

NGUYỄN ĐÌNH THẮNG

VẬT LIÊU KỸ THUẬT ĐIỆN

Thu Vien DHKTCN-TN



MGT06008947



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

TS. NGUYỄN ĐÌNH THẮNG

VẬT LIỆU KỸ THUẬT ĐIỆN



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI

Chịu trách nhiệm xuất bản: PGS. TS. TÔ ĐĂNG HẢI
Biên tập : NGOC KHUÊ, NGUYỄN ĐĂNG
Vẽ bìa : TRẦN THẮNG

In 800 bản khổ 16 x 24cm tại xưởng in NXB Văn hoá dân tộc.
Giấy phép xuất bản số : 6 – 384 – 17/9/2004.
In xong và nộp lưu chiểu quý I / 2005.

LỜI NÓI ĐẦU

Quyển sách **Vật liệu kỹ thuật điện** này được biên soạn theo chương trình giảng dạy của Bộ Giáo dục và Đào tạo nhằm cung cấp những kiến thức cơ bản về vật liệu cách điện, bán dẫn, dẫn điện và vật liệu từ cho sinh viên các ngành điện của trường đại học kỹ thuật.

Nội dung cuốn sách đề cập đến những vấn đề chính sau đây:

1) Phân loại vật liệu kỹ thuật điện theo công dụng, thành phần cấu tạo và các đặc tính của chúng.

2) Trình bày lý thuyết cơ bản, những hiện tượng vật lý, xảy ra trong vật liệu cách điện khi ở điện áp thấp và điện áp cao; từ đó có thể tiến hành nghiên cứu, thí nghiệm, đánh giá chất lượng của vật liệu dùng trong kỹ thuật điện.

3) Nêu lên những tính chất chủ yếu của các loại vật liệu để có thể lựa chọn vào mục đích sử dụng đem lại hiệu quả kinh tế cao.

4) Trình bày những đặc điểm chính của công nghệ sản xuất vật liệu kỹ thuật điện.

5) Trình bày khá chi tiết về các đặc tính về điện, tính chất cơ, lý, hoá và các yếu tố ảnh hưởng đến các tính chất của vật liệu kỹ thuật điện.

Cuốn sách được biên soạn nhằm phục vụ cho sinh viên các trường đại học, cao đẳng, ..., đồng thời còn phục vụ cho các cán bộ, chuyên viên, nghiên cứu viên, cán bộ quản lý chuyên ngành điện, các kỹ sư điện và những người quan tâm trong lĩnh vực sản xuất, sử dụng vật liệu kỹ thuật điện.

Do tài liệu tham khảo không nhiều, trình độ người biên soạn có hạn nên không tránh khỏi những thiếu sót. Tác giả rất mong đợi những nhận xét, đánh giá, góp ý của đông đảo bạn đọc và đồng nghiệp.

Ý kiến xin gửi về địa chỉ: **Bộ môn Hệ thống điện, khoa Điện, trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Email: evnbk @ hn. vnn. vn.**

Hà Nội, tháng 9 năm 2004

Tác giả

KÝ HIỆU CÁC ĐẠI LƯỢNG CHÍNH DÙNG TRONG SÁCH

α - hệ số phân cực

α_l - hệ số giãn nở nhiệt theo chiều dài;

β - hệ số;

γ - tỷ trọng; điện dẫn suất;

γ_s - điện dẫn suất bề mặt;

γ_T - nhiệt dẫn suất;

δ - góc tổn hao;

ε - hằng số điện môi;

η - độ nhớt động lực học;

λ - chiều dài đoạn đường chuyển động tự do; bước sóng;

μ - mômen lưỡng cực phân tử; độ từ thẩm; hệ số suy giảm bức xạ;

ν - hệ số tái hợp; độ nhớt động học; hệ số quan hệ đàn hồi;

ρ - mật độ; điện trở suất;

ρ_v - điện trở suất khối;

ρ_s - điện trở suất mặt;

ρ_T - nhiệt trở suất;

σ - giới hạn bền;

τ - thời gian;

φ - độ ẩm không khí; góc;

ψ - tính hút nước; độ ẩm vật liệu;

ω - tần số góc;

B - cảm ứng từ; hằng số;

b - hằng số

C - điện dung tụ điện; nhiệt dung;

c - tốc độ ánh sáng; suất nhiệt dung;
D - cảm ứng điện;
d - đường kính;
E - cường độ điện trường; môđun đàn hồi;
 E_{hd} - độ bền điện;
e - điện tích điện tử; cơ số của lôgarit tự nhiên;
F - lực; độ bền đối với xung nhiệt;
f - tần số dòng điện; tần số dao động nhiệt;
G - hệ số cấu trúc;
g - gia tốc lực trọng trường;
H - cường độ từ trường;
h - hằng số Plank; chiều cao; chiều dày; chiều dài;
I - cường độ dòng điện;
i - trị số tức thời của cường độ dòng điện;
j - mật độ dòng điện;
K - độ linh hoạt;
k - hằng số Bôlzoman;
l - chiều dài;
M - trọng lượng phân tử; mômen;
m - khối lượng; mômen điện;
N - số phân tử trong một phân tử gam; số Avogadro;
n - hệ số khúc xạ;
 n_0 - mật độ;
P - công suất; cường độ phân cực;
p - áp lực; suất tổn hao công suất;
Q - điện tích của tụ điện; hệ số phẩm chất;
q - điện tích;
R - hằng số khí; bán kính; điện trở;
r - bán kính; điện trở;

S – bề mặt; diện tích;
T – nhiệt độ tuyệt đối; động năng;
TK – hệ số nhiệt độ;
t – nhiệt độ, °C;
U – hiệu điện thế (điện áp);
u – độ linh hoạt; thế năng;
v – tốc độ;
V – thể tích;
W – năng lượng;
w – năng lượng kích thích; bề rộng vùng cấm;
Z – tổng trở; số thứ tự nguyên tố;
z – lượng dịch chuyển gia tăng;

QUAN HỆ GIỮA CÁC ĐƠN VỊ ĐO LƯỜNG CỦA MỘT SỐ ĐẠI LƯỢNG VẬT LÝ – KỸ THUẬT

Mật độ	$1\text{kg/m}^3 = 0,001\text{ g/cm}^3$
Trọng lượng (lực)	$1\text{N} = 0,102\text{ kG} \approx 0,1\text{kG}$
Áp suất và các đại lượng khác cùng loại (giới hạn bền khi kéo ...)	$1\text{N/m}^2 = 10,2 \cdot 10^{-6}\text{kG/cm}^3 \approx 10^{-5}\text{kG/cm}^2 \approx 10^{-7}\text{kG/mm}^2$
Ứng suất dai va đập	$1\text{J/m}^2 = 1,02 \cdot 10^{-3}\text{kG.cm/cm}^2 \approx 10^{-3}\text{kG.cm/cm}^2$
Sức căng bề mặt	$1\text{N/m} = 10^3\text{dyn/cm}$
Độ nhớt động lực học	$1\text{N.s/m}^2 = 10\text{P} = 1.000\text{cP}$
Độ nhớt động học	$1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{cm}^2$
Nhiệt dẫn suất	$1\text{W}/(\text{m.độ}) \approx 2,4 \cdot 10^{-3}\text{cal}/(\text{cm.s.độ})$
Tỷ nhiệt	$1\text{J}/(\text{kg.độ}) \approx 2,4 \cdot 10^{-4}\text{cal}/(\text{kg.độ})$
Điện trở suất	$1\Omega\text{ m} = 100\Omega\text{cm} = 10^6\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$
Điện dẫn suất	$1\text{S}/\text{m} = 0,01\Omega^{-1},\text{ cm}^{-1} = 10^{-6}\text{m}/(\Omega.\text{mm}^2)$
Độ bền điện (cường độ điện trường)	$1\text{V}/\text{m} = 10^{-6}\text{kV}/\text{mm} = 10^{-5}\text{kV}/\text{cm}$
Độ linh hoạt hạt mang điện	$1\text{m}^2/(\text{V.s}) = 10^4\text{cm}^2/(\text{V.s})$
Cường độ từ trường	$1\text{A}/\text{m} = 0,01\text{A}/\text{cm} = 12,6 \cdot 10^{-3}\text{ec}$
Cảm ứng từ	$1\text{T} = 10^4\text{gauss}$

PHẦN THỨ NHẤT

NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

Chương I

CẤU TẠO VÀ PHÂN LOẠI VẬT CHẤT

1.1. CẤU TẠO NGUYÊN TỬ

Như chúng ta đã biết mọi vật chất được cấu tạo từ nguyên tử và phân tử. Nguyên tử là phần tử cơ bản nhất của vật chất. Theo mô hình nguyên tử của Bor, nguyên tử được cấu tạo bởi hạt nhân mang điện tích dương và các điện tử (électron-e) mang điện tích âm chuyển động xung quanh hạt nhân theo quỹ đạo nhất định.

Hạt nhân nguyên tử được tạo nên từ các hạt prôton và notron. Notron là các hạt không mang điện tích, còn prôton có điện tích dương với số lượng bằng $Z \cdot q$ với Z - số lượng điện tử của một nguyên tử đồng thời cũng là số thứ tự của nguyên tố nguyên tử đó trong bảng tuần hoàn Mendelêép;

q - điện tích của điện tử e ($q_e = 1,601 \cdot 10^{-19}$ culông). Proton có khối lượng bằng $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg, electron (e) có khối lượng bằng $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg. Cấu tạo hạt nhân nguyên tử, tính chất các điện tử lấp đầy lớp vỏ một cách tuần hoàn được phản ánh trong bảng Mendelêép.

Ở trạng thái bình thường nguyên tử được trung hoà về điện, tức là trong nguyên tử có tổng các điện tích dương của hạt nhân bằng tổng các điện tích âm của các điện tử. Nếu vì lý do nào đó nguyên tử mất đi một hay nhiều điện tử thì sẽ trở thành điện tích dương, ta thường gọi là ion dương, ngược lại nếu nguyên tử trung hoà nhận thêm điện tử thì trở thành ion âm.

Để có khái niệm về năng lượng của điện tử ta xét nguyên tử của hidro, nguyên tử này được cấu tạo từ một proton và một điện tử.

Khi điện tử chuyển động trên quỹ đạo tròn bán kính r xung quanh hạt nhân thì điện tử sẽ chịu lực hút của hạt nhân f_1 và được xác định bởi công thức sau:

$$f_1 = \frac{q^2}{r^2} \quad (1-1)$$

Lực hút f_1 sẽ được cân bằng với lực ly tâm của chuyển động f_2 :

$$f_2 = \frac{mv^2}{r} \quad (1-2)$$

Trong đó: m - khối lượng của điện tử ;
 v - tốc độ chuyển động của điện tử.

Từ (1-1) và (1-2) ta có: $f_1 = f_2$ hay:

$$mv^2 = \frac{q^2}{r} \quad (1-3)$$

Trong quá trình chuyển động, điện tử có một động năng $T = \frac{mv^2}{2}$ và một thế năng $U = -\frac{q^2}{r}$, cho nên năng lượng của điện tử sẽ bằng:

$$W = T + U = -\frac{q^2}{2r} \quad (1-4)$$

Biểu thức (1-4) chứng tỏ mỗi điện tử của nguyên tử có một mức năng lượng nhất định, năng lượng này tỉ lệ nghịch với bán kính quỹ đạo chuyển động của điện tử. Để di chuyển điện tử từ quỹ đạo chuyển động bán kính r ra xa vô cùng cần phải cung cấp cho nó một năng lượng lớn hơn hoặc bằng $\frac{q^2}{2r}$.

Năng lượng tối thiểu cung cấp cho điện tử để điện tử tách rời khỏi nguyên tử trở thành điện tử tự do người ta gọi là *năng lượng ion hoá* (W_i). Khi bị ion hoá (bị mất điện tử), nguyên tử trở thành ion dương. Quá trình biến nguyên tử trung hoà thành ion dương và điện tử tự do gọi là *quá trình ion hoá*.

Trong một nguyên tử năng lượng ion hoá của các lớp điện tử khác nhau cũng khác nhau, các điện tử hoá trị ngoài cùng có mức năng lượng ion hoá thấp nhất vì chúng cách xa hạt nhân (xem công thức 1-4).

Khi điện tử nhận được năng lượng nhỏ hơn năng lượng ion hoá chúng sẽ bị kích thích và có thể di chuyển từ mức năng lượng này sang mức năng lượng khác,

song chúng luôn có xu thế trở về vị trí của trạng thái ban đầu. Phần năng lượng cung cấp để kích thích nguyên tử sẽ được trả lại dưới dạng năng lượng quang học (quang năng).

Trong thực tế, năng lượng ion hoá và năng lượng kích thích nguyên tử có thể nhận được từ nhiều nguồn năng lượng khác nhau, ví dụ như: nhiệt năng, quang năng, điện năng, năng lượng của các tia sóng ngắn như: α , β , γ hay tia rơnghen...v.v...

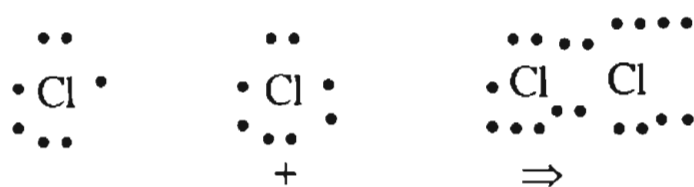
1.2. CẤU TẠO PHÂN TỬ

Phân tử được tạo nên từ những nguyên tử thông qua các liên kết phân tử. Trong vật chất tồn tại bốn loại liên kết sau.

1.2.1. Liên kết đồng hoá trị

Liên kết đồng hoá trị được đặc trưng bởi sự dùng chung những điện tử của các nguyên tử trong phân tử. Khi đó mật độ đám mây điện tử giữa các hạt nhân trở thành bão hoà, liên kết phân tử bền vững.

Lấy cấu trúc của phân tử clo làm ví dụ: phân tử clo (Cl_2) gồm 2 nguyên tử Clo, mỗi nguyên tử clo có 17 điện tử, trong đó 7 điện tử hoá trị ở lớp ngoài cùng. Hai nguyên tử này được liên kết bền vững với nhau bằng cách sử dụng chung hai điện tử, lớp vỏ ngoài cùng của mỗi nguyên tử được bổ sung thêm một điện tử của nguyên tử kia (hình 1-1).



Hình 1-1. Liên kết đồng hoá trị trong phân tử clo.

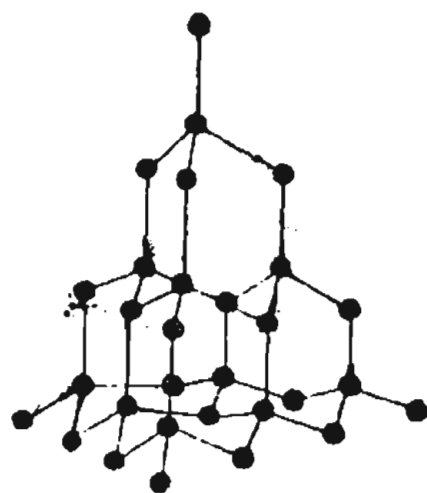
Tùy thuộc vào cấu trúc đối xứng hay không đối xứng mà phân tử liên kết đồng hoá trị có thể là **trung tính** hay **cực tính** (lưỡng cực).

- Phân tử có trọng tâm của các điện tích dương và âm trùng nhau là phân tử trung tính. Các chất được tạo nên từ các phân tử trung tính gọi là **chất trung tính**.

- Phân tử có trọng tâm của các điện tích dương và điện tích âm không trùng nhau, cách nhau một khoảng cách a "nào đó được gọi là **phân tử cực tính** hay còn gọi là **lưỡng cực**". Phân tử cực tính đặc trưng bởi momen lưỡng cực $m = q.a$. Dựa

vào trị số momen lưỡng cực của phân tử người ta chia ra thành chất cực tính yếu và cực tính mạnh. Những chất được cấu tạo bằng các phân tử cực tính gọi là *chất cực tính*.

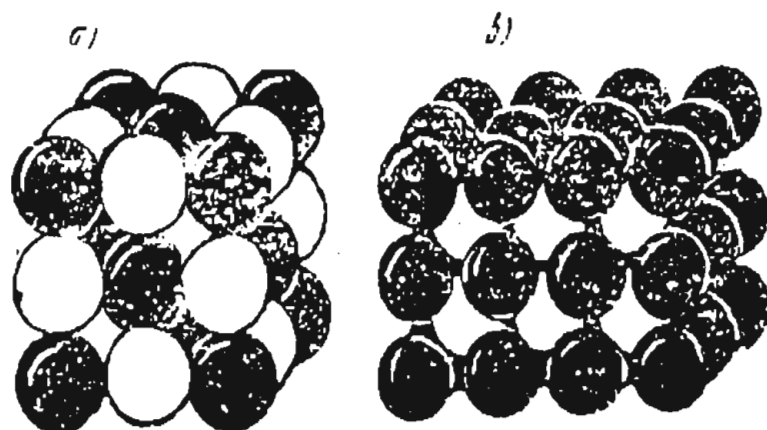
Liên kết đồng hoá trị còn thấy ở cả chất rắn. Vô cơ có mạng tinh thể cấu tạo từ các nguyên tử, ví dụ như kim cương. Cấu tạo của kim cương được mô tả trên hình 1-2.



Hình 1-2. Cấu tạo tinh thể kim cương.

1.2.2. Liên kết ion

Liên kết ion được xác lập bởi lực hút giữa các ion dương và các ion âm trong phân tử. Liên kết ion là liên kết khá bền vững. Do vậy, vật rắn có cấu tạo ion đặc trưng bởi độ bền cơ học và nhiệt độ nóng chảy cao. Ví dụ điển hình về tinh thể ion là các muối halogen của các kim loại kiềm.



Hình 1-3. Cấu trúc liên kết ion clorua natri (a) và clorua xêzi (b).

Cấu trúc tinh thể ion clorua natri và clorua xêri được chỉ rõ ở hình 1-3. Qua hình vẽ cho thấy ở chất thứ nhất các ion được ràng buộc chặt chẽ, còn chất thứ hai không chặt chẽ.

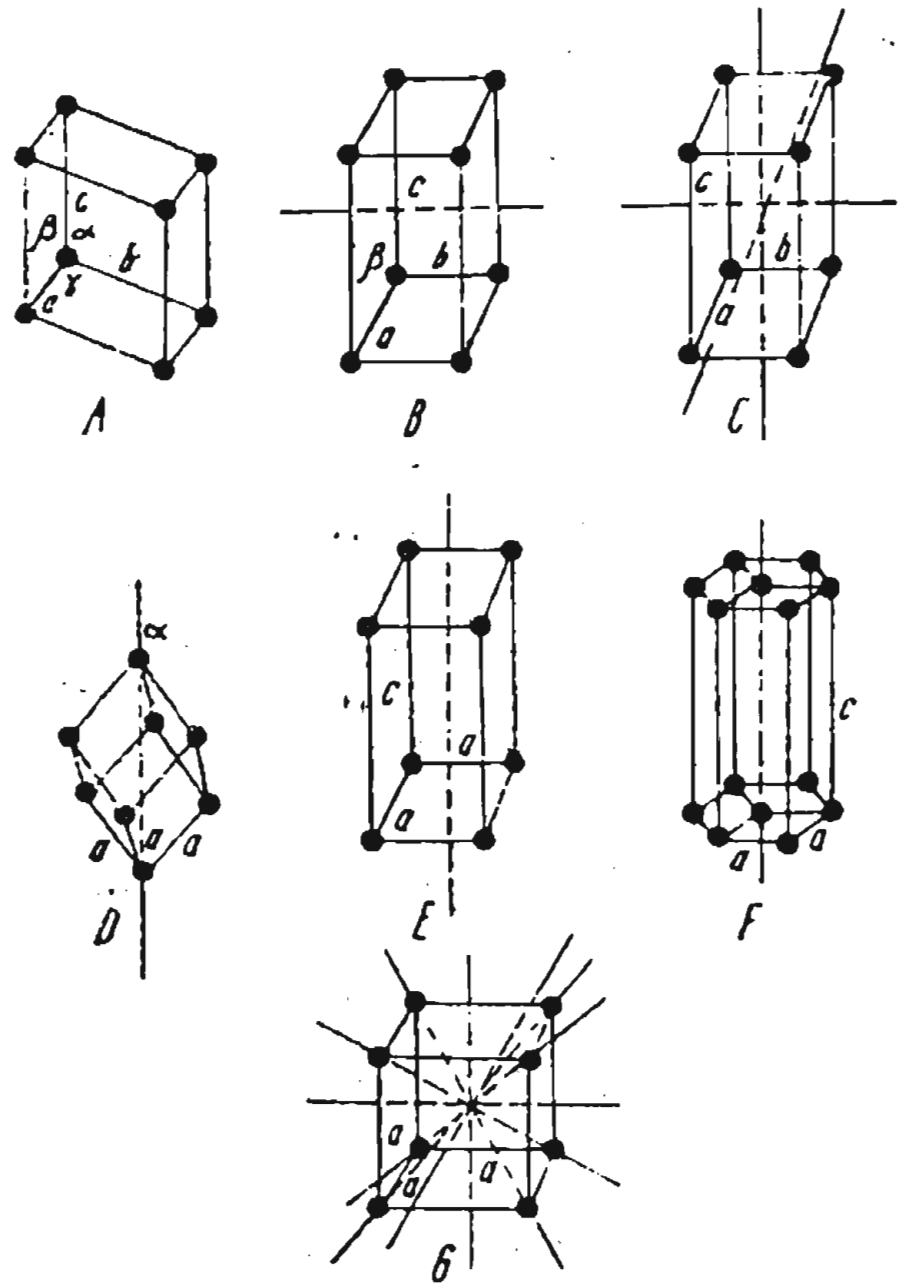
Trên hình 1-4 trình bày 7 hệ thống chính liên kết tinh thể ion cơ bản. Sự phân loại tinh thể theo hình học chưa đủ để phân biệt những cấu trúc và tính chất của vật chất. Các tinh thể vật chất có thể có sự khác nhau về khúc xạ kép, về tính chất áp điện và nhiệt điện, về sự cấu thành các trung tâm hấp phụ, về công thoát của điện tử v.v...

Khả năng tạo nên một chất hoặc một hợp chất mạng không gian nào đó phụ thuộc chủ yếu vào kích thước nguyên tử và hình dáng lớp điện tử hoá trị ngoài cùng.

1.2.3. Liên kết kim loại

Dạng liên kết này tạo nên các tinh thể vật rắn. Kim loại được xem như là một hệ thống cấu tạo từ các ion dương nằm trong môi trường các điện tử tự do (hình 1-5). Lực hút giữa các ion dương và các điện tử tạo nên tính nguyên khối của kim loại. Chính vì vậy liên kết kim loại là liên kết bền vững, kim loại có độ bền cơ học và nhiệt độ nóng chảy cao.

Sự tồn tại các điện tử tự do làm cho kim loại có tính ánh kim và tính dẫn điện, dẫn nhiệt cao. Tính dẻo của kim loại được giải thích bởi sự dịch chuyển và trượt trên nhau giữa các lớp ion, cho nên kim loại dễ cán kéo thành lớp mỏng.



Hình 1-4. Các tế bào cơ bản của bảy hệ thống.

- A - Ba góc; B - Đồng góc; C - Trục thoi;
- D - Khối mặt thoi; E - Tứ giác; F - Lục giác;
- G - Hình hộp; a,b,c - chiều dài cạnh;
- α, β, γ - góc các mặt có trị số khác 90° .

1.2.4. Liên kết Vandec-Vanx

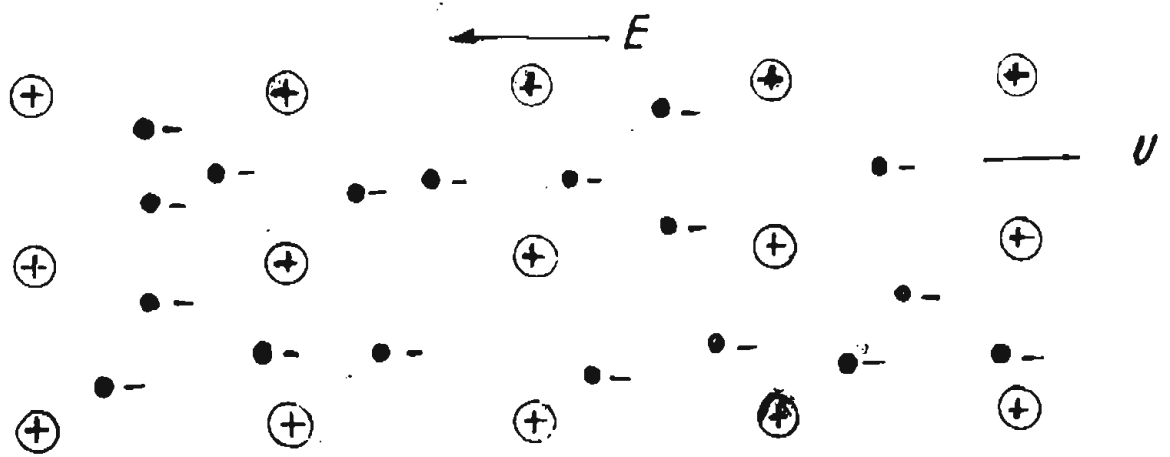
Liên kết này là dạng liên kết yếu, cấu trúc mạng tinh thể phân tử không vững chắc. Do vậy những chất liên kết phân tử là liên kết Vandec-Vanx có nhiệt độ nóng chảy và độ bền cơ thấp ví dụ như "parafin".

1.3. KHUYẾT TẬT TRONG CẤU TẠO VẬT RẮN

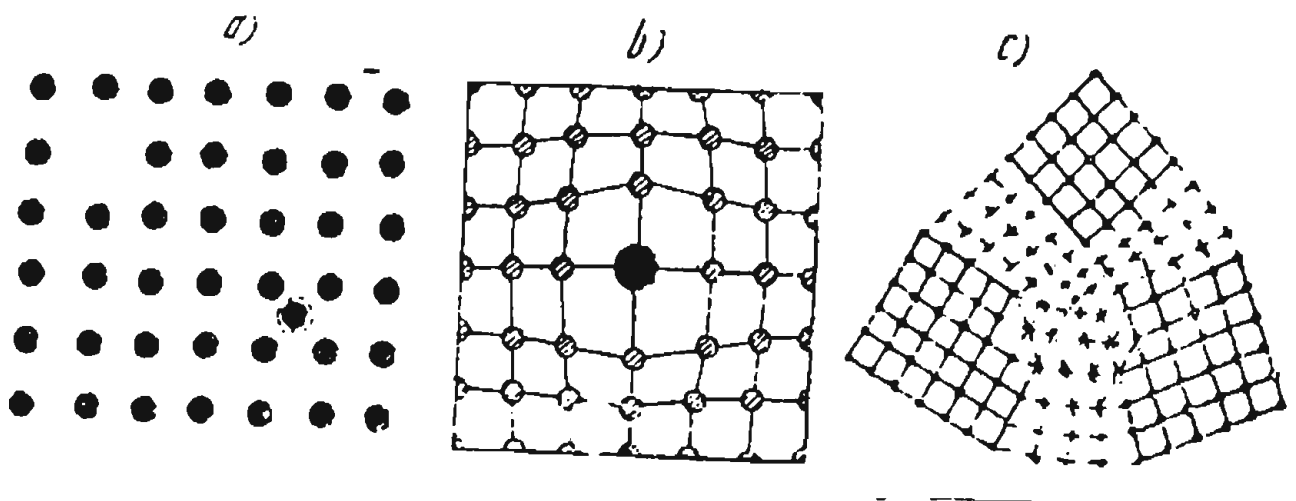
Các tinh thể vật rắn có thể có kết cấu đồng nhất. Sự phá huỷ các kết cấu đồng nhất và tạo nên các khuyết tật trong vật rắn thường gặp nhiều trong thực tế. Những

khuyết tật có thể được tạo nên bằng sự ngẫu nhiên hay cố ý trong quá trình công nghệ chế tạo vật liệu.

Khuyết tật của vật rắn là bất kỳ hiện tượng nào phá vỡ tính chất chu kỳ của trường tinh điện mạng tinh thể như: phá vỡ thành phần hợp thức; sự có mặt của các tạp chất lạ; áp lực cơ học; các lượng tử của dao động đàn hồi - photon; mặt tinh thể phụ - đoạn tầng; khe rãnh, lỗ xốp v.v... (xem hình 1-6).



Hình 1-5. Sơ đồ cấu tạo kim loại.



Hình 1-6. Khuyết tật mạng tinh thể.

- a- Nút trống và ion riêng giữa các nút;
- b- Nguyên tử lạ trong nút của mạng;
- c- Cấu tạo dạng khối của tinh thể đoạn tầng.

Khuyết tật sẽ làm thay đổi các đặc tính cơ học, lý học, hoá học và các tính chất về điện của vật liệu. Khuyết tật có thể tạo nên các tính năng đặc biệt tốt (ví dụ như: vi mạch IC...) và cũng có thể làm cho tính chất của vật liệu kém đi (ví dụ như: vật liệu cách điện có lẫn kim loại).

Trong kỹ thuật điện người ta sử dụng rộng rãi cả vật liệu có cấu tạo thứ tự cũng như không thứ tự, khó có thể kết luận kim loại nào có ý nghĩa hơn.

1.4. LÝ THUYẾT PHÂN VÙNG NĂNG LƯỢNG TRONG VẬT RẮN

Có thể sử dụng lý thuyết phân vùng năng lượng để giải thích, phân loại vật liệu thành các nhóm vật liệu dẫn điện, bán dẫn và điện môi (cách điện).

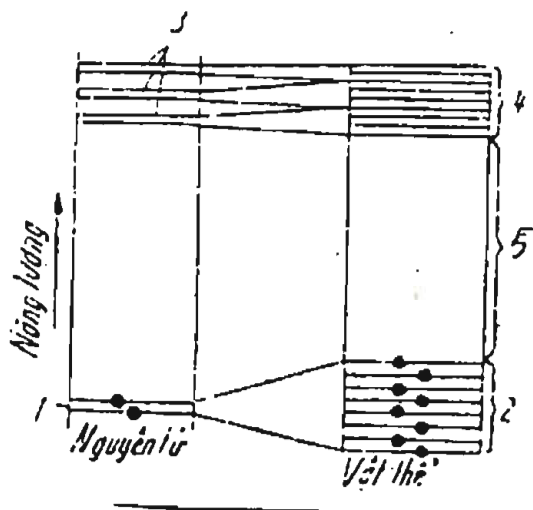
Việc nghiên cứu quang phổ phát xạ của các chất khác nhau ở trạng thái khí khi các nguyên tử ở cách xa nhau một khoảng cách lớn đã chỉ rõ rằng: nguyên tử của mỗi chất được đặc trưng bởi những vạch quang phổ hoàn toàn xác định. Điều đó chứng tỏ rằng các nguyên tử khác nhau có những trạng thái năng lượng hay mức năng lượng khác nhau.

Khi nguyên tử ở trạng thái bình thường không bị kích thích, một số trong các mức năng lượng được các điện tử lấp đầy, còn ở các mức năng lượng khác điện tử chỉ có thể có mặt khi nguyên tử nhận được năng lượng từ bên ngoài tác động (trạng thái kích thích). Nguyên tử luôn có xu hướng quay về trạng thái ổn định. Khi điện tử chuyển từ mức năng lượng kích thích sang mức năng lượng nguyên tử nhỏ nhất, nguyên tử phát ra phần năng lượng dư thừa.

Những điều nói trên có thể đặc trưng bằng biểu đồ năng lượng vẽ trên hình (1-7). Khi chất khí hoá lỏng và sau đó tạo nên mạng tinh thể của vật rắn, các nguyên tử nằm sát nhau, tất cả các mức năng lượng của nguyên tử xê dịch do tác động của các nguyên tử bên cạnh tạo nên một dải năng lượng hay còn gọi là vùng các mức năng lượng.

Do không có năng lượng của chuyển động nhiệt nên vùng năng lượng bình thường của nguyên tử ở vị trí thấp nhất và được gọi là vùng hoá trị hay còn gọi là vùng đầy (ở không độ tuyệt đối (0°K) các điện tử hoá trị của nguyên tử lấp đầy vùng này).

Những điện tử tự do có mức năng lượng hoạt tính cao hơn, các dải năng lượng của chúng tập hợp thành vùng tự do hay vùng điện dẫn (phần trên cùng của



Hình 1-7. Sơ đồ phân bố mức năng lượng nguyên tử riêng biệt và của vật rắn phi kim loại.

- 1- Mức năng lượng bình thường của kim loại; 2- Vùng điện tử lấp đầy; 3- Mức năng lượng kích thích của nguyên tử;
- 4- Vùng tự do; 5- Vùng cấm.

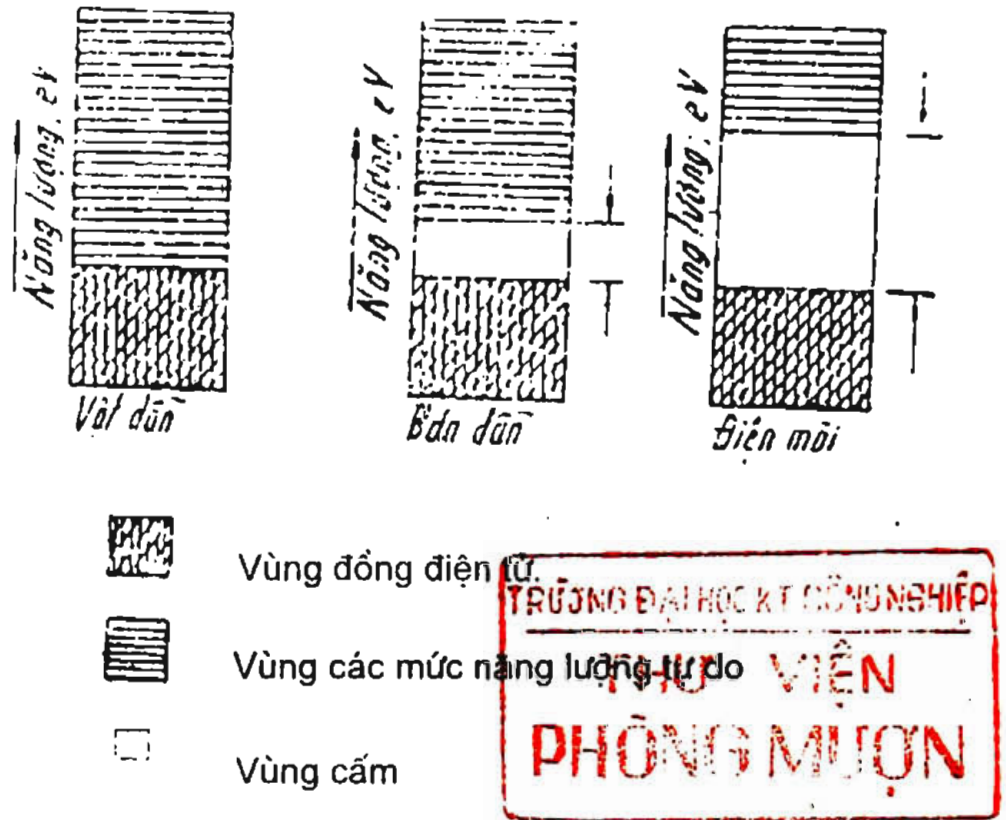
sơ đồ phân bố vùng năng lượng). Giữa vùng tự do và vùng đầy tồn tại vùng năng lượng được gọi là vùng cấm hay vùng trống. Tùy theo chiều rộng của vùng cấm (ΔW) vật liệu phân ra thành: vật liệu dẫn điện, vật liệu bán dẫn và vật liệu cách điện (điện môi).

Điện môi là chất có vùng cấm lớn đến mức ở điều kiện bình thường sự dẫn điện bằng điện tử không xảy ra. Các điện tử hoá trị tuy được cung cấp thêm năng lượng của chuyển động nhiệt vẫn không thể di chuyển tới vùng tự do để tham gia vào dòng điện dẫn. Chiều rộng vùng cấm của điện môi ΔW nằm trong khoảng từ 1,5 đến vài điện tử von (eV).

Bán dẫn là chất có vùng cấm hẹp hơn so với điện môi, vùng này có thể thay đổi nhờ tác động năng lượng từ bên ngoài. Chiều rộng vùng cấm chất bán dẫn bé ($\Delta W = 0,2 \div 1,5$ eV), do đó ở nhiệt độ bình thường một số điện tử hoá trị ở trong vùng đầy được tiếp sức của chuyển động nhiệt có thể di chuyển tới vùng tự do để tham gia vào dòng điện dẫn.

Vật dẫn là chất có vùng tự do nằm sát với vùng đầy thậm chí có thể chồng lên vùng đầy ($\Delta W < 0,2$ eV). Vật dẫn điện có số lượng điện tử tự do rất lớn; ở nhiệt độ bình thường các điện tử hoá trị trong vùng đầy có thể chuyển sang vùng tự do rất dễ dàng, dưới tác dụng của lực điện trường các điện tử này tham gia vào dòng điện dẫn. Chính vì vậy vật dẫn có tính dẫn điện tốt.

Trong chất bán dẫn khi không có điện tử tự do ($T = 0^0K$) nếu đặt vào hiệu điện thế thì trong nó không gây nên dòng điện. Nếu năng lượng đưa từ ngoài vào đủ lớn để di chuyển các điện tử từ vùng đầy qua vùng cấm trở thành tự do, các điện tử đó có thể chuyển động dưới tác dụng của điện trường tạo nên điện dẫn điện tử của chất bán dẫn.



Hình 1-8. Cho sơ đồ phân bố vùng năng lượng của vật rắn ở nhiệt độ 0^0K .

Khi các điện tử thoát khỏi vùng đầy thì tại đó hình thành các “*lỗ trống*”. Các lỗ trống này luôn có xu thế trở lại trạng thái ban đầu, chúng được lấp kín ngay bởi các điện tử của những nguyên tử lân cận, do đó sẽ tạo nên các lỗ trống ở vị trí khác và quá trình cứ tiếp diễn liên tục. Như vậy dưới tác dụng của điện trường lỗ trống sẽ chuyển động theo chiều của trường giống như một điện tích dương. Cùng với quá trình điện tử chuyển sang trạng thái tự do còn xảy ra hiện tượng ngược lại là hiện tượng điện tử quay về trạng thái bình thường. Kết quả là trong vật chất sẽ duy trì một trạng thái cân bằng, nghĩa là số điện tử chuyển sang vùng tự do bằng số điện tử trở về trạng thái bình thường.

Khi nhiệt độ tăng thì số điện tử tự do trong chất bán dẫn tăng lên, còn khi nhiệt độ giảm đến độ không tuyệt đối số lượng điện tử tự do giảm đến số không tuyệt đối. Như vậy, tính chất của vật liệu sẽ thay đổi khi nó ở nhiệt độ cao hơn.

Năng lượng cần thiết để điện tử chuyển sang trạng thái tự do hoặc để tạo nên lỗ trống không chỉ do chuyển động nhiệt mà còn do các nguồn năng lượng khác như: năng lượng của ánh sáng (quang năng); năng lượng điện trường và từ trường (điện năng); năng lượng cơ học (cơ năng), năng lượng của các tia sóng ngắn α, β, γ hay tia ronghen v.v...

Số lượng các điện tử tự do hay lỗ trống trong một chất tăng lên dưới tác dụng của dạng năng lượng nào đó sẽ làm tăng độ dẫn điện, tăng cường độ dòng điện và xuất hiện sức điện động.

Các tính chất về điện phụ thuộc vào điều kiện tương tác giữa các nguyên tử của vật chất. Những tính chất của vật liệu không phải là vĩnh cửu, ở điều kiện môi trường nào đó vật liệu là điện môi, song ở điều kiện khác nó trở thành bán dẫn hay dẫn điện và ngược lại.

Tạp chất và các khuyết tật trong vật liệu có thể làm thay đổi tính chất ban đầu của vật liệu. Do vậy trong công nghệ sản xuất vật liệu kỹ thuật điện cần phải hạn chế tới mức tối đa số lượng tạp chất và khuyết tật.

1.5. PHÂN LOẠI VẬT LIỆU THEO TỪ TÍNH

Theo từ tính người ta phân vật liệu thành nghịch từ, thuận từ và dẫn từ.

Nghịch từ là những chất có độ từ thẩm $\mu < 1$ và không phụ thuộc vào cường độ từ trường bên ngoài. Loại này gồm có hydro, các khí hiếm, đa số các hợp chất hữu cơ, muối mỏ và các kim loại như: đồng, kẽm, bạc, vàng, thủy ngân, gali, antimoan.

Thuận từ là những chất có độ từ thẩm $\mu > 1$ và cũng không phụ thuộc vào cường độ từ trường bên ngoài. Loại này gồm có oxy, nitơ oxít, muối đất hiếm, muối sắt, các muối coban và niken, kim loại kiềm, nhôm, bạch kim.

Chất nghịch từ và thuận từ có độ từ thẩm xấp xỉ bằng 1.

Chất dẫn từ là các chất có $\mu \gg 1$ và phụ thuộc vào cường độ từ trường bên ngoài. Loại này gồm có: sắt, niken, coban, và các hợp kim của chúng; hợp kim crom và mangan, gadolonit, pherit có các thành phần khác nhau.

Trong các phần trình bày tiếp theo sẽ nghiên cứu những tính chất của vật liệu cách điện, bán dẫn, dẫn điện và vật liệu từ dùng trong kỹ thuật điện.

PHẦN THỨ HAI

VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

NHỮNG HIỆN TƯỢNG XẢY RA TRONG ĐIỆN MÔI KHI ĐẶT VÀO TRONG ĐIỆN TRƯỜNG

Khi đặt điện môi vào trong điện trường E , điện môi sẽ chịu tác dụng của cường độ điện trường. Tùy theo dạng cường độ điện trường (mạnh hay yếu, một chiều, xoay chiều, hay xung kích, tần số của điện trường....) và thời gian tác dụng của điện trường, mà trong điện môi xảy ra những hiện tượng với các đặc điểm khác nhau, đồng thời yếu tố môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, áp suất... cũng ảnh hưởng đến các quá trình xảy ra trong điện môi dưới tác dụng của điện trường trong điện môi, có thể xảy ra hai hiện tượng cơ bản, đó là hiện tượng dẫn điện và phân cực điện môi.

Theo nguyên lý chung vật liệu cách điện thì phải cách điện hoàn toàn, song trên thực tế, vật liệu cách điện dùng trong kỹ thuật điện luôn tồn tại các điện tích và các điện tử tự do. Dưới tác dụng của lực điện trường, các điện tích dương chuyển động theo chiều của điện trường, các điện tích âm (bao gồm cả điện tử tự do) chuyển động theo chiều ngược lại, chúng tạo nên một dòng điện đi trong điện môi. Như vậy, điện dẫn của điện môi được xác định bởi sự chuyển động, có hướng của các điện tích dưới tác dụng của điện trường bên ngoài.

Trị số của dòng điện phụ thuộc vào số lượng điện tích tự do có trong điện môi. Thực tế số lượng điện tích tự do của các điện môi không nhiều, do đó dòng điện đi trong điện môi có trị số rất nhỏ.

Quá trình đặc trưng chủ yếu của điện môi là sự phân cực điện môi khi có điện trường bên ngoài tác động. Phân cực là sự dịch chuyển có giới hạn của các điện tích liên kết hay là sự định hướng của các phân tử lưỡng cực dưới tác dụng của điện trường. Trong quá trình phân cực cũng tạo nên dòng điện phân cực.

Do có dòng điện dẫn và sự phân cực mà một phần năng lượng điện bị tiêu hao và toả ra dưới dạng nhiệt năng làm cho điện môi nóng lên. Phần năng lượng tiêu hao đó gọi là *tổn hao điện môi*, dựa vào trị số tổn hao điện môi người ta đánh giá chất lượng của vật liệu cách điện.

Mỗi một điện môi với chiều dày nhất định chỉ chịu được điện áp giới hạn nhất định. Khi điện áp cao hơn trị số giới hạn sẽ xảy ra *hiện tượng phóng điện* làm hỏng điện môi. *Độ bền điện* của vật liệu là khả năng vật liệu chịu điện áp mà không bị phá huỷ. Độ bền điện được đặc trưng bởi trị số cường độ điện trường đánh thủng ($E_{dt} = \frac{U_{dt}}{h}$ [kV/mm]).

Trong quá trình vận hành điện môi phải chịu tác động của môi trường và điện trường. Sau một thời gian các tính chất về *cơ học, lý học, hoá học* và *điện...* của điện môi sẽ bị thay đổi khác với tính chất ban đầu, khi đó điện môi biến tính hay còn gọi là "lão hóa".

