta I_{KD} = 500 \text{ mA}$.

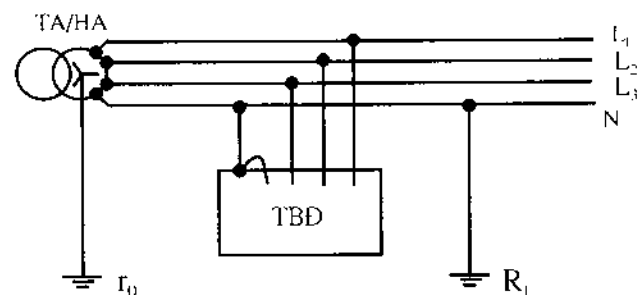
Với cách tính tương tự, ta được giá trị giới hạn trên của điện trở nối đất tối đa với độ nhạy khác nhau của RCD ứng với điện áp tiếp xúc cho phép là 50V và 25 V (bảng 10.7).

Bảng 10.7. Điện trở nối đất tối đa ở điện áp tiếp xúc cho phép 50 V và 25 V

$\Delta I_{KD} \text{ (mA)}$	Điện trở nối đất tối đa (Ω)	
	$U_{txcp} = 50 \text{ V}$	$U_{txcp} = 25 \text{ V}$
3000	16	8
1000	50	25
500	100	50
300	166	83
30	1666	833

3. Sơ đồ TN (Hình 10.15)

Nguyên lý bảo vệ của mạng kiểu TN tương đối đơn giản, chuyển đổi sự cố cách điện thành sự cố ngắn mạch pha-trung tính. Thiết bị bảo vệ có thể tác động cắt nhanh sự cố.



Hình 10.15. Sơ đồ TN

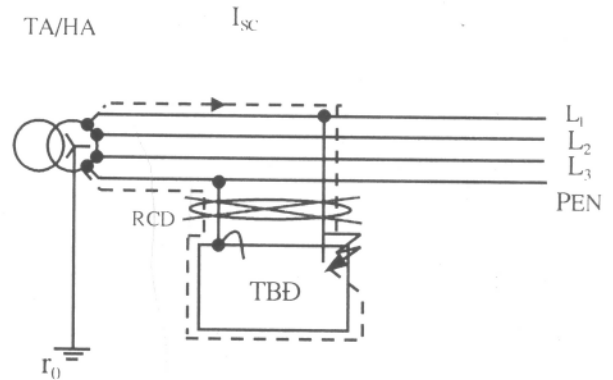
Nhưng đôi khi vì các thiết bị bảo vệ thường làm việc theo nguyên tắc quá dòng nên khi tổng trở dây trung tính tăng (tức hệ tiêu thụ điện tăng) dòng sự cố có thể không đủ để khởi động các thiết bị bảo vệ. Mặt khác khi bố trí, để đảm bảo tính chọn lọc thường các thiết bị bảo vệ có tính trễ (càng gần nguồn thời gian tác động càng nhanh và ngược lại).

Vì thế người ta phải dùng thêm thiết bị bảo vệ chống sự cố cách điện (RCD). Do có RCD sơ đồ TN biến thành 3 sơ đồ là: TN-C; TN-S và TN-C-S.

• Sơ đồ TN-C

Dây PEN = PE + N

Sơ đồ này không thể dùng được RCD vì dòng điện sự cố cách điện I_{sc} sẽ đi từ dây pha qua vỏ đến dây trung tính rồi trở về nguồn (đường đứt đoạn trên hình 10.16), tức là dòng vào và dòng ra RCD bằng nhau nên dòng so lệch $\Delta I_s = 0$

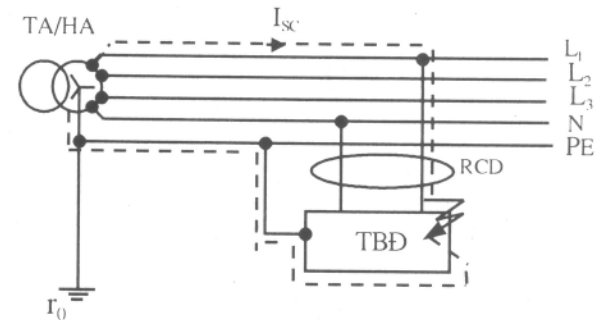


Hình 10.16.
Sơ đồ TN-C (không dùng được RCD)