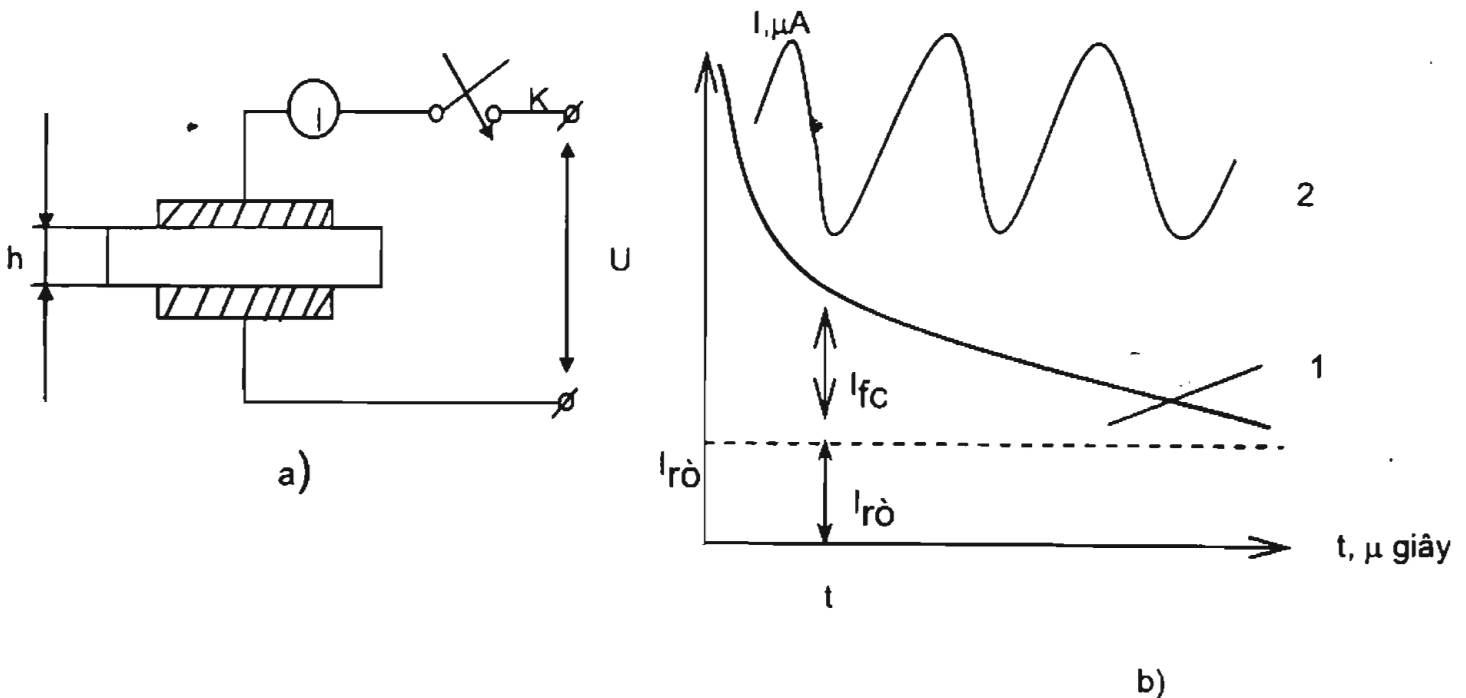
Sau đây chúng ta sẽ nghiên cứu những hiện tượng cơ bản xảy ra trong điện môi.

Chương II

TÍNH DẪN ĐIỆN CỦA ĐIỆN MÔI

2.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐIỆN DẪN CỦA ĐIỆN MÔI

Khi đặt điện môi vào trong điện trường E , điện áp là U , đo trị số dòng điện đi qua điện môi, ta thấy dòng điện biến thiên theo thời gian, được biểu diễn ở hình 2-1.



Hình 2-1. Quan hệ giữa dòng điện với thời gian.

a) Sơ đồ thí nghiệm; b) Đồ thị $I(t)$.

1- Dòng điện đo ở điện áp một chiều; 2- Dòng điện đo ở điện áp xoay chiều

Dòng điện đi trong điện môi gồm có hai thành phần là dòng điện rò (I_{r0}) và dòng điện phân cực (I_{fc}):

$$I = I_{r0} + I_{fc} \quad (2-1)$$

Ở điện áp một chiều, dòng điện phân cực chỉ tồn tại trong thời gian quá trình quá độ khi đóng hay ngắt điện. Đối với điện áp xoay chiều dòng điện phân cực tồn tại trong suốt thời gian đặt điện áp.

Dựa vào trị số của dòng điện rò để đánh giá chất lượng của vật liệu cách điện. Nếu dòng điện rò có trị số bé thì cách điện tốt, còn nếu lớn thì tính chất cách điện của vật liệu kém. Như vậy, tính chất của vật liệu cách điện được xác định qua **điện dẫn suất (γ)** hay **điện trở suất ρ** :

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (2-2)$$

Điện trở cách điện của khối điện môi R_{cd} là:

$$R_{cd} = \frac{U}{I_{rB}} \quad (2-3)$$

Trong đó: U - điện áp một chiều đặt lên điện môi.

Đối với điện môi rắn có hai khái niệm: điện trở suất khối " ρ_v " và điện trở suất mặt ρ_s .

Điện trở suất khối là điện trở của khối lập phương có cạnh bằng 1cm hình dung cắt ra từ vật liệu khi dòng điện đi qua hai mặt đối diện khối lập phương đó, đơn vị đo bằng ($\Omega.cm$):

$$\rho_v = R_v \cdot \frac{S}{h} \quad [\Omega.cm] \quad (2-4)$$

Trong đó: R_v - điện trở khối của mẫu, [Ω];

S - diện tích của điện cực đo, [cm^2];

h - chiều dày khối điện môi, [cm].

Điện trở suất mặt là điện trở của một hình vuông bề mặt vật liệu khi dòng điện đi qua hai cạnh đối diện:

$$\rho_s = R_s \frac{d}{l} \quad [\Omega] \quad (2-5)$$

Trong đó: R_s - điện trở mặt của mẫu vật liệu, [Ω];

d - chiều dài điện cực, [cm];

l - khoảng cách giữa hai cực, [cm].

Tương ứng với ρ_v có điện dẫn suất khối $\gamma_v = \frac{1}{\rho_v}$, $[\Omega, \text{cm}]^{-1}$ ứng với ρ_s có

điện dẫn suất mặt $\gamma_s = \frac{1}{\rho_s}$, $[\Omega]^{-1}$ hay còn có đơn vị đo là S (Simen).

Điện dẫn toàn phần tương ứng với điện trở cách điện R_{cd} của điện môi rắn bằng tổng các điện dẫn khối và mặt.

Độ dẫn điện của vật liệu cách điện được xác định bởi trạng thái của chất khí, lỏng hoặc rắn và phụ thuộc vào độ ẩm, nhiệt độ của môi trường. Cường độ điện trường khi tiến hành đo cũng gây một số ảnh hưởng đối với điện dẫn của điện môi.

Khi làm việc lâu dài dưới điện áp, dòng điện đi trong điện môi rắn và lỏng có thể tăng hoặc giảm theo thời gian. Dòng điện giảm theo thời gian chứng tỏ độ dẫn điện của vật liệu mà được xác định bởi các ion của các tạp chất đã được giảm đi do sự tẩy sạch về điện. Còn dòng điện tăng theo thời gian, chứng tỏ có sự tham gia của các điện tích mới xuất hiện trong cấu trúc bản thân hay quá trình lão hoá xảy ra trong vật liệu dưới tác dụng của điện áp, có thể gây nên sự phá huỷ dần dần và dẫn tới hiện tượng đánh thủng điện môi.

Tích số điện trở cách điện của điện môi với điện dung của tụ điện được gọi là hằng số thời gian tự phóng của tụ điện:

$$\tau_o = R_{cd} \cdot C \quad (2-6)$$

Trị số τ_o được xác định từ biểu thức:

$$u = u_o e^{-\frac{\tau}{\tau_o}}; u_{\tau_o} = u_o e^{-\frac{\tau}{\tau_o}} = \frac{u_o}{e} \quad (2-$$

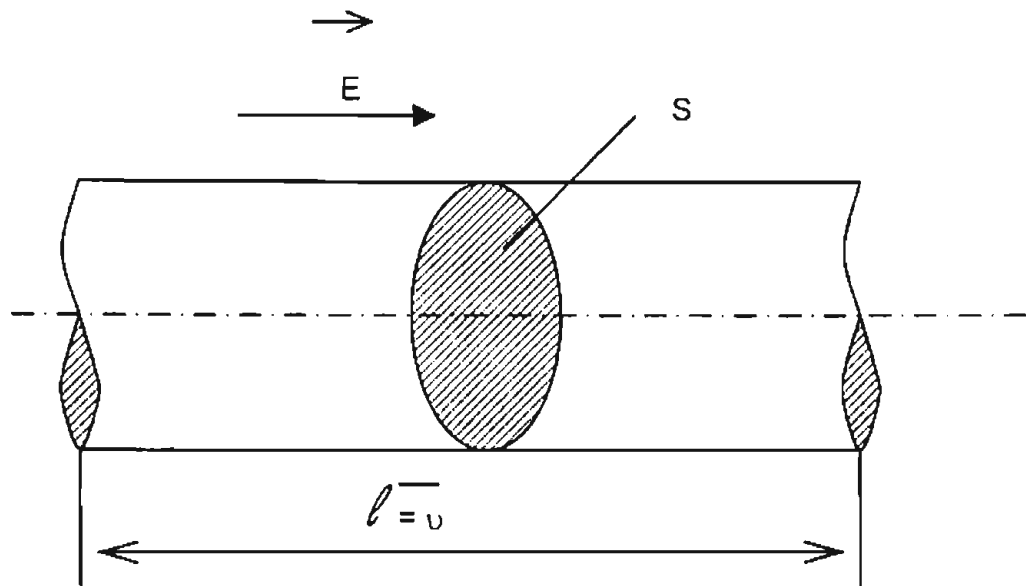
7)

Ở đây: u - điện áp trên các điện cực của tụ điện sau thời gian τ tính từ lúc ngắt điện ra khỏi nguồn điện áp; u_o - điện áp đạt được do tụ tích điện ($\tau = 0$); R_{cd} - điện trở cách điện; C - điện dung của tụ điện.

2.2. ĐIỆN DẪN CỦA ĐIỆN MÔI

Mật độ dòng điện chạy trong điện môi được tính bằng tổng các điện tích chuyển động qua một đơn vị diện tích vuông góc với phương điện trường trong một đơn vị thời gian.

Để đưa ra khái niệm về điện dẫn của điện môi, ta xét mô hình điện môi có dạng hình trụ với tiết diện là S , chiều dài hình trụ bằng vận tốc trung bình của các điện tích \bar{v} . Chiều của điện trường bên ngoài trùng với trục hình trụ (hình 2-2).



Hình 2.2. Minh họa khái niệm về điện dẫn của điện môi.

Nếu gọi n là **mật độ điện tích tự do** chứa trong điện môi, mỗi phần tử có điện tích là q , dưới tác dụng của điện trường E tất cả các điện tích tự do sẽ chuyển động đến các điện cực (điện tích dương đi về phía cực âm, điện tích âm đi về phía cực dương) và tạo nên dòng điện đi trong điện môi. Tổng các điện tích chuyển động qua tiết diện S bằng tổng các điện tích chứa trong thể tích V của hình trụ cũng chính bằng dòng điện qua điện môi:

$$Q = n \cdot q \cdot V = n \cdot q \cdot s \cdot \bar{v} = I \quad (2-8)$$

Mặt khác ta có:

$$I = j \cdot s \quad (2-9)$$

Từ (2.8) và (2.9) ta có:

$$j = n \cdot q \cdot \bar{v} \quad (2-10)$$

Với j - là mật độ dòng điện (A/m^2).

Trong điện môi tồn tại các dạng điện tích tự do khác nhau, chúng có thể là các điện tử, ion dương, ion âm hay là các khối mang điện tích. Dưới tác dụng của điện trường, các điện tích này sẽ chuyển động với những vận tốc trung bình khác nhau. Tốc độ chuyển động được xác định theo công thức:

$$v_{(+)} = K_{(+)} \cdot E ; \quad v_{(-)} = K_{(-)} \cdot E \quad (2-11)$$

Với: $v_{(+)}$, $v_{(-)}$ - tốc độ trung bình của các điện tích dương và âm;

$K_{(+)}, K_{(-)}$ - độ linh hoạt của các điện tích dương và âm.

Độ linh hoạt của các điện tích là đại lượng đặc trưng cho khả năng chuyển động của chúng dưới tác dụng của điện trường bên ngoài. Về trị số nó bằng vận tốc trung bình của điện tích tính trên một đơn vị cường độ điện trường ($K = \frac{\bar{v}}{E}$).

Như vậy ta có thể viết:

$$j = n_{(+)} \cdot q_{(+)} \cdot \bar{v}_{(+)} + n_{(-)} \cdot q_{(-)} \cdot \bar{v}_{(-)} = [n_{(+)} \cdot q_{(+)} \cdot K_{(+)} + n_{(-)} \cdot q_{(-)} \cdot K_{(-)}] \cdot E \quad (2-12)$$

Trong vật liệu kỹ thuật điện có nhiều loại điện tích tự do khác nhau tham gia vào quá trình dẫn điện. Dựa vào thành phần của dòng điện dẫn người ta chia điện dẫn thành ba loại sau.

1) **Điện dẫn điện tử**: thành phần của loại điện dẫn này là các điện tử tự do trong điện môi.

2) **Điện dẫn ion**: thành phần của loại điện dẫn này là các ion dương và ion âm. Các ion sẽ chuyển động đến điện cực khi có điện trường tác động, tại điện cực các ion sẽ được trung hoà về điện và tích luỹ dần trên bề mặt điện cực giống như quá trình điện phân. Vì vậy, **điện dẫn ion** còn gọi là **điện dẫn điện phân**.

3) **Điện dẫn điện di** hay còn gọi là điện dẫn môtion. Thành phần của dòng điện này là các nhóm phân tử hay tạp chất được tích điện tồn tại trong điện môi, chúng được tạo nên bởi ma sát trong quá trình chuyển động nhiệt.

2.3. ĐIỆN DẪN CỦA ĐIỆN MÔI KHÍ

Các chất khí có mật độ phân tử rất bé, khoảng cách giữa các phân tử khí lớn hơn nhiều so với bán kính của chúng, vì vậy lực tương tác giữa các phân tử khí cũng rất nhỏ. Trong các chất khí luôn tồn tại các điện tích tự do là các điện tử, các ion dương và ion âm. Những điện tích này được tạo nên bởi quá trình ion hoá và kết hợp tự nhiên.

Ion hoá là quá trình phân ly phân tử trung hoà thành điện tử và ion dương. Nói cách khác là quá trình tách điện tử ra khỏi phân tử trung hoà do các yếu tố tự nhiên, ví dụ như: năng lượng bức xạ mặt trời, các tia phóng xạ, sóng ngắn ... Số lượng điện tích xuất hiện do các ion hoá tự nhiên là rất nhỏ. Chính vì vậy điện dẫn của điện môi khí có trị số bé và hầu hết các chất khí ở trong một điều kiện môi trường nào đó là những điện môi tốt.

Trong điện môi khí luôn xảy ra quá trình *ion hoá tự nhiên*, khi điều kiện môi trường không thay đổi, trong các chất khí bao giờ cũng chỉ tồn tại một số lượng điện tích tự do nhất định. Sở dĩ có hiện tượng này là vì trong điện môi khí tồn tại quá trình tái hợp song song với quá trình ion hoá, đó là *quá trình kết hợp* giữa các điện tích trái dấu tạo thành phân tử trung hoà. Trạng thái cân bằng của điện môi đạt được khi số điện tích xuất hiện do ion hoá cân bằng với số điện tích bị tái hợp.

Dưới tác động của điện trường bé, các điện tích sinh ra bởi quá trình ion hoá tự nhiên chuyển động và tạo nên dòng điện dẫn trong điện môi khí. Dòng điện dẫn này thường được gọi là "*điện dẫn không tự duy trì*".

Khi cường độ điện trường đặt lên điện môi khí đủ lớn, những điện tích có trong điện môi sẽ nhận được năng lượng và tăng tốc chuyển động, khi va chạm với phân tử trung hoà sẽ gây nên ion hoá (*ion hoá do va chạm*). Số lượng điện tích được tạo nên bởi quá trình *ion hoá do va chạm* sẽ tăng lên theo hàm số mũ làm cho dòng điện dẫn tăng. Điện dẫn của chất khí trong trường hợp này gọi là "*điện dẫn tự duy trì*".

Giả sử tại thời điểm nhất định trong một đơn vị thể tích khí có n_0 ion dương và cùng số lượng đó ion âm. Khi đó số ion tái hợp n_1 trong đơn vị thể tích tính trong một đơn vị thời gian sẽ bằng:

$$n_1 = \nu \cdot n_0^2 \quad (2-14)$$

Trong đó: ν - hệ số tái hợp ; đối với không khí: $\nu = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{s}$.

Nếu gọi n_2 là số lượng ion được tạo ra bởi quá trình ion hoá, trong điều kiện cân bằng ta có:

$$n_2 = n_1 = \nu \cdot n_0^2 \quad (2-15)$$

Khi chất khí đặt vào giữa hai điện cực phẳng song song có điện áp một chiều là UV , khoảng cách giữa các điện cực là s cm thì điện trường tạo nên giữa hai điện cực là: $E = \frac{U}{s}$ (kV/cm). Dưới tác dụng của điện áp (điện trường), các ion sẽ chuyển động và trong mạch xuất hiện dòng điện. Một số ion bị trung hoà trên các điện cực, một số khác mất đi do tái hợp. Xuất phát từ đó có thể viết đẳng thức sau:

$$n_2 = \nu \cdot n_0^2 + \frac{j}{q} \quad (2-16)$$

Trong đó: j - mật độ dòng điện; q - điện tích của ion.

Với biểu thức trên ta xét hai trường hợp giới hạn:

Trường hợp thứ nhất: Khi mật độ dòng điện j nhỏ và nhỏ tới mức $j/q \ll n_0^2$; tức là có thể bỏ qua lượng ion tách ra từ điện cực. Khi đó $n_2 = v \cdot n_0^2$ và mật độ dòng điện sẽ là:

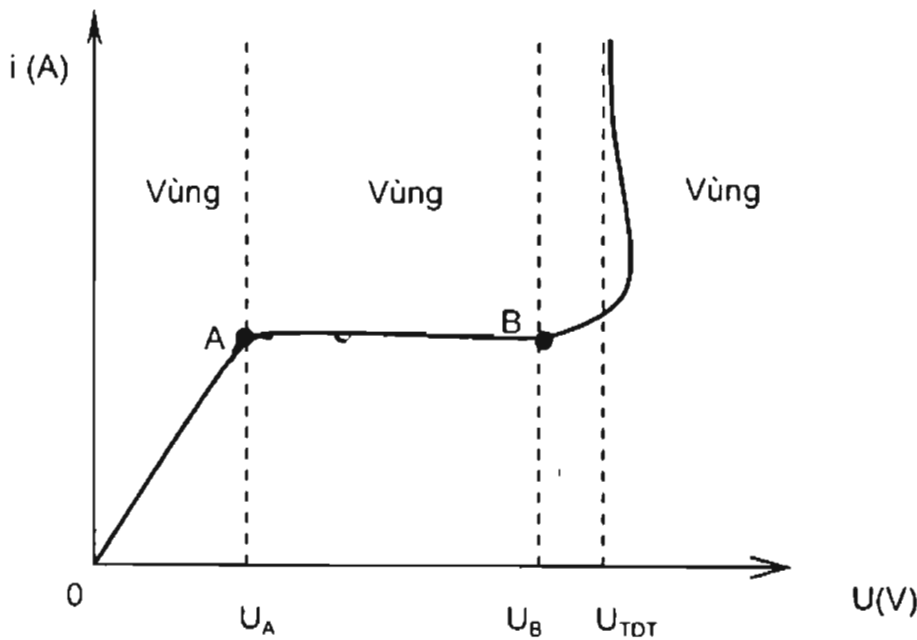
$$j = n_0 \cdot q [v_{(+)} + v_{(-)}] = n_0 q [K_{(+)} + K_{(-)}] \cdot E \quad (2-17)$$

Trong đó: $v_{(+)}, v_{(-)}$ - là tốc độ chuyển động của các ion dương và âm khi đặt dưới điện trường; $K_{(+)}, K_{(-)}$ - độ linh hoạt của các ion tương ứng, về trị số bằng tốc độ các ion khi cường độ điện trường bằng đơn vị; E - cường độ điện trường.

Từ biểu thức (2-17) ta thấy: khi cường độ điện trường yếu, mật độ dòng điện của điện môi khí tỉ lệ thuận với cường độ điện trường tuân theo định luật Ôm.

Trường hợp thứ hai: Khi mật độ dòng điện lớn và lượng ion giảm bớt chỉ liên quan tới hiện tượng trung hoà trên các điện cực, còn sự tái hợp rất yếu, ta có thể bỏ qua thành phần thứ nhất của phương trình (2-16), khi đó:

$$n_2 = \frac{j}{q} \quad (2-18)$$



Hình 2-3. Quan hệ giữa dòng điện và điện áp đối với chất khí.

Từ biểu thức (2-18) thấy rõ ràng là mật độ dòng điện trong trường hợp này không phụ thuộc vào điện áp. Dòng điện đó được gọi là "dòng điện bão hoà ($j = n_2 q$).

Trên hình 2-3 biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện và điện áp của chất khí hay còn gọi là đặc tính von - ampe (V - A). Với đặc tính trên ta có thể giải thích như sau:

Vùng I: Đoạn đầu của đường cong, điện áp tăng từ "0" cho đến U_A tương ứng với miền của định luật Ôm, trong chất khí có thể xem số lượng ion dương và âm (n_+) không đổi. Khi điện áp đặt lên hai điện cực tăng, thì cường độ điện trường ($E = \frac{U}{S}$) sẽ tăng lên. Lực điện trường tác dụng lên các điện tích tăng ($F = q.E$); do đó tốc độ chuyển động của các điện tích sẽ tăng lên; mật độ dòng điện tăng và dòng điện sẽ tăng tuyến tính với điện áp tuân theo định luật Ôm.

Vùng II: Ứng với khu vực điện trường có dòng điện bão hoà. Khi điện áp tăng cao, cường độ điện trường đủ lớn, tốc độ chuyển động của các điện tích lớn, các ion chưa kịp tái hợp đã bị kéo đến điện cực. Điều đó có nghĩa là: có bao nhiêu điện tích sinh ra thì có bấy nhiêu điện tích đi về các điện cực và trung hoà. Nhưng số lượng điện tích sinh ra bởi ion hoá tự nhiên không đổi, cho nên dòng điện đạt tới trị số bão hoà, mặc dù điện áp vẫn tăng lên nhưng không làm cho dòng điện tăng, ứng với đoạn nằm ngang của đồ thị.

Đối với không khí ở điều kiện bình thường với khoảng cách giữa các điện cực là 10 mm và cường độ điện trường khoảng 0,0006 V/mm thì dòng điện đạt trị số bão hoà với mật độ dòng điện khoảng 10^{-21} A/mm². Vì thế có thể xem không khí là điện môi tốt khi chưa có các điều kiện đưa đến ion hoá va chạm.

Vùng III: Ứng với khu vực có cường độ điện trường mạnh. Ở khu vực này dòng điện bắt đầu tăng nhanh không tuân theo định luật Ôm. Điều này có thể giải thích dựa trên cơ sở của hiện tượng ion hoá do va chạm khi cường độ điện trường đặt lên điện môi khí có trị số lớn. Khi mật độ điện tích lớn sẽ gây nên phóng điện tạo thành dòng plasma nối liền giữa hai điện cực, chất khí trở thành vật liệu dẫn điện, dòng điện tăng lên theo hàm số mũ. Song theo nguyên lý bảo toàn năng lượng và do công suất nguồn có hạn, để duy trì dòng điện phóng điện áp sẽ không tăng mà sẽ giảm tới điện áp tự duy trì (U_{TDT}). Về vấn đề này sẽ trình bày rõ hơn ở chương V "Sự phóng điện trong điện môi".

2.4. ĐIỆN DẪN CỦA ĐIỆN MÔI LỎNG

Dòng điện trong điện môi lỏng được xác định bởi sự chuyển dịch các ion hay các phân tử mang điện tích. Trong các điện môi lỏng tồn tại hai loại điện dẫn đó là

điện dẫn ion và *điện dẫn điện di*. Ta sẽ nghiên cứu từng loại điện dẫn một cách riêng biệt.

2.4.1. Điện dẫn ion của các điện môi lỏng

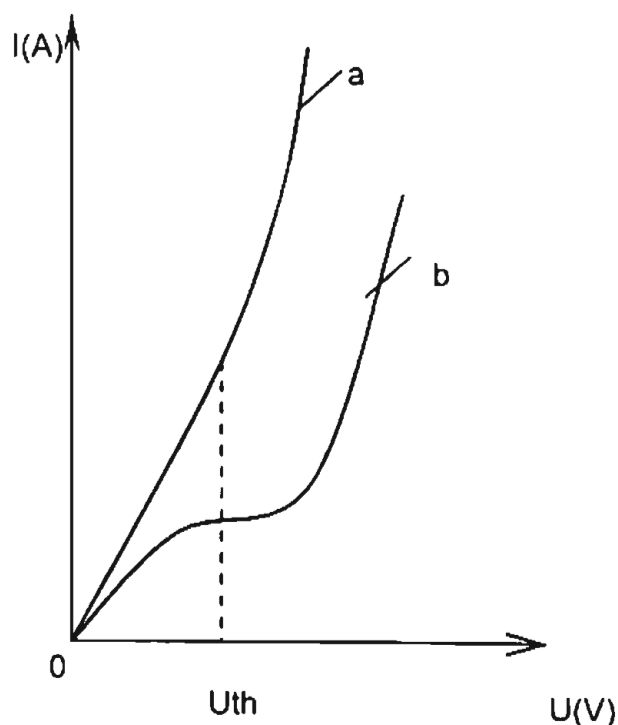
Khác với điện môi khí, trong điện môi lỏng các điện tích tự do xuất hiện không chỉ do ion hoá tự nhiên mà còn do quá trình phân ly các phân tử của chính bản thân chất lỏng và tạp chất.

Trong điện môi lỏng kỹ thuật bao giờ cũng tồn tại một số lượng tạp chất nhất định. Thông thường các phân tử tạp chất dễ bị phân ly hơn các phân tử của chính điện môi đó. Do vậy điện dẫn điện môi lỏng bao gồm điện dẫn của điện môi chính và điện dẫn của tạp chất. Điện dẫn của điện môi lỏng phụ thuộc vào độ tinh khiết của điện môi đó. Nếu loại trừ được các tạp chất trong điện môi lỏng sẽ làm tăng điện trở suất hay có thể nói sẽ làm giảm dòng điện dẫn đi trong điện môi.

Trên hình 2-4 biểu diễn quan hệ giữa dòng điện và điện áp của điện môi lỏng. Đường cong "a" là đặc tính von - ampe của điện môi lỏng có chứa nhiều tạp chất. Trên đồ thị này không thấy phần dòng điện bão hoà, dòng điện tăng tuyến tính với điện áp đến giá trị U_{th} (điện áp tới hạn), sau đó xuất hiện quá trình ion hoá va chạm, điện tích tăng lên theo hàm số mũ, dòng điện cũng tăng nhanh và dẫn tới phóng điện trong điện môi lỏng.

Tuy nhiên đối với các điện môi lỏng tinh khiết mà được điều chế trong phòng thí nghiệm thì trên đường đặc tính von - ampe có xuất hiện một đoạn nhỏ giống như đoạn bão hoà của điện môi khí (đường cong "b" hình 2-4). Những chất lỏng như vậy được gọi là chất lỏng sạch giới hạn (tinh khiết).

Điện môi lỏng cực tính bao giờ cũng có điện dẫn suất cao hơn điện môi lỏng trung tính. Khi hằng số điện môi



Hình 2-4. Quan hệ giữa dòng điện với điện áp của điện môi lỏng.

tăng thì điện dẫn suất cũng tăng lên. Những điện môi lỏng cực tính mạnh có điện dẫn cao tới mức có thể xem chúng không phải là điện môi mà là vật dẫn có điện dẫn ion.

Nước là một dạng tạp chất phổ biến nhất trong các điện môi lỏng. Nước từ môi trường bên ngoài có thể xâm nhập vào các chất lỏng trong khi vận chuyển, hay khi cất giữ và vận hành. Nước tồn tại trong điện môi lỏng ở ba dạng sau: nước *hoà tan*, *nước huyền phù* hay còn gọi là *nước nhũ tương* và *nước lỏng đọng*. Thông thường dầu máy biến áp, dầu tụ điện hay cáp điện có tỷ trọng nhỏ hơn ($0,86 \div 0,88$) lần so với nước, mà tỷ trọng của nước là 1000kg/m^3 .

Nước ở trong điện môi lỏng có thể chuyển từ dạng này sang dạng khác là tùy thuộc vào nhiệt độ. Khi nhiệt độ tăng một phần nước lỏng đọng chuyển sang dạng nhũ tương hoặc chuyển từ dạng nhũ tương sang hoà tan. Khi nhiệt độ giảm thì quá trình xảy ra ngược lại.

Điện dẫn ion của điện môi lỏng phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ. Khi nhiệt độ tăng thì chuyển động nhiệt các phân tử điện môi lỏng sẽ tăng, điện môi lỏng có sự giãn nở nhiệt, lực liên kết giữa các phân tử giảm đi, độ nhớt sẽ giảm, mức độ phân ly các phân tử do nhiệt sẽ tăng lên và làm tăng độ điện dẫn điện môi lỏng.

Ở nhiệt độ bình thường các phân tử chất lỏng luôn ở trạng thái chuyển động nhiệt. Số lượng ion n_3 được giải phóng bởi chuyển động nhiệt trong một đơn vị thời gian, trong một đơn vị thể tích và có khả năng chuyển dịch theo một hướng nào đó của không gian, được biểu diễn bằng biểu thức:

$$n_3 = \frac{n_0}{6} \cdot f \cdot e^{-\frac{W}{kT}} \quad (2-19)$$

Trong đó:

n_0 - mật độ các điện tích của điện môi; f - tần số dao động nhiệt; W - năng lượng kích thích hay còn gọi là năng lượng hoạt tính.

Số "6" nằm ở mẫu số là do xét đến khả năng chuyển động nhiệt theo một trong sáu hướng của không gian 3 chiều. Thừa số $e^{-\frac{W}{kT}}$ tương ứng với xác suất có liên quan tới trị số năng lượng của nó bằng hoặc lớn hơn năng lượng của hàng rào điện thế; k - là hằng số Bonzomal ($k = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ erg/}^\circ\text{K}$).

Khi nằm trong điện trường các ion của điện môi nhận tốc độ bổ xung theo hướng của trường, tức là thu nhận thêm năng lượng do trường cung cấp. Các ion khác loại chuyển động theo chiều ngược lại bị mất một phần năng lượng. Như vậy

hàng rào điện thế đối với một số ion sẽ giảm, còn với số khác thì sẽ tăng lên. Số ion chuyển động theo chiều của trường thẳng được hàng rào điện thế được tăng lên một lượng bằng:

$$\begin{aligned} \Delta n &= \frac{n_0}{6} f \left(e^{-\frac{w-\Delta w}{kT}} - e^{-\frac{w+\Delta w}{kT}} \right) = \\ &= \frac{n_0 f}{6} e^{-\frac{w}{kT}} \left(e^{-\frac{\Delta w}{kT}} - e^{+\frac{\Delta w}{kT}} \right) \end{aligned} \quad (2-20)$$

Trong đó: $\Delta W = \frac{q|E}{2}$

q - điện tích của ion; l - khoảng cách giữa các hạt; E - cường độ điện trường.

Phân tích hàm số mũ $e^{-\frac{\Delta w}{kT}}$ và $e^{+\frac{\Delta w}{kT}}$ thành chuỗi và lấy hai số hạng đầu với điều kiện $\Delta W \ll kT$, ta có:

$$\Delta n = n_0 \cdot q \cdot k = \frac{n_0 q E l f}{6kT} e^{-\frac{w}{kT}} \quad (2-21)$$

Số lượng chuyển dịch gia tăng z thực hiện bởi một ion trong một giây theo hướng của trường sẽ là:

$$z = \frac{\Delta n}{n_0} = \frac{q l f}{6kT} E e^{-\frac{w}{kT}} \quad (2-22)$$

Vận tốc chuyển động v của ion theo hướng điện trường sẽ bằng tích số lượng chuyển dịch gia tăng z của một ion trong một giây và một đoạn l mà ion đi qua trong mỗi lần chuyển dời:

$$v = Z \cdot l = \frac{q l^2 f}{6kT} E e^{-\frac{w}{kT}} \quad (2-23)$$

Độ linh hoạt K của ion được tính bằng biểu thức:

$$K = \frac{v}{E} = \frac{q l^2 f}{6kT} e^{-\frac{w}{kT}} \quad (2-24)$$

Nếu ta cho độ linh hoạt của điện tích dương và âm bằng nhau thì điện dẫn suất có thể viết như sau:

$$\gamma = n_o \cdot q \cdot K = \frac{n_o q^2 l^2 f}{6kT} e^{-\frac{w}{kT}} \quad (2-25)$$

Đặt: $\frac{n_o q^2 l^2 f}{6kT} = A$ và $\frac{w}{k} = a$ ta có:

$$\gamma = A \cdot e^{-\frac{a}{T}} \quad (2-26)$$

Từ biểu thức (2-25) ta thấy: điện dẫn của điện môi lỏng trong điện trường yếu phụ thuộc vào mật độ điện tích tự do, cấu trúc chất lỏng và nhiệt độ và không phụ thuộc vào cường độ điện trường. Quan hệ giữa dòng điện với điện áp tuân theo định luật Ôm.

Trong thực tế khi phạm vi nhiệt độ thay đổi không lớn lắm thì quan hệ giữa điện dẫn suất của điện môi lỏng với nhiệt độ thường được biểu diễn bằng công thức sau:

$$\gamma = \gamma_o \cdot e^{\alpha t} \quad (2-27)$$

Trong đó: γ_o - điện dẫn của điện môi lỏng đo ở nhiệt độ bình thường (20°C);

α - hệ số mũ đối với chất lỏng đã cho;

t- nhiệt độ đo bằng $^{\circ}\text{C}$.

Điện dẫn điện môi lỏng phụ thuộc vào độ nhớt của nó, nếu gọi η là độ nhớt của điện môi lỏng, thì:

$$\eta = \frac{6kT}{fl^3} e^{\frac{w}{kT}} \quad (2-28)$$

Từ biểu thức (2-25) và (2-28) thì tích $\eta \cdot \gamma$ sẽ là:

$$\eta \cdot \gamma = \frac{6kT}{fl^3} e^{\frac{w}{kT}} \cdot \frac{n_o q^2 l^2 f}{6kT} e^{-\frac{w}{kT}} = \frac{n_o q^2}{l} \quad (2-29)$$

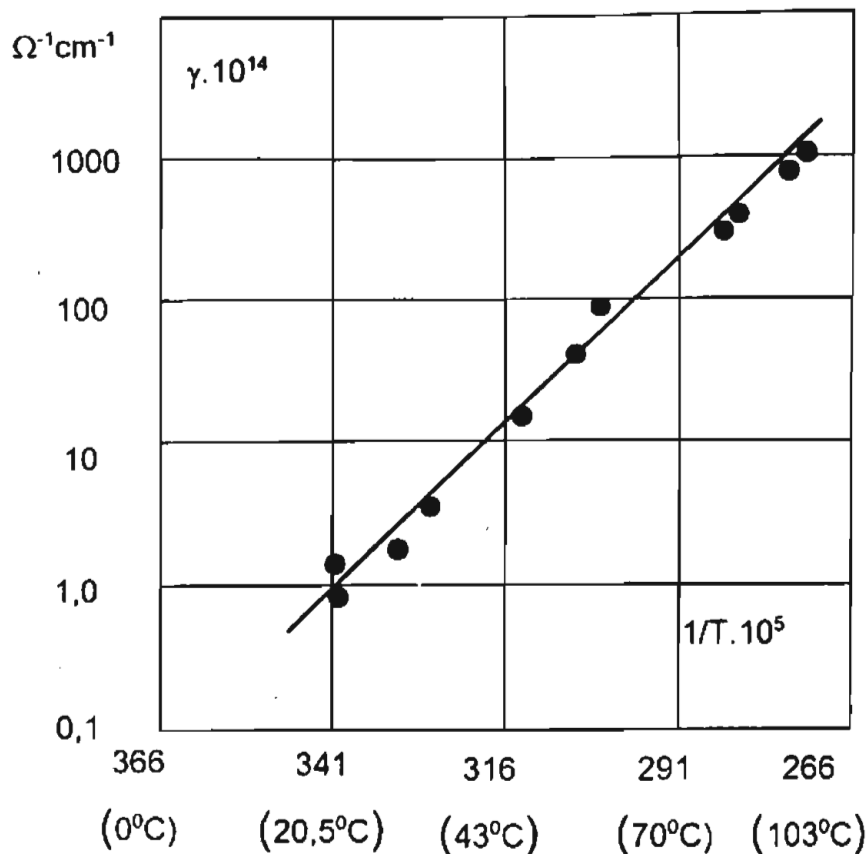
Khi nhiệt độ không thay đổi thì tích số độ nhớt và điện dẫn suất của một điện môi có trị số không đổi ($\eta \cdot \gamma = \text{const}$). Nếu biết một trong hai thành phần ta sẽ tính được thành phần còn lại:

$$\gamma = \frac{n_o q^2}{l \eta} \quad (2-30)$$

Từ biểu thức (2-30) thấy rằng khi nhiệt độ tăng, độ nhớt điện môi lỏng giảm, điện dẫn của điện môi lỏng sẽ tăng lên.

Đối với chất lỏng cực tính (ví dụ dầu gai) thì tích $\eta \cdot \gamma$ hầu như không biến đổi ở các nhiệt độ khác nhau. Nhưng với dầu máy biến áp, độ dẫn điện được xác định bởi sự chuyển động của các ion tạp chất, mức độ phân ly các ion này tăng theo nhiệt độ, vì thế tích $\eta \cdot \gamma$ của dầu máy biến áp cũng tăng theo nhiệt độ.

Trên hình 2-5 trình bày giữa quan hệ giữa điện dẫn suất của hỗn hợp dầu côlôfan với nhiệt độ khi giá trị hệ số $a = 9100$.



Hình 2-5. Quan hệ điện dẫn suất theo nhiệt độ của hỗn hợp lỏng dầu côlôfan.

Khi cường độ điện trường mạnh (khoảng 10÷100 kV/mm) năng lượng của điện trường đáng kể so với năng lượng của chuyển động nhiệt, dòng điện trong điện môi lỏng tăng nhanh không tuân theo định luật Ôm. Điều này thấy rõ khi phân tích hàm số mũ $e^{\pm X}$ thành chuỗi số hạng ta lấy 4 số hạng đầu của chuỗi:

$$e^{-\frac{\Delta'w}{kT}} - e^{+\frac{\Delta'w}{kT}} = \frac{qIE}{kT} \left(1 + \frac{q^2 l^2 E^2}{24k^2 T^2} \right) A$$

Từ đó điện dẫn của điện môi lỏng khi cường độ điện trường mạnh sẽ là:

$$\gamma = \frac{n_o q^2 l^2 f}{6kT} e^{-\frac{w_o}{kT}} \left(1 + \frac{q^2 l^2 E^2}{24k^2 T^2} \right) \quad (2-31)$$

Từ biểu thức (2-31) ta thấy điện dẫn suất của điện môi lỏng trong điện trường mạnh không chỉ phụ thuộc vào mật độ điện tích tự do, cấu trúc chất lỏng và nhiệt độ mà còn phụ thuộc vào cường độ điện trường.

Như hình 2-4 đã trình bày đặc tính von - ampe của điện môi lỏng, khi điện áp cao, cường độ điện trường lớn gây nên ion hoá mãnh liệt, số lượng điện tích sinh ra lớn tới mức gây nên phóng điện trong điện môi lỏng.

2.4.2. Điện dẫn điện di

Điện dẫn điện di còn có tên gọi là điện dẫn mōlion được tạo nên bởi sự chuyển động có hướng của các phần tử mang điện tích dưới tác dụng của điện trường bên ngoài.

Điện môi lỏng thường chứa các tạp chất ở dạng hạt keo, xơ sợi, bụi bẩn ... lơ lửng ở bên trong, do có quá trình chuyển động nhiệt các tạp chất này ma sát với phân tử điện môi lỏng và chúng bị nhiễm điện. Tùy theo hằng số điện môi của tạp chất lớn hơn hay nhỏ hơn hằng số điện môi điện môi lỏng mà tạp chất có thể bị nhiễm điện tích dương hay âm. Nếu hằng số điện môi của tạp chất lớn hơn hằng số điện môi chất lỏng ($\epsilon_{lc} > \epsilon_{dm}$) thì tạp chất bị **nhiễm điện tích dương (+)**. Nếu hằng số điện môi của tạp chất nhỏ hơn hằng số điện môi chất lỏng ($\epsilon_{lc} < \epsilon_{dm}$) thì tạp chất sẽ bị **nhiễm điện tích âm (-)**.

Dưới tác dụng của điện trường các khối điện tích dương và âm của tạp chất sẽ chuyển động: khối điện tích dương đi về cực âm, khối điện tích âm đi về cực dương, chúng tạo nên dòng điện dẫn điện di. Thực chất dòng điện này là sự chuyển động của các khối mang điện tích dưới tác dụng của điện trường. Khi tiếp cận với điện cực các điện tích của tạp chất sẽ được trung hoà về điện. Như vậy xung quanh điện cực sẽ tập trung số lượng tạp chất lớn và mật độ tạp chất trong điện môi sẽ giảm tức là xảy ra quá trình làm sạch điện môi. Do hiệu ứng làm sạch nên điện dẫn của điện môi lỏng sẽ giảm đi sau khi đóng mạch vào nguồn điện áp một chiều. Ở điện áp xoay chiều hiệu ứng này không xuất hiện bởi vì có sự thay đổi hướng chuyển động liên tục, các tạp chất chuyển động theo tần số của điện áp.

Trong bảng 2.1 đưa ra các giá trị điện trở suất khối của một số chất lỏng đo ở nhiệt độ 20°C.

Bảng 2.1: Giá trị điện trở suất ρ và hằng số điện môi ϵ .

Tên chất lỏng	Đặc điểm cấu tạo	Điện trở suất ρ_v [$\Omega \cdot \text{cm}$] đo ở $t = 20^\circ\text{C}$	Hằng số điện môi ϵ
- Benzen	Trung tính	$10^{13} \div 10^{14}$	2,2
- Dầu biến áp	Trung tính	$10^{12} \div 10^{15}$	2,2
- Xăng	Trung tính	$10^{12} \div 10^{15}$	2,0
- Sôvôn	Cực tính yếu	$10^{10} \div 10^{12}$	4,5
- Thầu dầu	Cực tính yếu	$10^{10} \div 10^{12}$	4,6
- Axêton	Cực tính mạnh	$10^6 \div 10^7$	22
- Rượu Êtilic	Cực tính mạnh	$10^6 \div 10^7$	33
- Nước cất	Cực tính mạnh	$10^5 \div 10^6$	82

Qua số liệu bảng 2.1 ta thấy: điện dẫn của điện môi lỏng phụ thuộc tính chất cực tính của điện môi, điện dẫn sẽ tăng lên khi hằng số điện môi tăng.

2.5. ĐIỆN DẪN CỦA ĐIỆN MÔI RẮN

Điện môi rắn có nhiều loại, chúng đa dạng về cấu trúc, thành phần hoá học, nguồn gốc và mức độ lẫn các tạp chất bụi bẩn... do vậy điện dẫn của điện môi rắn rất phức tạp. Điện dẫn điện môi rắn được tạo nên là do sự chuyển dịch các ion tạp chất dưới tác dụng của điện trường. Ở một số vật liệu tính dẫn điện của chúng còn có thể do sự chuyển động của các điện tử tự do.

Điện dẫn của điện môi rắn khác nhau không những được xác định bởi loại điện môi, mà còn xác định bởi thành phần tạp chất và điều kiện làm việc của chúng. Trong điện môi rắn luôn tồn tại các điện tích tự do, chúng có thể là các điện tử các ion của bản thân điện môi và của các tạp chất. Chính vì vậy điện dẫn của điện môi rắn có thể là điện dẫn điện tử, điện dẫn ion hay tổng hợp của cả hai loại trên. Các loại dòng điện này đi trong khối điện môi tạo nên thành dòng khối (I_v). Để đánh giá chất lượng của điện môi người ta thường xác định điện dẫn suất khối (γ_v) hay điện trở suất khối (ρ_v):

$$\rho_v = \frac{1}{\gamma_v}$$

Về trị số, **điện trở suất khối** là điện trở của khối vật liệu dạng hình lập phương có cạnh là 1 cm khi dòng điện đi qua hai mặt đối diện của khối điện môi đó. Đơn vị đo điện trở suất khối là " $\Omega \cdot \text{cm}$ ".

Trên bề mặt điện môi rắn tồn tại các điện tích của bản thân điện môi và do các bụi bẩn và lớp nước ẩm gây nên. Các điện tích này sẽ tạo nên dòng điện dẫn mặt (γ_s) mà nghịch đảo là điện trở suất mặt (ρ_s).

Điện trở suất mặt là điện trở của một phần mặt điện môi có dạng hình vuông với cạnh bất kỳ khi dòng điện đi qua hai cạnh đối diện. Đơn vị đo của ρ_s là " Ω " (ôm).

Trong trường hợp tổng quát, điện dẫn suất của điện môi rắn ở một nhiệt độ T nào đó được biểu diễn bằng quan hệ sau đây:

$$\gamma = q \cdot n_{OT} \cdot K_T \quad (2-32)$$

Trong đó: q- điện tích của hạt mang điện; n_{OT} - số hạt mang điện trong đơn vị thể tích (mật độ điện tích), cm^{-3} ; K_T - độ linh hoạt của các điện tích, $\text{cm}^2/\text{s} \cdot \text{V}$; γ - điện dẫn suất, $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Điện tử có độ linh hoạt cao hơn nhiều lần so với độ linh hoạt của các ion, ví dụ ở biôxýt titan độ linh hoạt của điện tử vào khoảng $1\text{cm}^2/\text{s.V}$, trong khi đó độ linh hoạt của ion trong gốm silicat nhôm chỉ bằng $10^{-9} \div 10^{-12} \text{cm}^2/\text{s.V}$. Vì thế, trong điện môi có tính dẫn điện bằng điện tử, mật độ của điện tử nhỏ hơn số hạt trong điện môi có tính dẫn điện bằng ion $10^9 \div 10^{12}$ lần, khi các điện tích giống nhau thì điện dẫn suất có trị số bằng nhau.

Trong điện môi rắn có cấu tạo ion, độ dẫn điện được xác định chủ yếu do sự chuyển dịch của các ion đã được giải phóng bởi quá trình chuyển động nhiệt. Ở nhiệt độ thấp có các ion chuyển dịch là các ion liên kết yếu (ví dụ: các ion của tạp chất), ở nhiệt độ cao có cả một số ion của mạng tinh thể bản thân điện môi được giải phóng. Còn trong các điện môi rắn có cấu tạo tinh thể là các nguyên tử và phân tử thì điện dẫn chỉ xuất hiện khi có các tạp chất. Số lượng ion phân ly phụ thuộc vào nhiệt độ theo quan hệ hàm số mũ sau:

$$n_{\text{OT}} = n_0 \cdot e^{-\frac{W_{\text{pl}}}{kT}} \quad (2-33)$$

Trong đó: n_0 - mật độ ion; W_{pl} - năng lượng phân ly; k - hằng số Bônzômal; T - nhiệt độ tuyệt đối.

Độ linh hoạt của các ion theo nhiệt độ cũng được biểu diễn bằng hàm số mũ:

$$K_T = K_m e^{-\frac{W_{\text{cd}}}{kT}} \quad (2-34)$$

Trong đó: K_m - độ linh hoạt giới hạn của ion; W_{cd} - năng lượng chuyển dời ion từ vị trí không ổn định này sang vị trí khác.

Thay n_{OT} và K_T vào công thức tính điện dẫn suất (2-32) và gộp chung các hằng số $n_0 \cdot q$ và K_m bằng một hệ số A ta có:

$$\gamma = A \cdot e^{-\frac{b}{T}} \quad (2-35)$$

Trong đó:
$$b = \frac{W_{\text{pl}} + W_{\text{cd}}}{k} \quad (2-36)$$

Công thức (2-35) chỉ rõ rằng, khi năng lượng phân ly và chuyển dịch càng lớn thì điện dẫn suất càng biến đổi mạnh theo nhiệt độ. Giá trị của hệ số b tìm được từ quan hệ giữa điện dẫn suất với nhiệt độ:

$$b = \frac{\Delta \ln \gamma}{\Delta \frac{1}{T}} \quad (2-37)$$

Thực tế thường có $W_{pi} \gg W_{cd}$ nên khi nhiệt độ thay đổi, điện dẫn suất được xác định chủ yếu bởi sự thay đổi mật độ điện tích trong vật liệu.

Trường hợp dòng điện trong điện môi sinh ra do sự chuyển động của các ion khác loại, biểu thức (2-35) có dạng:

$$\gamma = \sum A_i e^{-\frac{w_i}{kT}} \quad (2-38)$$

Do đó, đường biểu diễn logarit của điện dẫn suất theo nhiệt độ có chỗ gãy, như hình 2-6.

Ở nhiệt độ thấp, người ta không đo điện dẫn riêng của chất đó mà thường đo điện dẫn do các tạp chất gây nên. Trong một số trường hợp, chỗ gãy trong quan hệ điện dẫn suất theo nhiệt độ được giải thích bởi các ion của bản thân vật liệu gốc có năng lượng phân ly khác nhau.

Thay $\rho = \frac{1}{\gamma}$ ta có biểu thức biểu diễn quan hệ giữa điện trở suất khối với nhiệt độ như sau:

$$\rho = B.e^{\frac{b}{T}} \quad (2-39)$$

Trong đó: b, B - là các hằng số đặc trưng cho vật liệu đã cho.

Trong thực tế, khi xét quan hệ γ và ρ theo nhiệt độ người ta thường dùng các công thức sau:

$$\gamma = \gamma_0 e^{\alpha t} \quad (2-40)$$

$$\rho = \rho_0 e^{-\alpha t} \quad (2-41)$$

Trong đó: γ_0 - điện dẫn suất khối của vật liệu đo ở $t = 20^\circ\text{C}$; ρ - điện trở suất khối của vật liệu đo ở $t = 20^\circ\text{C}$; α - hệ số nhiệt của vật liệu.

Nói chung điện dẫn suất của các điện môi rắn và quan hệ của nó với nhiệt độ được xác định bởi cấu tạo và thành phần vật liệu. Trong các vật liệu có cấu tạo tinh thể ion, điện dẫn còn phụ thuộc vào hoá trị của các ion đó. Tinh thể ion hoá trị một có điện dẫn lớn hơn các tinh thể ion nhiều hoá trị. Ví dụ, tinh thể NaCl có điện dẫn cao hơn các tinh thể MgO hay Al_2O_3 nhiều lần.

Các điện môi cấu tạo phân tử như lưu huỳnh, poliêtilen, paraffin ... có điện dẫn suất rất nhỏ và chỉ phụ thuộc vào số lượng tạp chất chứa trong các điện môi đó.

Điện dẫn của các chất không định hình liên quan trước hết tới thành phần của chúng. Các chất hữu cơ trùng hợp cao phân tử có điện dẫn suất phụ thuộc nhiều vào: thành phần hoá học, các tạp chất, mức độ trùng hợp, mức độ lưu hoá ...

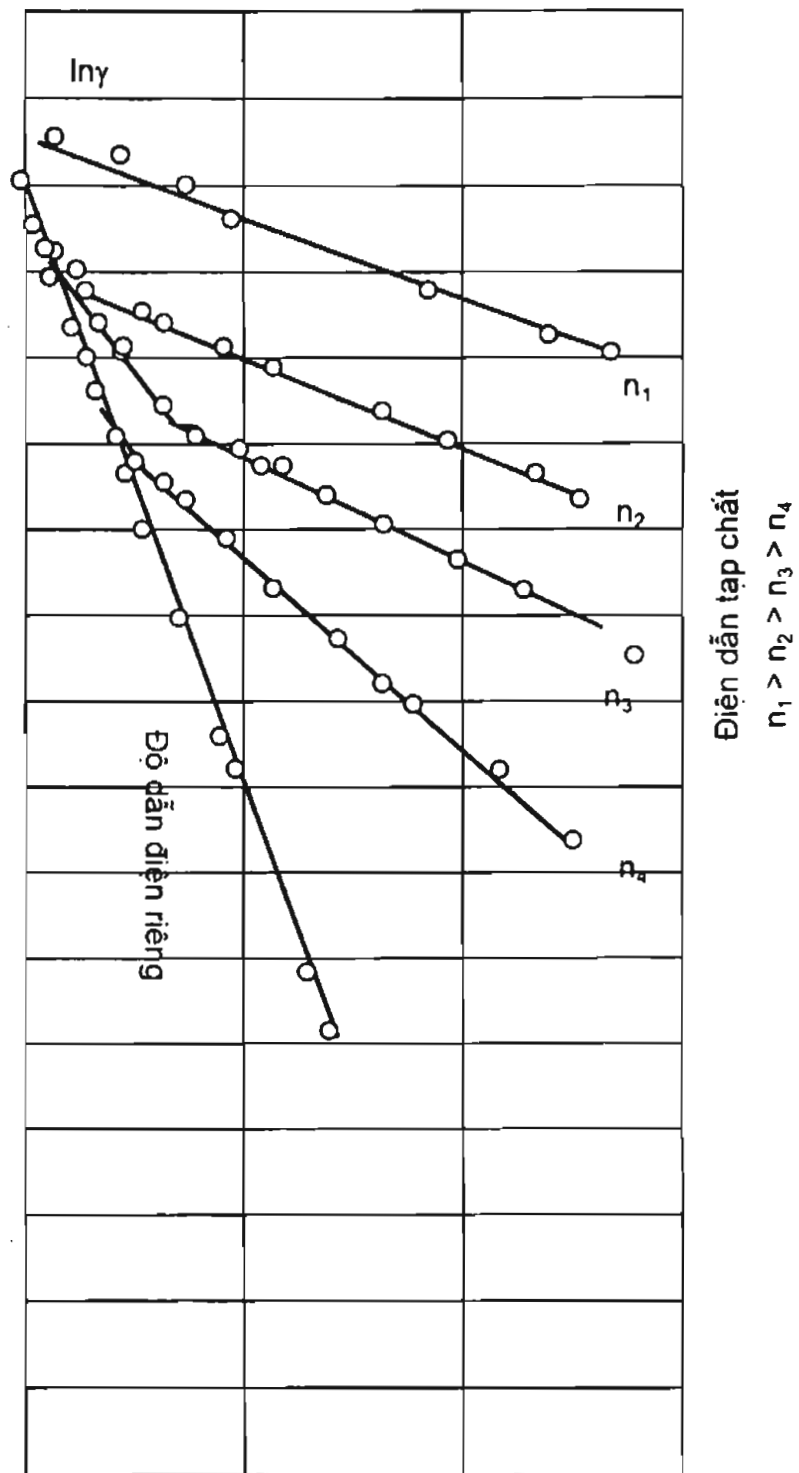
Điện môi hữu cơ trung tính không kết tinh, ví dụ như polistirol có đặc điểm là điện dẫn suất nhỏ.

Các thuỷ tinh vô cơ hợp thành một nhóm lớn các chất không kết tinh. Độ dẫn điện của thuỷ tinh liên quan rất chặt chẽ với thành phần hoá học, điều đó cho phép trong nhiều trường hợp nhận được giá trị điện dẫn suất định trước.

Trên hình 2-7 cho quan hệ điện trở suất khối của thạch anh theo nhiệt độ.

Thuỷ tinh thạch anh - thạch anh nóng chảy và anhydrit boric nóng chảy có điện dẫn suất rất nhỏ. Quan hệ theo nhiệt độ của điện dẫn của các thuỷ tinh này rất lớn, chúng tỏ rằng năng lượng giải phóng ion lớn (hệ số $b \approx 22.000$).

Đưa vào thành phần của thuỷ tinh các axit kim loại của các nhóm khác nhau sẽ gây tác dụng khác nhau đến độ dẫn điện. Đưa các axit kim loại kiềm của nhóm thứ nhất vào thành phần thuỷ tinh sẽ làm cho điện dẫn suất tăng mạnh, độ tăng này phụ thuộc vào bán kính ion. Ion natri có bán kính nhỏ hơn kali nên điện dẫn suất tăng nhiều hơn ion kali (hệ số b của thuỷ tinh có các ion kiềm gần bằng 10.000).



Hình 2-6. Thành phần riêng và thành phần tạp chất của điện dẫn suất của điện môi chứa các tạp chất khác nhau, n - nồng độ tạp chất.

Khi đưa vào thành phần của thủy tinh các axit kim loại nặng (bari hoặc chì) làm trung hoà axit kiềm và còn làm giảm đáng kể điện dẫn suất của thủy tinh. Nếu xem sứ cách điện như một hệ có chứa thủy tinh thì rõ ràng thấy điện dẫn suất của điện môi này giảm khi đưa axit bari vào thành phần của nó.

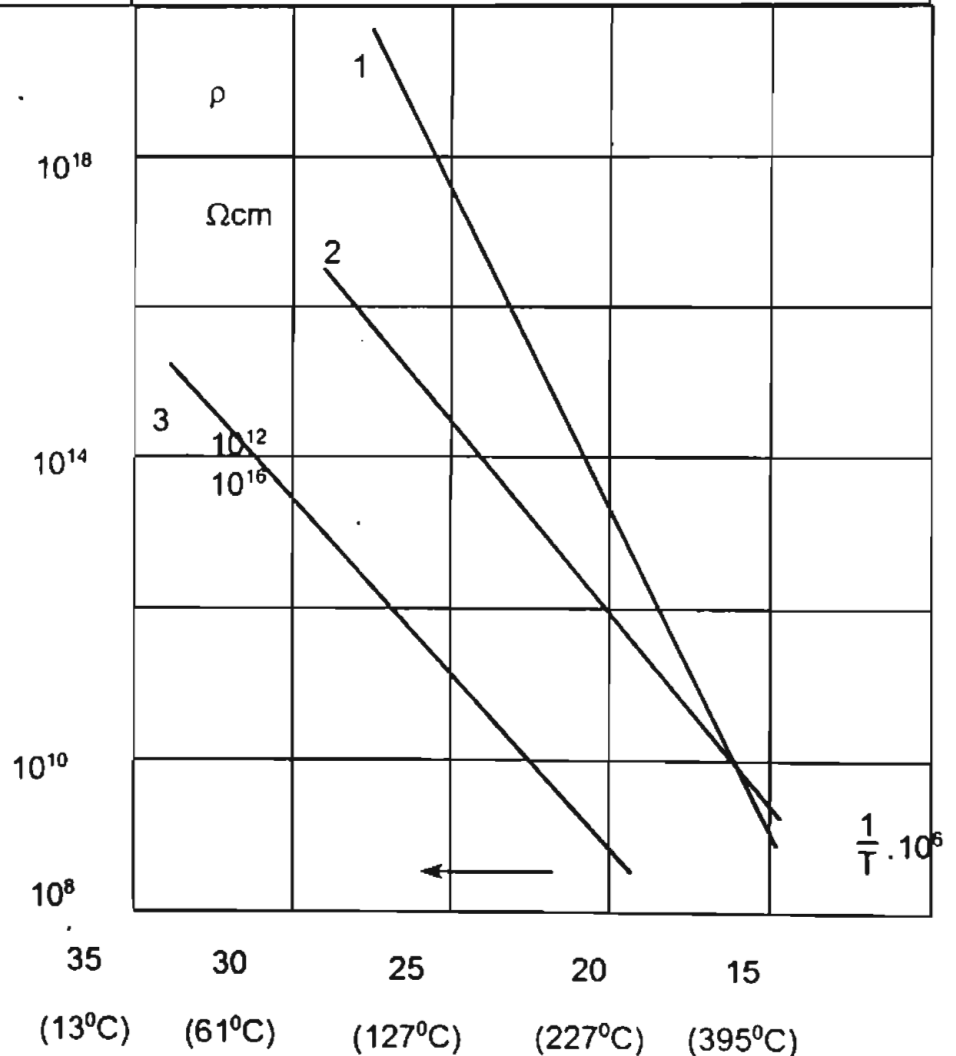
Trong bảng 2-2 đưa ra trị số điện trở suất khối của một số thủy tinh điển hình.

Bảng 2-2: Giá trị ρ của một số loại thủy tinh

Tên gọi thủy tinh	Điện trở suất khối ρ_V đo ở ($t = 200^\circ\text{C}$), $\Omega\cdot\text{cm}$
- Pirêch natri (thủy tinh chịu nhiệt)	$2 \cdot 10^8$
- Pirêch kali	$8 \cdot 10^{11}$
- Thủy tinh chì	$2 \cdot 10^{12}$

Hình 2-7. Quan hệ $\rho_r = f(t^d)$ của thạch anh.

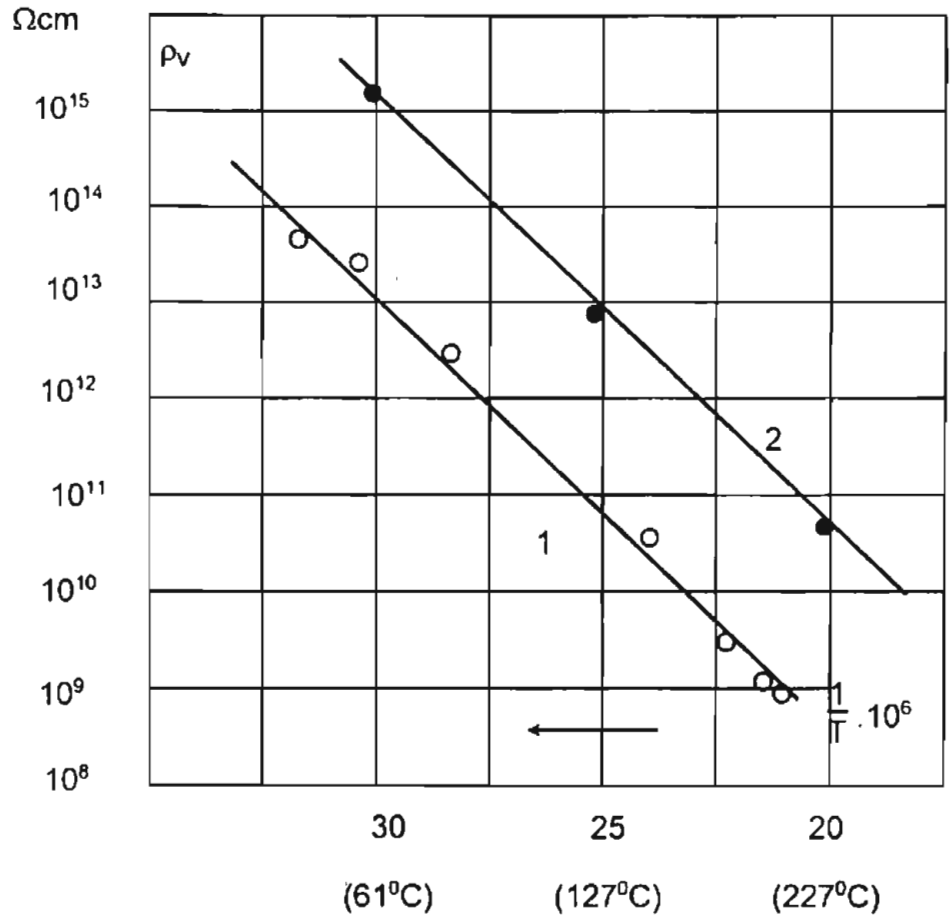
- 1- Thạch anh nóng chảy (ở trạng thái vô định hình).
- 2- Thạch anh kết tinh (ρ đo theo phương vuông góc với trục chính).
- 3- Thạch anh kết tinh (ρ đo theo phương song song với trục chính).



Trên hình 2-8 đưa ra quan hệ của điện trở suất khối của sứ cách điện và sứ vô tuyến có chứa ôxít bari theo nhiệt độ.

Điện dẫn suất của các điện môi xốp khi bị hút ẩm, thậm chí với một lượng không đáng kể cũng tăng lên rất mạnh. Sấy khô vật liệu sẽ làm tăng điện trở suất của chúng, nhưng khi đặt ở trong môi trường ẩm điện trở suất lại bị giảm vì chúng bị hút ẩm vào bên trong.

Trong bảng 2-3 đưa ra trị số điện trở suất khối của các vật liệu hút ẩm ở các độ ẩm khác nhau của không khí bao quanh.



Bảng 2-3: Giá trị ρ_v của một số điện môi rắn xốp ở trong các độ ẩm không khí khác nhau

Tên vật liệu	Điện trở suất khối ρ_v , $\Omega \cdot \text{cm}$		
	Ở độ ẩm tương đối 0% và $t = 20^\circ\text{C}$	Ở độ ẩm tương đối 70% và $t = 20^\circ\text{C}$	Ở độ ẩm tương đối 0% và $t = 100^\circ\text{C}$
Đá hoa	$10^{14} - 10^{16}$	$10^8 - 10^{10}$	$10^{12} - 10^{14}$
Gỗ	$10^{13} - 10^{14}$	$10^8 - 10^9$	$10^{12} - 10^{13}$
Phíp	$10^{13} - 10^{14}$	$10^8 - 10^9$	$10^{10} - 10^{11}$

Ở các phần trên chúng ta đã nghiên cứu điện dẫn của điện môi rắn khi cường độ điện trường thấp. Khi cường độ điện trường có trị số lớn cần tính đến khả năng xuất hiện trong tinh thể điện môi dòng điện điện tử. Dòng điện này tăng nhanh khi cường độ điện trường tăng, do đó không tuân theo định luật ôm. Ta có công thức kinh nghiệm của Pul để tính điện dẫn điện tử theo cường độ điện trường (khi cường độ điện trường lớn hơn $10 \div 100 \text{ kV/m}$).

$$\gamma' = \gamma e^{\beta E} \tag{2-42}$$

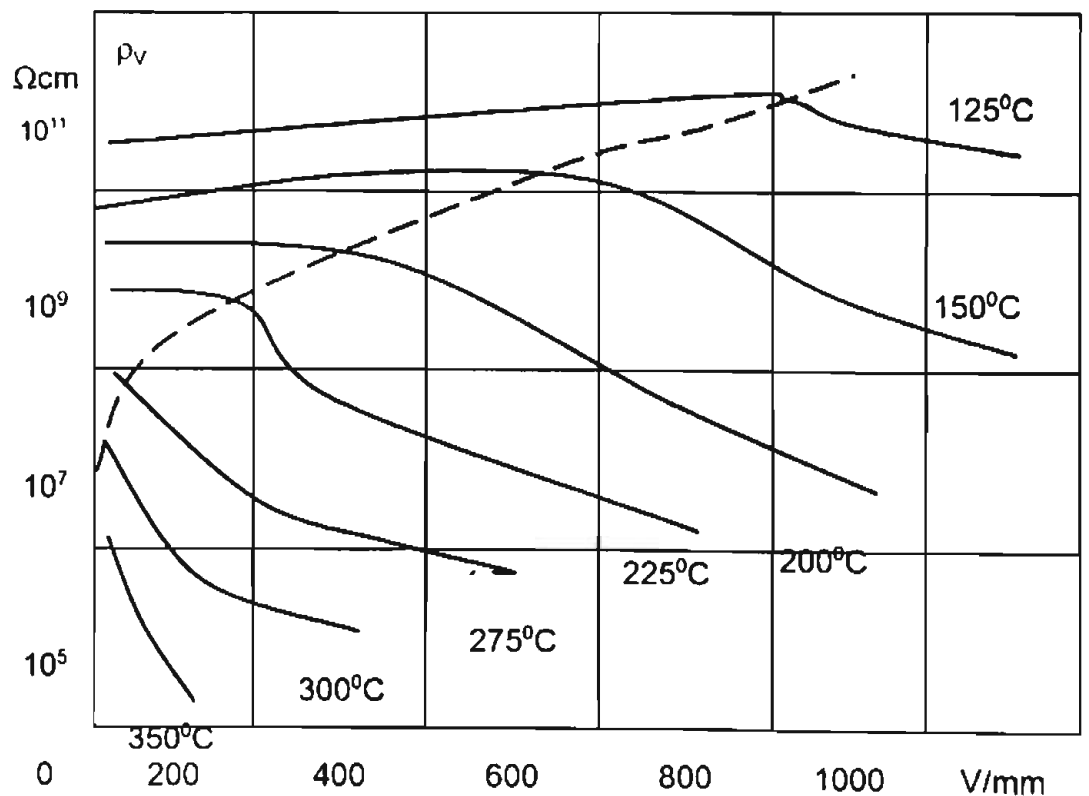
Trong đó: E - cường độ điện trường; γ - điện dẫn suất trong vùng không phụ thuộc vào E ; β - hệ số đặc trưng cho vật liệu.

Khi cường độ điện trường gần bằng trị số đánh thủng thì công thức của Frenkel có độ chính xác cao hơn:

$$\gamma' = \gamma e^{\beta_1 \sqrt{E}} \quad (2-43)$$

Khi sử dụng điện môi gồm ở nhiệt độ cao đòi hỏi phải nghiên cứu kỹ tính dẫn điện của nó không chỉ ở trong điện trường yếu mà còn phải nghiên cứu mối quan hệ độ dẫn điện theo cường độ điện trường. Thực tế, cho thấy quan hệ điện trở suất của gốm chứa titan có đặc tính hoàn toàn khác với những quan hệ tương tự của các điện môi khác như muối mỏ, thuỷ tinh. Đối với loại gốm này điện trở suất khối giảm theo thời gian. Sau khi ngắt điện áp hay đổi cực tính điện trở cách điện sẽ phục hồi lại trị số ban đầu. Sự biến đổi thuận nghịch này của điện trở suất được gọi là "sự rã". "Sự rã" không chỉ đặc trưng cho biến đổi điện trở suất theo thời gian mà còn đặc trưng cho cả biến đổi theo cường độ điện trường nữa. Trên hình 2-9 cho ta thấy rõ là ứng với mỗi nhiệt độ có thể xác lập một giá trị xác định của cường độ điện trường khi định luật Ôm bắt đầu mất hiệu nghiệm.

Khi đặt trong điện trường, điện môi gốm bị già hoá do hiện tượng điện hoá làm mất khả năng cách điện của điện môi. Sự rã làm cho các thuộc tính điện của gốm chứa titan càng trở nên xấu không hồi phục được. Điều này ta có thể giải thích bởi oxy tách khỏi mạng lưới.



Hình 2-9. Quan hệ $\rho_v = f(E)$ ở những nhiệt độ khác nhau của gốm titan.

Oxy có khả năng có khả năng thoát ra nhiều nhất từ bề mặt và gần các chỗ khuyết tật của vật liệu như: cách tôi vật liệu ở nhiệt độ cao trong môi trường khí oxy hoá.

Ở nhiệt độ bình thường, khi độ ẩm tương đối của môi trường không cao, các chi tiết làm bằng gốm có điện dẫn khác nhau, điện trở suất $\rho_v > 10^{14} \Omega.cm$. Nhưng khi nhiệt độ tăng cao, cần phải sử dụng loại gốm có thành phần đặc biệt.

2.6. ĐIỆN DẪN MẶT CỦA ĐIỆN MÔI RẮN

Điện dẫn mặt thường gây nên do bề mặt của vật liệu bị ẩm. Như đã nêu ở trên, nước có điện dẫn suất đáng kể, chỉ cần một lớp ẩm rất mỏng trên bề mặt điện môi cũng đã gây nên độ dẫn điện đáng kể. Độ điện dẫn này xác định chủ yếu bởi bề mặt dày của lớp ẩm, đồng thời còn bị ảnh hưởng bởi trạng thái bề mặt, lượng bụi bẩn, tạp chất chứa trên bề mặt ... Điện trở của lớp ẩm hấp thụ phụ thuộc nhiều vào bản chất của vật liệu nên điện dẫn mặt thường được xem như một thuộc tính của bản thân điện môi.

Sự hấp thụ hơi ẩm trên bề mặt điện môi có quan hệ chặt chẽ với độ ẩm tương đối của môi trường xung quanh. Vì thế, trị số độ ẩm tương đối là yếu tố quyết định đối với điện dẫn suất mặt của điện môi. Điện trở suất mặt thường thấy giảm rõ rệt khi độ ẩm tương đối cao hơn 60-80%.

Điện dẫn suất mặt càng thấp khi cực tính của vật liệu càng yếu, bề mặt điện môi càng sạch và nhẵn.

Theo điện dẫn mặt có thể phân tích các vật liệu thành một số nhóm:

- 1- Các điện môi không hoà tan trong nước;
- 2- Các điện môi hoà tan một phần trong nước;
- 3- Điện môi có cấu tạo xốp.

2.6.1. Điện môi không hoà tan trong nước

- a) Các điện môi trung tính và cực tính yếu không bị thấm nước.
- b) Các điện môi cực tính bị thấm nước.

Phân nhóm thứ nhất bao gồm có các chất: parafin, polistirol, hổ phách, lưu huỳnh; phân nhóm thứ hai bao gồm một số loại gốm.

Tất cả các vật liệu của nhóm này có đặc điểm là điện trở suất bề mặt cao, ít phụ thuộc vào độ ẩm của môi trường xung quanh. Nhưng đối với điện môi cực tính chỉ có thể nhận được điện trở suất bề mặt cao trong môi trường khi nào bề mặt của nó hoàn toàn không bẩn.

2.6.2. Các điện môi hoà tan một phần trong nước

Nhóm này bao gồm phần lớn các thuỷ tinh kỹ thuật. Loại vật liệu này có điện trở suất mặt thấp hơn và phụ thuộc nhiều vào độ ẩm.

2.6.3. Điện môi rắn có cấu tạo xốp

Loại điện môi này bao gồm các vật liệu sợi (hữu cơ và vô cơ), đá hoa, clorit hoạt thạch và đa số các chất dẻo. Do cấu tạo xốp, trong môi trường ẩm các vật liệu này có điện dẫn suất mặt lớn.

Có thể thấy rõ đặc điểm quan hệ điện trở suất mặt theo độ ẩm tương đối của môi trường xung quanh đối với vật liệu thuộc nhóm 1,2 và 3 trên hình (2-10), (2-11) và (2-12). Ảnh hưởng của độ ẩm bề mặt một số điện môi thuộc nhóm 1 và 2 đến điện trở suất mặt được nêu trên bảng 2-4.

Bảng 2-4: Giá trị điện trở suất mặt của một số vật liệu ở độ ẩm tương đối 70%

Tên điện môi	ρ_S khi bề mặt chưa làm sạch, Ω .	ρ_S sau khi làm sạch bề mặt, Ω .
- Kính cửa sổ	$2 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^{11}$
- Thạch anh nóng chảy	$2 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^{13}$
- Micaléc	$1 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^{13}$

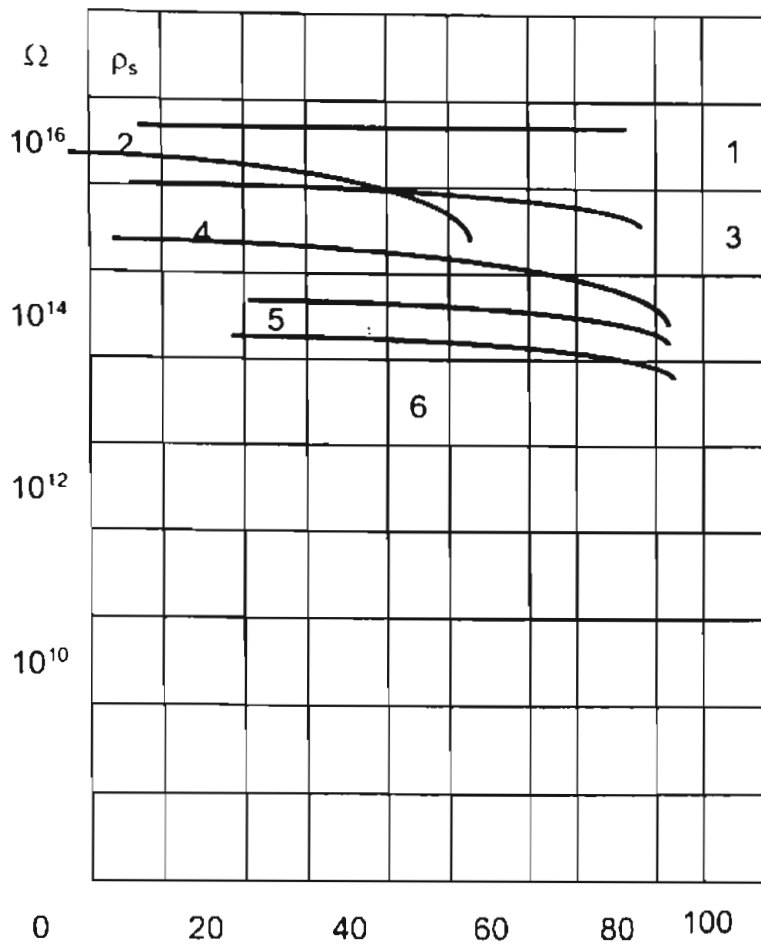
Để nâng cao điện trở suất mặt người ta dùng nhiều phương pháp khác nhau làm sạch bề mặt: rửa bằng nước, bằng các chất hoà tan, đốt nóng ở nhiệt độ 600^o-700^oC. Hiệu quả nhất là cách làm sạch bề mặt của vật không thấm nước bằng cách đun lâu trong nước cất.

Quét lên bề mặt của chi tiết một lớp parafin hoặc xêrêzin không bảo đảm giữ vững giá trị ρ_S ở độ ẩm cao vì hơi ẩm có thể xuyên qua lớp bảo vệ để vào các lỗ li ti trên bề mặt vật liệu. Phủ lên gốm và thuỷ tinh lớp sơn silíc hữu cơ làm tăng một cách đáng kể điện trở suất mặt của vật liệu khi đặt trong môi trường ẩm.

Để kết luận đối với hiện tượng dẫn điện bề mặt có thể nêu ra các điểm sau đây: điện dẫn suất mặt phụ thuộc vào độ ẩm là do trên bề mặt điện môi có các chất hút ẩm và phân ly thành ion. Hơi ẩm hấp phụ bởi bề mặt gây nên các chất đó.

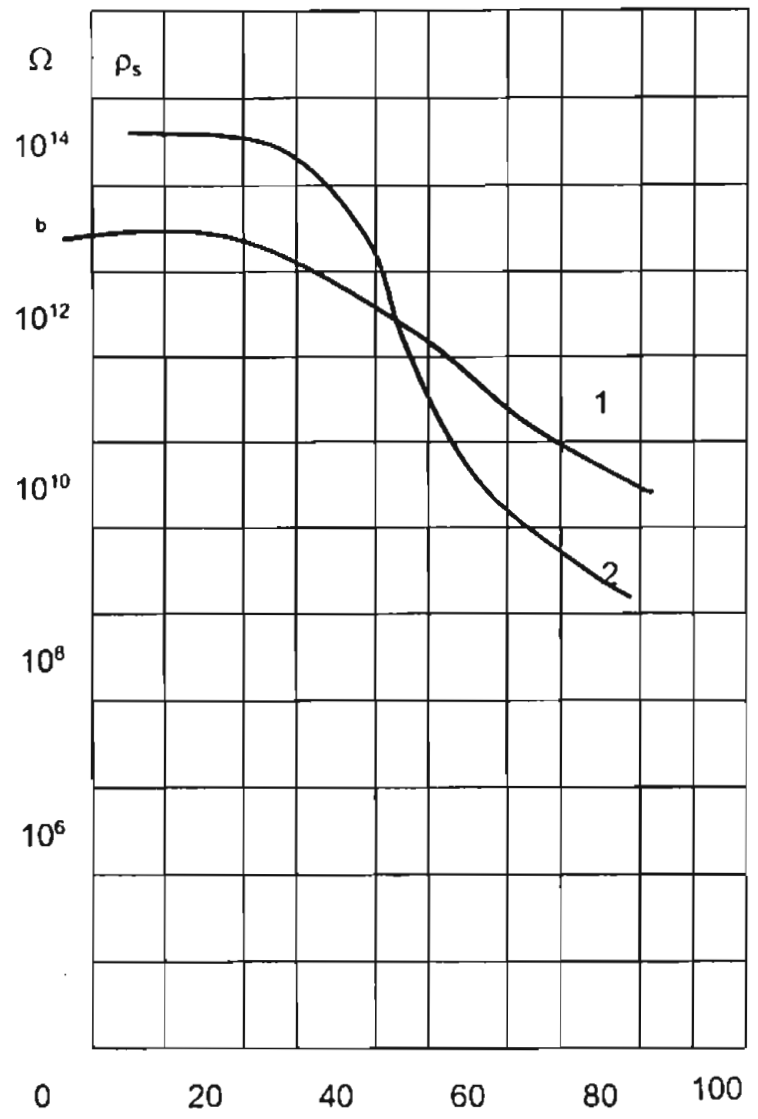
Nếu các chất này ngẫu nhiên rơi trên bề mặt của điện môi thì bằng cách lau sạch ta có thể nhận được điện trở suất mặt cao ở bất kỳ độ ẩm nào của không khí.

Nếu các chất đó thuộc thành phần của vật liệu thì điện trở suất bề mặt sẽ giảm mạnh khi độ ẩm tăng.



Hình 2-10. Quan hệ $\rho_s = f(\varphi\%)$ của điện môi nhóm 1.

- 1- xêrêzin; 2- ôxít nhôm;
 3- parafin; 4- micalêch;
 5- sáp ong; 6- sáp galovac

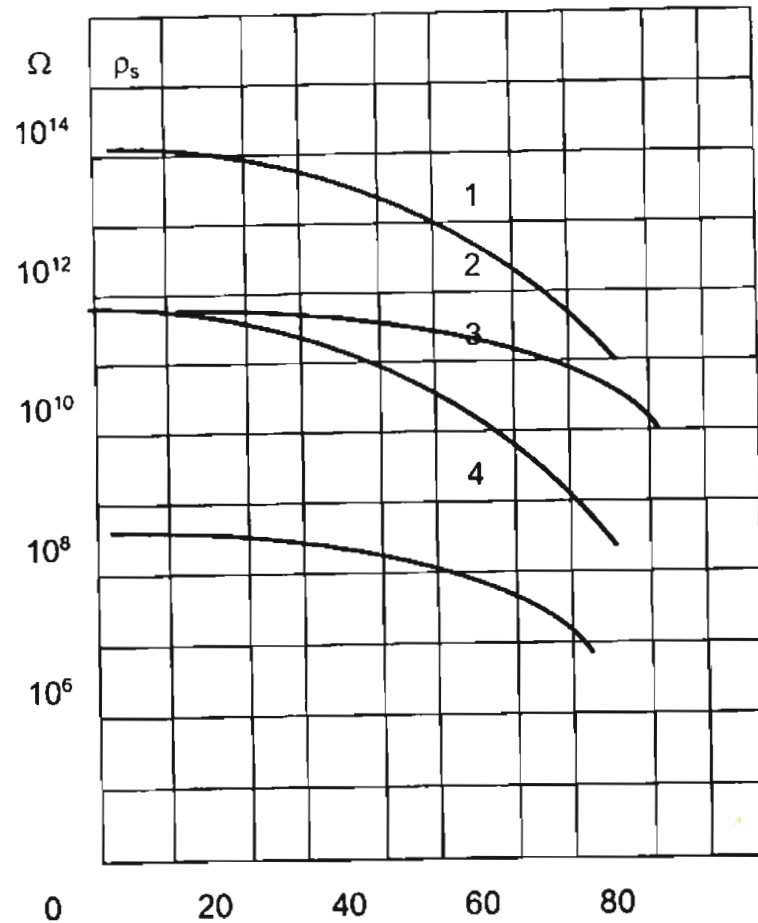


Hình 2-11. Quan hệ $\rho_s = f(\varphi\%)$ của điện môi nhóm 2.

- 1- thủy tinh kiềm; 2- thủy tinh borát.

Hình 2-12. Quan hệ $\rho_s = f(\varphi\%)$ đối với các điện môi có cấu tạo xốp.

- 1- chất dẻo phênôlôfôcmandêhyt;
 2- xen lulô;
 3- đá hoa;
 4- đá tấm.



Chương III

SỰ PHÂN CỰC CỦA ĐIỆN MÔI

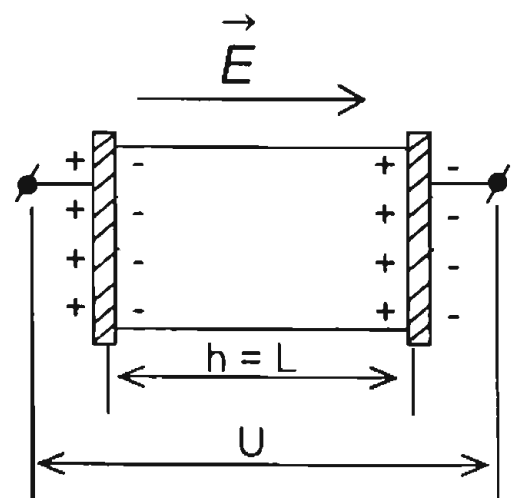
3.1. KHÁI NIỆM VỀ HẰNG SỐ ĐIỆN MÔI

Khi đặt điện môi vào trong điện trường E trong điện môi xảy ra quá trình phân cực: trên bề mặt điện môi phía điện cực dương ta thấy xuất hiện các điện tích âm và ngược lại trên bề mặt điện môi phía điện cực âm – xuất hiện các điện tích dương trái dấu với điện cực bên ngoài. Như vậy cả khối điện môi bị phân thành hai cực tích âm và dương tạo nên sự phân cực trong điện môi. Khi không còn điện trường bên ngoài tác động các điện tích lại quay về trạng thái ban đầu.

Trong thực tế điện môi thường được tạo nên bởi sự liên kết các phân tử và nguyên tử trung tính hay cực tính (lưỡng tính). Dưới tác dụng của điện trường các điện tích ràng buộc trong phân tử, nguyên tử điện môi sẽ bị xoay theo hướng của lực điện trường. Trong điện môi lưỡng cực khi không có điện trường, các lưỡng cực phân bố ngẫu nhiên do chuyển động nhiệt, nhưng khi có điện trường bên ngoài tác động các phân tử lưỡng cực định hướng và sắp xếp lại tương ứng theo chiều của điện trường. Chính vì vậy chúng ta có định nghĩa về sự phân cực như sau:

Phân cực là sự chuyển dịch có giới hạn của các điện tích liên kết hoặc sự định hướng của các phân tử lưỡng cực dưới tác dụng của lực điện trường.

Khi xảy ra phân cực thì trên bề mặt điện môi xuất hiện điện tích trái dấu với dấu của điện cực bên ngoài. Như vậy điện môi sẽ tạo thành một tụ điện với điện dung là C , điện tích của tụ điện là Q (hình 3-1).



Hình 3-1. Sự phân bố điện tích trong chất điện môi phân cực.

Điện tích Q của tụ điện có trị số tỷ lệ với điện áp đặt lên tụ điện và được tính bởi công thức sau:

$$Q = C.U \quad (3-1)$$

Trong đó: C : điện dung của tụ điện; U : điện áp đặt vào tụ điện.

Điện tích Q bao gồm hai thành phần: Q_0 - là điện tích có ở điện cực nếu như giữa các cực là chân không và Q' - điện tích tạo nên bởi sự phân cực của điện môi:

$$Q = Q_0 + Q' \quad (3-2)$$

Một trong những đặc tính quan trọng nhất của điện môi và có ý nghĩa đặc biệt đối với kỹ thuật điện là **hằng số điện môi tương đối ϵ** . Đại lượng này là tỷ số giữa điện tích Q của tụ điện chế tạo từ loại điện môi ấy khi điện áp đặt vào có một giá trị nào đó với Q_0 là điện tích của tụ điện khi điện môi là chân không.

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_0} = \frac{Q_0 + Q'}{Q_0} = 1 + \frac{Q'}{Q_0} \quad (3-3)$$

Từ biểu thức (3-3) ta thấy: **hằng số điện môi tương đối** của bất kỳ chất nào cũng lớn hơn một và chỉ bằng một khi điện môi là chân không.

Cần chú ý rằng giá trị hằng số điện môi của chân không phụ thuộc vào hệ đơn vị. Trong hệ CGSE nó bằng một, còn trong hệ SI bằng $\frac{1}{36.\pi.10^9}$ F/m.

Giá trị hằng số điện môi tương đối của một chất bất kỳ không phụ thuộc vào việc chọn hệ đơn vị. Trong phần tiếp theo, chính đại lượng hằng số điện môi tương đối này được dùng ngắn gọn là: "**hằng số điện môi**" để đánh giá chất lượng của điện môi.

Từ công thức (3-1) và (3-3), ta có thể viết biểu thức dưới dạng:

$$Q = Q_0 \epsilon = CU = C_0 \epsilon U. \quad (3-4)$$

Trong đó: C_0 - điện dung của tụ điện khi giữa các điện cực là chân không.

Từ công thức (3-4) ta có:

$$\epsilon = \frac{C}{C_0} \quad (3-5)$$

Như vậy hằng số điện môi của một điện môi bất kỳ có thể xác định bằng tỷ số giữa điện dung tụ điện của điện môi đó với điện dung tụ điện cùng kích thước điện cực khi điện môi là chân không.

3.1.1. Khái niệm I: Mômen điện và cường độ phân cực

Do quá trình phân cực trên bề mặt điện môi xuất hiện các điện tích trái dấu “âm” và “dương”. Như vậy cả khối điện môi sẽ tạo nên một mômen điện M :

$$M = Q.l \quad (3-6)$$

l : chiều dài của khối điện môi.

Ngoài sự phân cực điện môi còn được đặc trưng bởi véc tơ cường độ phân cực \vec{P} . Véc tơ cường độ phân cực \vec{P} được tính bằng mômen điện trong một đơn vị thể tích của điện môi và có chiều trùng với chiều của cường độ điện trường bên ngoài \vec{E}

$$\vec{P} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V} \quad (3-7)$$

Trong trường hợp điện môi đồng nhất, tại mọi điểm ở trong điện môi có cường độ phân cực P là như nhau. Vì vậy ta có:

$$\vec{M} = \vec{P}.V \quad (3-8)$$

V : thể tích của điện môi.

3.1.2. Khái niệm II: Mật độ điện tích do phân cực gây nên

Trong thực tế kỹ thuật điện, điện môi không phải bao giờ cũng có bề mặt song song với điện cực như hình 3-1 mà nó rất đa dạng về hình dáng, kích thước. Xét mô hình đặc trưng của điện môi đặt trong điện trường với điện tích đáy là s , chiều cao là h và l là chiều dài khối điện môi (hình 3-2) ta có:

$$M = P.V = P.Sh = P.S.l.\cos\theta. \quad (3-9)$$

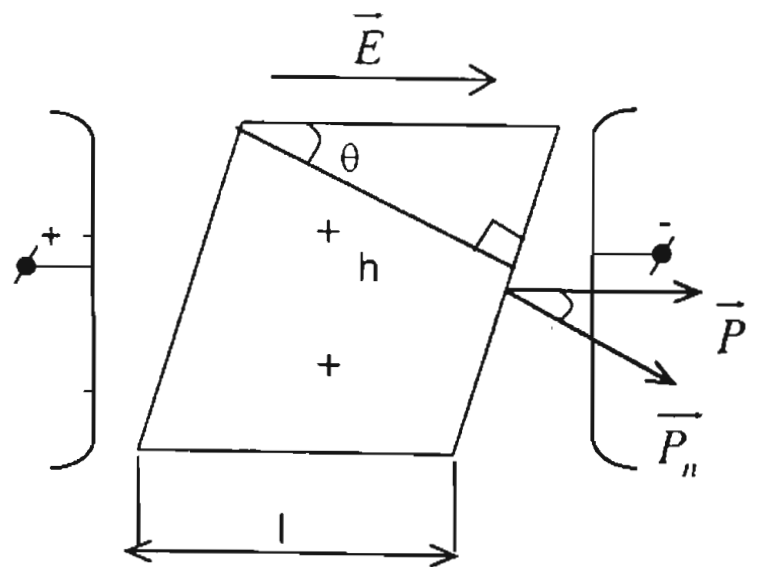
Mặt khác:

$$M = Q.l = \delta.S.l \quad (3-10)$$

Trong đó: Q - điện tích và δ - là mật độ điện tích trên bề mặt điện môi do phân cực gây nên.

Từ công thức (3-9) và (3-10) suy ra:

$$\delta = P.\cos\theta = P_{\parallel} \quad (3-11)$$



Hình 3-2. Sự phân bố điện tích trong điện môi có kích thước bất kỳ.