• Sơ đồ TN-S

Có 2 dây trung tính: 1 dây làm việc (N) và 1 dây bảo vệ (PE), hình 10.17

Sơ đồ này dùng được RCD vì dòng điện sự cố cách điện I_{sc} sẽ đi từ dây pha qua vỏ đến dây PE rồi trở về nguồn (chứ không đi qua dây N) nên dòng so lệch $\Delta I_s \neq 0$. RCD sẽ tác động cắt thiết bị bị sự cố ra khỏi nguồn điện.

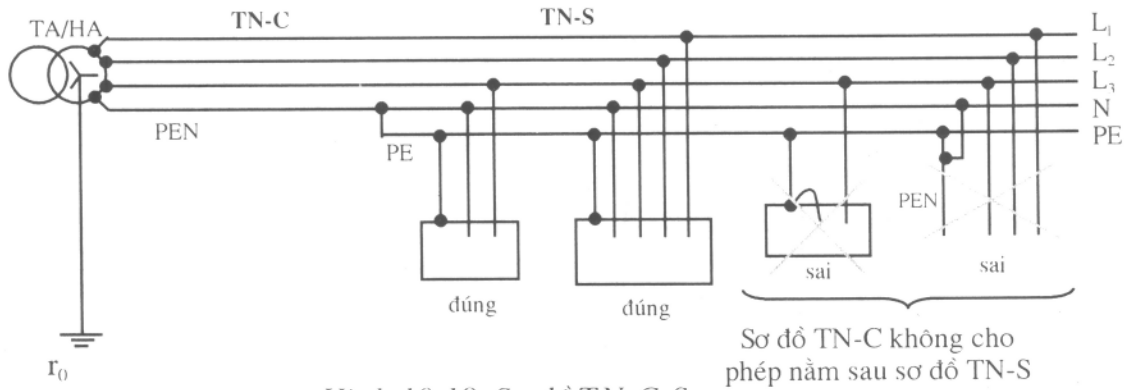


Hình 10.17. Sơ đồ TN-S
(dùng được RCD)

Nhưng dùng sơ đồ này sẽ tốn kém về kinh tế vì phải dùng thêm 1 dây so với các sơ đồ khác nên trong thực tế người ta hay dùng sơ đồ TN-C-S.

• Sơ đồ TN-C-S

Sơ đồ TN-C và TN-S có thể cùng được sử dụng trong cùng một lưới điện. Nhưng cần lưu ý trong sơ đồ TN-C-S, Sơ đồ TN-C không bao giờ được sử dụng sau sơ đồ TN-S. Điểm phân dây PE tách khỏi dây PEN thường là điểm đầu của lưới (hình 10.18).