Như vậy: *Mật độ điện tích trên bề mặt điện môi do phân cực gây nên có trị số bằng thành phần pháp tuyến của véc tơ cường độ phân cực "P".*

3.1.3. Khái niệm III: Sự tương quan giữa hằng số điện môi ϵ và cường độ phân cực \vec{P}

Để xây dựng sự tương quan giữa hằng số điện môi và cường độ phân cực \vec{P} ta dựa vào phương trình Mắcxoen:

$$\begin{cases} \vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} \\ \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \end{cases} \quad (3-12)$$

Trong đó: \vec{D} - véc tơ cảm ứng điện; \vec{E} - cường độ điện trường bên ngoài do điện áp gây nên giữa hai điện cực. Khi hai cực song song với nhau và cách nhau một khoảng l thì $E = \frac{U}{l}$ [kV/cm].

Từ (3-12) ta có:

$$\epsilon_0 \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} .$$

Suy ra:

$$\vec{P} = \epsilon_0 (\epsilon - 1) \vec{E} \quad (3-13)$$

Như vậy: *véc tơ cường độ phân cực \vec{P} có chiều cùng với chiều của điện trường bên ngoài.* Về trị số cường độ phân cực P phụ thuộc vào hằng số điện môi ϵ và cường độ điện trường bên ngoài E .

Mặt khác, từ công thức (3-13) ta có mối quan hệ giữa ϵ và P như sau:

$$\epsilon = 1 + \frac{\vec{P}}{\epsilon_0 \vec{E}} \quad (3-14)$$

Công thức (3-14) được dùng để xác định hằng số điện môi và là công thức chung để nghiên cứu lý thuyết về sự phân cực.

3.1.4. Khái niệm IV: Hệ số phân cực

Mỗi một phân tử của điện môi cực tính được đặc trưng bởi mômen lưỡng cực \vec{m}_i ($m_i = qa$). Khi không có điện trường bên ngoài tác động, các mômen điện của các phân tử sắp xếp ngẫu nhiên nên tổng các mômen \vec{m}_i có trị số bằng không

($\sum_{i=1}^n \vec{m}_i = 0$). Khi có điện trường bên ngoài " \vec{E} " tác động các mômen này sắp xếp

lại theo chiều tác dụng của điện trường, nên: $\sum_{i=1}^n \vec{m}_i \neq 0$. Do vậy bên trong điện

môi sẽ có một điện trường \vec{E}_{dm} khác với điện trường bên ngoài \vec{E} .

Mômen điện trung bình của mỗi phân tử tỷ lệ với điện trường tác động lên nó và được xác định bởi công thức sau:

$$\vec{m}_{tb} = \alpha \cdot \vec{E}_{dm} \quad (3-15)$$

Trong đó: α - được gọi là **hệ số phân cực điện môi**, nó đặc trưng cho khả năng phân cực của các phân tử có mômen điện và có đơn vị là $[F.m^2]$.

Vì véc tơ cường độ phân cực \vec{P} là tổng các mômen điện của tất cả các phân tử trong một đơn vị thể tích nên ta có:

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^N \vec{m}_i = N \cdot \alpha \cdot \vec{E}_{dm} \quad (3-16)$$

N - mật độ phân tử của điện môi.

Công thức (3-14) được viết ở dạng cụ thể như sau:

$$\epsilon = 1 + \frac{N\alpha \vec{E}_{dm}}{\epsilon_0 \vec{E}} \quad (3-17)$$

Như vậy, để xác định hằng số điện môi của vật liệu ta cần tính mômen điện trung bình của các phân tử hay tìm hệ số phân cực α và điện trường bên trong điện môi khi có điện trường E bên ngoài tác động.

3.2. CÁC DẠNG VÀ LOẠI PHÂN CỰC XẢY RA TRONG ĐIỆN MÔI

Khi nghiên cứu hiện tượng phân cực trong điện môi ta cần chú ý tới đặc điểm và thành phần cấu tạo của điện môi đó.

Dựa vào thời gian xác lập phân cực mà người ta chia phân cực ra thành hai dạng chính, đó là **phân cực nhanh** và **phân cực chậm**.

+ Đặc điểm của **phân cực nhanh** là xảy ra trong một thời gian rất ngắn khi điện môi bị tác dụng của điện trường bên ngoài (khoảng $10^{-12} \div 10^{-15}$ giây); đàn hồi hoàn toàn và không sinh ra tổn hao điện môi (không phát sinh ra nhiệt). Trong kỹ thuật điện các điện môi có phân cực nhanh được biểu diễn bằng một tụ điện điện

dung là C. Phân cực nhanh có hai loại, đó là phân cực điện tử nhanh và phân cực ion nhanh.

+ **Phân cực chậm** xảy ra một cách chậm chạp, thời gian phân cực lớn hơn 10^{-10} giây, có thể đến hàng phút, hàng giờ và nhiều giờ. Dạng phân cực chậm có phát sinh ra tổn hao điện môi, do vậy, sơ đồ thay thế điện môi biểu diễn bằng một tụ điện "C" mắc nối tiếp với một điện trở "R". Trong dạng phân cực chậm có 5 loại phân cực chính sau đây: phân cực lưỡng cực, phân cực điện tử chậm, phân cực ion chậm, phân cực kết cấu và phân cực tự phát. Như vậy, dựa theo các loại phân tử tích điện tham gia vào quá trình phân cực mà ta phân thành 7 loại phân cực khác nhau.

3.2.1. Phân cực điện tử nhanh

Phân cực điện tử nhanh do sự chuyển dịch đàn hồi và sự biến dạng các lớp vỏ điện tử của phân tử dưới tác dụng của điện trường bên ngoài. Ở trạng thái bình thường trọng tâm của các điện tích âm và dương trùng nhau, nhưng khi có điện trường bên ngoài tác động các điện tử sẽ dịch chuyển trong một giới hạn nào đó (tùy theo trị số của cường độ điện trường) làm cho trọng tâm điện tích âm của các điện tử ở vị trí khác. Khi không có điện trường bên ngoài tác động chúng lại trở về vị trí ban đầu. Thời gian xác lập phân cực điện tử bé không đáng kể, khoảng $10^{-14} \div 10^{-15}$ giây. Do vậy phân cực điện tử nhanh được gọi là phân cực tức thời và không sinh ra tổn hao điện môi.

Phân cực điện tử nhanh tồn tại ở tất cả các loại điện môi và không liên quan tới tổn hao năng lượng. Sơ đồ thay thế điện môi được biểu diễn bằng một điện dung ký hiệu là C_{cnh} .

Hệ số phân cực điện tử nhanh α_{cnh} phụ thuộc vào bán kính phân tử R_0 , được đặc tính bằng công thức sau:

$$\alpha_{\text{cnh}} = 4\pi\epsilon_0 R_0^3 \quad (3-18)$$

Như vậy, bán kính phân tử càng tăng thì hệ số phân cực α_{cnh} càng lớn.

Cần chú ý rằng: đại lượng hằng số điện môi của các chất điện môi phân cực điện tử nhanh có trị số bằng bình phương hệ số khúc xạ ánh sáng ($\epsilon \approx v^2$).

3.2.2. Phân cực ion nhanh

Phân cực ion nhanh đặc trưng cho những điện môi có cấu tạo ion và được xác định bởi sự dịch chuyển đàn hồi giữa các ion liên kết dưới tác dụng của điện trường bên ngoài. Khi điện môi nằm trong điện trường các ion dương sẽ dịch chuyển theo chiều của điện trường, còn các ion âm dịch chuyển theo chiều ngược lại, khoảng

cách giữa các ion thay đổi so với khi không có điện trường và làm cho mômen điện của phân tử thay đổi. Hệ số phân cực ion nhanh được xác định bằng công thức sau:

$$\alpha_{inh} = 4\pi\epsilon_0 \left(\frac{a}{2}\right)^3 \quad (3-19)$$

Trong đó: a là khoảng cách giữa các ion dương và âm khi cường độ điện trường $E = 0$.

Khi nhiệt độ tăng điện môi có sự giãn nở nhiệt, khoảng cách giữa các ion tăng lên và lực liên kết giữa các ion sẽ giảm, do vậy phân cực ion sẽ tăng lên. Trong phần lớn các trường hợp, hệ số nhiệt của hằng số điện môi (TK_ϵ) là dương. Thời gian xác lập phân cực của phân cực ion nhanh khoảng $10^{-13} - 10^{-14}$ giây tùy theo kích thước của liên kết phân tử ion. Loại phân cực này cũng không sinh ra tổn hao điện môi, nên sơ đồ thay thế điện môi bằng một tụ điện với điện dung là C_{inh} .

3.2.3. Phân cực lưỡng cực chậm

Phân cực lưỡng cực chậm xảy ra trong các điện môi cực tính, phân tử của các điện môi này là các phân tử cực tính với mômen điện \vec{m}_i . Các phân tử cực tính luôn ở trạng thái chuyển động nhiệt. Khi chưa có điện trường bên ngoài tác động những phân tử cực tính sắp xếp hỗn loạn không theo một thứ tự nào, do đó tổng các mômen điện của khối điện môi tính cho một hướng nào đó có trị số bằng "0":

$$\vec{M} = \sum_{i=1}^N \vec{m}_i = 0$$

Nếu đặt điện môi vào trong điện trường E , các phân tử lưỡng cực sẽ định hướng lại theo chiều tác dụng của điện trường. Khi đó tổng các mômen điện của khối điện môi có trị số khác "0":

$$\vec{M} = \sum_{i=1}^N \vec{m}_i \neq 0$$

Sự xoay hướng của các phân tử lưỡng cực theo hướng điện trường đòi hỏi phải khắc phục một số trở lực, do đó cần phải có thời gian và tổn hao năng lượng. Sơ đồ thay thế điện môi biểu diễn bằng một tụ điện (C_{lc}) mắc nối tiếp với một điện trở R_{lc} .

Thời gian xác lập phân cực lưỡng cực trong điện môi phụ thuộc vào nhiều yếu tố, đó là: kích thước phân tử, kết cấu phân tử, nhiệt độ, tần số điện trường, trị số cường độ điện trường, trạng thái của điện môi (khí, lỏng, rắn) v.v... Thường thì phân cực lưỡng cực xảy ra lớn hơn 10^{-12} giây và có thể đến hàng phút. Do vậy, khi

xác định điện trở cách điện hay các tham số khác của điện môi người ta thường đo sau một phút khi phân cực đã ổn định.

Trong điện môi nói chung và điện môi cực tính nói riêng, khi bị phân cực có sự sắp xếp lại điện tích làm cho cường độ điện trường bên trong điện môi có trị số khác với cường độ điện trường bên ngoài. Hệ số phân cực lưỡng cực α_{lc} phụ thuộc vào mômen lưỡng cực các phân tử cực tính (m_0) và phụ thuộc vào nhiệt độ:

$$\alpha_{lc} = \frac{m_0^2}{3KT}$$

Trong đó: m_0 - là mômen lưỡng cực trung bình; K- là hằng số Bônzomal; T- nhiệt độ tuyệt đối °K.

3.2.4. Phân cực điện tử chậm

Phân cực điện tử chậm xuất hiện do các điện tử “khuyết tật” thừa hoặc lỗ trống được kích thích bởi nhiệt năng trong điện môi có chứa các khuyết tật.

Phân cực điện tử chậm đặc trưng chủ yếu cho các điện môi có hệ số khúc xạ cao, trường bên trong lớn hơn và có tính dẫn điện điện tử: bioxyt titan có lẫn tạp chất Nb^{+5} , Ca^{+2} , Ba^{+2} , bioxyt than có khuyết tật anion và tạp chất Ti^{+3} , một số hợp chất trên cơ sở oxyt kim loại có hoá trị biến đổi như titan, miobi, bítsmút.

Một điều đáng chú ý là hằng số điện môi của các điện môi phân cực điện tử chậm phụ thuộc vào nhiệt độ và có một vài điểm cực đại thậm chí cả khi nhiệt độ âm.

Phân cực điện tử chậm có sinh ra tổn hao điện môi, nên sơ đồ thay thế được biểu diễn bằng điện dung C_{cch} và điện trở R_{cch} mắc nối tiếp với nhau.

3.2.5. Phân cực ion chậm

Phân cực ion chậm xảy ra trong thủy tinh vô cơ và một số chất vô cơ có liên kết ion không bền vững. Trong trường hợp này các ion liên kết yếu ở chuyển động nhiệt còn nhận thêm các chuyển dịch thừa theo hướng tác dụng của điện trường bên ngoài. Sau khi loại bỏ điện trường, sự định hướng của các ion yếu dần theo quy luật hàm số mũ.

Hằng số thời gian phân cực phụ thuộc vào năng lượng kích thích W và tần số dao động nhiệt f theo công thức sau:

$$T_0 = \frac{1}{2f} e^{\frac{W}{kT}} \text{ (s)}$$

Sự phân cực ion chậm tăng lên khi nhiệt độ tăng. Loại phân cực ion chậm có sinh ra tổn hao điện môi nên sơ đồ thay thế điện môi biểu diễn bằng một tụ điện C_{ich} mắc nối tiếp với điện trở R_{ich} .

3.2.6. Phân cực kết cấu

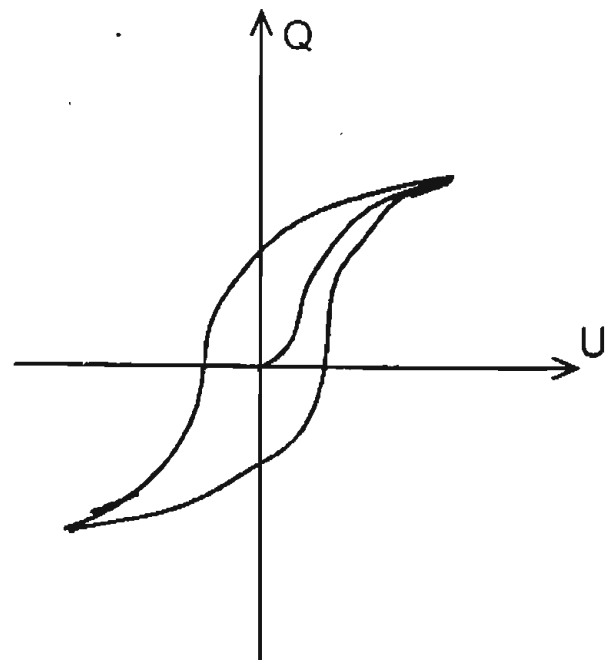
Phân cực kết cấu xảy ra trong các chất rắn có cấu tạo không đồng nhất khi độ không đồng nhất có tính chất vĩ mô hay khi có tạp chất. Loại phân cực này thấy rõ nhất ở biên giới giữa các chất khác nhau. Bản chất của phân cực kết cấu là sự dịch chuyển của những ion liên kết yếu dưới tác dụng của điện trường bên ngoài, tạo thành lớp điện tích không gian trên ranh giới tiếp xúc giữa các miền khác nhau. Nguyên nhân của sự phân cực này là do các chất dẫn điện và bán dẫn lẫn trong điện môi kỹ thuật hay sự tồn tại các lớp có độ điện dẫn khác nhau.v.v...

Loại phân cực kết cấu này biểu hiện ở tần số thấp và kèm theo sự phát tán năng lượng điện đáng kể. Do vậy, sơ đồ thay thế điện môi cũng được biểu diễn bằng một tụ điện C_{KC} mắc nối tiếp với điện trở R_{KC} .

Khi đặt vật liệu không đồng nhất dưới điện trường, các điện tử tự do và ion của các tạp chất dẫn và bán dẫn dịch chuyển trong phạm vi của từng chất, tạo thành vùng phân cực rộng lớn. Ở ranh giới giữa các lớp của vật liệu nhiều lớp và trong lớp tiếp xúc với các điện cực có thể tích lũy điện tích của các ion chuyển động chậm tạo nên hiện tượng gọi là hiệu ứng giữa các lớp hoặc phân cực kết cấu cao áp. Loại phân cực kết cấu xảy ra trong thời gian dài có thể đến hàng giờ và nhiều giờ.

3.2.7. Phân cực tự phát

Phân cực tự phát là dạng phân cực đặc biệt tồn tại trong các điện môi xét-nhét, các điện môi có từ tính mà quan hệ giữa điện tích Q và điện áp U có đường cong từ trễ (hình 3-3). Bản thân các điện môi này đã có sẵn những vùng phân cực tự nhiên (giống như các vĩa đá trên núi). Khi không có điện trường bên ngoài tác động, tổng trở các mômen điện của các vùng (\vec{M}_i) có trị số bằng không ($\sum_{i=1}^N \vec{M}_i = 0$). Nhưng



Hình 3-3. Chu trình từ trễ đối với bari metatitanat.

khi có điện trường bên ngoài tác động những mômen điện của các vùng riêng biệt sẽ sắp xếp lại theo chiều tác dụng của điện trường nên ta

có: $\sum_{i=1}^N \vec{M}_i \neq 0$.

Do phân cực lại cả vùng (đômen) theo chiều của điện trường nên loại phân cực tự phát cần phải có thời gian và năng lượng lớn. Chính vì vậy phân cực tự phát sinh ra tổn hao điện môi lớn. Sơ đồ thay thế điện môi cũng được biểu diễn bằng một tụ điện C_p mắc nối tiếp với điện trở R_p .

Trong các điện môi có phân cực tự phát, điện trường bên ngoài tạo nên sự ưu tiên định hướng các mômen điện của các đômen theo chiều của trường, do đó gây ra hiệu ứng phân cực mạnh. Khác với các dạng phân cực khác, ở một giá trị nào đó của cường độ điện trường ngoài sẽ xuất hiện hiện tượng bão hoà, nhưng sau đó tiếp tục tăng mạnh điện trường thì cường độ phân cực vẫn không tăng nữa.

Trong thực tế kỹ thuật điện, trị số điện dung tụ điện của điện môi và điện tích của nó chịu ảnh hưởng chung của các loại phân cực khác nhau. Một số loại phân cực có thể thấy ở nhiều điện môi khác nhau, một số loại phân cực cũng có thể có đồng thời ở cùng một loại vật liệu. Như vậy, một loại vật liệu có thể có cùng một số loại phân cực trong tổ hợp của 7 loại phân cực nói trên.

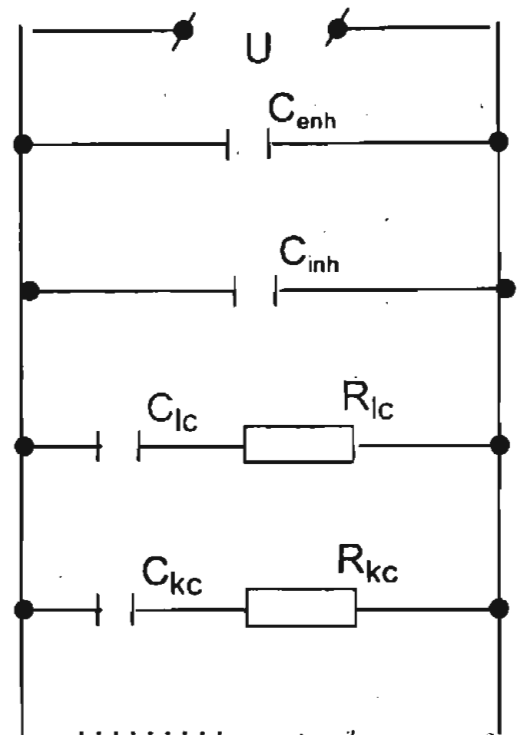
Sơ đồ đẳng trị của điện môi mà trong đó có các loại phân cực khác nhau là một loạt tụ điện và điện trở mắc song song với nguồn điện áp U được biểu diễn trên hình 3-4.

3.3. PHÂN LOẠI ĐIỆN MÔI THEO DẠNG PHÂN CỰC

Các đặc tính phân cực cho phép chia điện môi ra thành một số nhóm đặc trưng sau đây:

* **Nhóm thứ nhất:** Bao gồm các điện môi chủ yếu chỉ có loại phân cực điện tử nhanh. Trong nhóm này có các chất trung tính ở trạng thái khí, lỏng và rắn. Ngoài ra còn có một số chất cực tính yếu có cấu trúc tinh thể, cấu trúc không định hình hay các dạng khác. Ví dụ: paraffin, lưu huỳnh, polystirol, benzen, hydro, dầu máy biến áp, dầu tụ điện v.v...

* **Nhóm thứ hai:** Gồm các điện môi có phân cực điện tử nhanh và phân cực lưỡng cực chậm. Loại này gồm các chất hữu cơ cực tính ở trạng thái lỏng, nửa lỏng và rắn. Ví dụ như hỗn hợp dầu côlôfan, êpôcxi, xenlulô, hydro cacbon bị clohoá, v.v...



Hình 3-4. Sơ đồ đẳng trị của điện môi có thành phần phức tạp với các cơ chế phân cực khác nhau.

* **Nhóm thứ ba:** Gồm các điện môi rắn vô cơ có phân cực điện tử và ion nhanh, phân cực điện tử và ion chậm. Trong nhóm này nên tách ra làm hai phân nhóm vật liệu do đặc tính điện của chúng khác nhau:

Điện môi có phân cực điện tử và ion nhanh.

Điện môi có phân cực điện tử và ion cả nhanh lẫn chậm.

Nhóm a: Gồm chủ yếu các chất tinh thể có các ion ràng buộc chặt chẽ, ví dụ như thạch anh, corundum, mica, bột đá mài, muối mỏ, kim cương, rutil v.v...

Nhóm b: Gồm có thủy tinh vô cơ, vật liệu sứ, micalếch và các điện môi có cấu tạo tinh thể ràng buộc yếu.

Nhóm thứ tư: Gồm điện môi xéc-nhét được đặc trưng bởi phân cực tự phát, phân cực điện tử và ion nhanh, phân cực điện tử chậm, ví dụ: muối xéc-nhét, titanat-bari, các chất có từ tính v.v...

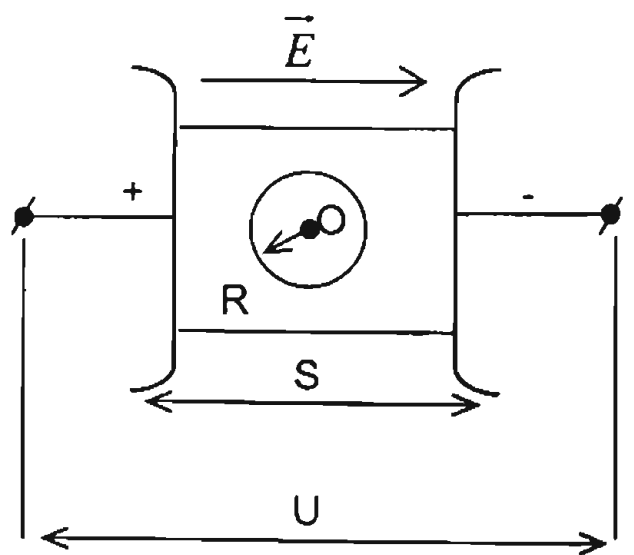
Sự phân loại điện môi nói trên cho phép ở một mức độ nào đó xác định được các thuộc tính cơ bản về điện của vật liệu trong các phần nghiên cứu tiếp theo.

3.4. ĐIỆN TRƯỜNG CỤC BỘ BÊN TRONG ĐIỆN MÔI.

PHƯƠNG TRÌNH CLAUDIÚT – MÔXỐTCHI

Khi ở trong điện trường E các phân tử điện môi bị tác động của lực điện trường bên trong điện môi có sự sắp xếp lại điện tích và xảy ra quá trình phân cực. Do có quá trình phân cực mà điện trường bên trong điện môi có trị số khác với trị số điện trường bên ngoài.

Điện trường cục bộ là điện trường thực tế tác động đến điện môi tại một điểm nào đó bên trong điện môi. Điện trường này được tính như là tổng điện trường bên ngoài và điện trường được tạo nên bởi các điện tích của các phân tử bên cạnh tác động đến điểm đang xem xét. Nếu khoảng cách giữa các phân tử lớn, lực liên kết giữa các phân tử yếu thì cường độ điện trường cục bộ bên trong điện môi có trị số xấp xỉ bằng với cường độ điện trường bên ngoài (ví dụ như các chất khí). Điện trường cục bộ bên trong các điện môi lỏng và rắn cực tính mạnh có trị số lớn hơn nhiều so với cường độ điện trường bên ngoài.



Hình 3-5. Tính cường độ điện trường cục bộ khi điện môi nằm trong điện trường đồng nhất.

Để chứng minh cho các vấn đề nêu ra ở trên, chúng ta đi tính cường độ điện trường cục bộ trong điện môi (E_{dm}) tại điểm “0” khi điện môi nằm trong điện trường đồng nhất (hình 3-5).

Điện trường đồng nhất là điện trường được tạo nên giữa hai cực phẳng đặt song song với nhau và tại mọi điểm cường độ điện trường có trị số bằng nhau. Điện trường này ta gọi là điện trường bên ngoài, nó có trị số bằng tỷ số giữa điện áp U đặt vào hai cực chia cho khoảng cách giữa hai cực “ S ”:

$$E = \frac{U}{S} [V/mm]$$

Để tính cường độ điện trường tác động lên phân tử điện môi tại điểm “0”, ta hình dung cắt điện môi bằng một mặt cầu tâm O với bán kính R lớn hơn hoặc bằng 100 lần bán kính phân tử điện môi r (hình 3-5). Khi đó cường độ điện trường cục bộ bên trong điện môi tại tâm O được tính như sau:

$$\vec{E}_{dm} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 \quad (3-20)$$

Trong đó:

\vec{E}_1 - Cường độ điện trường bên ngoài do điện áp gây nên có chiều trùng với chiều của điện trường bên ngoài. Về trị số: $\vec{E}_1 = E = \frac{U}{S} (V/mm)$.

\vec{E}_2 - Là cường độ điện trường do các điện tích bên ngoài mặt cầu gây nên tại tâm O (lúc này ta coi quả cầu là rỗng).

\vec{E}_3 - Là cường độ điện trường được tạo nên tại O bởi các điện tích bên trong mặt cầu (cầu đặc).

Bài toán đặt ra là phải tính E_2 và E_3 khi cầu rỗng và cầu đặc.

3.4.1. Tính cường độ điện trường E_2

Cường độ điện trường E_2 được tạo nên bởi các điện tích bên ngoài mặt cầu do phân cực gây nên. Nếu gọi σ là mật độ điện tích do phân cực gây nên ở mặt cầu. Theo công thức (3-11) (ở mục 3-1 chương III) ta có:

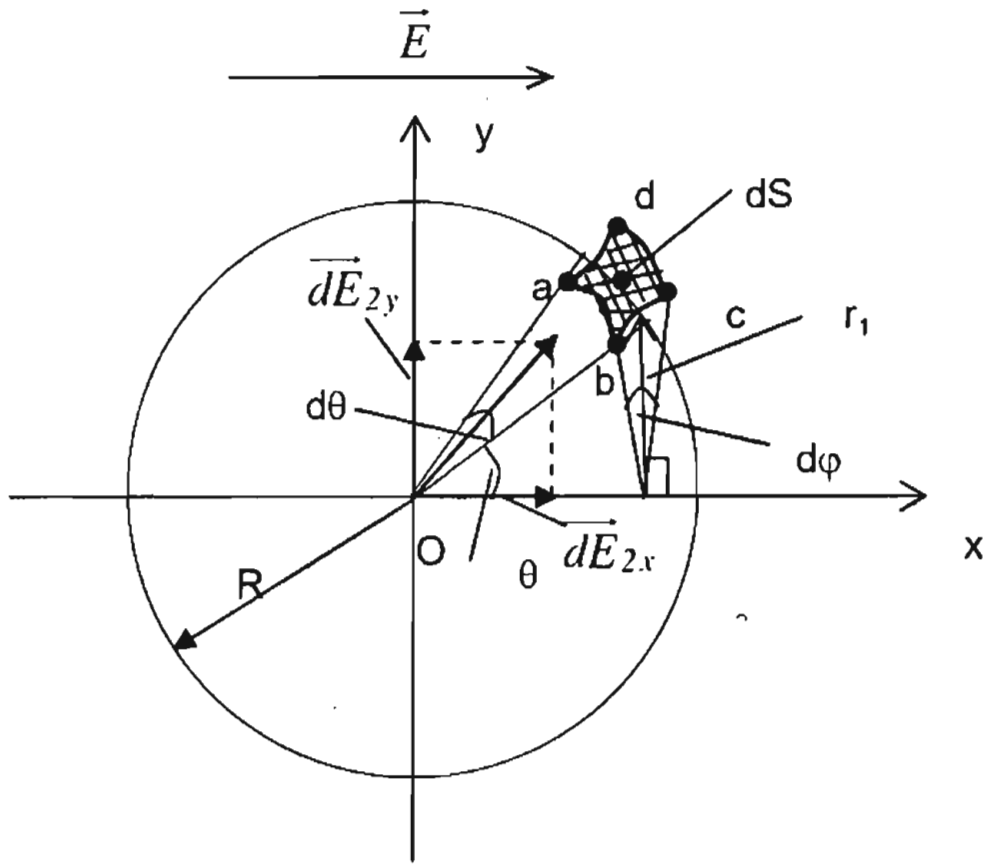
$$\sigma = P_n = P \cdot \cos\theta.$$

Cần chú ý rằng: ở các vị trí khác nhau trên mặt cầu thì góc θ có các trị số khác nhau.

Để tính cường độ điện trường E_2 , ta đi tính dE_2 được tạo nên bởi điện tích dQ trên một đơn vị diện tích dS (hình 3-6)

Ta có:

$$dQ = \sigma \cdot dS = P \cdot \cos\theta \cdot dS \quad (3-21)$$



Hình 3-6. Tính cường độ điện trường E_2 .

Do vi phân nhỏ nên diện tích dS có thể coi như là một hình vuông $abcd$. Cho nên có thể tính dS như sau:

$$dS = ab \cdot bc = R d\theta \cdot r_1 d\phi$$

Mặt khác: $r_1 = R \cdot \sin \theta$, do đó ta có:

$$dS = R^2 \cdot \sin\theta d\theta \cdot d\phi \quad (3-22)$$

Từ (3-21) và (3-22) suy ra:

$$dQ = R^2 \cdot P \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta d\theta d\phi \quad (3-23)$$

Cường độ điện trường dE_2 xác định theo công thức sau:

$$dE_2 = \frac{dQ}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{P}{4\pi\epsilon_0} \cos\theta \cdot \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\phi \quad (3-24)$$

Chúng ta phân tích \vec{dE}_2 thành 2 thành phần: $d\vec{E}_{2x}$ - theo phương của điện trường bên ngoài và $d\vec{E}_{2y}$ - vuông góc với phương của điện trường bên ngoài (hình 3-6).

$$\vec{dE}_2 = d\vec{E}_{2x} + d\vec{E}_{2y} \quad (3-25)$$

Do góc $d\theta$ rất nhỏ nên đặt $\theta + \frac{1}{2}d\theta \approx \theta$. Theo (hình 3-6) ta có:

$$dE_{2x} = dE_2 \cdot \cos\theta = \frac{P}{4\pi\epsilon_0} \cdot \cos^2\theta \cdot \sin\theta d\theta d\varphi.$$

$$dE_{2y} = dE_2 \cdot \sin\theta = \frac{P}{4\pi\epsilon_0} \cdot \sin^2\theta \cdot \cos\theta d\theta d\varphi.$$

Để tính E_2 ta lấy tích phân dE_2 theo toàn bộ mặt cầu tức là lấy giới hạn của $d\theta = 0 \div \pi$ và của $d\varphi = 0 \div 2\pi$. Như vậy ta có:

$$\begin{aligned} E_2 &= \int_0^\pi \frac{P}{4\pi\epsilon_0} \cos^2\theta \cdot \sin\theta d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi + \int_0^\pi \frac{P}{4\pi\epsilon_0} \sin^2\theta \cdot \cos\theta d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \\ &= \frac{-P}{4\pi\epsilon_0} \frac{\cos^3\theta}{3} \Big|_0^\pi \cdot \varphi \Big|_0^{2\pi} + \frac{P}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sin^3\theta}{3} \Big|_0^\pi \cdot \varphi \Big|_0^{2\pi} = \frac{P}{3\epsilon_0} \end{aligned}$$

Theo công thức (3-13): $\vec{P} = \epsilon_0(\epsilon - 1)\vec{E}$. Do vậy:

$$\vec{E}_2 = \frac{\vec{P}}{3\epsilon_0} = \frac{\epsilon - 1}{3} \vec{E} \quad (3-26)$$

Qua công thức (3-26) ta thấy cường độ điện trường E_2 phụ thuộc vào cường độ điện trường bên ngoài và phụ thuộc vào hằng số điện môi của điện môi đó (bản chất của điện môi).

3.4.2. Tính cường độ điện trường E_3

Khi tính cường độ điện trường E_3 cần lưu ý rằng cường độ điện trường này là do các phân tử lưỡng cực rời rạc ở bên trong hình cầu gây nên tại tâm 0. Việc tính toán điện trường này rất phức tạp. Điện trường này phụ thuộc vào cấu trúc phân tử, loại phân tử và vị trí tâm 0 của điện môi.

Trong trường hợp đơn giản $E_3 \approx 0$ ứng với các điện môi sau: các điện môi khí, lỏng, rắn, trung tính hay cực tính yếu, các chất có liên kết vanđécvan yếu, các chất có cấu trúc tinh thể đối xứng v.v... Khi đó:

$$\vec{E}_{dm} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = \vec{E} + \frac{\varepsilon - 1}{3} \vec{E} \neq 0$$

Suy ra:
$$\vec{E}_{dm} = \frac{\varepsilon + 2}{3} \vec{E} \quad (3-27)$$

Mặt khác từ công thức (3-17) ta có:

$$\varepsilon = 1 + \frac{N\alpha E_{dm}}{3E}$$

Thay giá trị của (3-27) vào công thức (3-17) ở trên, sau khi biến đổi ta được:

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{N\alpha}{3\varepsilon_0} \quad (3-28)$$

Công thức (3-28) chính là phương trình Claudiut-Môxôtchi để tính hằng số điện môi của các điện môi trung tính hay cực tính yếu, hoặc điện môi có cấu trúc tinh thể đối xứng (khi $E_3 = 0$).

Nếu ta nhân hai vế của phương trình (3-28) với $\frac{M}{D}$ (M là phân tử gam và D khối lượng riêng của điện môi), ta nhận được trị số cường độ phân cực của điện môi:

$$\frac{M}{D} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{M}{D} \cdot \frac{N\alpha}{3\varepsilon_0} = \frac{N_A \cdot \alpha}{3\varepsilon_0} = P \quad (3-29)$$

Trong đó: N_A - trị số Avôgadrô.

Công thức (3-29) dùng để xác định cường độ phân cực của điện môi khi biết M , D và hằng số điện môi ε .

Đối với những điện môi cực tính mạnh, các phân tử có mômen lưỡng cực m_0 , cường độ điện trường $E_3 \neq 0$. Có nhiều tác giả đưa ra các công thức tính E_3 cho một số điện môi cụ thể, ví dụ như Dêbai, Kirvút, Onsajer ... Các công thức mà các tác giả đưa ra đều có tính chất gần đúng. Do vậy, khi tính hằng số điện môi của điện môi cực tính với hệ số phân cực $\alpha_{lc} = \frac{m_0^2}{3kT}$ phương trình Claudiút-Môxôtchi có thể

viết dưới dạng như sau:

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{N}{3\varepsilon_0} \left(\alpha + \frac{m_0^2}{3kT} \right), \quad (3-30)$$

Trong đó: α - là hệ số phân cực điện tử và ion nhanh.

Tóm lại, khi nghiên cứu hằng số điện môi của một điện môi nào đó ta thường dựa vào công thức (3-28) và (3-30) để xem xét.

3.5. HẰNG SỐ ĐIỆN MÔI CỦA CHẤT KHÍ

Các chất khí có mật độ phân tử rất nhỏ so với chất lỏng và rắn. Khoảng cách giữa các phân tử khí lớn hơn nhiều so với bán kính của chúng. Do vậy, lực tương tác giữa các phân tử khí không đáng kể và hằng số điện môi của chất khí có trị số gần đúng bằng một. Ví dụ, hằng số điện môi của không khí khi đo ở nhiệt độ $t = 20^{\circ}\text{C}$, áp suất $p = 1\text{at}$ có trị số $\epsilon_{kk} = 1,00058$.

3.5.1. Hằng số điện môi của điện môi khí trung tính

Trong các điện môi khí trung tính chỉ tồn tại một loại phân cực đó là phân cực điện tử nhanh. Do đó, hệ số phân cực $\alpha = \alpha_{\text{cnh}}$ và phương trình Claudiút – Môxốtchi có thể viết:

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{N\alpha_{\text{cnh}}}{3\epsilon_0}.$$

Vì $\epsilon \approx 1$ nên phương trình trên có thể rút gọn như sau:

$$\epsilon = 1 + \frac{N\alpha_{\text{cnh}}}{\epsilon_0} \quad (3-31)$$

Hệ số phân cực $\alpha_{\text{cnh}} = 4\pi\epsilon_0 \cdot R^3 = 10^{-24} [\text{cm}^3]$.

Do chỉ có phân cực điện tử nhanh nên hằng số điện môi của các điện môi khí trung tính có trị số xấp xỉ bằng bình phương hệ số khúc xạ ánh sáng của chất khí đó $\epsilon \approx v^2$.

Từ đó ta có:

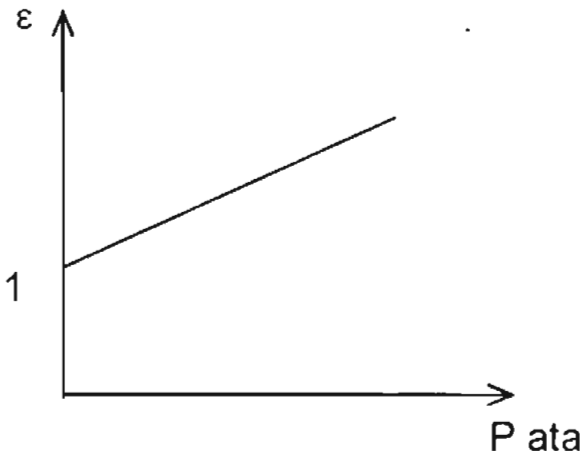
$$\frac{N\alpha_{\text{cnh}}}{\epsilon_0} \approx v^2 - 1 \quad (3-32)$$

Theo công thức (3-32) ta có thể xác định hằng số điện môi bằng cách đo hệ số khúc xạ v của chất đó.

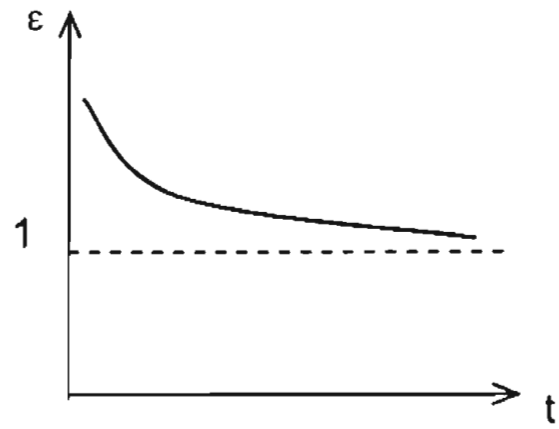
Trong các chất khí mật độ phân tử khí tỷ lệ thuận với áp suất và tỷ lệ nghịch với nhiệt độ: $N = \frac{p}{kT}$.

Từ đó suy ra hằng số điện môi của điện môi khí phụ thuộc vào áp suất và nhiệt độ theo tỷ lệ thuận và tỷ lệ nghịch tương ứng (xem hình 3-7 và 3-8). Sự phụ

thuộc của hằng số điện môi của các chất khí vào nhiệt độ và áp suất được giải thích bởi sự thay đổi số phân tử trong một đơn vị thể tích khí. Theo công thức (3-31) ta có công thức (3-33) chứng minh cho các vấn đề nêu ở trên:



Hình 3-7. Quan hệ giữa ϵ với áp suất p khi $T = \text{const.}$



Hình 3-8. Quan hệ giữa ϵ với nhiệt độ T khi $p = \text{const.}$

$$\epsilon = 1 + \frac{p \cdot \alpha_{\text{enh}}}{kT\epsilon_0} \quad (3-33)$$

Trong bảng 3-1 trình bày giá trị hằng số điện môi của một số khí, có nêu ra bán kính phân tử và hệ số khúc xạ ánh sáng v .

Bảng 3.1: Hằng số điện môi của các chất khí

Tên gọi chất khí	Bán kính phân tử A°	Hệ số khúc xạ ánh sáng v	v^2	ϵ khi $t = 20^{\circ}\text{C}$ và $P = 760\text{mm}$ cột thủy ngân
Hêli	1,12	1,000035	1,000070	1,000072
Hyđrô	1,35	1,00014	1,00028	1,00027
Ôxy	1,82	1,00027	1,00054	1,00055
Argon	1,83	1,000275	1,00055	1,00056
Nitơ	1,91	1,00030	1,00060	1,00060
Axít cacbonic	2,30	1,00050	1,00100	1,00096
Êtilen	2,78	1,00065	1,00130	1,00138

Từ số liệu của bảng 3-1 ta thấy rõ ràng hằng số điện môi của các chất khí tăng khi bán kính phân tử càng lớn.

Trong bảng 3-2 đưa ra sự phụ thuộc của hằng số điện môi của không khí, axit cacbonic và khí nitơ vào áp suất (ở nhiệt độ bình thường 20°C).

Bảng 3.2. Quan hệ giữa ϵ với áp suất của một số khí

Không khí		Axit cacbonic		Nitơ	
áp suất, at	ϵ	áp suất, at	ϵ	áp suất, at	ϵ
1	1,00058	1	1,00098	1	1,0006
20	1,0108	20	1,020	20	1,0109
40	1,0218	40	1,050	100	1,055

Trong bảng 3-3 là quan hệ của hằng số điện môi không khí với nhiệt độ khi áp suất không đổi và bằng 1at.

Bảng 3.3. Quan hệ giữa ϵ của không khí với nhiệt độ

Nhiệt độ :°C	ϵ_{KK}
+60	1,00052
+20	1,00058
-60	1,00081

Bảng 3.4: Quan hệ giữa ϵ của không khí với độ ẩm

Độ ẩm không khí, $\varphi\%$	ϵ
0	1,00058
50	1,00060
100	1,00064

Trong bảng 3-2 và 3-3 nêu ra các số liệu đối với chất khí khô. Ảnh hưởng của độ ẩm không khí đối với hằng số điện môi (ở nhiệt độ và áp suất bình thường) được chỉ ra ở bảng 3-4. Ảnh hưởng này không đáng kể khi ở nhiệt độ bình thường, nhưng nó tăng lên rõ rệt khi ở nhiệt độ cao.

Để khảo sát quan hệ giữa hằng số điện môi với nhiệt độ, người ta thường tính hệ số nhiệt của hằng số điện môi, ký hiệu là TK_{ϵ} :

$$TK_{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dT} \left[\frac{1}{^{\circ}C} \right] \quad (3-34)$$

Hệ số nhiệt của hằng số điện môi nói lên sự thay đổi tương đối của hằng số điện môi khi nhiệt độ tăng lên $1^{\circ}C$. Nếu $TK_{\epsilon} > 0$ thì hằng số điện môi sẽ tăng khi nhiệt độ tăng, ngược lại $TK_{\epsilon} < 0$ thì hằng số điện môi sẽ giảm khi nhiệt độ tăng và ϵ đạt cực trị khi $TK_{\epsilon} = 0$.

Theo phương trình (3-33) ta có:

$$\frac{d\epsilon}{dT} = \frac{d}{dT} \left(1 + \frac{p\alpha_{enh}}{\epsilon_0 kT} \right) = \frac{-p\alpha_{enh}}{\epsilon_0 kT^2} = \frac{-(\epsilon - 1)}{T}$$

Suy ra:

$$TK_{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dT} = \frac{-(\epsilon - 1)}{\epsilon \cdot T} < 0.$$

Như vậy: **hằng số điện môi của điện môi khí giảm khi nhiệt độ tăng** (xem hình 3-8 và số liệu hằng số điện môi của không khí ở bảng 3-3).

3.5.2. Hằng số điện môi của các chất khí cực tính

Trong các chất khí cực tính xảy ra hai loại phân cực chính, đó là: phân cực điện tử nhanh và phân cực lưỡng cực. Mặc dù có các phân tử cực tính nhưng phân cực điện tử nhanh vẫn đóng vai trò chủ yếu ($\alpha_{enh} > \alpha_{LC}$). Hệ số phân cực được tính là tổng của hệ số phân cực điện tử nhanh và phân cực lưỡng cực:

$$\alpha = \alpha_{enh} + \alpha_{LC}.$$

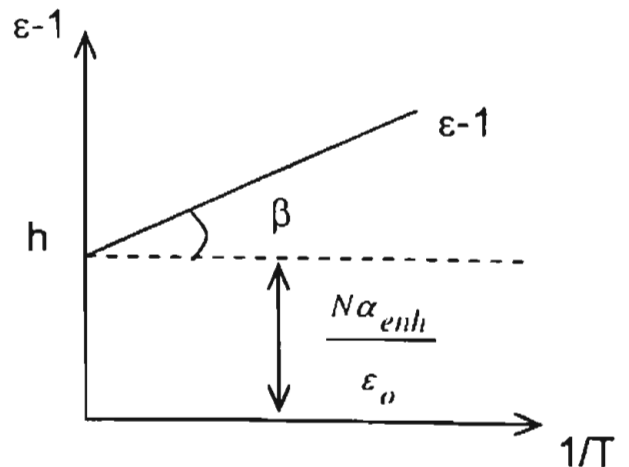
Từ phương trình Claudiút-Môxótchi (3-30) để tính hằng số điện môi cực tính, nhưng đối với các chất khí có mật độ phân tử thấp nên $\epsilon \approx 1$, do đó ta có phương trình rút gọn sau đây:

$$\epsilon - 1 = \frac{N}{\epsilon_0} \left(\alpha_{enh} + \frac{m_0^2}{3kT} \right) = \frac{N\alpha_{enh}}{\epsilon_0} + \frac{Nm_0^2}{3\epsilon_0 kT} \quad (3-35)$$

Phân cực điện tử nhanh có $\epsilon \approx v^2$, nên phương trình (3-35) có thể viết:

$$\epsilon = v^2 + \frac{N \cdot m_0^2}{3\epsilon_0 kT} \quad (3-36)$$

Đối với các chất khí cực tính khi nhiệt độ tăng thì khả năng định hướng của các lưỡng cực giảm, do đó hằng số điện môi giảm cho đến trị số v^2 . Quan hệ giữa



Hình 3-9. Quan hệ giữa $(\epsilon - 1)$ với $1/T$.

$(\epsilon-1)$ với $1/T$ là quan hệ tuyến tính (hình 3-9). Khi nhiệt độ vô cùng lớn thì ϵ có giá trị của phân cực điện tử nhanh vì khi đó chuyển động nhiệt lớn làm cản trở sự định hướng của các phân tử lưỡng cực.

Từ hình vẽ (3-9) ta có:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{N \cdot m_0^2}{3\epsilon_0 k}$$

Từ đó suy ra:

$$m_0 = \sqrt{\frac{3\epsilon_0 k \operatorname{tg}\beta}{N}} \quad (3-37)$$

Như vậy chúng ta có thể xác định mômen lưỡng cực của chất khí cực tính bằng phương pháp đồ thị khi có được quan hệ giữa $\epsilon-1$ với nhiệt độ ($1/T$). Cũng bằng phương pháp này xác định một cách gần đúng m_0 của phân tử cực tính điện môi lỏng và rắn khi biến đổi chúng về trạng thái khí.

Sau đây ta tính hệ số nhiệt của điện môi khí cực tính:

Từ phương trình (3-35) ta có:

$$\begin{aligned} \frac{d\epsilon}{dT} &= \frac{d}{dT} \left(\frac{N\alpha_{\text{enh}}}{\epsilon_0} + \frac{Nm_0^2}{3\epsilon_0 kT} \right) = \\ &= \frac{\alpha_{\text{enh}}}{\epsilon_0} \frac{dN}{dT} + \frac{m_0^2}{3\epsilon_0 kT} \frac{dN}{dT} + \frac{Nm_0^2}{3\epsilon_0 k} \frac{d}{dT} \left(\frac{1}{T} \right) \\ &= \frac{-N\alpha_{\text{enh}}}{\epsilon_0} \frac{1}{T} - \frac{Nm_0^2}{3\epsilon_0 kT} \frac{1}{T} - \frac{Nm_0^2}{3\epsilon_0 k} \left(\frac{1}{T^2} \right) = \\ &= -\frac{\epsilon-1}{T} - \frac{\epsilon-v^2}{T} \\ \operatorname{TK}_\epsilon &= \frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dT} = -\frac{\epsilon-1}{\epsilon \cdot T} - \frac{\epsilon-v^2}{\epsilon \cdot T} \end{aligned} \quad (3-38)$$

Do $\epsilon > 1$ và $\epsilon > v^2$ cho nên: $\operatorname{TK}_\epsilon < 0$, vì vậy hằng số điện môi khí cực tính giảm khi nhiệt độ tăng.

3.6. HẰNG SỐ ĐIỆN MÔI CỦA ĐIỆN MÔI LỎNG

Do đặc điểm cấu tạo phân tử, điện môi lỏng được phân thành hai nhóm: điện môi lỏng trung tính (dầu máy biến áp, dầu tụ điện, benzen, toluene v.v...) và điện môi lỏng cực tính (ví dụ: dầu thầu dầu, sôvôn, xôvton v.v...)

3.6.1. Hằng số điện môi của điện môi lỏng trung tính

Điện môi lỏng trung tính được đặc trưng bởi loại phân cực đó là phân cực điện tử nhanh (α_{enh}). Do vậy, hằng số điện môi của chất lỏng trung tính không lớn lắm (khoảng từ 2÷2,5) và gần bằng bình phương hệ số khúc xạ ánh sáng:

$$\epsilon \approx n^2.$$

Khi tính hằng số điện môi của điện môi lỏng trung tính chúng ta sử dụng phương trình Claudiút – Môxôtchi:

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{N\alpha_{\text{enh}}}{3\epsilon_0} \quad (3-39)$$

Hằng số điện môi lỏng trung tính phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ (không bị ảnh hưởng của áp suất như chất khí). Khi nhiệt độ tăng điện môi lỏng có sự giãn nở nhiệt, khoảng cách giữa các phân tử tăng lên, mật độ phân tử giảm xuống, do vậy, hằng số điện môi cũng giảm. Để xét sự thay đổi của hằng số điện môi, ta tính hệ số nhiệt TK_ϵ của điện môi đó: $TK_\epsilon = \frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dT}$

Trước tiên ta tính đạo hàm vế trái và vế phải của phương trình (3-39) theo nhiệt độ:

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right) = \frac{d}{d\epsilon} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right) \frac{d\epsilon}{dT} = \frac{3}{(\epsilon + 2)^2} \frac{d\epsilon}{dT} \quad (3-40)$$

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{N\alpha_{\text{enh}}}{3\epsilon_0} \right) = \frac{\alpha_{\text{enh}}}{3\epsilon_0} \frac{dN}{dT} = \frac{N\alpha_{\text{enh}}}{3\epsilon_0} \frac{1}{N} \frac{dN}{dT} = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} TK_N \quad (3-41)$$

Trong đó: $TK_N = \frac{1}{N} \frac{dN}{dT}$ - đây là hệ số nhiệt của mật độ phân tử. Hệ số này

tương đương với hệ số nhiệt của thể tích $TK_V = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT}$, song có dấu ngược lại. Bởi vì, khi nhiệt độ tăng thể tích điện môi lỏng sẽ tăng lên ($TK_V > 0$), nhưng mật độ phân tử lại giảm đi ($TK_N < 0$). Do vậy ta có:

$$TK_N = -TK_V \quad (TK_V > 0)$$

Từ (3-40) và (3-41) ta có:

$$\frac{d\varepsilon}{dT} = \frac{-(\varepsilon - 1)(\varepsilon + 2)}{3} TK_v$$

Suy ra:

$$TK_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dT} = \frac{-(\varepsilon - 1)(\varepsilon + 2)}{3\varepsilon} TK_v \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]; \quad (3-41)$$

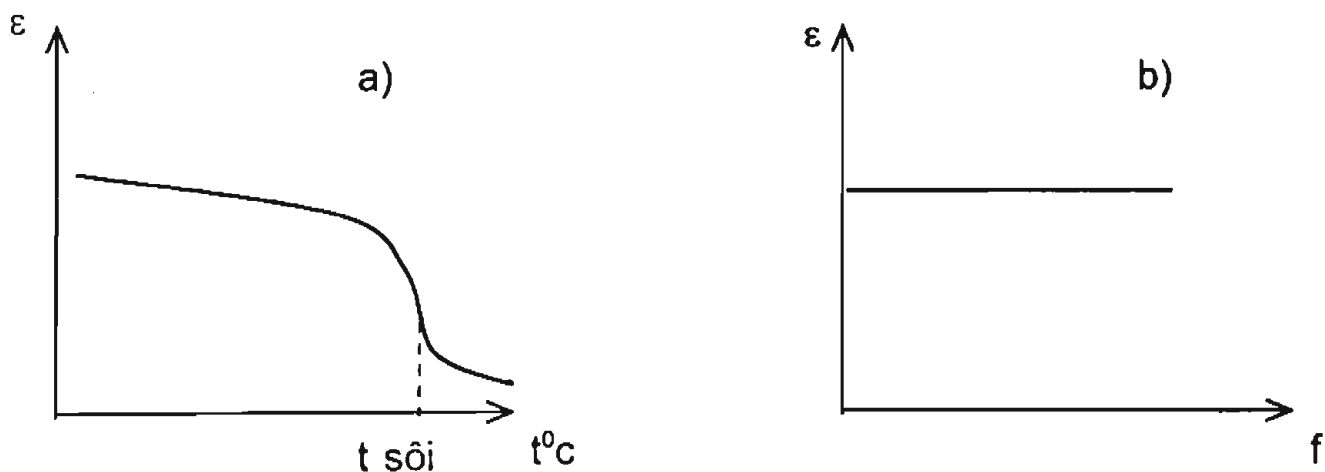
Từ kết quả trên (3-41) ta có $TK_\varepsilon < 0$ nên hằng số điện môi lỏng trung tính giảm đi khi nhiệt độ tăng.

Trong bảng (3-5) đưa ra số liệu hằng số điện môi TK_ε và TK_v của một số chất lỏng trung tính và cực tính yếu.

Bảng 3.5. Hằng số điện môi của các chất lỏng trung tính và cực tính yếu

Tên chất lỏng	v^2	ε	$TK_\varepsilon, \text{độ}^{-1}$	$TK_v, \text{độ}^{-1}$
Ben zen	2,25	2,218	$-0,93 \cdot 10^{-3}$	$1,24 \cdot 10^{-3}$
Toluen	2,25	2,294	$-1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,10 \cdot 10^{-3}$
Tetraclorua cacbon	2,135	2,163	$-0,91 \cdot 10^{-3}$	$1,227 \cdot 10^{-3}$

Quan hệ hằng số điện môi của chất lỏng trung tính với nhiệt độ và tần số được biểu diễn trên hình 3-10. Qua hình vẽ ta thấy hằng số điện môi lỏng trung tính không phụ thuộc vào tần số. Do vậy, điện môi lỏng trung tính có thể sử dụng ở bất kỳ tần số nào.



Hình 3-10. Quan hệ giữa hằng số điện môi của chất lỏng trung tính với nhiệt độ (a) và tần số (b).

3.6.2. Hằng số điện môi của điện môi lỏng cực tính

Chất lỏng cực tính có hai dạng phân cực đó là phân cực điện tử nhanh α_{enh} và phân cực lưỡng cực α_{cc} . Phân cực lưỡng cực đóng vai trò quan trọng và có trị số lớn khi chất lỏng đó là chất cực tính mạnh. Do đó việc tính hằng số điện môi theo phương trình Claudiút-Môxótchi không còn phù hợp nữa vì $E_3 \neq 0$.

Có nhiều thuyết đưa ra để tính hằng số điện môi ϵ của các điện môi cực tính, ví dụ Debai, Onsajer, Kirvút v.v...

* Theo Debai ta có công thức:

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{4\pi N}{3} \left[\alpha_{\text{enh}} + \frac{m_o^2}{3kT} \cdot R(x) \right]; \quad (3-42)$$

Trong đó: $R(x) = 1 - L^2\left(\frac{MF}{kT}\right)$. Với $L\left(\frac{MF}{kT}\right)$ là hàm Lăngieven cho quan hệ tính lực tương tác của các mômen lưỡng cực dưới tác dụng của điện trường E.

* Onsajer đã tính ϵ của chất lỏng theo công thức sau:

$$\frac{(\epsilon - v^2)(2\epsilon + v^2)}{\epsilon(v^2 + 2)^2} = \frac{4}{3} \pi N \cdot \frac{m_o^2}{3kT} \quad (3-43)$$

* Còn Kirvút đã đưa ra công thức tính ϵ ở dạng sau:

$$\frac{(\epsilon - 1)(2\epsilon + 1)}{9\epsilon} = \frac{4}{3} \pi N \cdot \left(\alpha + \frac{m_o^2}{3kT} \cdot G \right) \quad (3-44)$$

Trong đó: G- là hệ số cấu trúc.

Nói chung việc tính ϵ của chất lỏng cực tính rất phức tạp. Mỗi công thức của các tác giả nêu ở trên đều đưa ra các lý lẽ và giả thiết, nên hằng số điện môi tính theo các công thức đó có tính chất gần đúng. Vì vậy, khi tính hằng số điện môi của các điện môi cực tính ta vẫn sử dụng phương trình Claudiút-Môxótchi:

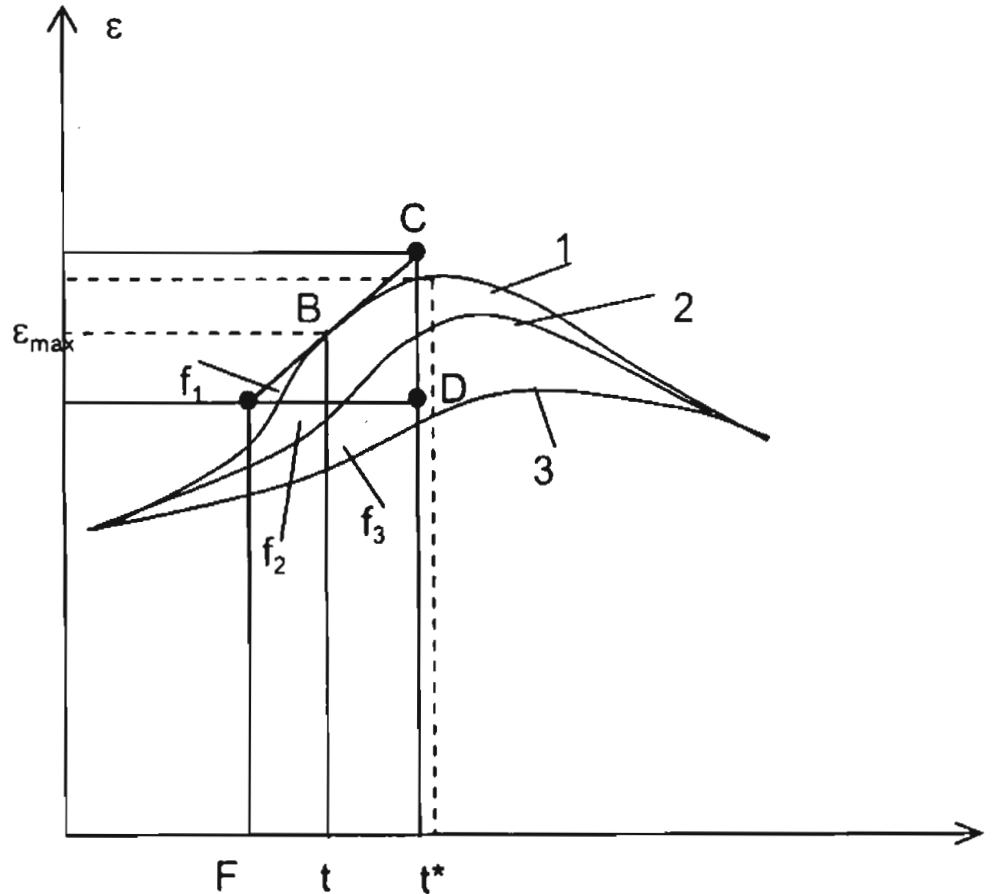
$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{N}{3\epsilon_o} \left(\alpha_{\text{enh}} + \frac{m_o^2}{3kT} \right) \quad (3-45)$$

Các chất lỏng cực tính có hằng số điện môi càng lớn khi trị số mômen lưỡng cực lớn và khi mật độ phân tử cao. Do vậy, các chất lỏng cực tính mạnh có giá trị hằng số điện môi rất cao, ví dụ: nước, rượu êtilíc... nên không thể ứng dụng trong thực tế để làm điện môi do độ dẫn điện của chúng lớn.

Hằng số điện môi của các điện môi cực tính phụ thuộc nhiều vào tần số và nhiệt độ. Trên hình 3-11 cho ta khái niệm về quan hệ của hằng số điện môi theo nhiệt độ đo ở các tần số khác nhau: ($f_1 < f_2 < f_3$).

Theo hình vẽ (đường 1 đo ở tần số f_1), ta thấy: khi nhiệt độ tăng, lực liên kết giữa các phân tử chất lỏng giảm (do có sự dãn nở nhiệt) nên sự xoay hướng của các phân tử lưỡng cực dễ dàng hơn. Do vậy, hằng số điện môi sẽ tăng lên. Nhưng khi ở nhiệt độ cao, chuyển động nhiệt của phân tử lớn sẽ làm cản trở sự xoay hướng của các phân tử lưỡng cực, do đó hằng số điện môi sẽ giảm xuống. Đồ thị quan hệ giữa ϵ với nhiệt độ đạt trị số cực đại (ϵ_{max}) ở một nhiệt độ (t_*) nào đó. Khi sử dụng điện môi lỏng cực tính cần phải tránh vùng nhiệt độ lân cận (t_*), vì ở đó có hằng số điện môi lớn và điện dẫn cao.

Trị số TK_ϵ ở các nhiệt độ khác nhau thường được tìm bằng phương pháp vi phân đồ thị của đường cong $\epsilon = f(t')$ (khi $f = \text{const}$). Để xác định TK_ϵ ở nhiệt độ t và tần số f_1 , ta vẽ tiếp tuyến với đường cong tại điểm B đang xét và lấy đường thẳng này làm cạnh huyền, dựng tam giác vuông có kích thước bất kỳ ACD. Khi tính TK_ϵ cần phải tính đến tỷ lệ xích theo trục nhiệt độ (M_t). Trị số tìm được sẽ tính bằng công thức sau:

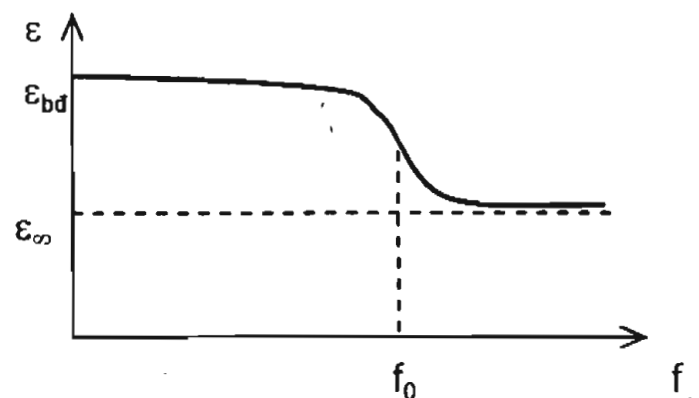


Hình 3-11. Quan hệ giữa $\epsilon = f(t')$ với $f_1 < f_2 < f_3$.

$$TK_\epsilon = \frac{1}{\epsilon} \frac{\Delta\epsilon}{\Delta T} = \frac{1}{BF} \cdot \frac{CD}{AD \cdot M_t} \quad (3-46)$$

Tần số của điện trường sẽ làm thay đổi trị số ϵ của chất lỏng lưỡng cực. Trên hình 3-12 biểu thị quan hệ của ϵ theo tần số đối với chất lỏng cực tính.

Khi tần số thấp, các lưỡng cực xoay kịp theo hướng của điện trường, các phân cực có thể xảy ra



Hình 3-12. Quan hệ của hằng số điện môi với

trộn vụn nên hằng số điện môi ϵ có trị số lớn và gần bằng hằng số điện môi khi đo ở điện áp một chiều (ϵ_{td}). Nhưng khi tần số tăng cao, các phân tử cực tính không kịp định hướng theo sự biến đổi của trường, phân cực xảy ra không trọn vẹn, hằng số điện môi giảm và tiến đến trị số ϵ_{∞} (ϵ_{∞} - hằng số điện môi đo ở tần số cao vô cùng (∞)). Khi đó chỉ còn tồn tại phân cực điện tử nhanh ($\epsilon_{\infty} \approx v^2$).

Tần số f_0 khi ϵ bắt đầu giảm (hình 3-12) có thể biểu thị bằng công thức:

$$f_0 = \frac{kT}{8\pi^2 \eta r^3} \tag{3-47}$$

trong đó: η - độ nhớt; r - bán kính phân tử điện môi lỏng.

Thời gian phân cực của phân tử τ_0 liên quan tới tần số f_0 tính bằng tỷ số sau đây:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\tau_0} \tag{3-48}$$

Sự phụ thuộc của hằng số điện môi ϵ với cả tần số và nhiệt độ biểu diễn trên hình 3-11. Qua hình vẽ ta thấy hằng số điện môi cực đại giảm đi khi tần số tăng và khi ở nhiệt độ cao hơn. Điều đó nói lên muốn có phân cực trọn vẹn cần phải tăng nhiệt độ để giảm lực liên kết giữa các phân tử và khi đó các phân tử cực tính kịp xoay theo tần số của điện trường.

Hằng số điện môi của chất lỏng cực tính cao hơn nhiều so với chất lỏng trung tính. Trong bảng 3-6 nêu ra trị số ϵ của một số điện môi lỏng cực tính yếu dùng trong kỹ thuật điện.

Bảng 3.6: Hằng số điện môi của các điện môi lỏng cực tính

Tên chất lỏng	ϵ ở $t = 20^\circ\text{C}$ và $f = 50\text{Hz}$
Thầu dầu	4,5
xô vôn	5,0
xôvtôn	3,2

3.7. HẰNG SỐ ĐIỆN MÔI CỦA ĐIỆN MÔI RẮN

Hằng số điện môi của điện môi rắn có trị số khác nhau do đặc điểm cấu tạo đa dạng về cấu trúc và thành phần. Điện môi rắn phân thành một số nhóm cơ bản để xét hằng số điện môi của chúng.

3.7.1. Hằng số điện môi các chất rắn trung tính.

Trong các điện môi rắn trung tính (kim cương, băng phiến, lưu huỳnh, paraffin, poliêtilen, polistirol v.v...) chỉ tồn tại phân cực điện tử nhanh ($\alpha = \alpha_{\text{enh}}$). Do vậy, hằng số điện môi rắn trung tính có trị số bằng bình phương hệ số khúc xạ ánh sáng: $\epsilon = v^2$. Để tính hằng số điện môi rắn trung tính ta sử dụng phương trình Claudiút-Môxốtchi:

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{N\alpha_{\text{enh}}}{3\epsilon_0} \quad (3-49)$$

Theo phương trình (3-49) ta thấy: quan hệ hằng số điện môi của điện môi rắn trung tính theo nhiệt độ được xác định bởi sự biến đổi số phân tử trong đơn vị thể tích (N). Để xét mối quan hệ này ta tính $TK_\epsilon = \frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dT}$, bằng cách tính đạo hàm về trái và về phải của phương trình (3-49):

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right) = \frac{d}{d\epsilon} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right) \frac{d\epsilon}{dT} = \frac{3}{(\epsilon + 2)^2} \frac{d\epsilon}{dT} \quad (3-50)$$

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{N\alpha_{\text{enh}}}{3\epsilon_0} \right) = \frac{\alpha_{\text{enh}}}{3\epsilon_0} \frac{N}{N} \frac{dN}{dT} = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} TK_N = -\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} TK_v \quad (3-51)$$

Từ (3-50) và (3-51) ta có:

$$\frac{d\epsilon}{dT} = \frac{-(\epsilon - 1)(\epsilon + 2)}{3} TK_v \text{ với } TK_v > 0$$

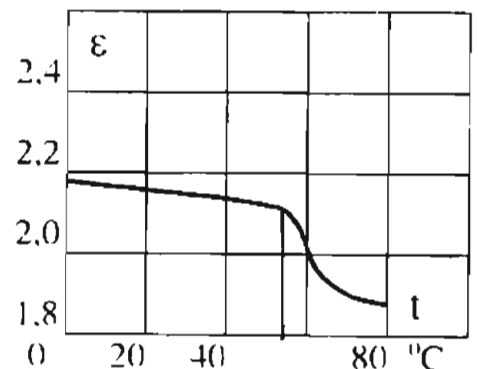
Suy ra:

$$TK_v = \frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dT} = \frac{-(\epsilon - 1)(\epsilon + 2)}{3\epsilon} TK_v < 0 \quad (3-52)$$

Hệ số nhiệt của hằng số điện môi có trị số âm ($TK_\epsilon < 0$), vì vậy hằng số điện môi của điện môi rắn trung tính giảm khi nhiệt độ tăng.

Trên hình 3-13 nêu ra quan hệ của ϵ theo nhiệt độ của parafin.

Cần chú ý rằng khi parafin chuyển từ trạng thái rắn sang trạng thái lỏng (nhiệt độ nóng chảy gần bằng 55°C), hằng số điện môi giảm mạnh do mật độ phân tử điện môi bị giảm.



Hình 3-13. Quan hệ $\epsilon = f(t)$ của parafin.

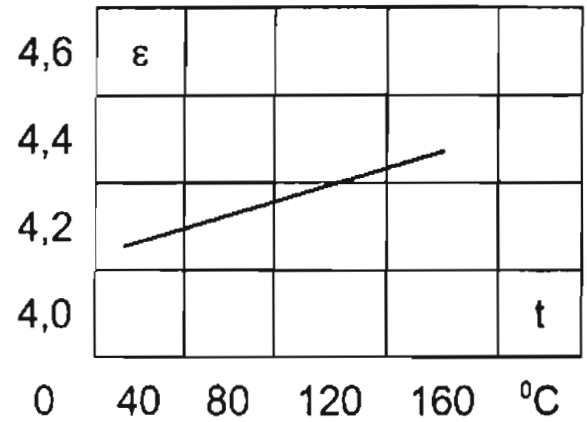
Trong bảng 3-7, nêu ra giá trị hằng số điện môi của một số loại điện môi rắn trung tính khi ở nhiệt độ $t = 20^{\circ}\text{C}$.

Bảng 3.7: Hằng số điện môi của một số điện môi rắn trung tính

Tên vật liệu	v	v^2	$\epsilon (t = 20^{\circ}\text{C}, f = 50\text{Hz})$
Parafin	1,43	2,06	1,9 ÷ 2,2
Polistirol	1,55	2,40	2,4 ÷ 2,6
Lưu huỳnh	1,92	3,69	3,6 ÷ 4,0
Kim cương	2,40	5,76	5,6 ÷ 5,8

3.7.2. Hằng số điện môi của điện môi rắn có kết cấu tinh thể ion

Trong điện môi rắn kết cấu tinh thể ion là liên kết mạnh (chặt chẽ) có phân cực điện tử nhanh và ion nhanh với hằng số điện môi nằm trong phạm vi rộng. Hệ số nhiệt của hằng số điện môi các chất này trong nhiều trường hợp có giá trị dương với lý do: khi nhiệt độ tăng không phải chỉ có mật độ phân tử giảm mà còn xảy ra hiện tượng tăng khả năng phân cực của các ion, ảnh hưởng tăng này mạnh hơn nhiều so với sự giảm mật độ. Trường hợp ngoại lệ là các tinh thể chứa ion titan như rutin (TiO_2) và một số titanat với hệ số nhiệt của hằng số điện môi âm. Hệ số nhiệt TK_ϵ của các tinh thể này âm vì sự phân cực điện tử nhanh trội hơn, đồng thời nó lại được tăng cường nhờ ảnh hưởng của từ trường phụ bên trong khi có sự chuyển dịch ion.



Hình 3-14. Quan hệ $\epsilon = f(t)$ của tinh thể KCl.

Trên hình 3-14 nêu ra đặc điểm quan hệ của ϵ theo nhiệt độ đối với tinh thể ion KCl trong trường hợp $\text{TK}_\epsilon > 0$.

Trong bảng 3-8 đưa ra số liệu hằng số điện môi và hệ số nhiệt của hằng số điện môi của một số chất có kết cấu tinh thể ion khi ở nhiệt độ 20°C .

Bảng 3.8: Trị số ϵ và TK_ϵ của các tinh thể ion

Tên gọi tinh thể		ϵ	$TK_\epsilon, \text{độ}^{-1}$
TK_ϵ dương	Muối mỏ (NaCl)...	6	$+ 150 \cdot 10^{-6}$
	Cư-ng ngọc (Al_2O_3)...	10	$+ 100 \cdot 10^{-6}$
TK_ϵ âm	Rutin (TiO_2)	110	$- 750 \cdot 10^{-6}$
	Canxi titanat ($CaO.TiO_2$)	150	$- 1500 \cdot 10^{-6}$

Đối với những điện môi rắn có kết cấu tinh thể ion không chặt chẽ (liên kết yếu), ngoài phân cực điện tử và ion nhanh còn có phân cực ion chậm. Trong nhiều trường hợp các chất này có hằng số điện môi không cao, nhưng hệ số nhiệt dương và có trị số lớn. Ví dụ, sứ cao áp có quan hệ ϵ với nhiệt độ biểu diễn trên hình 3-15.

3.7.3. Hằng số điện môi của thủy tinh vô cơ

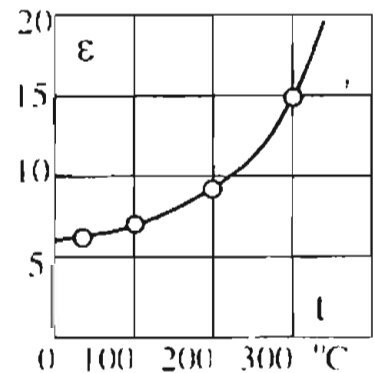
Hằng số điện môi của thủy tinh vô cơ nằm trong phạm vi tương đối hẹp vào khoảng từ 4 đến 20 tùy thuộc vào thành phần và kết cấu do công nghệ gia công tạo nên. Với cùng một thành phần, nhưng công nghệ đóng rắn nhanh hay chậm làm cho kết cấu tinh thể thủy tinh khác nhau nên hằng số điện môi cũng khác nhau.

Trong vật liệu thủy tinh sạch tồn tại hai loại phân cực: điện tử nhanh và ion nhanh. Nếu có chứa các ôxít kiềm ($Na_2O, K_2O \dots$) thì thủy tinh còn có thêm phân cực kết cấu cùng với 2 loại phân cực nói trên. Do vậy, ta có thể viết phương trình Claudiút-Môxốtchi để tính ϵ của thủy tinh như sau:

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{N}{3\epsilon_0} (\alpha_e + \alpha_i) \quad (3-53)$$

Một điều cần lưu ý là đối với thủy tinh và một số điện môi có cấu trúc vô định hình khác, hệ số phân cực α_i phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ $\alpha = f(t)$. Khi nhiệt độ tăng, khoảng cách giữa các ion tăng do đó hệ số phân cực α_i cũng tăng lên. Như vậy, khi tính hệ số nhiệt của hằng số điện môi cần phải biết và tính đến quan hệ của α_i với nhiệt độ. Cũng như các phần ở trên ta đã có:

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right) = \frac{3}{(\epsilon + 2)^2} \frac{d\epsilon}{dT}$$



Hình 3-15. Quan hệ $\epsilon = f(t)$ của sứ cách điện.

Ta cần tính đạo hàm phía bên phải theo nhiệt độ của (3-51):

$$\begin{aligned} \frac{d}{dT} \left[\frac{N}{3\epsilon_0} (\alpha_e + \alpha_i) \right] &= \frac{\alpha_e}{3\epsilon_0} \frac{N}{N} \frac{dN}{dT} + \frac{\alpha_i}{3\epsilon_0} \frac{N}{N} \frac{dN}{dT} + \frac{N}{3\epsilon_0} \frac{d\alpha_i}{dT} = \\ &= \frac{N(\alpha_e + \alpha_i)}{3\epsilon_0} \frac{1}{N} \frac{dN}{dT} + \frac{N}{3\epsilon_0} \frac{d\alpha_i}{dT} = \\ &= \frac{-(\epsilon - 1)}{\epsilon + 2} TK_v + \frac{N}{3\epsilon_0} \frac{d\alpha_i}{dT} \end{aligned}$$

Suy ra:

$$TK_\epsilon = \frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dT} = -\frac{(\epsilon - 1)(\epsilon + 2)}{3\epsilon} + \frac{N(\epsilon + 2)}{9\epsilon\epsilon_0} \frac{d\alpha_i}{dT} \quad (3-54)$$

Quan hệ giữa ϵ của thuỷ tinh với nhiệt độ được biểu diễn trên hình 3-16. Ở vùng nhiệt độ thấp $t < t_c$ (t_c – là nhiệt độ thuỷ tinh hoá hay còn gọi là nhiệt độ nóng chảy), hằng số điện môi tăng lên khi nhiệt độ tăng. Tại gần nhiệt độ t_c thuỷ tinh bị thay đổi cấu trúc biến đổi thành chất lỏng, nên hằng số điện môi đạt cực đại và có trị số rất lớn tới hàng nghìn.

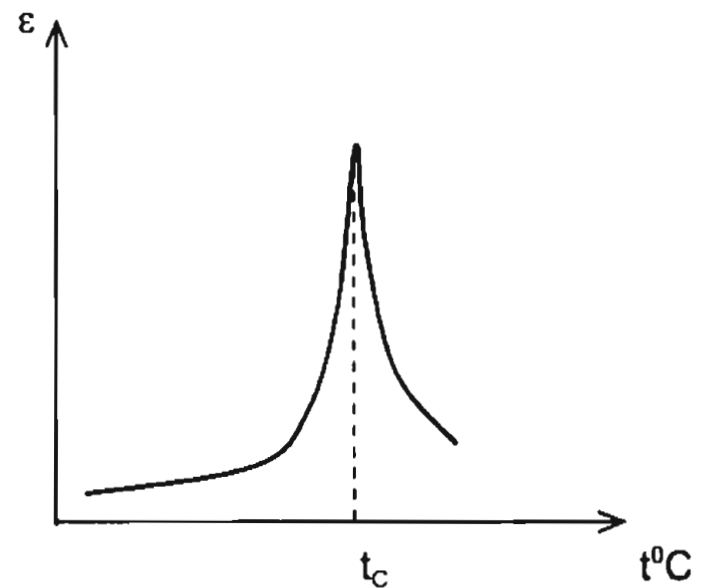
Khi $t > t_c$ nhiệt độ cao chuyển động nhiệt rất mạnh làm thay đổi cấu trúc phân tử và cản trở sự phân cực nên hằng số điện môi giảm nhanh.

TK_ϵ của các thuỷ tinh chứa ôxít kiềm tăng nhanh và đạt giá trị lớn: $(500 \div 1000) \cdot 10^{-6}$ (độ⁻¹).

Trị số của hằng số điện môi thuỷ tinh vô cơ cho ở bảng (3-9).

Bảng 3.9: Hằng số điện môi thuỷ tinh vô cơ

Tên gọi các thuỷ tinh vô cơ	ϵ
Thạch anh nóng chảy	4,5
Thuỷ tinh kiềm	6,6
Thuỷ tinh barit	10,0

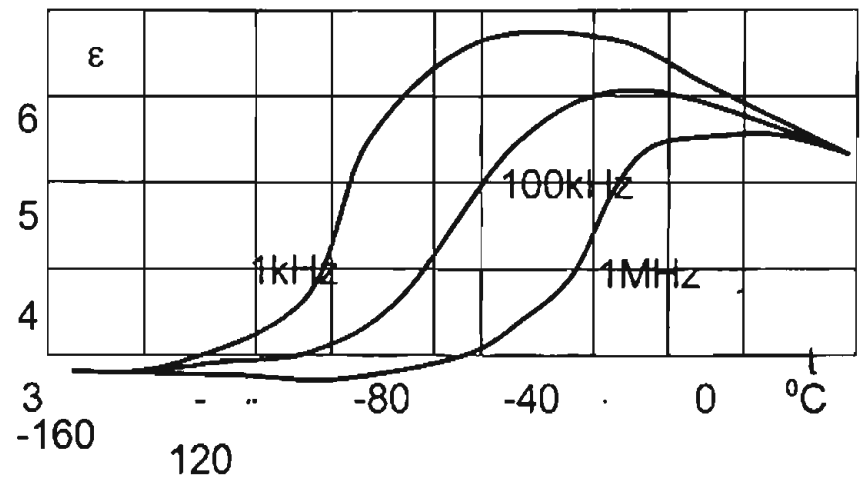


Hình 3-16. Quan hệ $\epsilon = f(t)$ của thuỷ tinh.

3.7.4 Hằng số điện môi của điện môi rắn hữu cơ cực tính

Điện môi rắn hữu cơ cực tính bao gồm xenlulô và các sản phẩm của nó như: giấy, bông, vải, sợi, bìa cátton v.v... Ngoài ra còn có các chất nhựa hữu cơ được trùng hợp có các phân tử cực tính như êpôcxì, nhựa phênol fôcmandêhyt, galovac v.v...

Trong các điện môi rắn hữu cơ cực tính, ngoài phân cực điện tử nhanh còn có phân cực lưỡng cực chậm. Hằng số điện môi của các vật liệu này phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ và tần số của điện trường theo quy luật giống như ở các chất lỏng cực tính. Do vậy khi sử dụng các điện môi rắn cực tính trong điều kiện nhiệt độ và tần số thay đổi cần lưu ý tính toán cho phù hợp, nếu không điện môi sẽ bị phá huỷ.



Hình 3-17. Quan hệ $\epsilon = f(t, f)$ của sáp galovac.

Trên hình 3-17 trình bày quan hệ của ϵ theo nhiệt độ và tần số đối với sáp galovac.

Trong bảng 3-10 có đưa ra giá trị hằng số điện môi của một số điện môi cực tính.

Bảng 3.10: Hằng số điện môi của điện môi cực tính

Tên điện môi rắn	ϵ
- Nhựa phênolfôcmandêlhyt	4,5
- Sáp galovac	5,0
- Xenlulô	6,5
- Êpôcxì	3 ÷ 4
- Silic hữu cơ	3 ÷ 5

3.7.5. Hằng số điện môi của các điện môi xécnhét (có từ tính)

Điện môi xécnhét bao gồm: muối xécnhét $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, titanat bari BaTiO_3 , phôt phát kali axít KH_2PO_4 và các chất khác. Đặc điểm nổi bật của điện môi xécnhét là hiện tượng điện trễ (cảm ứng điện biến đổi chậm sau cường độ điện

trường). Do có kết cấu tinh thể ion, cho nên trong các chất này có các loại phân cực đặc trưng là phân cực điện tử và ion nhanh, phân cực điện tử và ion chậm, phân cực tự phát.

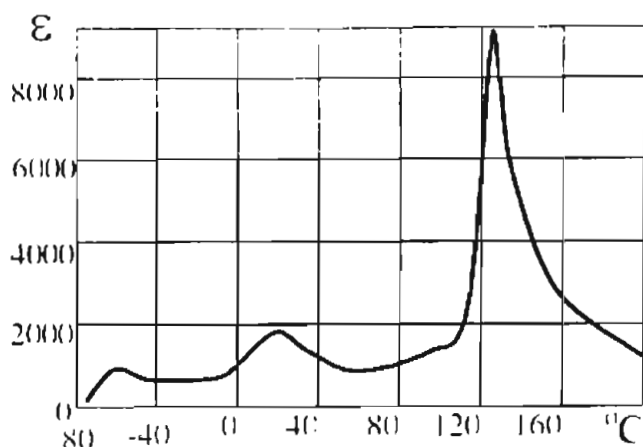
Hằng số điện môi của điện môi xécnhét nằm trong dải rất rộng từ vài đơn vị cho đến hàng trăm, nó phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ và cường độ điện trường.

Trên hình 3-18 nêu ra quan hệ của ϵ theo nhiệt độ của gốm titanát bari: Từ hình vẽ ta thấy có một số điểm cực đại ngay cả ở nhiệt độ thấp. Điều đó nói lên cấu trúc tinh thể ion thay đổi khi nhiệt độ thay đổi.

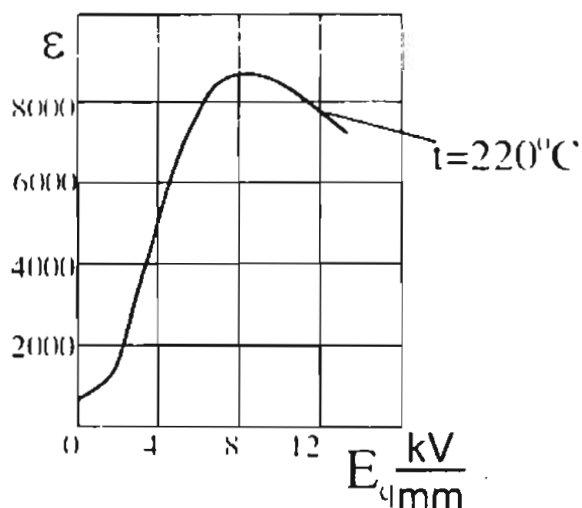
Nhiệt độ mà ở đó ϵ đạt trị số cực đại được gọi là điểm Quyri. Trong miền nhiệt độ cao hơn điểm Quyri, thuộc tính xécnhéc của vật liệu không còn, đặc biệt là ϵ không phụ thuộc vào cường độ điện trường nữa.

Trên hình 3-19 trình bày quan hệ ϵ với cường độ điện trường E của gốm xécnhét.

Trong bảng 3-11 nêu ra các giá trị hằng số điện môi của các điện môi xécnhét. Trong điện môi xécnhét có hiện tượng già hoá điện, biểu hiện ở hằng số điện môi giảm theo thời gian. Nguyên nhân của hiện tượng này có thể là do sự phân nhóm lại của các đômen. Đặc biệt ở điện môi xécnhét khi nhiệt độ gần điểm Quyri ta thấy hằng số điện môi biến đổi mạnh theo thời gian. Khi điện môi xécnhéc bị đốt nóng tới nhiệt độ cao hơn điểm Quyri, hằng số điện môi trở lại trị số bình thường. Có thể hồi phục hằng số điện môi bằng cách tác động vào điện môi xécnhét một điện trường có cường độ cao.



Hình 3-18. Quan hệ $\epsilon = f(t)$ của $BaTiO_3$.



Hình 3-19. Quan hệ $\epsilon = f(E)$ xécnhét.

Bảng 3.11: Trị số ϵ của điện môi xécnhét ở $t = 20^\circ\text{C}$ trong điện trường yếu

Tên vật liệu	ϵ
- Muối xécnhét	500 ÷ 600
- Titanat Bari BaTiO_3	1000 ÷ 1500
- Titanat Bari có thêm chất phụ	7000 ÷ 9000

3.7.6. Hằng số điện môi của tổ hợp các cách điện rắn

Trong thực tế kỹ thuật điện thường gặp tổ hợp cách điện của các chất cách điện khác nhau. Một bài toán đặt ra là cần xác định hằng số điện môi của *tổ hợp các cách điện*, khi biết hằng số điện môi và tỷ lệ tương đối của các điện môi thành phần.

Lixteniker đã đưa ra công thức tính hằng số điện môi ϵ của tổ hợp cách điện gồm hai chất với hằng số điện môi là ϵ_1 và ϵ_2 , tỷ lệ tương đối của thành phần tương ứng là x_1 và x_2 với điều kiện là $x_1 + x_2 = 1$. Trong trường hợp tổng quát, tổ hợp cách điện có n chất điện môi khác nhau thì ta tiến hành tính toán ϵ cho các cặp hai chất một (1,2), rồi lại tính tiếp các cặp (1+2+3) v.v... cho đến n chất.

Công thức tổng quát để tính ϵ của tổ hợp hai cách điện như sau:

$$\epsilon^k = x_1 \cdot \epsilon_1^k + x_2 \cdot \epsilon_2^k \quad (3-55)$$

Trong đó:

ϵ_1, ϵ_2 - hằng số điện môi của các điện môi thành phần mà ta đã biết.

x_1, x_2 - Thế tích tương đối của các thành phần với : $x_1 + x_2 = 1$.

k - Là hệ số mũ nói lên đặc điểm sắp xếp của các thành phần.

Thực tế có thể xảy ra các trường hợp sau đây:

a) Nếu điện môi gồm 2 lớp đặt vuông góc với phương của điện trường (mắc song song hai tụ) thì: $k = -1$. Ta có:

$$\frac{1}{\epsilon} = \frac{x_1}{\epsilon_1} + \frac{x_2}{\epsilon_2} \quad (3-56)$$

b) Nếu hai điện môi đặt song song với phương của điện trường (mắc nối tiếp 2 tụ), thì $k = 1$. Ta có:

$$\epsilon = x_1 \cdot \epsilon_1 + x_2 \cdot \epsilon_2 \quad (3-57)$$

c) Nếu hai chất điện môi trộn đều vào với nhau thì k tiến dần tới “không” ($k \rightarrow 0$). Do $k \rightarrow 0$ nên có thể vi phân phương trình (3-55) ở trên, ta được:

$$\epsilon^{k-1} d\epsilon = x_1 \cdot \epsilon_1^{k-1} d\epsilon_1 + x_2 \cdot \epsilon_2^{k-1} d\epsilon_2$$

Vì $k \rightarrow 0$ nên có thể viết:

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = x_1 \frac{d\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + x_2 \frac{d\varepsilon_2}{\varepsilon_2}$$

Sau khi lấy tích phân ta được:

$$\ln \varepsilon = x_1 \cdot \ln \varepsilon_1 + x_2 \cdot \ln \varepsilon_2 \quad (3-58)$$

Như vậy, ta có thể tính được hằng số điện môi của tổ hợp hai chất điện môi theo các công thức (3-56), (3-57), (3-58) ứng với các trường hợp đã nêu ở trên.

Hệ số nhiệt của hằng số điện môi tổ hợp cách điện được xác định trên cơ sở vi phân phương trình (3-55) theo nhiệt độ:

$$\frac{1}{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dT} = \frac{x_1}{\varepsilon_1} \frac{d\varepsilon_1}{dT} + \frac{x_2}{\varepsilon_2} \frac{d\varepsilon_2}{dT}$$

Như vậy ta có:

$$TK_{\varepsilon} = X_1 \cdot TK_{\varepsilon_1} + X_2 \cdot TK_{\varepsilon_2} \quad (3-59)$$

Dựa vào công thức (3-59) ta có thể chỉ ra được quan hệ giữa ε của tổ hợp cách điện với nhiệt độ.

Chương IV

TỔN HAO TRONG ĐIỆN MÔI

4.1. KHÁI NIỆM VỀ TỔN HAO ĐIỆN MÔI

Khi điện trường tác động lên điện môi, trong điện môi xảy ra quá trình dịch chuyển các điện tích tự do và điện tích ràng buộc. Như vậy trong điện môi xuất hiện dòng điện dẫn và dòng điện phân cực, chúng tác động đến điện môi làm cho điện môi nóng lên, toả nhiệt và truyền nhiệt vào môi trường. Phần năng lượng nhiệt này không sinh ra công nên người ta thường gọi là *tổn hao điện môi*.