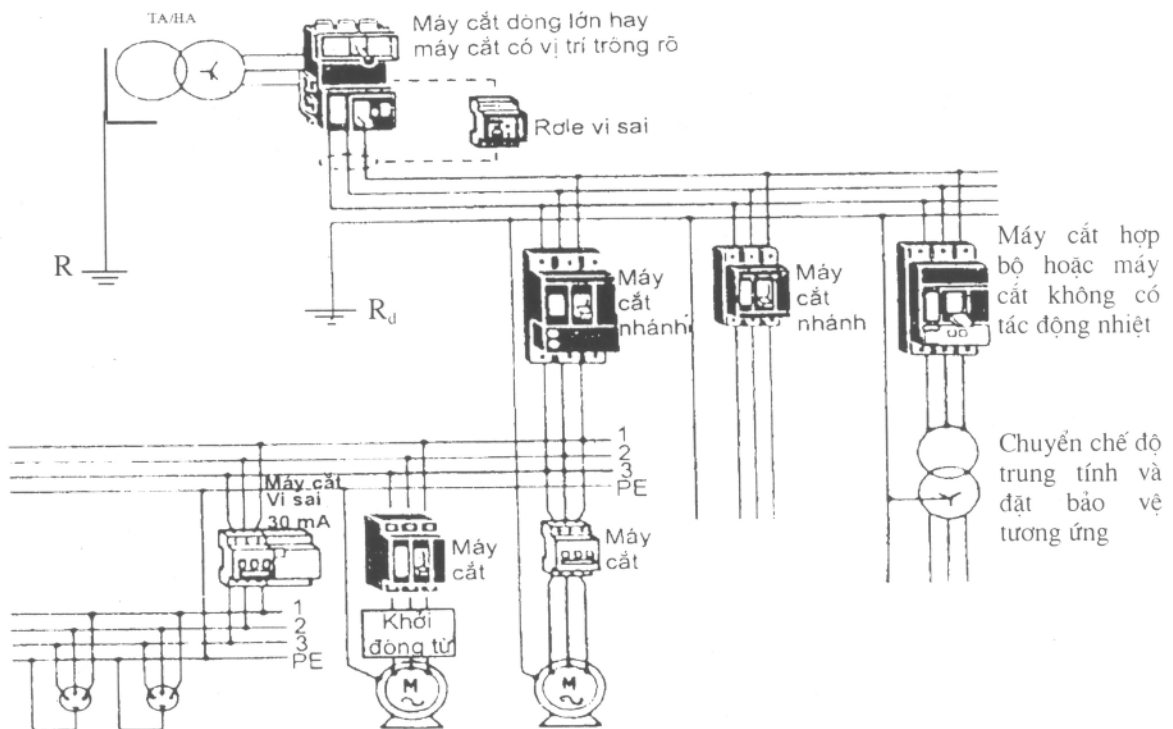


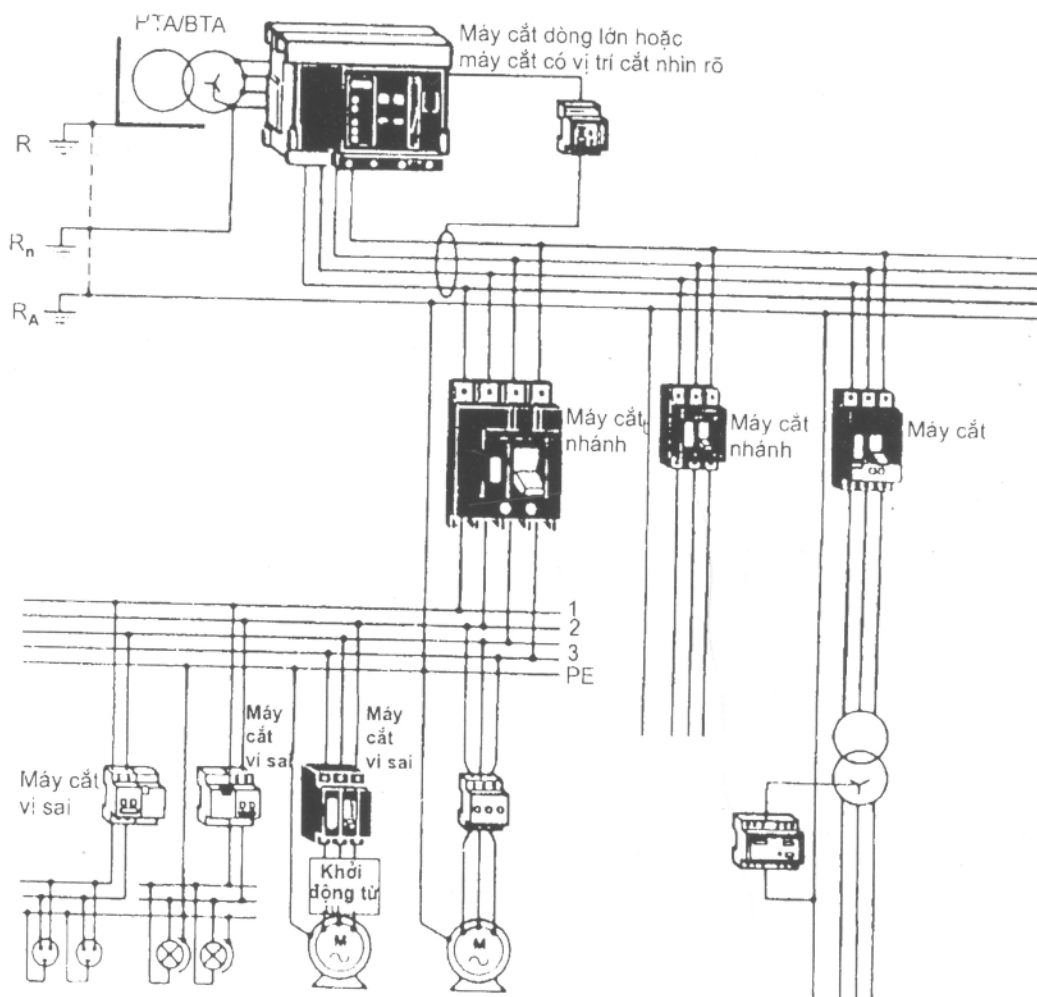
Hình 10.18. Sơ đồ TN-C-S

Sơ đồ này được sử dụng phổ biến trên thế giới. Ở nước ta dùng phổ biến sơ đồ TN-C nên khi muốn dùng RCD có