Tổn hao điện môi là phần năng lượng phát sinh ra trong điện môi, trong một đơn vị thời gian làm cho điện môi nóng lên khi có điện trường bên ngoài tác động.

Tổn hao năng lượng trong điện môi xảy ra dưới tác động của điện áp xoay chiều cũng như một chiều bởi vì trong vật liệu có dòng điện rò do điện dẫn gây ra. Khi ở điện áp một chiều trong điện môi không có sự phân cực theo chu kỳ, do đó năng lượng tiêu hao chỉ do dòng điện rò gây nên, nghĩa là chất lượng của vật liệu được xác định bằng điện trở suất của vật liệu đó. Nhưng với điện áp xoay chiều, ngoài dòng điện rò trong điện môi còn có dòng điện do phân cực gây nên, do đó ta phải dùng các đặc tính khác để xác định chất lượng vật liệu cách điện.

Có thể xác định trị số tổn hao điện môi trong vật liệu cách điện bằng giá trị công suất tản trong một đơn vị thể tích hoặc suất tổn hao điện môi.

Theo nguyên lý chung, tổn hao công suất trong vật mẫu hay trong bất kỳ khối vật liệu nào (với các điều kiện giống nhau) có trị số tỷ lệ với bình phương điện áp đặt vào vật thể.

Với nguồn điện áp một chiều đặt vào vật thể ta có công thức tính công suất tổn hao điện môi như sau:

$$P = R.I^2 = \frac{U^2}{R} \quad (4-1)$$

Trong đó: R- đo bằng ôm (Ω); I- ampe (A); U- vôn (V).

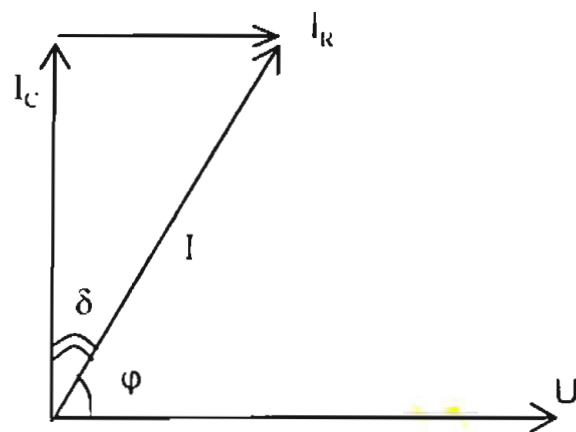
Khi điện áp xoay chiều với tần số $\omega = 2\pi f$, giữa dòng điện I và điện áp U có một góc lệch pha là φ (hình 4-1). Góc phụ với góc φ là góc δ ($\varphi + \delta = 90^\circ$) đồng thời cũng được gọi là góc tổn hao điện môi.

Tổn hao điện môi được tính như sau:

$$P = U.I.\cos \varphi = U.I_R = U.I_C.\text{tg}\delta = U.\frac{U}{X_C}.\text{tg}\delta = U^2.\omega.C.\text{tg}\delta.$$

Như vậy: $P = U^2.\omega.C.\text{tg}\delta.$ (4-2)

Trong trường hợp điện môi lý tưởng, vectơ dòng điện trong sơ đồ thay thế điện môi sẽ vượt trước vectơ điện áp một góc là 90° . Khi đó góc $\delta = 0$ và tổn hao điện môi $p = 0$, nghĩa là không sinh ra tổn hao điện môi. Công suất tiêu hao năng lượng để phát nhiệt càng lớn khi góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp càng bé. Để xác định khả năng phát tán năng lượng của điện môi trong điện trường, người ta thường dùng góc tổn hao điện môi δ và tang của góc đó ($\text{tg}\delta$) theo công thức (4-2).



Hình 4-1. Góc tổn hao điện môi δ .

Qua công thức ta thấy giá trị *tổn hao công suất tỷ lệ với $\text{tg}\delta$ khi tần số và điện áp không đổi*. Vì vậy, khi nghiên cứu tổn hao điện môi của điện môi nào đó người ta thường đo *góc δ hay $\text{tg}\delta$* để xác định tính chất của vật liệu. Giá trị $\text{tg}\delta$ có thể xác định bằng các công thức sau:

$$\text{tg}\delta = \frac{I_R}{I_C} \tag{4-3}$$

hay: $\text{tg}\delta = \frac{P}{Q}$ (4-4)

Với: Q - là công suất phản kháng.

Nếu so sánh hai loại điện môi có cùng kích thước với cùng kích thước điện cực thì chịu tác động cùng một giá trị điện áp, ta nhận được tỷ số công suất tổn hao năng lượng của hai loại điện môi đó như sau:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{U^2\omega C_1\text{tg}\delta_1}{U^2\omega C_2\text{tg}\delta_2} = \frac{C_0\varepsilon_1\text{tg}\delta_1}{C_0\varepsilon_2\text{tg}\delta_2} = \frac{\varepsilon_1\text{tg}\delta_1}{\varepsilon_2\text{tg}\delta_2}$$

Tổn hao điện môi thường có quan hệ với hằng số điện môi ε và $\text{tg}\delta$ của chất đó. Trị số của tích số $\varepsilon.\text{tg}\delta$ người ta gọi là *hệ số tổn hao điện môi*:

$$\varepsilon' = \varepsilon.\text{tg}\delta \tag{4-5}$$

Hệ số tổn hao điện môi ε' cho ta khái niệm chính xác hơn khả năng phát nhiệt của điện môi so với $tg\delta$, vì ε' cho biết khả năng phân cực của điện môi (ε) và giá trị tổn hao điện môi ($tg\delta$).

Khi điện môi có tổn hao điện môi lớn thì nhiệt độ phát nóng trong điện môi tăng dần lên, đến một lúc nào đó vượt quá mức cho phép sẽ làm cho điện môi bị phân hủy nhiệt và điện môi bị mất tính chất cách điện, mà ta gọi là **phóng điện do nhiệt gây nên**.

Nếu điện áp đặt lên điện môi không đủ lớn để tạo nên độ nóng quá mức cho phép do tổn hao điện môi gây ra thì trong trường hợp này tổn thất điện môi vẫn đưa đến những tác hại nghiêm trọng, ví dụ làm tăng điện dẫn của điện môi, các tham số của vật liệu thay đổi, sơ đồ mạch điện cũng thay đổi.

Do tổn hao điện môi liên quan trực tiếp tới sự phân cực điện môi, nên có thể xét tổn hao điện môi theo mối quan hệ giữa điện tích Q trên cực của tụ điện với điện áp tác dụng U (h.4-2). Khi tổn hao điện môi không phải do hiện tượng phân cực gây nên, điện tích phụ thuộc vào điện áp theo quan hệ đường thẳng (hình 4-2a). Trong trường hợp này thường xảy ra trong các điện môi trung tính có phân cực nhanh và không sinh ra tổn hao điện môi.

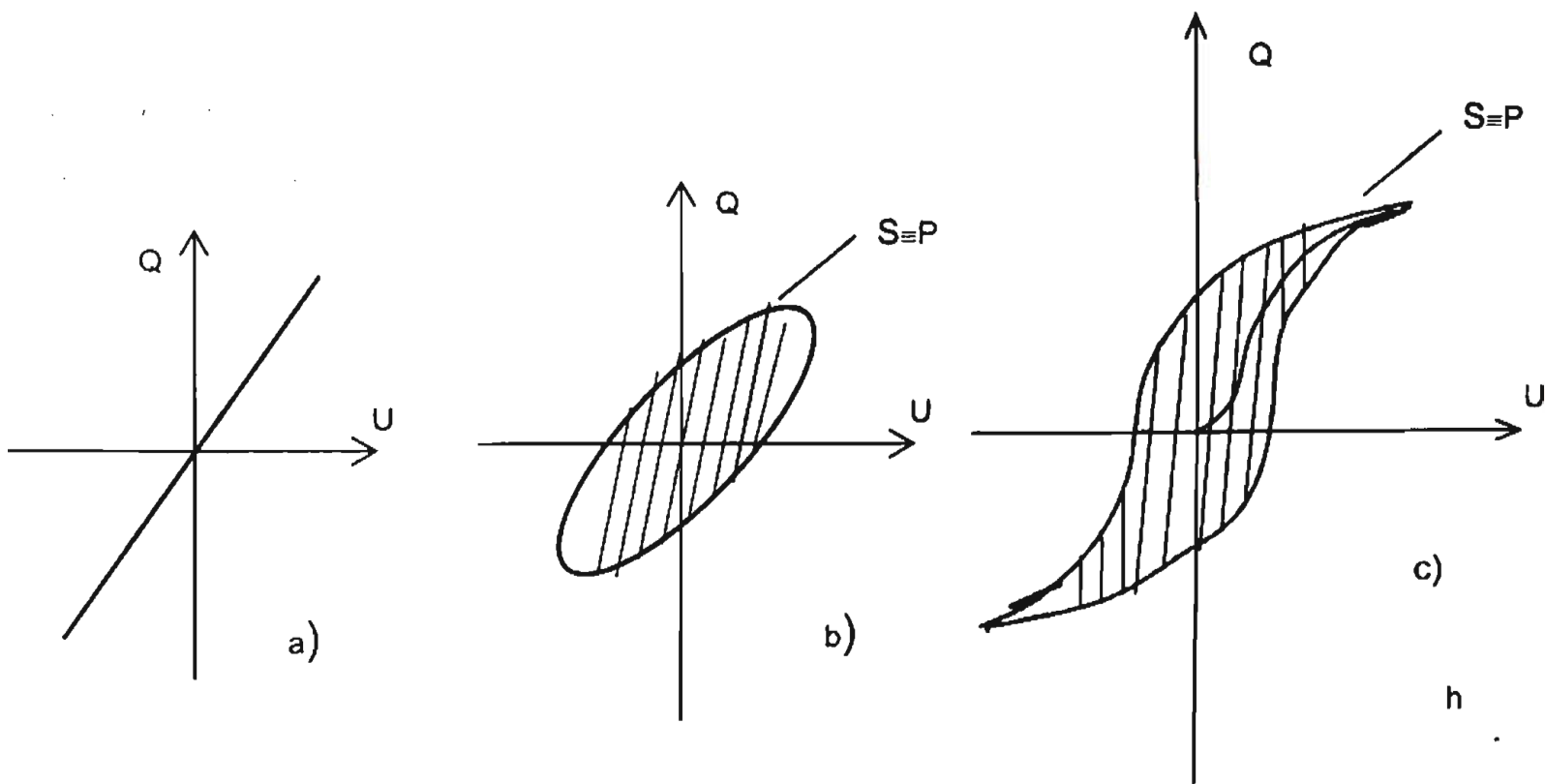
Nếu trong điện môi có hiện tượng phân cực chậm liên quan với tổn thất năng lượng thì đường cong quan hệ điện tích theo điện áp có dạng hình elíp (hình 4-2b). Diện tích của hình elíp (S) tỷ lệ với năng lượng tiêu tổn trong điện môi, trong một chu kỳ biến đổi điện áp (P): $S \equiv P$.

Trong trường hợp điện môi xécnhét, đường cong quan hệ điện tích theo điện áp có dạng đường cong từ trễ ở vật liệu từ (hình 4-2c). Trong trường hợp này, diện tích của chu trình tỷ lệ với tổn thất năng lượng trong một chu kỳ ($S \equiv P$).

Khi xác định tổn hao điện môi của một mẫu vật liệu, trong thực tế thường xác định điện tích S của quan hệ giữa Q và U , sau đó so sánh với tổn hao của một vật mẫu.

Trong các vật liệu cách điện dùng trong thực tế, ngoài tổn thất do dòng điện rò và phân cực chậm còn xuất hiện các tổn hao khác làm ảnh hưởng đến các tính chất cách điện của điện môi. Các tổn hao điện môi này gây nên do sự tồn tại các tạp chất, bán dẫn, các ôxít sắt, cacbon, hơi ẩm v.v... trong điện môi. Chỉ với một hàm lượng nhỏ cũng có thể gây nên tổn hao điện môi lớn. Do vậy, trong quá trình công nghệ sản xuất vật liệu cần phải giữ đúng quy trình hạn chế tới mức thấp nhất sự tồn tại tạp chất trong vật liệu.

Ở điện áp cao khi vật liệu có chứa các bọt khí, tổn hao điện môi còn do sự ion hoá các chất khí. Sự ion hoá này càng mãnh liệt khi ở điện áp cao và tần số cao. Do vậy, khi chế tạo thiết bị điện áp cần phải loại trừ các bọt khí bên trong vật liệu cách điện.



Hình 4-2. Quan hệ $Q = f(U)$:

a) Điện môi không có tổn hao; b) Điện môi cực tính; c) Điện môi xét nhét.

4.2. CÁC DẠNG TỔN HAO TRONG ĐIỆN MÔI

Theo đặc điểm và bản chất vật lý có thể chia tổn hao điện môi thành bốn dạng chính sau đây;

- 1 - Tổn hao điện môi do dòng điện rò;
- 2 - Tổn hao điện môi do phân cực;
- 3 - Tổn hao điện môi do ion hoá;
- 4 - Tổn hao điện môi do cấu tạo không đồng nhất.

Sau đây ta xem xét đặc điểm của các dạng tổn hao nói trên.

4.2.1. Tổn hao điện môi do dòng điện rò

Trong điện môi kỹ thuật bao giờ cũng chứa các điện tích và điện tử tự do. Dưới tác dụng của điện trường các điện tích kể trên sẽ tham gia vào dòng điện dẫn (như chương II đã xét) và tạo nên dòng điện rò. Trong điện môi rắn có dòng điện rò đi trên bề mặt và trong khối điện môi, còn điện môi khí và lỏng chỉ có dòng điện khối. Nếu dòng điện rò lớn thì tổn hao trong điện môi có trị số đáng kể. Trị số tang của góc tổn hao điện môi trong trường hợp này có thể tính theo công thức:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1,8 \cdot 10^{12}}{\varepsilon \cdot f \cdot \rho} \quad (4-6)$$

Trong đó: f - tần số của điện trường đo bằng Hz; ρ - điện trở suất ($\Omega \cdot \text{cm}$).

Tổn hao điện môi dạng này phụ thuộc vào tần số của điện trường. Tgđ giảm theo quy luật hyperbolic khi tần số tăng (xem công thức 4-6).

Khi nhiệt độ tăng lên, điện dẫn của điện môi sẽ tăng theo quy luật hàm số mũ, do vậy, tổn hao điện môi cũng tăng lên theo quy luật này:

$$p_T = A.e^{-\frac{b}{T}} \quad (4-7)$$

trong đó: A và b là các hằng số của vật liệu. Hoặc ta có:

$$p_t = p_0.e^{\alpha t} \quad (4-8)$$

Trong đó: p_t - tổn hao công suất ở nhiệt độ $t^{\circ}\text{C}$; p_0 - tổn thất ở nhiệt độ 20°C ; α - hằng số mũ của vật liệu, t - nhiệt độ $^{\circ}\text{C}$.

Quan hệ giữa tgđ với tần số và nhiệt độ sẽ rõ hơn ở các phần sau của chương 4 này.

4.2.2. Tổn hao điện môi do phân cực

Dạng tổn hao điện môi này thấy rõ ở các chất có phân cực chậm: trong các điện môi có cấu tạo lưỡng cực và điện môi có cấu tạo ion ràng buộc không chặt chẽ.

Tổn hao điện môi do phân cực chậm được gây nên bởi sự phá huỷ chuyển động nhiệt của các phân tử dưới tác động của cường độ điện trường. Sự phá huỷ này làm phát sinh năng lượng tiêu tán và điện môi bị phát nóng.

Tổn hao điện môi trong các điện môi cực tính tăng theo tần số của điện áp đặt lên điện môi và biểu hiện rõ rệt nhất ở tần số vô tuyến và tần số siêu cao. Khi ở các tần số cao, tổn hao điện môi có trị số lớn tới mức phá huỷ vật liệu. Do vậy, không nên dùng điện môi cực tính mạnh ở tần số cao trong kỹ thuật điện.

Quan hệ của tgđ với nhiệt độ của các điện môi cực tính có giá trị cực đại ở một nhiệt độ nào đó đặc trưng cho mỗi loại vật liệu. Ở nhiệt độ này thời gian phân cực chậm của phân tử điện môi gần trùng với chu kỳ biến đổi của điện trường xoay chiều đặt lên điện môi.

Nếu nhiệt độ có trị số sao cho thời gian phân cực chậm của phân tử lớn hơn thời gian nửa chu kỳ biến đổi điện áp xoay chiều một cách đáng kể, thì chuyển động nhiệt của phân tử sẽ yếu đi và tổn hao điện môi giảm. Nếu nhiệt độ có trị số sao cho thời gian phân cực lưỡng cực nhỏ hơn thời gian nửa chu kỳ biến đổi của điện áp một cách đáng kể thì cường độ chuyển động nhiệt sẽ lớn, mối liên kết giữa các phân tử giảm, do đó tổn hao điện môi cũng giảm.

Tổn hao điện môi trong chất xét-nhét liên quan tới hiện tượng phân cực ngẫu nhiên (phân cực tự phát). Do đó, tổn hao điện môi xét-nhét có trị số đáng kể ở nhiệt

độ thấp hơn điểm Quyri. Tổn hao điện môi dạng này tăng theo tần số của điện áp đặt lên điện môi. Ở nhiệt độ cao hơn điểm Quyri, tổn thất năng lượng trong điện môi xét-nhét giảm xuống. Sự hoá già về điện theo thời gian của điện môi xét-nhét cũng làm giảm tổn hao điện môi.

Trong các loại điện điện môi có tổn hao do phân cực cần phải kể đến hiện tượng gọi là tổn hao cộng hưởng biểu hiện ở tần số ánh sáng. Dạng tổn hao này thấy rõ trong một số chất khí khi ở một tần số xác định có sự hấp thụ năng lượng điện trường. Tổn hao cộng hưởng cũng có thể xảy ra ở chất rắn khi tần số dao động cưỡng bức do điện trường gây nên trùng với tần số dao động riêng của các hạt chất rắn. Sự tồn tại điểm cực đại trong quan hệ tgδ với tần số cũng đặc trưng cho cả cơ chế cộng hưởng, nhưng trong trường hợp này nhiệt độ không ảnh hưởng đến vị trí điểm cực đại.

4.2.3. Tổn hao điện môi do ion hoá

Tổn hao điện môi do ion hoá xảy ra trong các điện môi ở trạng thái khí. Dạng tổn hao này xuất hiện trong các điện trường không đồng nhất khi cường độ điện trường cao hơn trị số bắt đầu ion hoá của loại khí đó. Ví dụ: không khí ở xung quanh dây dẫn của đường dây tải điện trên không, điện áp cao, đầu cực của các thiết bị cao áp, bọt khí trong điện môi rắn hoặc lỏng khi chịu điện áp cao ...

Tổn hao do ion hoá có thể tính theo công thức sau:

$$p_i = A \cdot f(U-U_0)^3 \quad (4-9)$$

Trong đó: A- hằng số; f- tần số của điện trường; U- điện áp đặt vào; U_0 - điện áp tương ứng với điểm bắt đầu ion hoá.

Trị số điện áp ion hoá U_0 của các chất khí khác nhau thì cũng khác nhau. Trị số này phụ thuộc vào áp suất chất khí, khi áp suất tăng, trị số điện áp bắt đầu ion hoá tăng (xem chương V).

Quá trình ion hóa các phân tử khí sẽ tiếp thu một năng lượng điện trường làm cho nhiệt độ điện môi khí tăng lên và sinh ra tổn hao ion hoá. Khi bị ion hoá trong chất khí có thêm nhiều điện tích và điện tử tự do làm cho điện dẫn chất khí tăng lên, chúng góp phần tạo nên tổn hao điện môi lớn (như mục 1 của phần này).

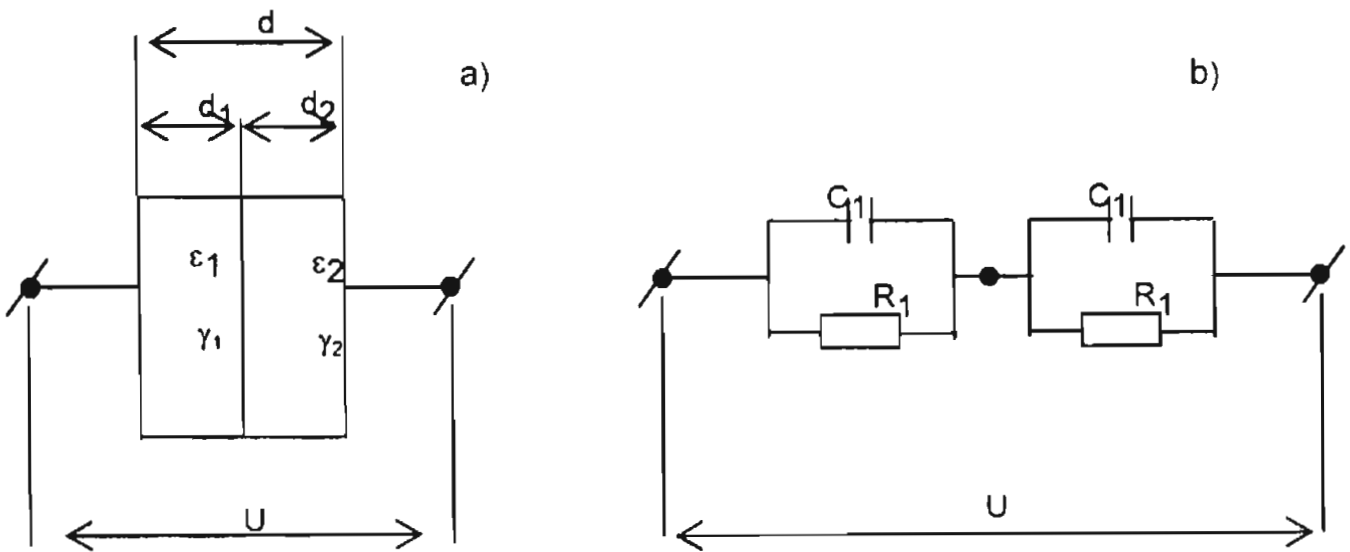
Một điều đáng chú ý và quan tâm đó là trong không khí có chứa ôxy (O_2). Khi bị ion hoá O_2 biến thành O_3 (ôzôn), nó kết hợp với nitơ và nước thành axit nitric (HNO_3). Nếu quá trình ion hoá liên tục thì nồng độ axit HNO_3 sẽ tăng lên, có thể gây nên sự ăn mòn hoá học của vật liệu và làm cho thời gian phục vụ (tuổi thọ) của vật liệu giảm đi.

4.2.4. Tổn hao điện môi do cấu tạo không đồng nhất

Loại tổn hao này có rất nhiều ý nghĩa trong thực tế, vì vật liệu cách điện của các thiết bị điện thường có cấu trúc không đồng nhất. Do tính chất đa dạng về cấu trúc và thành phần của vật liệu cách điện nên không thể có một công thức chung để tính toán tổn hao điện môi này.

Trong trường hợp đơn giản nhất có thể hình dung điện môi không đồng nhất dưới dạng hai lớp nối tiếp nhau (hình 4-3).

Trị số điện dung tương đương C_1 và C_2 phụ thuộc vào hằng số điện môi của các lớp này và kích thước hình học của chúng. Điện trở R_1 và R_2 được xác định



Hình 4-3. Sơ đồ điện môi mắc nối tiếp "a" và sơ đồ đẳng trị "b" thay thế điện môi.

bởi điện trở suất và kích thước hình học điện môi các lớp.

Phân tích sơ đồ hình 4-3b dễ dàng chỉ ra đại lượng $\text{tg}\delta$ được xác định bởi công thức:

$$\text{tg}\delta = \frac{\omega^2 n + m}{\omega M + \omega^2 N} \quad (4-10)$$

Trong đó:

$$m = R_1 + R_2;$$

$$n = C_2^2 R_2^2 R_1 + C_1^2 R_1^2 R_2;$$

$$M = C_1 R_1^2 + C_2 R_2^2;$$

$$N = C_2^2 R_2^2 C_1 R_1^2 + C_1^2 R_1^2 C_2 R_2^2$$

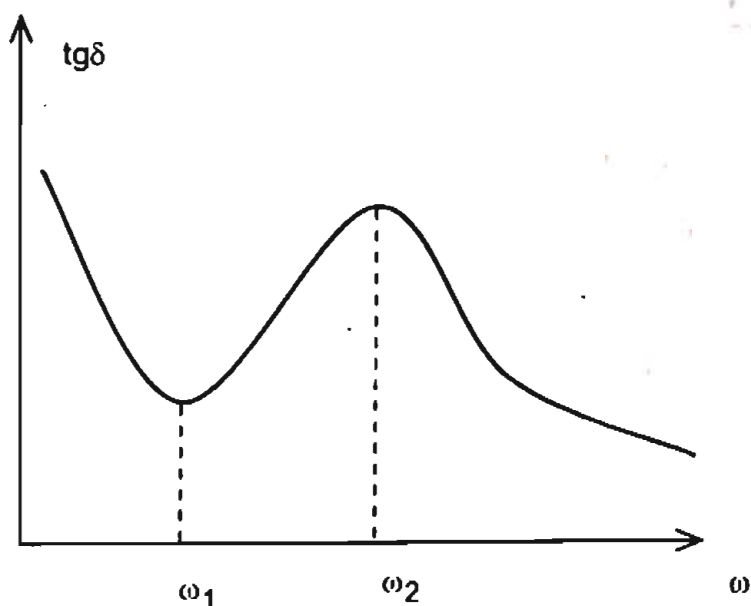
Trong trường hợp nếu R_1 , R_2 , C_1 và C_2 không phụ thuộc vào tần số, tổn hao chỉ do điện dẫn gây nên thì sau khi lấy đạo hàm theo tần số phương trình (4-10) và cho nó bằng không để giải, ta được biểu thức mà từ đó thấy rõ rằng $\text{tg}\delta$ có cực tiểu

và cực đại trong quan hệ của $\text{tg}\delta$ vào tần số. Điều này thấy ở hình (4-4). Giá trị cực đại của $\text{tg}\delta$ quan sát thấy ở tần số ω_2 :

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{Mn - 3Nm + \sqrt{\Delta}}{2Nn}} \quad (4-11)$$

Cực tiểu ở tần số ω_1 :

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{Mn - 3Nm - \sqrt{\Delta}}{2Nn}} \quad (4-12)$$



Hình 4-4. Quan hệ $\text{tg}\delta = f(\omega)$.

Trong đó: $\Delta = (Mn - 3Nm)^2 - 4MNmn$.

Trị số $\text{tg}\delta$ của điện môi nhiều lớp khi các lớp mắc nối tiếp có thể tính sơ bộ bằng công thức sau:

$$\text{tg}\delta = \frac{\sum_{i=2}^N C_i \text{tg}\delta_i}{\sum_{i=2}^N C_i} \quad (4-13)$$

trong đó: $\text{tg}\delta_i$ - tang góc tổn hao điện môi của các lớp tương ứng với tần số đã cho.

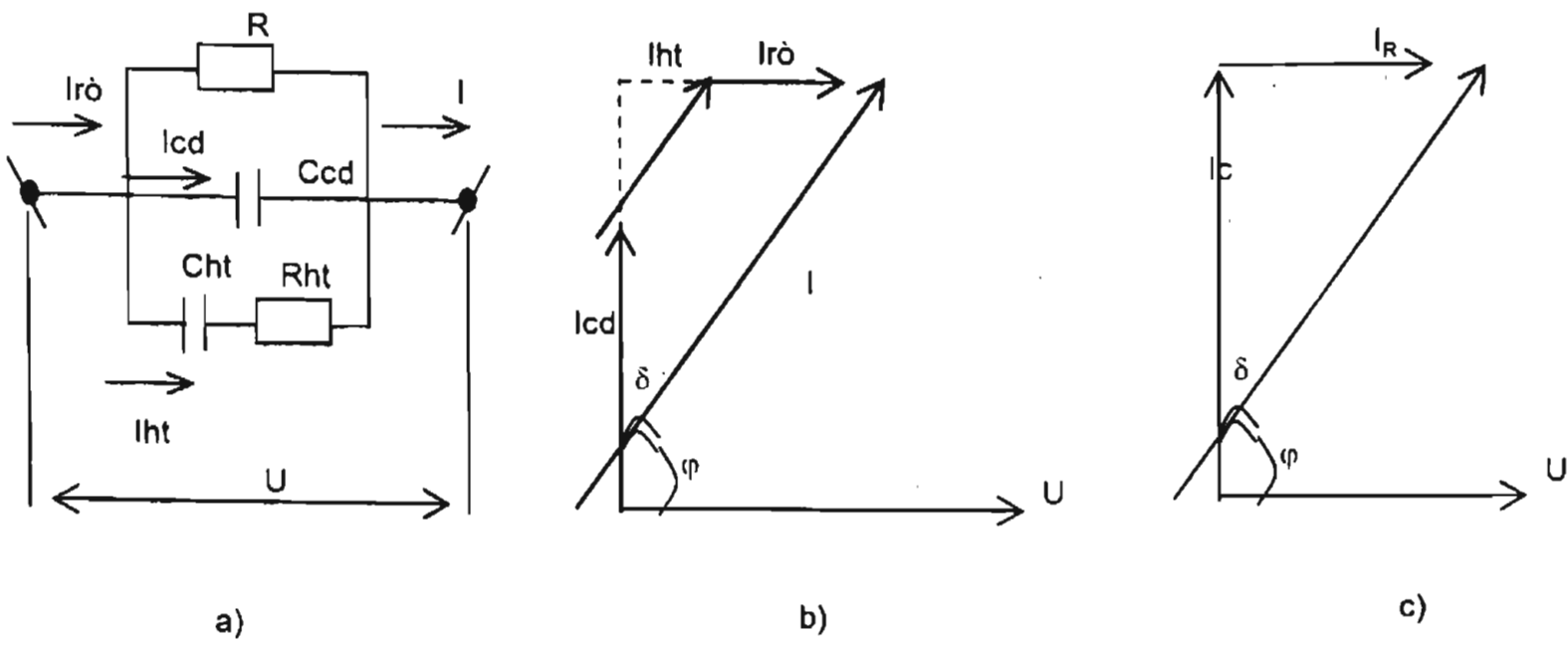
4.3. TỔN HAO ĐIỆN MÔI TRONG CÁC SƠ ĐỒ THAY THẾ

Khi đặt điện áp lên điện môi trong điện môi thường xuất hiện ba loại dòng điện, đó là: dòng điện rò ($I_{r\grave{o}}$), dòng điện chuyển dịch do phân cực nhanh ($I_{c\grave{d}}$) và dòng điện hấp thụ do phân cực chậm ($I_{h\grave{t}}$). Như vậy:

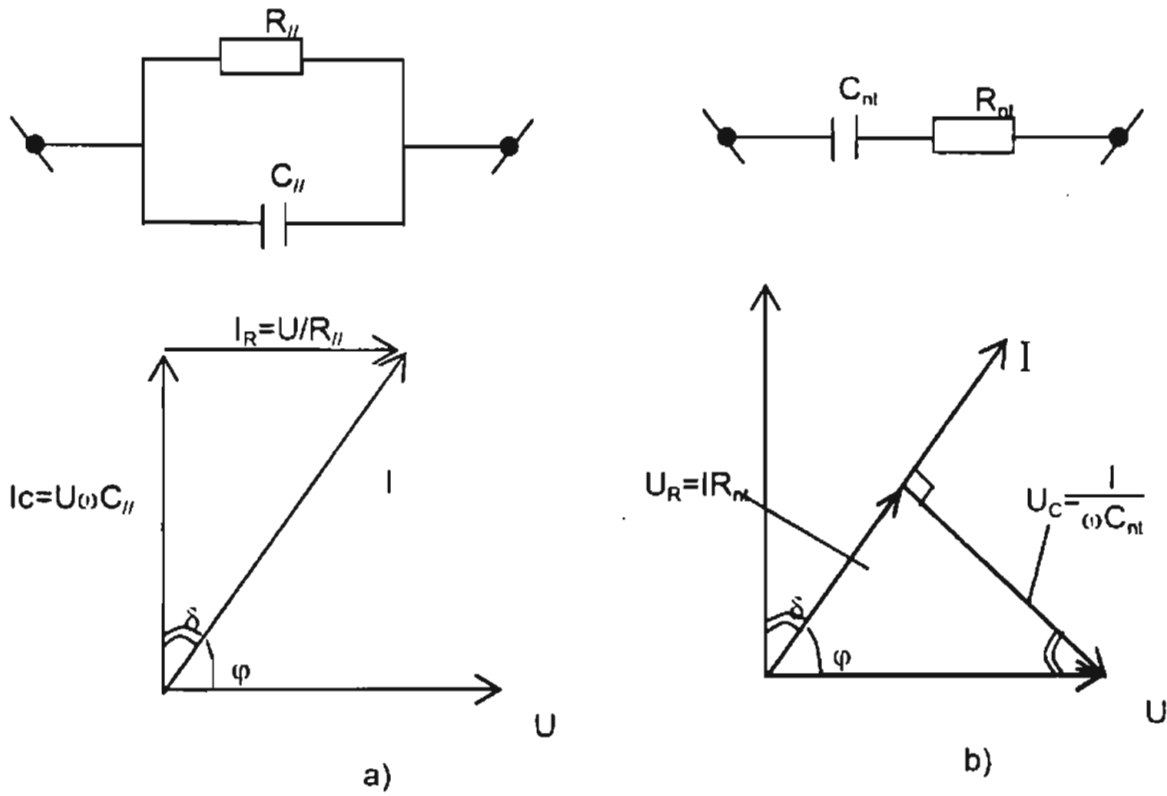
$$I = I_{r\grave{o}} + I_{c\grave{d}} + I_{h\grave{t}} \quad (4-14)$$

Khi điện môi đặt dưới điện áp một chiều thì dòng điện phân cực chỉ xảy ra khi đóng hay ngắt nguồn điện, cho nên tổn hao điện môi chủ yếu là do dòng điện rò ($I_{r\grave{o}}$) gây nên. Nhưng khi điện áp xoay chiều, dòng điện phân cực và dòng điện rò có suốt trong thời gian đặt điện áp. Khi đó tổn hao điện môi vừa do dòng điện rò và vừa do dòng điện phân cực gây nên.

Dựa vào tính chất trên trong tính toán ta có thể thay thế điện môi bằng sơ đồ mắc song song điện trở và điện dung (hình 4-5a) và biểu đồ véc tơ giữa điện áp và dòng điện (hình 4-5b,c) như sau:



Hình 4-5. Sơ đồ thay thế điện môi a) và biểu đồ véc tơ giữa điện áp và dòng điện b), c).



Hình 4-6. a) Sơ đồ mắc song song R_{II} với C_{II} ;

b) Sơ đồ mắc nối tiếp R_{nI} với C_{nI} .

Do yêu cầu và mục đích tính toán, điện môi có tổn hao có thể biểu diễn bằng các sơ đồ thay thế hoặc song song, hoặc nối tiếp một tụ điện với một điện trở tương đương. Trong thực tế: khi có điện áp cần phải tính dòng điện I_R và I_C ta dùng sơ đồ song song; khi có dòng điện cần phải tính điện áp U_R , U_C ta dùng sơ đồ nối tiếp.

Dùng sơ đồ thay thế sẽ cho phép giải thích các quá trình xảy ra trong điện môi (tổn hao, phân cực, v.v...), đồng thời còn mô hình hoá điện môi trên các sơ đồ điện. Cần lưu ý rằng, việc chọn sơ đồ và các tham số của sơ đồ mang tính chất chủ quan và nói chung phụ thuộc vào bài toán cụ thể cần giải quyết miễn sao các kết

quả thu được phản ánh đúng thực chất của các hiện tượng vật lý xảy ra trong điện môi.

Sơ đồ thay thế điện môi gồm hai thành phần: điện dung C và điện trở R. Các sơ đồ thay thế được chọn cần phải thoả mãn hai điều kiện, đó là:

Công suất tổn hao trong sơ đồ phải bằng công suất tiêu hao trong điện môi.

Góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp của sơ đồ phải bằng góc lệch pha trong thực tế điện môi khi có cùng điện áp và tần số. Như vậy: $\text{tg}\delta_{\text{sơ đồ}} = \text{tg}\delta_{\text{thực tế}}$.

Tồn tại hai sơ đồ đơn giản là sơ đồ đấu song song hai phần tử R_{\parallel} , C_{\parallel} và sơ đồ nối tiếp hai phần tử C_{nt} , R_{nt} (hình 4-6a,b).

* Trong sơ đồ mắc song song R_{\parallel} với C_{\parallel} (hình 4-6a) ta có:

$$\text{tg}\delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{\omega C_{\parallel} R_{\parallel}} = \frac{g}{b} \quad (4-15)$$

với:
$$g = \frac{1}{R_{\parallel}}; b = \omega C_{\parallel}.$$

Như vậy ở đây $\text{tg}\delta$ sẽ giảm đi khi tần số tăng lên. Công suất tổn hao được tính:

$$P_{\parallel} = U \cdot I \cdot \cos\varphi = U^2 \cdot g = U^2 \cdot b \cdot \text{tg}\delta = U^2 \cdot \omega \cdot c \cdot \text{tg}\delta \quad (4-16)$$

• Ở sơ đồ mắc nối tiếp C_{nt} với R_{nt} (hình 4-6b), ta có:

$$\text{tg}\delta = \frac{U_R}{U_C} = \omega \cdot C_{\text{nt}} \cdot R_{\text{nt}} = \frac{R_{\text{nt}}}{X_{\text{nt}}} \quad (4-17)$$

Với $X_{\text{nt}} = \frac{1}{\omega \cdot C_{\text{nt}}}$. Như vậy $\text{tg}\delta$ phụ thuộc tuyến tính với tần số ω của điện áp.

Công suất tổn hao trong sơ đồ này được tính:

$$P_{\text{nt}} = U^2 \cdot \omega \cdot C_{\text{nt}} \cdot \text{tg}\delta = I^2 \cdot R_{\text{nt}}. \quad (4-18)$$

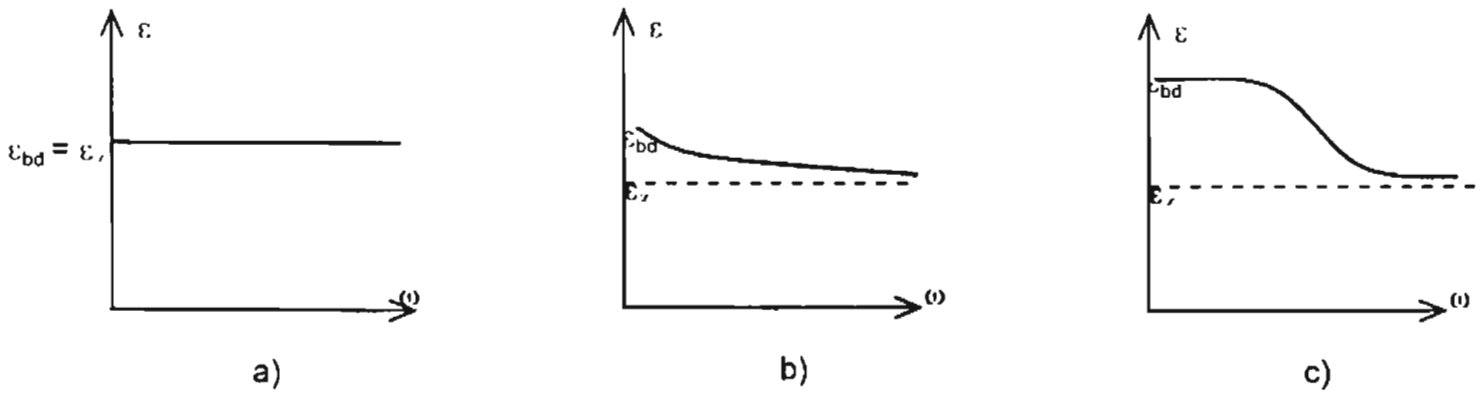
Từ điều kiện tương đương của hai sơ đồ $P_{\parallel} = P_{\text{nt}} = P$ và $\text{tg}\delta_{\text{sơ đồ}} = \text{tg}\delta_{\text{thực tế}}$, khi cần chuyển đổi sơ đồ nối tiếp sang sơ đồ song song hay ngược lại thì các tham số điện dung và điện trở được tính bằng công thức chuyển đổi sau:

$$\begin{cases} C_{\parallel} = \frac{C_{\text{nt}}}{1 + \text{tg}^2\delta} \\ R_{\parallel} = R_{\text{nt}} \left(1 + \frac{1}{\text{tg}^2\delta} \right) \end{cases} \quad (4-19)$$

4.4. NHỮNG YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI TỔN HAO ĐIỆN MÔI

Trước khi nghiên cứu tổn hao điện môi của các điện môi ở trạng thái khí, lỏng và rắn, chúng ta xét những yếu tố ảnh hưởng tới tổn hao điện môi tgδ áp dụng cho cả ba trạng thái nói trên.

Trên thực tế có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng tới tổn hao điện môi. Nhưng chúng ta thấy có 4 yếu tố quan trọng nhất đó là:



Hình 4-7. a) Quan hệ $\varepsilon = f(\omega)$ của điện môi trung tính.
 b) Quan hệ $\varepsilon = f(\omega)$ của điện môi cực tính yếu.
 c) Quan hệ $\varepsilon = f(\omega)$ của điện môi cực tính mạnh.

- Tần số của điện trường: $\omega = 2\pi f$.
- Nhiệt độ làm việc của điện môi.
- Độ ẩm của điện môi và môi trường.
- Trị số điện áp hay cường độ điện trường tác dụng lên điện môi.

Ở trong chương III, khi xét sự phân cực của điện môi ta có quan hệ hằng số điện môi với tần số được biểu diễn ở hình 4-7.

Trong đó: ε_{bd} - hằng số điện môi đo ở tần số thấp (một chiều).

ε_{∞} - hằng số điện môi đo ở tần số cao vô cùng.

Như các phần trên đã phân tích, tổn hao điện môi của một điện môi nào đó thường là do dòng điện dẫn (γ) và sự phân cực (ε) gây nên. Do vậy, chúng ta có công thức tính tổn hao điện môi tgδ như sau:

$$\text{tg}\delta = \frac{\frac{\gamma}{\varepsilon_0 \omega} + \frac{\varepsilon_{bd} - \varepsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \theta^2} \cdot \omega \theta}{\varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_{bd} - \varepsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \theta^2}}; \quad (4-20)$$

Trong đó: γ - điện dẫn của điện môi ;

ε_0 - hằng số điện môi tuyệt đối, ($\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \text{ F/m}$);

θ - thời gian tích thoát năng lượng.

$$\theta = \tau \cdot \frac{\epsilon_{bd} + 2}{\epsilon_{\infty} + 2}; \quad \tau = \frac{e^{w_0/KT}}{2\nu}; \quad \nu - \text{hệ số khúc xạ ánh sáng.}$$

Từ đây ta có: θ tương đương với nhiệt độ ($\theta \equiv t^0c$)

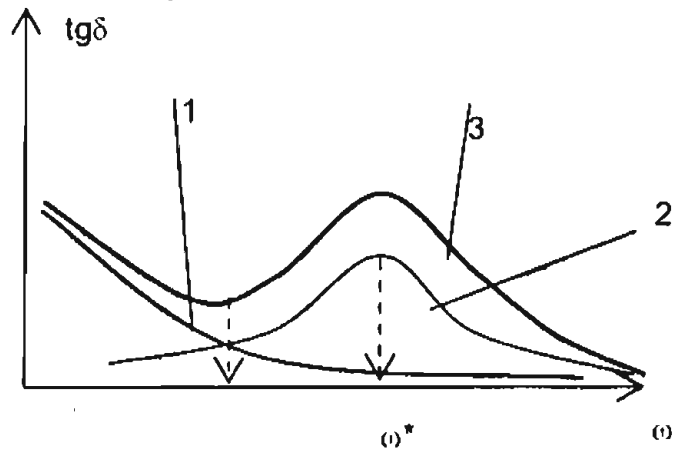
Theo công thức (4-20) chúng ta đi xét quan hệ $tg\delta$ với tần số và nhiệt độ.

4.4.1. Ảnh hưởng của tần số điện trường tới tổn hao điện môi $tg\delta$

Để xét ảnh hưởng của tần số tới tổn hao điện môi, chúng ta phải đưa ra quan hệ $tg\delta = f(\omega)$ khi nhiệt độ không đổi ($T = \text{const}$).

a) Điện môi trung tính và cực tính yếu

Đối với điện môi trung tính hoặc có cấu trúc đối xứng ta có: $\epsilon_{bd} = \epsilon_{\infty}$, còn điện môi cực tính yếu thì $\epsilon_{bd} \approx \epsilon_{\infty}$ (xem hình 4-7a,b) vì phân cực lưỡng cực không có hay có cũng không đáng kể. Do vậy, $\epsilon_{bd} - \epsilon_{\infty} \approx 0$. Khi đó công thức (4-20) có thể viết:



Hình 4-8. Quan hệ $tg\delta = f(\omega)$.

$$tg\delta = \frac{\gamma}{\epsilon_{(1)}\epsilon_{\infty}\omega} \quad (4-21)$$

Qua công thức (4-21) ta thấy: tổn hao điện môi $tg\delta$ là do dòng điện dẫn γ gây nên. Vì nhiệt độ không thay đổi nên điện dẫn cũng không đổi, cho nên quan hệ giữa $tg\delta$ với tần số có dạng của đường cong hypecbol, tức là $tg\delta$ sẽ giảm đi khi tần số tăng (đường 1 của hình 4-8).