thể thực hiện được nhưng cần biến thành sơ đồ TN-C-S mới có tác dụng.

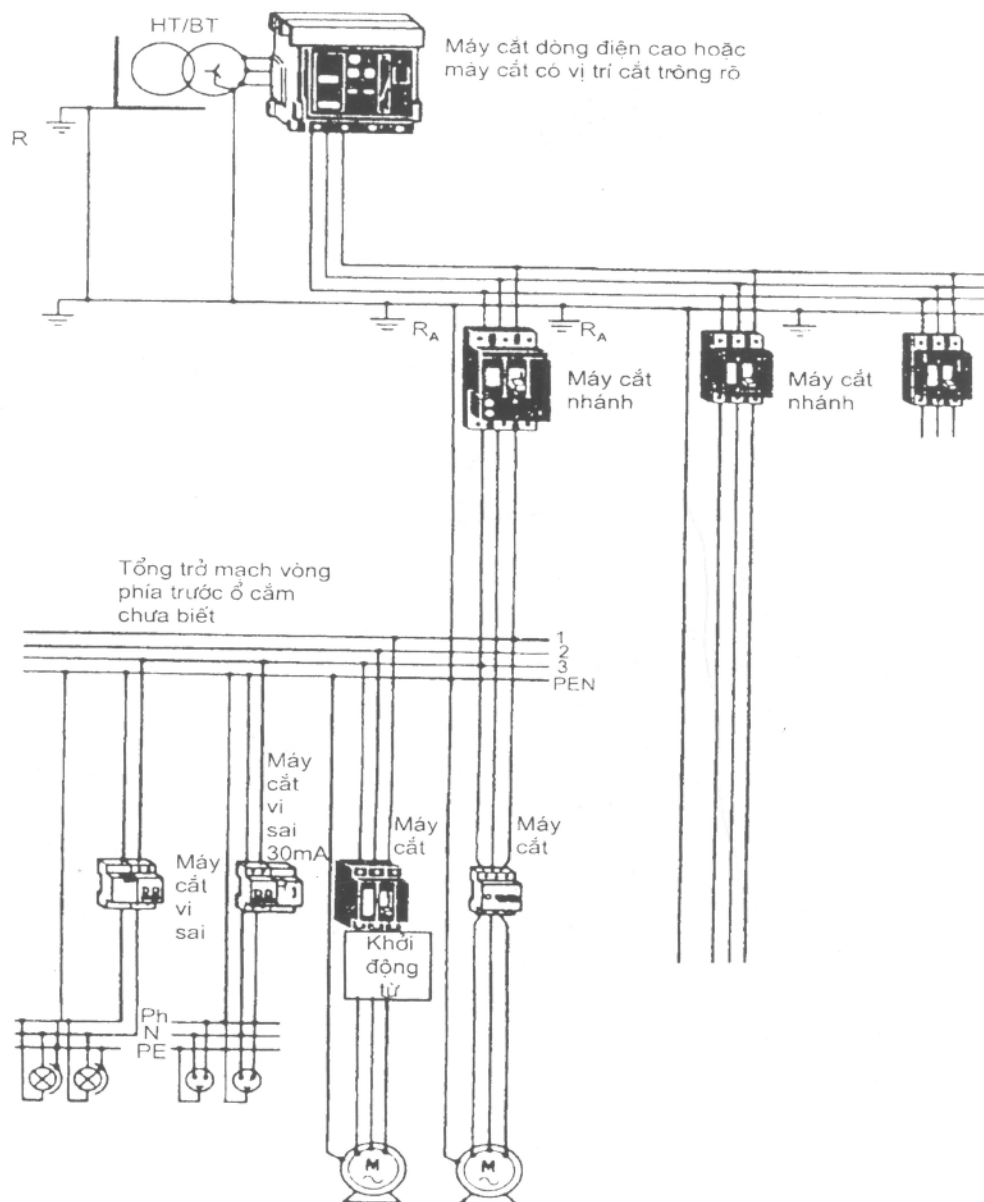
Sau đây, giới thiệu cách bố trí thực hiện bảo vệ điện hình trong các mạng điện (hình 10.19 đến 10.21).