Trong thực tế có tồn tại điện môi mà tổn hao điện môi các dạng phân cực chậm gây nên nhỏ hơn rất nhiều so với tổn hao điện môi do dòng điện dẫn, mặc dù $\epsilon_{bd} - \epsilon_{\infty} \neq 0$. Ta có thể bỏ qua thành phần phân cực trong công thức (4-20) nên: $tg\delta = \frac{\gamma}{\epsilon_{(1)}\epsilon_{\infty}\omega}$ và có quan hệ $tg\delta = f(\omega)$ như đường "1" của hình (4-8).

b) Điện môi cực tính mạnh khi có dòng điện dẫn nhỏ

Những điện môi cực tính mạnh có đặc điểm là tổn hao điện môi do dòng điện dẫn nhỏ hơn nhiều so với tổn hao do phân cực lưỡng cực gây nên. Do vậy, trong công thức (4-20) ta có thể bỏ qua thành phần chứa dòng điện dẫn γ . Suy ra:

$$tg\delta = \frac{(\epsilon_{bd} - \epsilon_{\infty})\omega\theta}{\epsilon_{bd} + \epsilon_{\infty}\omega^2\theta^2} \quad (4-22)$$

Để vẽ được quan hệ $\text{tg}\delta = f(\omega)$ của công thức (4-22) ta phải đi khảo sát hàm số này. Song việc khảo sát và vẽ quan hệ $\text{tg}\delta = f(\omega)$ phức tạp. Cho nên để đơn giản ta có thể suy luận như sau:

Miền xác định của hàm số công thức (4-22) là $\omega = 0 \div \infty$. Như vậy, trong quan hệ $\text{tg}\delta$ với ω sẽ là một đường liên tục khi ω thay đổi từ "0" đến " ∞ ".

Trong miền tần số thấp $\omega\theta \ll 1$ và tính rằng ϵ_{hd} và ϵ_∞ có cùng một thứ tự, có thể không tính đến thành phần có chứa ω^2 ở mẫu số. Khi đó:

$$\text{tg}\delta \approx \frac{\epsilon_{hd} - \epsilon_\infty}{\epsilon_{hd}} \omega\theta.$$

Tức là $\text{tg}\delta$ sẽ tăng lên khi tần số tăng.

Trong miền tần số cao có thể bỏ qua thành phần ϵ_{hd} ở mẫu số vì: $\epsilon_{hd} \ll \epsilon_\infty \cdot \omega^2\theta^2$. Khi đó: $\text{tg}\delta \approx \frac{\epsilon_{hd} - \epsilon_\infty}{\epsilon_\infty \cdot \omega\theta}$ tức là $\text{tg}\delta$ sẽ giảm khi tần số tăng.

Như vậy, khi tần số tăng $\text{tg}\delta$ lúc đầu sẽ tăng lên, sau đó lại giảm đi khi tần số tăng cao. Và lại, đồ thị $\text{tg}\delta = f(\omega)$ là một đường liên tục, cho nên quan hệ của $\text{tg}\delta$ với tần số của công thức (4-22) sẽ đạt cực đại tại một vị trí ω_* nào đó (đường 2 của hình 4-8).

Thực tế trong tính toán điều kiện để $\text{tg}\delta$ đạt trị số cực đại ($\text{tg}\delta_{\max}$) khi có điều kiện sau:

$$\omega_*\theta = 1 \tag{4-23}$$

Nghĩa là:

$$\omega_* = \frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{\epsilon_{bd}}{\epsilon_\infty}} \tag{4-24}$$

Khi đó ta có:

$$\text{tg}\delta_{\max} = \frac{\epsilon_{bd} - \epsilon_\infty}{2\sqrt{\epsilon_{bd} \cdot \epsilon_\infty}} \tag{4-25}$$

Khi sử dụng vật liệu cực tính chúng ta tránh sử dụng ở miền tần số gần với ω_* , vì ở tần số ω_* có sự cộng hưởng làm cho tổn hao điện môi lớn và có thể gây nên sự phá huỷ vật liệu.

c) Điện môi cực tính mạnh có điện dẫn cao và phân cực lưỡng cực mạnh

Đối với điện môi cực tính mạnh mà đặc trưng bởi dòng điện dẫn cao và phân cực lưỡng cực mạnh thì tổn hao điện môi được tạo nên bởi hai thành phần trên. Khi đó, ta có quan hệ giữa tổn hao điện môi $\text{tg}\delta$ với tần số sẽ là tổng của hai đồ thị 1 và 2 nói trên (đường 3 của hình 4-8).

Theo đường 3 của hình (4-8) ta thấy: khi tần số tăng, lúc đầu $\text{tg}\delta$ giảm đến cực tiểu, sau đó tăng lên đến điểm cực đại và sau cùng lại giảm đi khi tần số tăng cao. Điều này có thể giải thích như sau:

Khi tần số thấp, mặc dù phân cực có xảy ra trọn vẹn, nhưng số lần xoay hướng của các phân tử lưỡng cực ít, nên tổn hao điện môi do phân cực bé. Tổn hao điện môi ở miền tần số thấp chủ yếu là do dòng điện dẫn cho nên nó giảm khi tần số tăng (xem mục a). Nếu tần số tăng thì số lần xoay hướng của các phân tử lưỡng cực tăng, năng lượng dùng cho phân cực lưỡng cực tăng lên cho nên tổn hao điện môi cũng tăng và đạt cực đại ở tần số cộng hưởng (ω_*). Nhưng khi tần số tăng quá cao, dù số lần xoay hướng có nhiều song do phân cực xảy ra không trọn vẹn, hằng số điện môi bé (ϵ_∞) nên tổn hao điện $\text{tg}\delta$ sẽ giảm đi.

Điểm cực đại của quan hệ $\text{tg}\delta = f(\omega)$ ứng với trạng thái vật lý của điện môi khi có sự cộng hưởng hai dao động là dao động của tần số điện trường và dao động nhiệt.

Quan hệ của $\text{tg}\delta$ với tần số ứng với các nhiệt độ khác nhau của chất lỏng cực tính được biểu diễn ở hình 4-9.

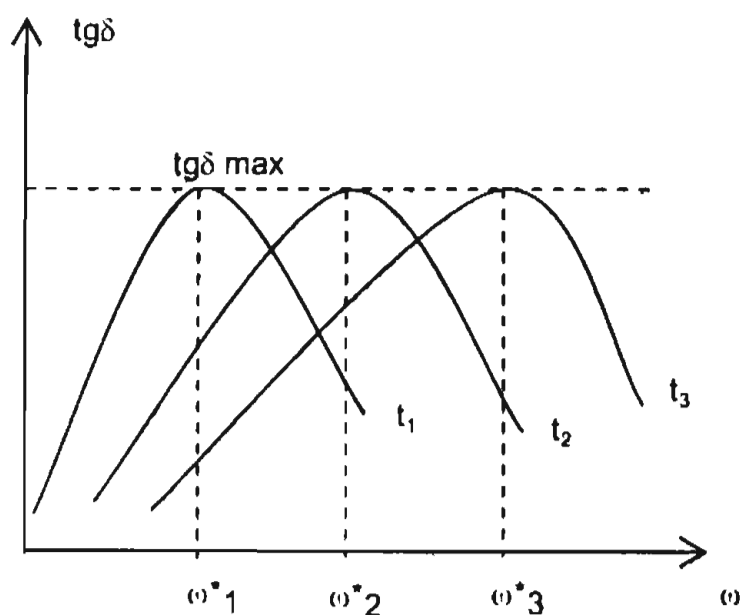
Quan hệ $\text{tg}\delta$ với tần số ở các nhiệt độ t_1, t_2, t_3 ($t_1 < t_2 < t_3$) có các trị số $\text{tg}\delta_{\text{max}}$ hầu như không đổi ứng với các tần số $\omega_{*1}, \omega_{*2}, \omega_{*3}$, ($\omega_{*3} > \omega_{*2} > \omega_{*1}$). Điều này có thể giải thích bằng công thức tính $\text{tg}\delta_{\text{max}}$:

$$\text{tg}\delta_{\text{max}} = \frac{C_{\text{ht}}}{2\sqrt{(C_o + C_{\text{ht}})C_o}} \quad (4-26)$$

Trị số này không phụ thuộc vào tần số ω . Mặt khác, vì nhiệt độ của điện môi tăng $t_3 > t_2 > t_1$, để có sự cộng hưởng thì tần số của điện trường phải tăng.

4.4.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ tới tổn hao điện môi

Trong thực tế khi nghiên cứu tổn hao điện môi chúng ta thấy yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng tới tổn hao điện môi đó là nhiệt độ môi trường làm việc của điện môi. Khi nhiệt độ điện môi thay đổi sẽ làm cho các tính chất của điện môi thay đổi.



Hình 4-9. Quan hệ $\text{tg}\delta = f(\omega)$ với $t_3 > t_2 > t_1$.

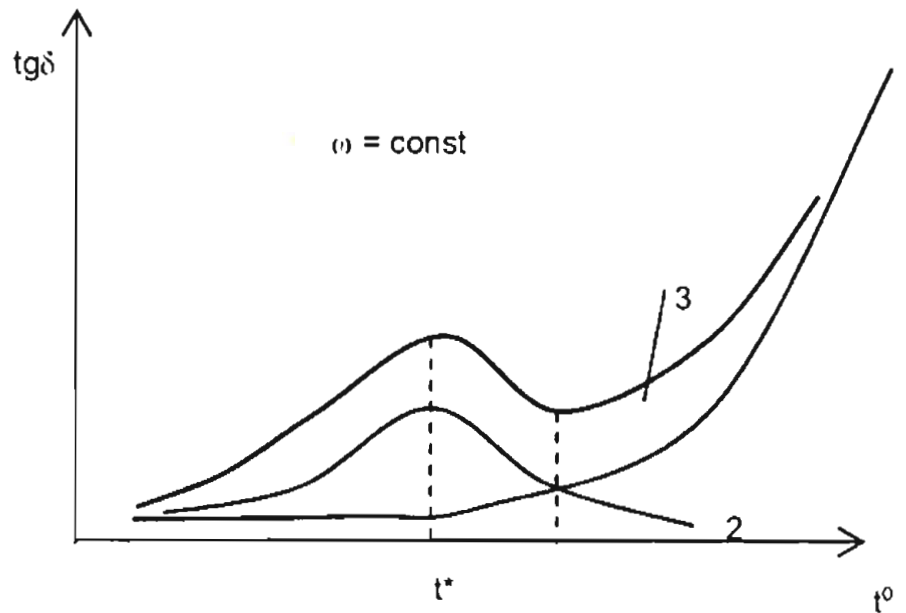
Để xét ảnh hưởng của nhiệt độ tới tổn hao điện môi tgδ, chúng ta sử dụng phương trình (4-20) đã nêu ở trên. Cũng tương tự như đối với tần số, hiện tại ta xét quan hệ giữa tổn hao điện môi tgδ với nhiệt độ khi tần số không thay đổi ($\omega = \text{const}$) trong các điện môi khác nhau.

a) Điện môi trung tính và cực tính yếu

Trong các điện môi này có $\epsilon_{bd} \approx \epsilon_{\infty}$, tổn hao điện môi chủ yếu là do dòng điện dẫn gây nên. Do vậy, công thức (4-20) có thể viết dưới dạng:

$$\text{tg}\delta = \frac{\gamma}{\epsilon_0 \epsilon_{\infty} \omega} = \frac{\gamma_0 e^{\alpha t}}{\epsilon_0 \epsilon_{\infty} \omega} = A \cdot e^{\alpha t} \quad (4-27)$$

Vì điện dẫn của điện môi phụ thuộc vào nhiệt độ $\gamma = \gamma_0 e^{\alpha t}$, (xem chương II - Điện dẫn của điện môi), cho nên tổn hao điện môi sẽ tăng lên theo hàm số mũ khi mà nhiệt độ tăng. Đồ thị quan hệ tgδ với nhiệt độ trong trường hợp này là đường "1" của hình 4-10.



Hình 4-10. Quan hệ $\text{tg}\delta = f(t^\circ)$ khi $\omega = \text{const}$.

b) Điện môi cực tính mạnh khi có dòng điện dẫn nhỏ

Do có dòng điện dẫn nhỏ không đáng kể, nên trong trường hợp này tổn hao điện môi chủ yếu là do phân cực lưỡng cực gây nên. Vì vậy, ta có công thức tính tổn hao điện môi cũng chính là công thức (4-22):

$$\text{tg}\delta = \frac{(\epsilon_{bd} - \epsilon_{\infty})\omega\theta}{\epsilon_{bd} + \epsilon_{\infty}\omega^2\theta^2}$$

Như ở trên đã nêu, θ tương đương với nhiệt độ t° ($\theta \equiv t^\circ$), tức là khi nhiệt độ tăng thì θ cũng tăng theo tuyến tính và ngược lại. Do đó, quan hệ giữa tgδ với nhiệt độ chính là quan hệ giữa tgδ với θ , biểu diễn bằng công thức 4-22.

Theo (4-22), tương tự như đối với tần số, lúc này vai trò của ω là θ hay cũng là nhiệt độ t° , ta có quan hệ giữa tổn hao điện môi tgδ với nhiệt độ là đường 2 của hình 4-10.

c) Điện môi cực tính mạnh có điện dẫn cao và phân cực lưỡng cực mạnh

Những điện môi mà có tổn hao điện môi do cả dòng điện dẫn và phân cực lưỡng cực gây nên theo công thức (4-20) thì quan hệ giữa tgδ với nhiệt độ được biểu diễn bằng đường “3” là tổng của hai đường “1” và “2” nói trên (hình 4-10).

Theo đường “3” của hình 4-10 ta có thể giải thích như sau:

Trong miền nhiệt độ thấp, năng lượng chuyển động nhiệt của các phân tử sẽ thấp, tgδ tăng chậm khi nhiệt độ tăng.

Khi nhiệt độ tăng thì chuyển động nhiệt của các phân tử tăng lên, điện môi có sự giãn nở nhiệt, khoảng cách giữa các phân tử điện môi tăng lên, do vậy, lực liên kết giữa các phân tử giảm đi và dẫn đến sự xoay hướng của các phân tử lưỡng cực sẽ dễ dàng hơn. Tổn hao điện môi sẽ tăng lên đến cực đại tại nhiệt độ t_* . Đối với mỗi loại điện môi khác nhau thì nhiệt độ t_* mà ở đó có tgδ cực đại cũng khác nhau.

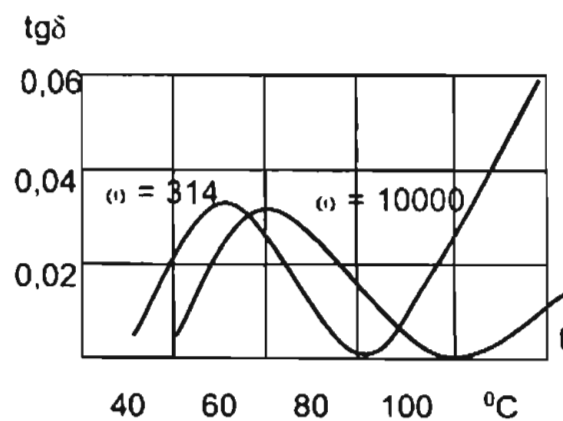
Với sự tăng của nhiệt độ (ở vùng nhiệt độ cao), thời gian tích thoát năng lượng của phân tử điện môi giảm nhanh ($\theta \approx \frac{w_0}{e^{kT}} \cdot \frac{1}{2v}$). Khi đó chuyển động nhiệt khá lớn và nó làm cản trở sự xoay hướng của các phân tử lưỡng cực, do vậy tgδ sẽ giảm đi.

Khi tiếp tục tăng nhiệt độ (ở miền nhiệt độ quá cao), điện môi sẽ bị thay đổi cấu trúc và trạng thái, điện dẫn trong điện môi tăng cao nên tgδ cũng tăng mạnh và có thể dẫn đến phá hủy điện môi.

Ví dụ minh chứng về quan hệ giữa tgδ với nhiệt độ của nhựa thông (colofan) ở các tần số khác nhau được đưa ra ở hình 4-11.

Nếu điện môi là hợp chất của hai hay nhiều thành phần thì quan hệ tgδ với nhiệt có thể có hai hay nhiều điểm cực đại; điều đó là do ảnh hưởng của các thành phần trong hợp chất ở các nhiệt độ khác nhau.

Khi nhiệt độ tăng ta thấy sự dịch chuyển điểm cực đại của tgδ khi tần số tăng cao hơn. Tương tự như khi tăng tần số của điện áp xoay chiều, điểm cực đại tương ứng của quan hệ tgδ với nhiệt độ chuyển dịch về hướng nhiệt độ cao hơn.



Hình 4-11. Quan hệ tgδ với nhiệt độ ở các tần số khác nhau của nhựa thông.

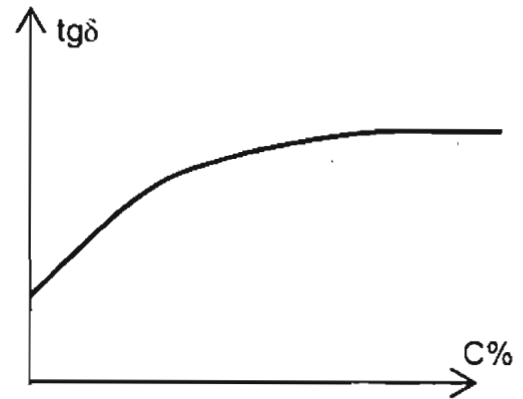
4.4.3. Ảnh hưởng của độ ẩm tới tổn hao điện môi

Khi điện môi ở trong môi trường có độ ẩm $\varphi\%$ nào đó, sau một thời gian điện môi sẽ bị ngấm ẩm; bên trong điện môi hấp thụ một lượng nước nhất định ($C\%$). Nếu độ ẩm môi trường tăng lên thì độ ẩm bên trong điện môi cũng tăng lên. Những điện môi không ngấm nước, tức là không cho hơi nước và nước đi vào bên trong, khi ở trong môi trường có độ ẩm cao sẽ xảy ra hiện tượng ngưng đọng trên bề mặt một lượng nước. Hiện tượng này thường gọi là sự hấp phụ hơi nước của điện môi.

Khi bị hấp thụ và hấp phụ một lượng nước, điện môi sẽ thay đổi các tính chất cách điện so với ban đầu. Điện dẫn khối và điện dẫn mặt của điện môi sẽ tăng lên và làm cho tổn hao điện môi cũng tăng lên. Nguy hiểm nhất là khi độ ẩm cao và nhiệt độ cao, tổn hao điện môi tgđ có trị số rất lớn, có thể gây nên sự phá hủy điện môi.

Quan hệ giữa tổn hao điện môi với độ ẩm $C\%$ được biểu diễn trên hình 4-12.

Như vậy có thể nói, khi độ ẩm của điện môi hay môi trường tăng lên sẽ làm giảm các tính chất cách điện của điện môi. Để hạn chế sự hấp thụ và hấp phụ nước vào vật liệu cách điện, trong công nghệ chế tạo thiết bị điện người ta thường dùng biện pháp sấy và tẩm bằng các loại vật liệu chống ẩm.



Hình 4-12. Quan hệ tổn hao điện môi với độ ẩm.

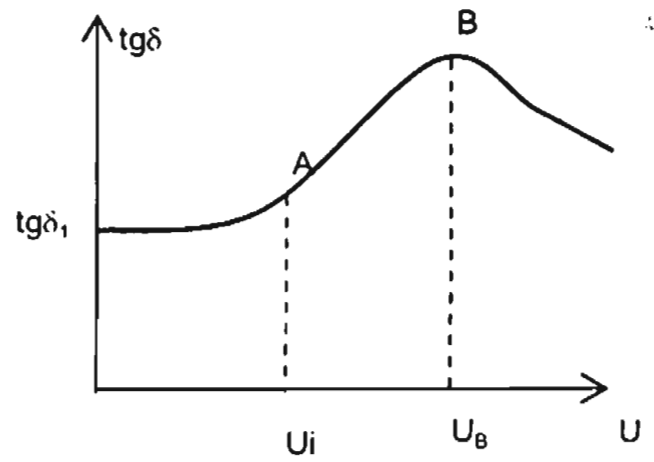
4.4.4. Ảnh hưởng của điện áp tới tổn hao điện môi

Để đánh giá chất lượng của vật liệu cách điện, trong nhiều trường hợp cần phải nghiên cứu quan hệ tổn hao điện môi với trị số điện áp đặt lên vật liệu. Việc nghiên cứu này không thể thiếu được đối với những thiết bị làm việc ở điện áp cao. Qua kết quả nghiên cứu quan hệ tổn hao điện môi với điện áp, cho chúng ta phát hiện ra những khuyết tật trong vật liệu (ví dụ như bọt khí v.v...) để từ đó thay đổi công nghệ chế tạo cho phù hợp và chất lượng hơn.

Trong nhiều trường hợp, tổn hao điện môi tgđ không phụ thuộc vào điện áp khi trị số điện áp bé. Nhưng khi điện áp tăng cao, trong các chất khí nói chung và các bọt khí có lẫn trong điện môi lỏng và rắn nói riêng sẽ xảy ra quá trình ion hoá. Quá trình ion hoá các phân tử khí sẽ tiếp thu một năng lượng điện trường làm cho tổn hao điện môi tăng lên. Đồng thời điện dẫn của phân khí cũng tăng lên góp phần tác động đến sự tăng tổn hao điện môi.

Quan hệ giữa tổn hao điện môi tgđ với điện áp được biểu diễn trên hình 4-13.

U_i - là điện áp bắt đầu gây nên sự ion hoá. Khi điện áp $U_i < U < U_B$ quá trình ion hoá tăng làm cho tổn hao điện môi tăng theo hàm số mũ (bậc ba). Khi điện áp $U > U_B$ tổn hao điện môi lại giảm đi vì phần không khí có điện dẫn lớn làm cho điện áp đáng trên nó nhỏ đi.



Hình 4-13. Quan hệ $tg\delta = f(U)$.

Sự ion hoá không khí liên quan tới hai thời điểm quan trọng là:

Sự thu nhận năng lượng điện trường lớn dẫn đến làm tổn hao điện môi tăng đột biến.

Khi bị ion hoá, oxy của không khí biến thành ôzôn (O_3). Ôzôn kết hợp với nitơ (N) và nước (H_2O) chứa trong phần khí biến thành axit nitric HNO_3 . Nếu quá trình ion hoá liên tục và độ ẩm lớn, nồng độ axit trong vật liệu tăng lên, dẫn đến sự ăn mòn và phá huỷ vật liệu khi có điện áp tác động liên tục.

Quá trình ion hoá không khí còn xảy ra trong điện trường không đồng nhất điện áp cao (ví dụ: điện trường xung quanh dây dẫn điện áp cao, đầu ra hay vào của máy biến áp cao áp v.v...). Ion hoá sẽ gây nên phóng điện vầng quang và tổn hao do vầng quang trong chất khí. Vấn đề này chúng ta sẽ xem xét kỹ ở chương V - phần phóng điện trong điện môi khí.

4.5. TỔN HAO ĐIỆN MÔI TRONG ĐIỆN MÔI KHÍ

Các chất khí ở điều kiện bình thường và trong điện trường thấp có tổn hao rất bé, vì vậy có thể xem chất khí là điện môi lý tưởng. Nguyên nhân gây nên tổn hao điện môi của các chất khí chủ yếu là do dòng điện dẫn gây nên, còn sự định hướng của các phân tử lưỡng cực chất khí trong quá trình phân cực không kèm theo tổn hao.

Điện dẫn của các chất khí có trị số rất bé, do đó tổn hao điện môi sẽ bé không đáng kể, đặc biệt khi ở tần số cao. Ví dụ điện dẫn của không khí vào khoảng $10^{-18} (\Omega\text{cm})^{-1}$, hằng số điện môi $\epsilon \approx 1$ khi ở tần số $f = 50\text{Hz}$ có $tg\delta \leq 4.10^{-8}$.

Ở điện áp cao và điện trường không đồng nhất, khi cường độ điện trường vượt quá trị số tối hạn các phân tử khí sẽ bị ion hoá, trong chất khí xuất hiện tổn hao do ion hoá. Năng lượng tổn hao do ion hoá được tính bằng công thức sau:

$$P_i = A.f.(U-U_i)^3.$$

Trong đó: A- là hằng số; f- tần số; U_i - điện áp bắt đầu gây nên ion hoá; U- điện áp đặt lên điện môi.

Trên hình 4-13 ta thấy tổn hao điện môi tăng lên khi điện áp tăng. Quan hệ tgδ với điện áp gọi là **đường cong ion hoá**. Khi điện áp $U > U_B$ các phân tử chất khí đã được ion hoá, khi đó không cần tiêu tốn năng lượng cho quá trình ion hoá nữa nên tgδ có trị số giảm.

Ở tần số cao hiện tượng ion hoá và tổn thất năng lượng trong chất khí tăng lên đáng kể, đến mức làm cho các vật liệu cách điện bị cháy và phá huỷ.

Khi ion hoá ôxy của không khí biến thành ôzôn (O_3), chúng kết hợp với nitơ (N_2) và nước tạo thành axit nitơric (HNO_3). Axit HNO_3 sẽ gây nên sự phân huỷ hoá học các chất cách điện hữu cơ khi tiếp xúc với khí.

Các đường dây tải điện trên không điện áp cao và siêu cao gây nên phóng điện vầng quang (ion hoá) chất khí xung quanh dây dẫn và tổn hao năng lượng làm giảm hiệu suất đường dây. Để giảm tổn hao vầng quang trong thực tế cần phải thay đổi điện trường bằng cách tăng thiết diện dây dẫn hay phân dây pha thành các dây nhỏ nối với nhau tạo nên đường kính lớn (phân pha).

4.6. TỔN HAO ĐIỆN MÔI TRONG ĐIỆN MÔI LỎNG

- **Trong các chất lỏng trung tính**, tổn hao điện môi chỉ do dòng điện dẫn gây nên, nếu chất lỏng đó không chứa các tạp chất là các phân tử lưỡng cực. Do điện dẫn của các chất lỏng trung tính tinh khiết rất bé, nên tổn hao điện môi có trị số bé. Công thức tính tổn hao điện môi của dầu tụ đã được lọc sạch là công thức 4-6 đã nêu ở trên:

$$\text{tg}\delta = \frac{1,8 \cdot 10^{12}}{\epsilon \cdot f \cdot \rho}$$

- **Các điện môi lỏng cực tính**, tùy theo điều kiện nhiệt độ và tần số ngoài tổn hao do dòng điện dẫn còn có tổn hao do phân cực lưỡng cực gây nên. Nếu điện môi là chất cực tính mạnh thì có tổn hao lớn, tổn hao này phụ thuộc nhiều vào tần số và nhiệt độ (đã được trình bày ở trên).

Các điện môi lỏng dùng trong kỹ thuật thường là hỗn hợp các chất trung tính và cực tính, ví dụ: hỗn hợp dầu nhựa thông hoặc các chất lỏng cực tính như dầu thầu dầu, dầu xônôn.

- **Tổn hao điện môi phụ thuộc vào độ nhớt của chất điện môi đó**. Mặt khác, điện dẫn và độ nhớt chất lỏng lại phụ thuộc vào nhiệt độ. Do vậy tổn hao điện môi cũng phụ thuộc vào nhiệt độ. Một điều cần chú ý đặc biệt là khi điện môi cực tính

làm việc dưới điện áp xoay chiều tần số cao có tổn hao điện môi rất lớn. Tổn hao này do phân cực lưỡng cực gây nên.

- Dựa trên khái niệm về cơ chế phân cực lưỡng cực ta có thể giải thích được bản chất của tổn thất trong chất lỏng nhớt cực tính như sau:

Hướng theo sự biến đổi điện trường, các phân tử lưỡng cực quay trong môi trường nhớt và gây nên tổn hao điện năng do ma sát toả nhiệt.

Nếu độ nhớt của chất lỏng đủ lớn để các phân tử không kịp xoay theo sự biến đổi của điện trường và sự phân cực lưỡng cực bị mất đi, khi đó tổn hao điện môi sẽ nhỏ. Tổn hao do phân cực lưỡng cực cũng bé nếu độ nhớt của chất lỏng rất nhỏ và sự định hướng của các phân tử xảy ra không có ma sát. Khi độ nhớt có trị số trung bình, tổn hao lưỡng cực có thể có trị số đáng kể và đạt cực đại ở một độ nhớt nào đó.

Vị trí điểm cực đại được xác định từ điều kiện:

$$\omega \approx \frac{1}{\tau_0} \quad (4-29)$$

Trong đó: ω - tần số góc của điện áp;

τ_0 - thời gian xác lập phân cực.

Thời gian phân cực chậm τ_0 phụ thuộc vào độ nhớt của chất lỏng và như vậy τ_0 phụ thuộc vào nhiệt độ.

Hình 4-11 cho ta khái niệm về sự biến thiên tg δ theo nhiệt độ của hỗn hợp dầu nhựa thông đo ở hai tần số khác nhau. Một điều cần lưu ý là đường cong biểu diễn quan hệ tg δ theo nhiệt độ đồng thời cũng là đường cong (theo một tỷ lệ xích khác) quan hệ tổn hao năng lượng P theo nhiệt độ, vì $P \equiv tg\delta$.

Qua hình vẽ ta thấy khi tăng tần số, điểm cực đại của tg δ dịch chuyển về phía nhiệt độ cao hơn. Điều này có thể giải thích rằng khi tần số cao hơn thì đòi hỏi hằng số thời gian phân cực để nhận được góc tổn hao cực đại bé hơn, nhưng muốn giảm thời gian phân cực thì cần phải giảm độ nhớt, tức là phải tăng nhiệt độ.

Trị số nhỏ nhất của hàm tg $\delta = f(t'')$ tương ứng với nhiệt độ mà ở đó độ nhớt của chất lỏng trở nên nhỏ đến mức trên thực tế, sự định hướng của các lưỡng cực xảy ra không có ma sát. Trong trường hợp này tổn hao nhỏ.

Sự tiếp tục tăng tg δ theo độ tăng nhiệt độ được giải thích bởi độ tăng điện dẫn khi nhiệt độ tăng, điện dẫn này gây thêm tổn hao điện môi khi nhiệt độ tăng và tăng theo hàm số mũ.

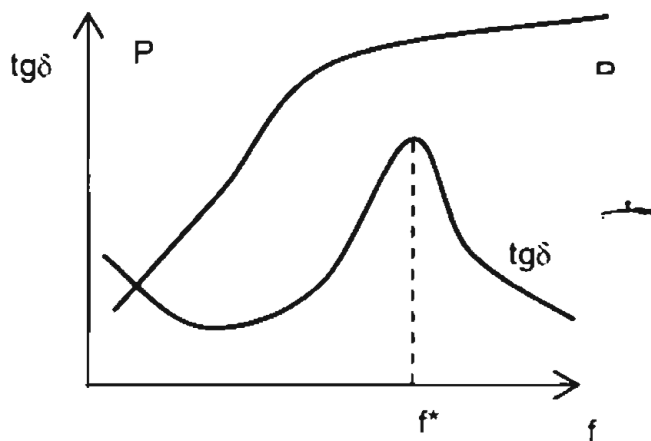
Trên hình 4-14 biểu diễn mối quan hệ giữa tg δ và P theo tần số của điện môi lỏng cực tính. Tổn hao điện môi tăng theo tần số cho đến lúc sự phân cực theo kịp sự biến đổi của trường. Khi tần số lớn tới mức các phân tử lưỡng cực không còn kịp

định hướng theo chiều của trường thì $tg\delta$ sẽ giảm, tổn hao năng lượng P trở nên không đổi. Như vậy đặc điểm biến thiên của tổn hao năng lượng theo tần số không tương ứng với đặc tuyến tần số của $tg\delta$.

Tổn hao do phân cực lưỡng cực chậm trong trường hợp chất lỏng có độ nhớt bé và tần số thấp sẽ không đáng kể và có thể nhỏ hơn

tổn hao do dòng điện rò. Ở tần số cao tổn hao do phân cực lưỡng cực chậm sẽ rất lớn so với tổn hao do dòng điện rò ngay cả khi độ nhớt có trị số bé. Do đó chất lỏng cực tính không thể sử dụng trong trường tần số cao.

Trong bảng 4-1 đưa ra trị số $tg\delta$ của hai điện môi lỏng. Từ số liệu của bảng 4-1 ta thấy chất lỏng trung tính có tổn hao điện môi bé hơn nhiều so với chất lỏng cực tính.



Hình 4-14. Quan hệ giữa $tg\delta$ và P với tần số f của chất lỏng cực tính.

Bảng 4.1: Trị số $tg\delta$ của một số điện môi lỏng

Tên điện môi	ϵ	$tg\delta$ ở $f = 10^6$ Hz và $t = 20^\circ\text{C}$	Ghi chú
Dầu tụ điện	2,2	< 0,0002	Chất lỏng trung tính
Dầu thầu dầu	4,5	0,01	Chất lỏng cực tính

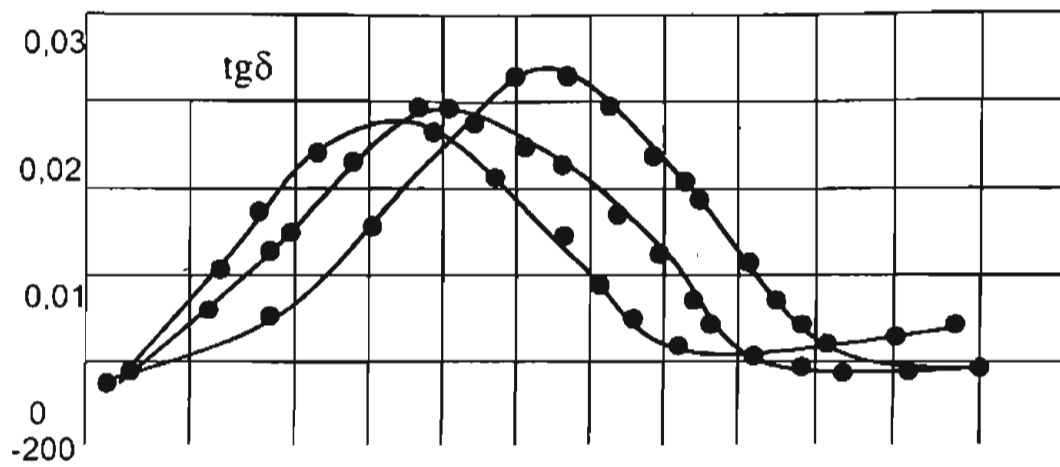
4.7. TỔN HAO ĐIỆN MÔI TRONG ĐIỆN MÔI RẮN

Điện môi rắn có rất nhiều loại, đa dạng về cấu trúc và các thành phần, do đó trong điện môi rắn có thể có tất cả các loại tổn hao điện môi. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu tổn hao điện môi trong vật rắn, có thể chia chúng ra làm bốn nhóm cơ bản sau: *điện môi có cấu tạo phân tử, cấu tạo ion, điện môi xéc-nhét và điện môi có cấu tạo không đồng nhất.*

4.7.1. Tổn hao điện môi trong các điện môi có cấu tạo phân tử

Tổn hao điện môi trong các điện môi có cấu tạo phân tử phụ thuộc vào loại phân tử. Nếu trong điều kiện có các phân tử trung tính và không có tạp chất thì tổn hao điện môi nhỏ không đáng kể. Tổn hao điện môi của các vật liệu này chỉ do dòng điện rò gây nên, chúng được dùng làm cách điện ở cả tần số thấp và tần số cao. Trong loại điện môi này có: lưu huỳnh, parafin, poliêtilen, politetrafloêtilen, teflon-4, polistiroi và các chất khác.

Các điện môi có cấu tạo phân tử cực tính chủ yếu là các chất hữu cơ được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật. Loại này bao gồm các vật liệu dựa trên cơ sở xenlulô như: giấy, bìa cátông và các



Hình 4-15. Quan hệ $tg\delta = f(t)$ của giấy khô.

chất khác: thủy tinh hữu cơ, poliamit poliurêtan, cao su, êbômít, bakêlít và một loạt các loại vật liệu khác. Tất cả các chất này có tổn hao lớn do phân cực lưỡng cực, nhất là ở tần số vô tuyến. Cho nên chúng không được dùng ở tần số cao.

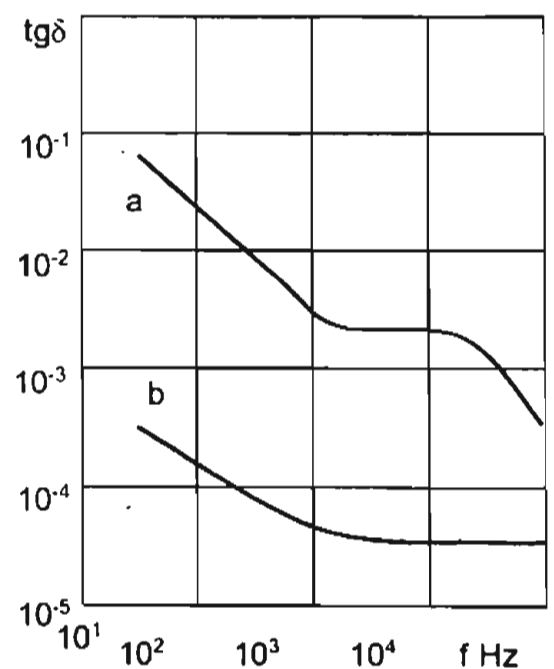
Tổn hao điện môi trong các điện môi phân tử cực tính có liên quan tới tần số và nhiệt độ. Ở một vài trị số nhiệt độ tổn hao điện môi có trị số cực đại và cực tiểu, sau đó tăng lên nhiều khi nhiệt độ cao, như đã trình bày ở phần trên.

Hình 4-15 trình bày quan hệ $tg\delta$ theo nhiệt độ đối với giấy.

4.7.2. Tổn hao điện môi của chất rắn có cấu tạo ion liên quan tới các đặc điểm sắp xếp ion trong mạng tinh thể

Trong các chất có cấu tạo tinh thể ion chặt chẽ khi không có tạp chất, tổn hao điện môi có trị số rất nhỏ. Ở nhiệt độ tăng cao, trong các chất này xuất hiện tổn thất do điện dẫn. Loại này bao gồm nhiều hợp chất tinh thể vô cơ có ý nghĩa rất lớn trong sản xuất gốm kỹ thuật điện hiện nay, ví dụ: corundum (bột đá mài) nằm trong thành phần sứ cao tần. Các tinh thể muối mỏ tinh khiết có tổn hao không đáng kể. Song chỉ cần một lượng tạp chất nhỏ sẽ làm biến dạng mạng lưới tinh thể và làm cho tổn hao điện môi tăng lên nhiều (xem hình 4-16).

Các điện môi có cấu tạo tinh thể ion rỗng buộc không chặt chẽ bao gồm một loạt chất kết tinh, được đặc trưng bởi các loại phân cực chậm làm tăng tổn thất điện môi. Trong các chất này có mulít là một thành phần của sứ cách điện, ôxít nhôm và khoáng xilicon nằm trong thành phần của gốm chịu lửa và các chất khác như: gốm, sứ, thủy tinh ...



Hình 4-16. Quan hệ $tg\delta = f(\omega)$ của muối mỏ:

a) tinh khiết; b) có tạp chất.

Đa số các loại gốm điện lượng ion tham gia vào phân cực chậm không ngừng tăng lên theo nhiệt độ. Do đó, tgđ tăng lên không có giá trị cực đại khi nhiệt độ tăng.

Tổn hao điện môi trong các chất không kết tinh có cấu tạo ion như thủy tinh vô cơ liên quan tới hiện tượng phân cực và sự tồn tại dòng điện dẫn.

Khi nghiên cứu cơ chế tổn hao điện môi thủy tinh cần phân biệt:

a) Tổn hao điện môi ít phụ thuộc vào nhiệt độ và tăng tỷ lệ thuận theo độ tăng của tần số (tgđ không phụ thuộc vào tần số).

b) Tổn hao tăng rõ rệt theo nhiệt độ theo quy luật hàm số mũ và ít phụ thuộc vào tần số (tgđ giảm khi tần số tăng).

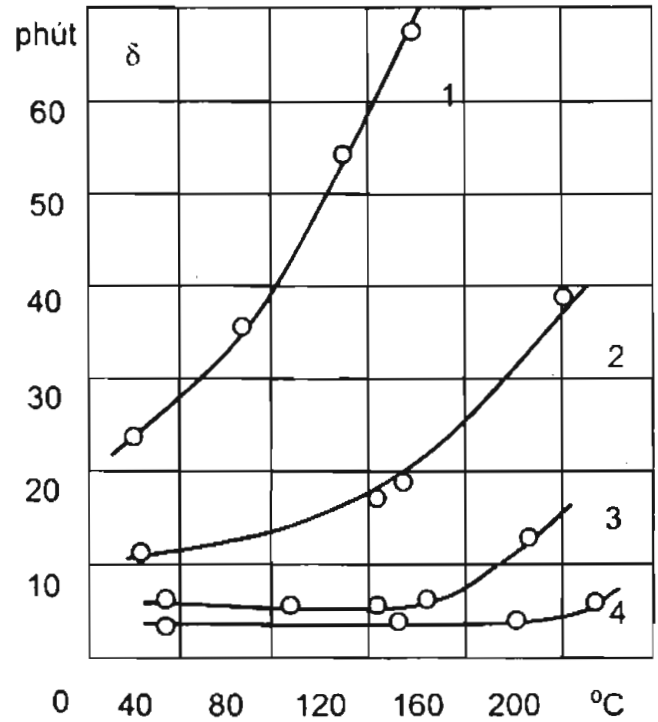
Công nghệ gia công nhiệt - nung hoặc tôi gây ảnh hưởng rõ rệt đến góc tổn hao điện môi của thủy tinh do cấu tạo của nó bị biến đổi.

Nếu thủy tinh có dòng điện rò càng lớn thì độ tăng của góc tổn hao điện môi δ sẽ thấy ở nhiệt độ càng thấp. Trên hình 4-17 cho thấy sự biến thiên của góc tổn hao điện môi theo nhiệt độ đối với thủy tinh có thành phần và điện dẫn khác nhau.

Yếu tố chủ yếu xác định tổn hao điện môi trong thủy tinh vô cơ phụ thuộc vào cách kết hợp của các ôxít chứa trong thủy tinh, bởi vì cách kết hợp ảnh hưởng đến cấu tạo thủy tinh. Sự tồn tại ôxít kiềm (Na_2O , K_2O) trong thủy tinh khi không có ôxít của các kim loại nặng (BaO , PbO) làm tăng đáng kể tổn hao điện môi của thủy tinh. Đưa ôxít nặng vào làm giảm tgđ của thủy tinh kiềm.

4.7.3. Tổn hao điện môi trong điện môi xec-nhét

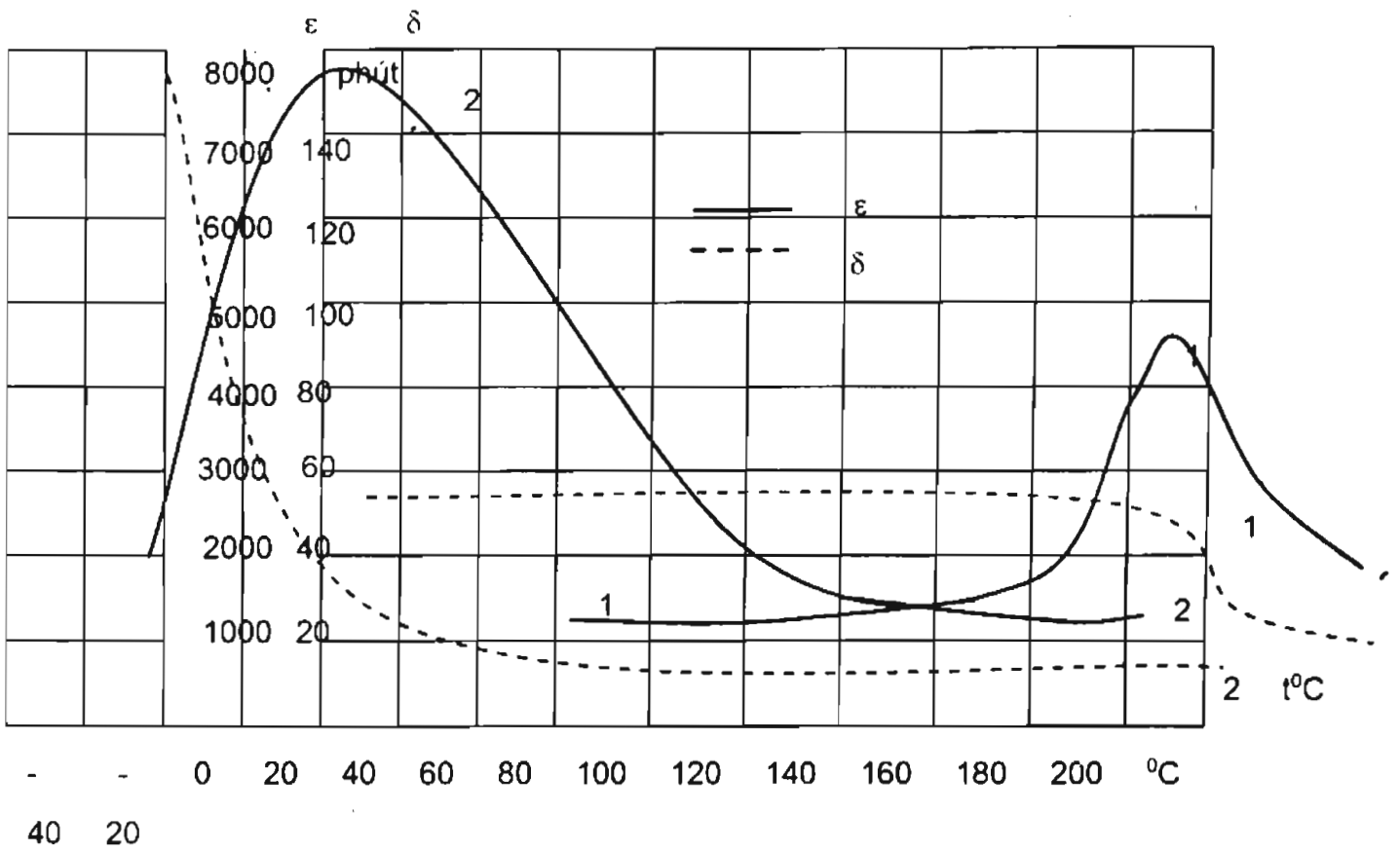
Tổn hao điện môi trong điện môi xec-nhét cao hơn so với các điện môi khác là do có hiện tượng phân cực tự phát. Sự phân cực này có đặc điểm là phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ và có điểm cực đại ở một nhiệt độ xác định (điểm Quyri). Ở nhiệt độ cao hơn điểm Quyri thuộc tính điện môi xec-nhét mất đi và phân cực tự



Hình 4-17. Quan hệ góc tổn hao điện môi δ với nhiệt độ của thủy tinh kiềm khi $f = 1 \text{ MHz}$:

1. Kính cửa sổ $\rho = 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$.
2. Thủy tinh pirêch natri thường $\rho = 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$.
3. Thủy tinh pirêch kali $\rho = 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$.
4. Thủy tinh pirêch kali $\rho = 5 \cdot 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$.

phát cũng mất. Tổn hao điện môi trong điện môi xéc-nhét ít biến đổi theo nhiệt độ ở vùng phân cực tự phát và giảm đột ngột sau điểm Quyri.