Hình 10.19. Thực hiện bảo vệ trong mạng IT





Hình 10.20. Thực hiện bảo vệ trong mạng TT



Hình 10.21. Thực hiện bảo vệ trong mạng TN

10.5.4. Chú thích các ký hiệu quốc tế.

- Mạng **TN** và **TT** được gọi chung là mạng có trung tính nối đất, còn **IT** là mạng trung tính cách điện với đất.

- Các ký hiệu qui ước được sử dụng trong các thuật ngữ trên có ý nghĩa như sau:

TN-C: Mạng có trung tính nối đất trực tiếp, còn vỏ thiết bị điện được nối với dây trung tính; dây trung tính vừa là dây bảo vệ (làm việc chung).

TN-C-S: Như mạng **TN-C** nhưng dây trung tính và dây bảo vệ đoạn gần nguồn làm việc chung, còn sau đó lại tách riêng ra.

TN-S: dây trung tính và dây bảo vệ làm việc riêng rẽ (mạng 3 pha 5 dây).

PE- Protective Earth (tiếng Anh) - Dây nối đất bảo vệ

PEN- Protective Earth Neutral (tiếng Anh) - Dây trung tính vừa là dây nối đất bảo vệ

Chữ đầu:

+ **T** - Terrene (tiếng Anh) - Nối đất trực tiếp (thuộc về đất)

+ **I** - Insulation (tiếng Anh)- Cách điện

Chữ thứ hai:

+ **T** - Terrene (tiếng Anh) - nối đất trực tiếp

+ **N** - Neutral (tiếng Anh)- Dây trung tính

Chữ thứ ba:

+ **C** - Combine (tiếng Anh)- Gộp lại, chung nhau

+ **S** - Separated (tiếng Anh)- Tách biệt

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 10

1. Mục đích, cách tính toán và phạm vi ứng dụng của nối đất an toàn (nối đất bảo vệ)?
2. Mục đích, cách tính toán và phạm vi ứng dụng của bảo vệ nối dây trung tính?
3. Nguyên lý cấu tạo của thiết bị tự động chống dòng điện rò (RCD)?
Cách thực hiện RCD trong các mạng điện?

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Giám đốc: NGUYỄN VĂN THOÀ
Tổng biên tập: NGUYỄN THIỆN GIÁP

Biên tập và sửa bản in: BAN ĐIỀU KHIỂN ĐIỆN

Trình bày bìa: NGỌC ANH

VẬT LIỆU KỸ THUẬT ĐIỆN VÀ KỸ THUẬT AN TOÀN ĐIỆN

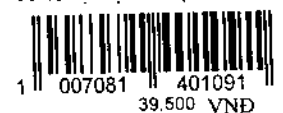
Mã số: 01.236.DH.2002

In 1000 cuốn

Số xuất bản: 397/27/CXB. Số trích ngang 20KH/XB

In xong và nộp lưu chiểu quý 1 năm 2003

Tl 4l vật liệu kt điện và kt



1 007081 401091
39.500 VNĐ