Hình 4-18. Quan hệ giữa hằng số điện môi và góc δ với nhiệt độ của điện môi xéc-nhét: 1 và 2 -Metatitanat bari $BaO.TiO_2$ có các chất phụ thêm khác nhau.

Trên hình 4-18 cho thấy sự biến thiên của góc tổn hao điện môi và hằng số điện môi theo nhiệt độ đối với hai điện môi gốm xéc-nhét có thành phần khác nhau và điểm Quyri khác nhau.

4.7.4. Tổn hao điện môi trong chất rắn có cấu tạo không đồng nhất

Tổn hao điện môi trong chất rắn có cấu tạo không đồng nhất thường cao hơn so với tổn hao điện môi của các thành phần. Điện môi không đồng nhất bao gồm vật liệu mà trong thành phần của nó chứa không ít hơn hai chất. Ví dụ, trong gốm, sứ, thủy tinh hay các tổ hợp cách điện khác nhau có chứa các bọt khí ở bên trong. Ở điện áp cao, các bọt khí sinh ra tổn hao điện môi do ion hoá làm ảnh hưởng tới tổn hao điện môi của điện môi đang xét.

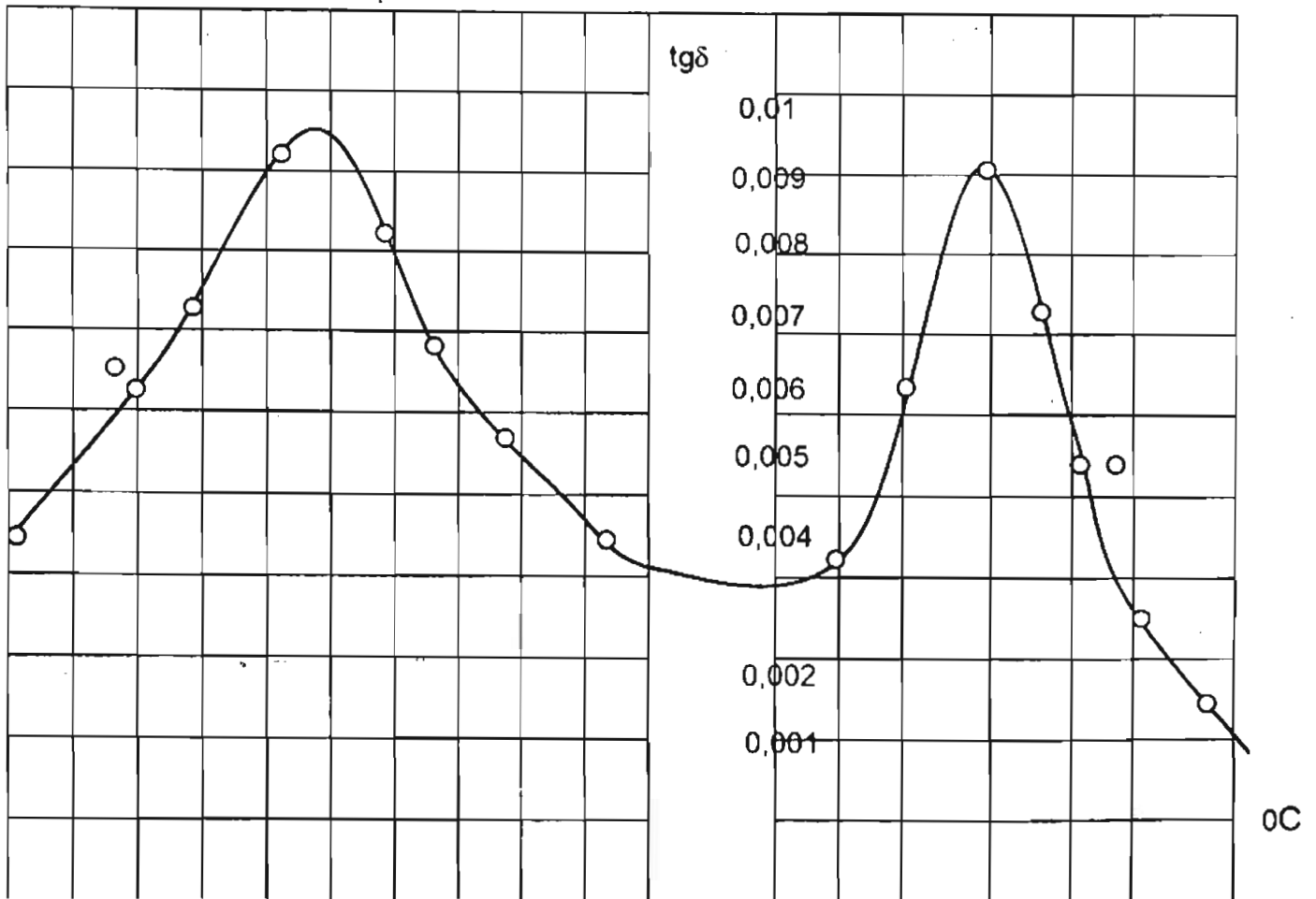
Tổn hao điện môi trong gốm có thể tăng lên nếu trong quá trình chế tạo vật liệu có các tạp chất bán dẫn với tính dẫn điện bằng điện tử. Tổn hao trong gốm cũng tăng lên do hút ẩm khi có các lỗ xốp hở.

Mica là vật liệu có cấu tạo nhiều lớp. Các lớp bán dẫn trong mica làm tăng tgđ khi ở điện áp xoay chiều tần số thấp.

Giấy tẩm cũng thuộc loại điện môi có cấu tạo không đồng nhất. Loại giấy này ngoài sợi xenlulô còn chứa các chất tẩm với thành phần khác nhau. Tổn hao

điện môi của giấy tẩm được xác định bởi thuộc tính điện của cả hai yếu tố và quan hệ về lượng của chúng.

Hình 4-19 cho thấy sự biến thiên của $tg\delta$ theo nhiệt độ của giấy tẩm hỗn hợp dầu nhựa thông. Đường cong có hai điểm cực đại: điểm thứ nhất (ở nhiệt độ thấp),



Hình 4-19. Quan hệ $tg\delta$ theo nhiệt độ của giấy tụ điện đã được tẩm 80% nhựa thông và 20% dầu biến thế.

đặc trưng cho tổn hao điện môi của bản thân giấy (xenlulô), điểm thứ hai (ở nhiệt độ cao hơn) do tổn hao phân cực lưỡng cực chậm của hỗn hợp chất tẩm.

Trong kỹ thuật điện người ta còn sử dụng rất nhiều vật liệu không đồng nhất khác: chất dẻo, chất dộn, micamít, các lớp cách điện khác nhau trong cáp điện và thiết bị điện v.v... Tổ hợp các cách điện rất phức tạp và đa dạng, nên khi tính tổn hao điện môi cần phải xem xét từng cách điện cụ thể.

Chương V

SỰ PHÓNG ĐIỆN TRONG ĐIỆN MÔI

5.1. KHÁI NIỆM

Thực nghiệm cho ta thấy khi cường độ điện trường đặt lên điện môi vượt quá một giới hạn nào đó sẽ xảy ra hiện tượng phóng điện chọc thủng điện môi, khi đó điện môi bị mất hoàn toàn tính chất cách điện. Hiện tượng đó chính là sự phóng điện chọc thủng của điện môi hay là sự phá huỷ độ bền điện môi.

Phóng điện chọc thủng còn gọi là đánh thủng điện môi hay phóng điện xuyên qua điện môi. Trị số điện áp mà ở đó xảy ra đánh thủng điện môi được gọi là điện áp đánh thủng (U_{dt}), trị số tương ứng của cường độ điện trường là cường độ đánh thủng hay cường độ điện trường cách điện của điện môi (E_{dt}).

$$E_{dt} = \frac{U_{dt}}{h}, [kV/mm] \quad (5-1)$$

Trong đó: h- chiều dày của điện môi, đo bằng mm.

Cường độ điện trường cách điện của điện môi "E" = E_{dt} đây chính là điện áp đánh thủng điện môi trên một milimét chiều dày điện môi. Khi tính toán để chọn chiều dày điện môi của một thiết bị làm việc ở điện áp định mức nào đó (U_{dm}), cần phải nhân với hệ số an toàn hay chính xác hơn là hệ số làm việc an toàn K:

$$h = K \cdot \frac{U_{dm}}{E_{dt}}, [mm] \quad (5-2)$$

Trong thực tế có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng tới cường độ điện trường cách điện của điện môi: dạng điện trường, dạng điện áp, thời gian tác dụng của điện áp, điều kiện môi trường như áp suất, nhiệt độ, độ ẩm, v.v...

Các chất khí, lỏng, rắn có cơ cấu và diễn biến quá trình phóng điện khác nhau, do đó khi nghiên cứu sự phóng điện cần phải xét riêng cho từng trường hợp.

5.2. SỰ PHÓNG ĐIỆN TRONG ĐIỆN MÔI KHÍ

Các chất khí chủ yếu là không khí thường được dùng làm chất cách điện của các thiết bị điện làm việc trong không khí và của đường dây tải điện trên không. Không khí hoặc phối hợp với các điện môi khác hoặc đơn độc làm nhiệm vụ cách điện giữa các pha hoặc giữa pha với đất (vỏ máy). Bởi vậy, đặc tính cách điện của chất khí có ý nghĩa rất quan trọng trong kỹ thuật điện cao áp. Khi chúng mất khả năng cách điện sẽ gây nên hiện tượng ngắn mạch và dẫn đến các sự cố trong các thiết bị điện và hệ thống điện. Trong nội bộ các điện môi rắn và lỏng cũng thường tồn tại các bọt khí, đó là các điểm cách điện suy yếu vì cách điện của các điện môi này bị hư hỏng thường bắt nguồn từ các quá trình phóng điện của bọt khí. Vì vậy, nghiên cứu quá trình phóng điện trong điện môi khí với mục đích khắc phục và loại trừ sự cố trong các thiết bị và hệ thống điện.

5.2.1. Yêu cầu chung đối với các chất khí cách điện

Các chất khí dùng làm chất cách điện phải đạt được các yêu cầu sau đây:

Phải là loại khí trơ, nghĩa là không gây ra phản ứng hoá học với các chất cách điện khác trong cùng kết cấu cách điện hoặc với các kim loại của thiết bị điện.

Có cường độ cách điện cao. Sử dụng các chất khí có cường độ cách điện cao sẽ giảm được kích thước kết cấu cách điện và của thiết bị.

Nhiệt độ hoá lỏng thấp để có thể sử dụng chúng ở trạng thái áp suất cao.

Phải rẻ tiền, dễ tìm kiếm và chế tạo.

- Tản nhiệt tốt. Ngoài nhiệm vụ cách điện của chất khí còn có nhiệm vụ làm mát (như trong máy điện) thì còn yêu cầu phải dẫn nhiệt tốt.

Không khí là loại khí thường gặp nhất thoả mãn được yêu cầu (4) nhưng lại không đạt yêu cầu (1) và (2), nhất là yêu cầu (1). Quá trình ion hoá trong không khí thường phát sinh các chất ôzôn, ôxít nitơ, biôxít nitơ và kết hợp với nước thành axít nitơric (HNO_3), chúng sẽ ăn mòn kim loại và các bộ phận cách điện khác. Cường độ cách điện của không khí chỉ bằng 1/10 so với dầu biến áp, cho nên để tăng cường độ cách điện của nó lên ngang với các chất cách điện rắn và lỏng cần phải tăng áp suất không khí tới 10÷15 ata, điều đó sẽ làm cho kết cấu và vận hành của thiết bị càng thêm phức tạp. Hiện nay đã và đang sử dụng các chất khí có cường độ cách điện cao như êlêgaz, frêôn v.v...

Đặc tính của một số chất khí cách điện thường dùng cho ở bảng 5-1.

Bảng 5.1: Đặc tính của một số chất khí cách điện

Tên chất khí	Thành phần hoá học	Cường độ cách điện tương đối so với không khí	Nhiệt độ hoá lỏng °C
Không khí	-	1	-
Êlêgaz	SF ₆	2,5	-62
Frêôn	C Cl ₂ F ₂	2,5	-30
Tetraclorua cacbon	C Cl ₄	6,3	+76

Qua bảng 5-1 ta thấy: êlêgaz và frêôn có cường độ cách điện tương đối cao, nhiệt độ hoá lỏng thấp nên có thể nén ở áp suất cao mà vẫn giữ được trạng thái khí. Song nhược điểm của chúng là đắt tiền. Khí CCl₄ thực chất là chất lỏng khi ở nhiệt độ bình thường, mặc dù có cường độ cách điện cao, song nó không được dùng trong thực tế.

5.2.2. Các dạng ion hoá xảy ra trong chất khí

Các chất khí không phải là chất cách điện lý tưởng chỉ chứa các phân tử trung hoà mà bao giờ cũng có một số ion và điện tử tự do. Bình thường các điện tích và điện tử tự do này luôn ở trong trạng thái chuyển động nhiệt. Khi có điện trường bên ngoài tác động chúng sẽ chuyển động theo phương của trường và tạo nên dòng điện dẫn trong điện môi.

Các điện tích của chất khí được tạo nên bởi quá trình ion hoá tự nhiên. Ví dụ: trong không khí dưới tác dụng của các yếu tố bên ngoài (tia cực ngắn của mặt trời, tia vũ trụ, nhiệt độ, tia tử ngoại v.v...) thường xảy ra mấy chục lần ion hoá trong một giây. **Quá trình ion hoá** là quá trình biến một phân tử trung hoà thành ion dương và điện tử tự do. Năng lượng cần thiết để cung cấp cho phân tử trung hoà để phân tử đó bị ion hoá gọi là **năng lượng ion hoá (W_i)**. Ngược lại với quá trình ion hoá là **quá trình kết hợp** giữa các ion dương với điện tử hay ion âm để trở thành phân tử trung hoà. Năng lượng ion hoá phân tử của chất khí khác nhau thì cũng khác nhau, nó phụ thuộc vào năng lượng liên kết giữa hạt nhân và điện tử của phân tử các chất khí đó. Năng lượng dùng để ion hoá khi trước sẽ được trả lại dưới dạng bức xạ với độ dài sóng xác định theo công thức:

$$h\nu = W_i + \Delta W_k \quad (5-3)$$

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s - là hằng số Planck.

ΔW_k - sự chênh lệch tổng năng lượng của phân tử trước và sau khi va chạm.

Nếu năng lượng cung cấp cho phân tử trung hoà nhỏ hơn năng lượng ion hoá ($w < w_i$) thì chỉ làm kích thích dao động của điện tử trong phân tử, sau một thời gian rất ngắn chúng trở lại trạng thái ban đầu. Các phân tử bị kích thích khi trở lại trạng thái bình thường cũng trả lại năng lượng dưới dạng bức xạ tương tự như trên. Tùy thuộc vào dạng năng lượng cung cấp cho điện tử trong quá trình ion hoá, có thể có các dạng ion hoá sau đây:

a) Ion hoá va chạm: Khi các phân tử đang chuyển động va chạm nhau, động năng của chúng sẽ chuyển cho nhau và do đó có thể xảy ra ion hoá nếu:

$$W = \frac{mv^2}{2} \geq W_i \quad (5-4)$$

m - khối lượng phân tử; v - tốc độ chuyển động của phân tử.

b) Ion hoá quang: Năng lượng cần thiết để ion hoá có thể lấy từ bức xạ của sóng ngắn, với điều kiện:

$$W = h \cdot \nu \geq w_i \quad (5-5)$$

hoặc:
$$\lambda \leq \frac{ch}{W_i} \quad (5-6)$$

λ - độ dài sóng của sóng ngắn ($\lambda = \frac{c}{\nu}$); ν - tần số bức xạ của sóng ngắn; c - tốc độ ánh sáng.

c) Ion hoá nhiệt: Ở nhiệt độ cao có thể phát sinh các quá trình sau:

Ion hoá va chạm giữa các phân tử do các phân tử chuyển động với tốc độ lớn.

Ion hoá do bức xạ nhiệt của khí bị nung nóng.

Ion hoá va chạm giữa những phân tử và điện tử hình thành do hai quá trình trên.

Theo lý thuyết của khí động học thì ở bất kỳ nhiệt độ nào cũng có các phân tử chuyển động với nhiều tốc độ khác nhau, cho nên ở bất kỳ nhiệt độ nào cũng đều có khả năng ion hoá, chỉ khác nhau là xác suất nhiều hay ít. Nhiệt độ càng cao thì khả năng ion hoá càng lớn. Ở nhiệt độ bình thường xác suất này rất bé.

Xác suất ion hoá do bức xạ nhiệt cũng phụ thuộc vào nhiệt độ vì sự phân ly phân tử theo độ dài sóng cũng tương tự như trên và khi nhiệt độ càng cao thì khả năng ion hoá càng nhiều.

Năng lượng nhiệt và nhiệt độ cần thiết để xảy ra quá trình ion hoá được xác định theo công thức:

$$W = \frac{3}{2} kT \geq W_i \quad (5-7)$$

T - nhiệt độ tuyệt đối của chất khí;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^{\circ}\text{K}$ - là hằng số Boltzman.

d) **Ion hoá bề mặt:** Ba dạng ion hoá trên xảy ra trong thể tích chất khí, còn dạng ion hoá bề mặt xảy ra ngay trên bề mặt điện cực kim loại (katod).

Để giải thoát điện tử ra khỏi bề mặt cực cũng cần một năng lượng nhất định, năng lượng này được gọi là "công thoát" điện tử. Công thoát điện tử từ bề mặt cực phụ thuộc vào vật liệu làm điện cực và trạng thái bề mặt cực. Trong bảng 5.2 cho trị số công thoát của một số kim loại làm điện cực thường gặp.

Bảng 5.2: Trị số công thoát của kim loại

Tên kim loại	Công thoát (eV)
Nhôm	1,8
Đồng	3,9
Sắt	3,9

Có thể dùng các biện pháp sau đây để tăng cường ion hoá bề mặt:

- Nung nóng âm cực. Do cực được nung nóng, điện tử sẽ chuyển động mạnh hơn và có năng lượng lớn hơn. Nếu năng lượng này đạt được trị số nhất định vượt qua "**hàng rào thế năng**" thì nó sẽ thoát ra khỏi bề mặt điện cực.

- Bắn phá bề mặt âm cực bằng các phân tử có động năng lớn (ion dương).

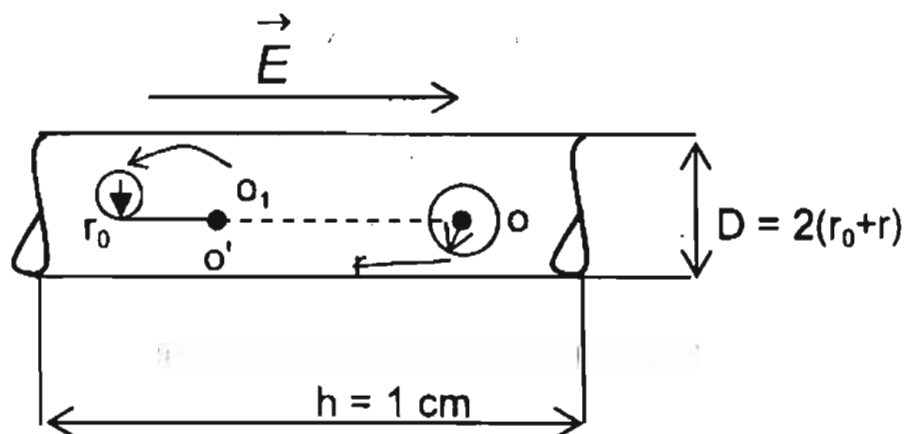
- Dùng sóng ngắn chiếu lên mặt điện cực (tia α , β , γ ...).

- Tác dụng bằng điện trường cực mạnh hay còn gọi là bức xạ nguội, thường xảy ra khi cường độ điện trường khoảng 1.000 kV/cm.

5.2.3. Quá trình ion hoá và hệ số ion hoá chất khí khi ở trong điện trường

Ở nhiệt độ bình thường năng lượng chuyển động nhiệt của các phân tử khí không đủ để gây nên ion hoá, nhưng nếu có điện trường tác động thì các điện tích tự do có sẵn trong nội bộ chất khí sẽ chuyển động tích lũy năng lượng và tăng tốc độ, khi va chạm với các phân tử khí có thể làm cho các phân tử đó bị ion hoá.

Ion hoá va chạm là yếu tố cơ bản của quá trình phóng điện chất



Hình 5-1. Điện tích chuyển động trong điện trường đều.

khí. Giải thích hiện tượng phóng điện của chất khí dựa theo yếu tố này không những đơn giản, dễ hiểu mà còn đạt được mức độ chính xác cần thiết.

Chúng ta đi xem xét quá trình chuyển động và va chạm của các điện tích có bán kính r_0 trong môi trường phân tử khí có bán kính r với mật độ phân tử khí là N (phân tử / cm^3). Dưới tác dụng của lực điện trường các điện tích sẽ chuyển động, điện tích dương đi về phía cực âm và ngược lại điện tích âm (trong đó có điện tử tự do) đi về phía cực dương. Trên quãng đường chuyển động các điện tích này sẽ va chạm với phân tử trung hoà. Trường hợp đơn giản nhất là các điện tích chuyển động trong điện trường đều có đường sức của từ trường song song với nhau (hình 5-1).

Trên hình vẽ ta có điện môi có dạng hình trụ, chiều cao hình trụ $h = 1 \text{ cm}$, đường kính $D = 2(r_0 + r)$. Để có va chạm giữa điện tích có bán kính r_0 với phân tử khí có bán kính r thì khoảng cách giữa hai tâm của chúng nhỏ hơn hay bằng tổng hai bán kính (trong luồng chuyển động):

$$O_1O' \leq (r_0 + r).$$

Nói cách khác mọi phân tử khí có bán kính r nằm trong hình trụ sẽ va chạm với điện tích có bán kính r_0 . Khi cho điện tích chạy qua đoạn đường 1 cm thì số lần va chạm giữa nó với các phân tử sẽ bằng số phân tử nằm ở trong hình trụ có diện tích đáy $\pi(r_0+r)^2$ (chiều cao hình trụ là 1 cm). Nếu gọi S là số lần va chạm trong hình trụ thì:

$$S = \pi(r_0+r)^2 \cdot 1 \cdot N \text{ (lần)} \quad (5-8)$$

Nếu lấy đoạn đường chuyển động của điện tích r_0 chia cho số lần va chạm S sẽ được trị số đoạn đường tự do (khoảng cách giữa hai lần va chạm kế tiếp nhau) trung bình của phân tử r_0 trong môi trường các phân tử r .

$$\lambda = \frac{1(\text{cm})}{S(\text{lần})} = \frac{1}{\pi(r_0+r)^2 \cdot N} \quad (5-9)$$

Do điện tử có bán kính r_0 nhỏ hơn nhiều so với bán kính phân tử r ($r_0 \ll r$) nên đoạn đường tự do trung bình của các điện tử tính theo công thức sau:

$$\lambda_e = \frac{1}{\pi r^2 \cdot N} \quad (5-10)$$

Nếu là ion chuyển động trong môi trường phân tử r , sẽ có:

$$\lambda_i = \frac{1}{4\pi r^2 \cdot N} \quad (5-11)$$

vì $r_i \approx r$.

Qua công thức (5.10) và (5.11) ta thấy $\lambda_e = 4 \lambda_i$.

Thay trị số $N = \frac{P}{kT}$ vào công thức (5.10) ta được:

$$\lambda_e = \frac{kT}{\pi r^2 \cdot P} \quad (5-12)$$

Trong đó: P - áp suất khí; T - nhiệt độ "k; k - hằng số Bônzômal. Khi nhiệt độ môi trường không thay đổi T = const sẽ có số lần va chạm của điện tử là:

$$Se = \frac{l}{\lambda_e} = A \cdot P \quad (5-13)$$

với:
$$A = \frac{\pi r^2}{kT}$$

Như vậy, trong điều kiện nhiệt độ môi trường không đổi, trị số đoạn đường tự do trung bình tỷ lệ nghịch với áp suất. Từ đó có thể suy ra được số lần va chạm của điện tử và ion với các phân tử r. Trong các lần va chạm này không phải lần nào cũng đều gây nên ion hoá phân tử khí vì còn phải đảm bảo yêu cầu về năng lượng theo công thức (5-4), nghĩa là các điện tử, ion trong phạm vi của một đoạn đường tự do phải tích lũy đủ số năng lượng cần thiết.

Ta cần phải xác định quy luật đoạn đường tự do của các điện tích trong quá trình chuyển động theo chiều tác dụng của cường độ điện trường. Để xác định quy luật này có thể dùng ví dụ trên hình 5-2.

Giả sử ở x = 0 có n₀ các điện tích bắt đầu chuyển động về phía x, khi bay càng xa vị trí x = 0 thì số phân tử chưa bị va chạm giảm dần, đến vị trí x còn lại n các điện tích chưa bị va chạm và ở mức x + dx tiếp theo thì chỉ còn n' = n - dn điện tích chưa bị va chạm. Trị số dn là số hao hụt của các điện tích chưa bị va chạm trên đoạn dx, đây cũng là số lần va chạm xảy ra trên đoạn đường dx. Do đó ta có:

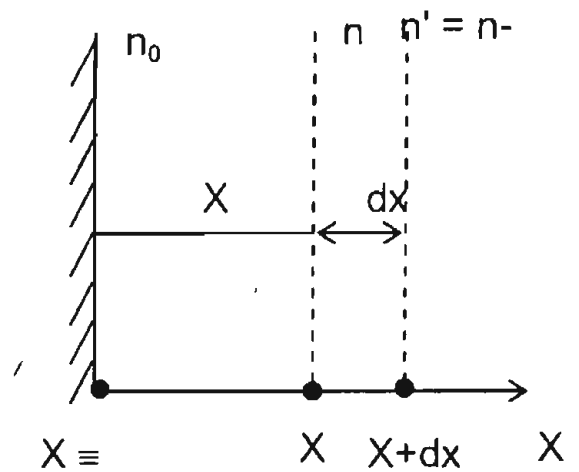
$$-dn = n \frac{1}{\lambda} dx \quad (5-13')$$

Trong đó: $\frac{1}{\lambda} dx$ - là số lần va chạm của một điện tích trên đoạn dx; dấu âm ở trước dn là do trị số n giảm dần.

Giải phương trình vi phân (5-13) ta được:

$$n = n_0 e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (5-14)$$

Với điều kiện ban đầu x = 0 thì n = n₀.



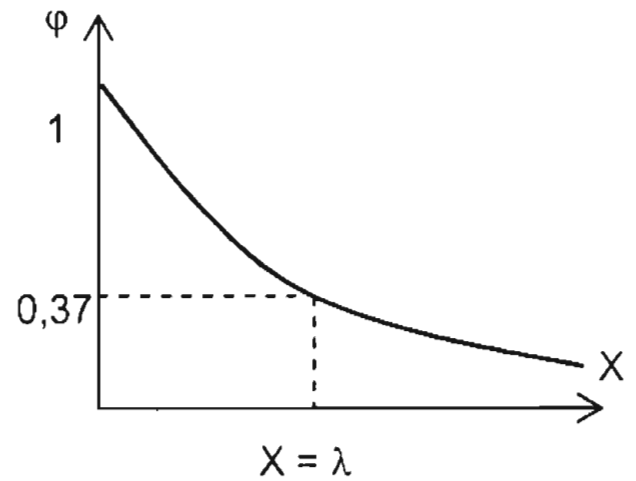
Hình 5-2. Xác định đoạn đường tự do của các điện tích trong điện trường.

Công thức (5-14) cũng biểu thị sự phân bố các điện tích theo đoạn đường tự do, vì theo định nghĩa trên thì n là số điện tích chưa bị va chạm ở mức x , số điện tích này có đoạn đường tự do lớn hơn hoặc bằng x . Công thức trên có thể viết dưới dạng:

$$\varphi = \frac{n}{n_0} = e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (5-15)$$

Hàm φ biểu thị quy luật phân bố đoạn đường tự do, nói lên xác suất của các đoạn đường tự do có trị số bằng hoặc lớn hơn x .

Trên hình 5-3 cho ta quan hệ giữa hàm φ với x ; khi $x = \lambda$ thì $\varphi = 0,37$ nghĩa là chỉ có 37% số đoạn đường tự do của các điện tích có trị số bằng hoặc lớn hơn trị số đoạn đường tự do trung bình. Như vậy, điện tích khi chạy qua đoạn đường 1 cm sẽ bị va chạm $S = 1/\lambda$ lần, các đoạn đường tự do của S lần va chạm này dĩ nhiên không phải đều có trị số bằng λ mà phân bố theo quy luật của hàm φ (công thức 5-15), sẽ có Sx lần va chạm với trị số đoạn đường tự do bằng hoặc lớn hơn x :



Hình 5-3. Quan hệ $\varphi = f(X)$.

$$Sx = S \cdot \varphi = \frac{1}{\lambda} e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (5-16)$$

Công thức (5-16) cho ta đo khả năng tính toán hệ số ion hoá va chạm của điện tích, tức là số lần ion hoá do va chạm gây ra bởi điện tích này chạy qua đoạn đường 1cm. Nếu gọi hệ số ion hoá do điện tử tự do gây nên là α ; hệ số ion hoá do ion gây nên là β , thì ta thấy $\alpha \gg \beta$; cho nên trong tính toán thường bỏ qua quá trình ion hoá do va chạm của ion.

Để đơn giản cho việc tính hệ số ion hoá α , dùng các giả thiết sau đây:

- Không xét khả năng ion hoá từng cấp, nghĩa là ion hoá va chạm do điện tử chỉ xảy ra khi năng lượng mà nó tích lũy được phải lớn hơn hoặc bằng năng lượng ion hoá của phân tử khí đó ($W \geq W_i$).

- Điện tử sau mỗi lần va chạm dù có hay không gây nên ion hoá đều mất toàn bộ năng lượng, nghĩa là năng lượng của nó trong lần va chạm sau chỉ được tích lũy trong quá trình chuyển động ở đoạn đường tự do.

- Quỹ đạo chuyển động của điện tử trùng với phương đường sức của điện trường.

Khi chuyển động trong điện trường có cường độ E , nếu qua đoạn đường x mà không bị va chạm thì điện tử sẽ được tích lũy một năng lượng $w = Eqx$ (q - là điện tích của điện tử). Như vậy, điều kiện để điện tử có thể gây nên ion hoá phân tử khí là:

$$W = Eqx \geq W_i \quad (5-17)$$

Từ (5.17) suy ra độ dài của đoạn đường tự do cần thiết để có ion hoá là:

$$x_i \geq \frac{W_i}{qE} \quad (5-18)$$

Khi chạy qua đoạn đường l cm điện tử sẽ có $S = \frac{l}{\lambda_e}$ lần va chạm với phân tử khí, trong đó số lần va chạm với đoạn đường tự do bằng hoặc lớn hơn x_i để gây ion hoá, đây cũng chính là hệ số ion hoá α . Do vậy:

$$Sx_i = \alpha = \frac{l}{\lambda_e} e^{-\frac{Sx_i}{\lambda_e}} \quad (5-19)$$

Từ (5-18) và (5-19) ta có:

$$\alpha = \frac{l}{\lambda_e} e^{-\frac{W_i}{qE\lambda_e}} \quad (5-20)$$

Kết hợp với công thức (5-13) thay thế trị số λ_e theo P , ta được:

$$\alpha = Ape^{-\frac{Bp}{E}} \quad (5-21)$$

với

$$B = \frac{A W_i}{q}$$

Dạng tổng quát có thể viết như sau:

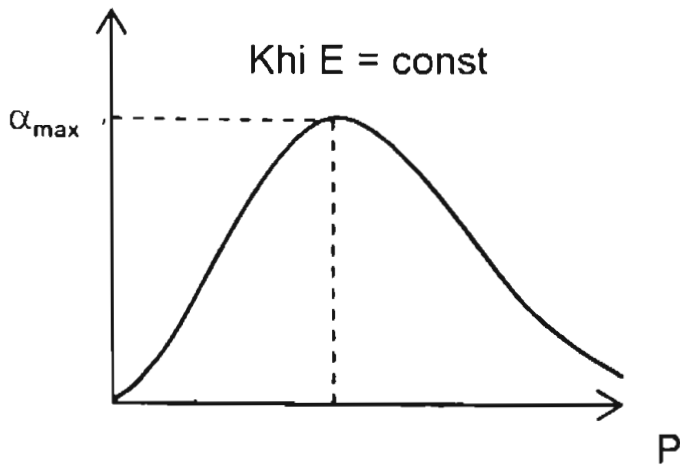
$$\frac{\alpha}{p} = f\left(\frac{E}{p}\right) \quad (5-22)$$

Như vậy, khi nhiệt độ không thay đổi, hệ số ion hoá chất khí do điện tử gây nên phụ thuộc vào áp suất (p) và cường độ điện trường (E) đặt lên chất khí. Trên hình 5-4 cho quan hệ $\alpha = f(p)$ khi $E = \text{const}$ và trên hình 5-5 cho quan hệ $\alpha = f(E)$ khi $p = \text{const}$.

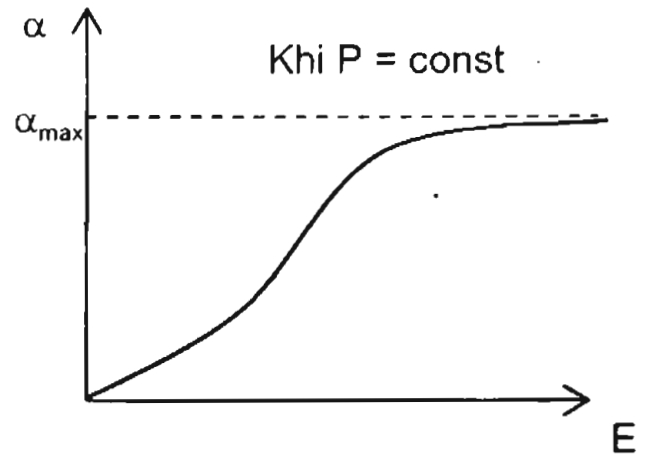
Qua hình 5-4, sự biến thiên của α theo P có thể giải thích như sau:

Khi áp suất P bé, đoạn đường chuyển động tự do của điện tử λ_e lớn, năng lượng tích lũy của điện tử lớn nên có thể gây nên ion hoá lớn, nhưng do mật độ phân tử khí bé, xác suất va chạm rất bé nên α không thể có trị số lớn. Ngược lại khi áp suất lớn, tuy mật độ phân tử khí tăng, xác suất va chạm cũng tăng nhưng đoạn đường tự do λ lại giảm, năng lượng tích lũy trên đoạn đường λ này sẽ giảm, nên α

cũng không thể có trị số lớn. Vì vậy trong quá trình biến thiên, α có xuất hiện trị số cực đại tại P_* . Ở tại vị trí P_* có hệ số ion hoá đạt cực đại α_{max} ; dễ dàng tạo nên điện tích và sự phóng điện. Trong thực tế áp dụng trường hợp này làm đèn ống, đèn quảng cáo, đèn trang trí, v.v... (cần cho sự phóng điện sớm). Còn khi hạn chế không để xảy ra phóng điện thường dùng miền áp suất có α bé, tức là áp suất thấp hoặc áp suất cao. Điều này ta còn xem xét ở các phần sau.



Hình 5-4. Quan hệ $\alpha = f(P)$ khi $E = \text{const}$.



Hình 5.5. Quan hệ $\alpha = f(E)$ khi $P = \text{const}$.

Hệ số ion hoá α phụ thuộc vào cường độ điện trường khi $p = \text{const}$ ở trên hình 5-5 cho thấy hệ số α tăng khi trường tăng là do điện tử tích lũy được càng nhiều năng lượng, đặc biệt khi $E \rightarrow \infty$ (đạt trị số rất lớn) mọi lần va chạm đều gây nên ion hoá. Song do áp suất không đổi, mật độ phân tử khí cũng không đổi, nên hệ số ion hoá α tiến tới một giới hạn α_{max} nào đó ($\alpha = \frac{1}{\lambda_e} = Ap$). Ở mỗi một áp suất khí khác nhau thì có hệ số ion hoá cực đại α_{max} cũng khác nhau.

Mặc dù bị ràng buộc bởi các giả thiết đã nêu ở trên nhưng kết quả tính toán tương đối phù hợp với thực nghiệm. Các hệ số A và B theo số liệu thực nghiệm cho ở bảng 5.3.

Bảng 5.3: Hệ số A và B của các loại khí

Loại khí	A (V/cm.mm Hg)	B (V/cm. mm Hg)	Phạm vi của E/P (V/cm. mm Hg)
Không khí	14,6	365	150 ÷ 600
Không khí	8,5	250	20 ÷ 150
Ar	1,85	52	20 ÷ 510
He	4,8	9	20 ÷ 100

5.2.4. Quá trình hình thành thác điện tử và sự phóng điện trong điện môi khí

Quá trình ion hoá chất khí sẽ đưa đến sự hình thành thác điện tích trong khu vực giữa hai điện cực. Nếu tiếp tục tăng điện áp thác điện tích phát triển mạnh, khi mật độ điện tích đủ lớn sẽ gây nên sự phóng điện trong điện môi khí tạo thành dòng plasma nối liền giữa hai điện cực.

Chúng ta xét quá trình ion hoá chất khí giữa hai điện cực với nguồn điện áp một chiều (hình 5-6). Điện trường bên ngoài \vec{E} có chiều từ cực dương (+) đến cực âm (-).

Giả thiết rằng ban đầu vì lý do nào đó có tồn tại một điện tử tự do ở phía cực âm. Dưới tác dụng của điện trường E , điện tử sẽ bay về phía cực dương. Trong quá trình chuyển động điện tử sẽ va chạm với các phân tử khí và gây nên ion hoá với hệ số ion hoá là α . Sau mỗi lần ion hoá xuất hiện thêm điện tử tự do và ion dương. Các điện tử tự do mới được sinh ra cũng được gia tốc, tích lũy năng lượng và gây nên ion hoá, đồng thời các ion dương mới sinh ra sẽ chuyển động theo chiều ngược lại hay về phía cực âm cũng có thể gây nên ion hoá chất khí với hệ số ion hoá là β (thường có $\beta \ll \alpha$)... Do đó số lượng điện tích (ion dương và điện tử tự do) trong khoảng không gian giữa hai điện cực tăng thêm nhiều lần.

Giả sử ở vị trí x đã có n điện tử, trên quãng đường dx tiếp theo sẽ có $n\alpha dx$ lần ion hoá, nghĩa là có thêm $n\alpha dx$ điện tử mới sinh ra. Do vậy, ta có thể viết:

$$dn = n\alpha dx \quad (5-23)$$

Giải phương trình vi phân trên sẽ được:

$$n = e^{\int \alpha dx} \quad (5-24)$$

với điều kiện ban đầu: khi $x = 0$ thì $n = 1$.

Nếu ở vị trí $x = 0$ có n_0 các điện tử bắt đầu chuyển động thì ta có:

$$n = n_0 e^{\int \alpha dx} \quad (5-25)$$

Hệ số ion hoá α do các điện tử tự do gây nên phụ thuộc vào cường độ điện trường: $\alpha = f(E)$. Vì vậy, trong điện trường không đồng nhất chúng ta sử dụng công thức (5-24) và (5-25) để tính toán số lượng điện tử của thác điện tích do quá trình ion hoá gây nên.

Nếu là trường đồng nhất ($E = \text{const}$) thì α là hằng số, do đó ta có:

$$n = e^{\alpha x} \quad (5-26)$$

Hoặc:

$$n = n_0 \cdot e^{\alpha x} \quad (5-27)$$

Như vậy, số lượng điện tử tự do sẽ tăng lên theo hàm số mũ. Song song với sự phát sinh của điện tử kèm theo là sự phát sinh ra các ion dương với cùng số lượng. Chúng tập hợp thành thác điện tích; thường quen gọi là thác điện tử.

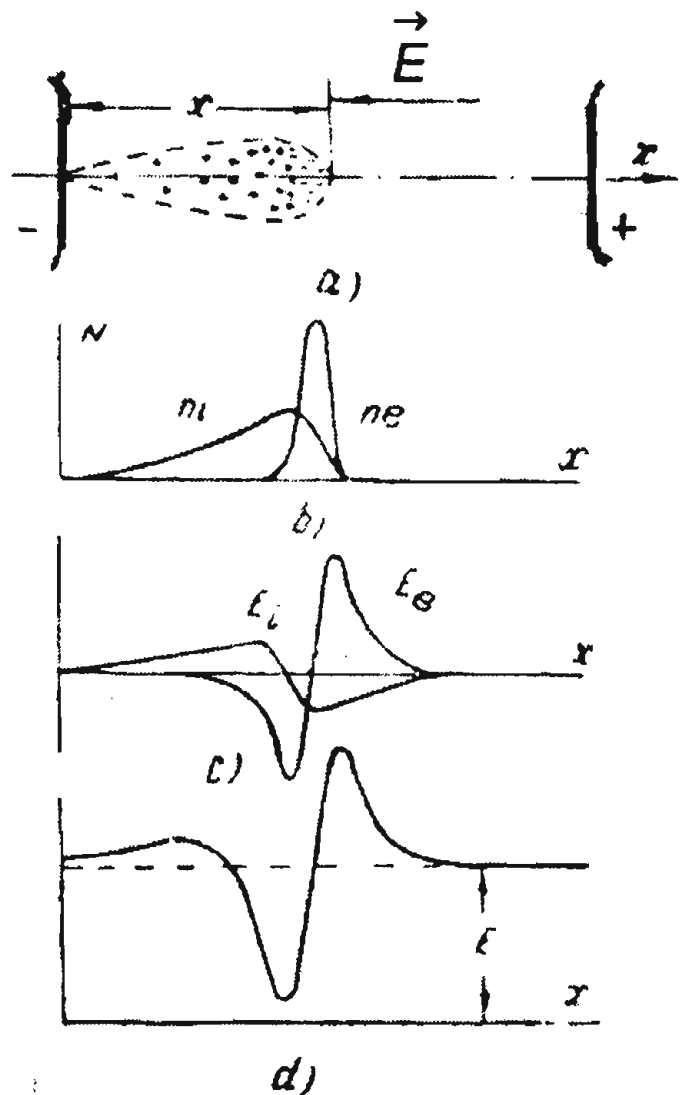
Trên hình 5-6,a cho ta mô hình thác điện tử khi thác phát triển tới độ dài x .

Do điện tử bé và nhẹ nên có tốc độ lớn và dễ khuếch tán dần về phía đầu thác và rải trên khoảng không gian rộng. Còn các ion dương do có khối lượng lớn nên di chuyển với tốc độ chậm hơn (bằng khoảng 1/100 tốc độ của điện tử), chúng phân bố ở khu vực thân và đuôi thác. Hình 5-6,b cho sự phân bố điện tử tự do (n_e) và ion dương (n_i).

Sự tồn tại các điện tích của thác điện tử sẽ tạo nên điện trường phụ làm biến dạng điện trường bên ngoài E . Trên hình 5-6,c biểu diễn điện trường phụ do các điện tử tự do (E_e) và các ion dương (E_i) gây nên. Tổng điện trường bên ngoài E và các điện trường phụ E_e và E_i là đường biểu diễn trên hình 5-6,d.

Xét về sự biến dạng của trường (hình 5-6,d) ta thấy phía đầu thác trường được tăng cường nhiều, nhưng ngay phía sau đầu thác trường lại giảm đột ngột, cả hai nơi này đều có khả năng bức xạ photon. Ở đầu thác trường được tăng cường cao hơn điện trường E bên ngoài, do vậy dễ dàng gây nên ion hoá phân khí tiếp theo tạo nên các thác điện tử mới hướng về phía điện cực đối diện. Mặt khác, do trường tăng cao làm cho các phân tử khí ở gần sẽ bị kích thích, khi chúng trở lại trạng thái bình thường sẽ trả lại năng lượng dưới dạng photon. Còn ở phía sau đầu thác do trường giảm đột ngột nên xảy ra hiện tượng kết hợp và cũng trả lại năng lượng dưới dạng photon. Các photon này có khả năng gây nên ion hoá quang các phân tử khí hoặc giải thoát điện tử từ bề mặt điện cực góp phần tăng thêm số lượng điện tích và để kế tiếp thác điện tử đầu kể trên.

Dưới tác dụng của điện trường, thác điện tích càng được phát triển đồng thời được kéo dài ra và khi tiếp cận với các điện cực các điện tích của thác sẽ trung hoà trên điện cực, kết thúc quá trình hình thành và phát triển thác điện tử. Quá trình đó



Hình 5-6. Quá trình ion hóa chất khí với nguồn một chiều.

chưa thể gọi là phóng điện vì chưa tạo nên một dòng điện lưu thông liên tục giữa hai điện cực. Như vậy để có phóng điện cần thiết phải có xuất hiện các điện tử mới để hình thành các thác mới, các điện tử này phải được tạo nên ngay từ các quá trình xảy ra trong khe hở mà không phải là do các nhân tố ion hoá bên ngoài và phải xuất hiện trước khi thác thứ nhất kết thúc. Các điện tử mới này còn gọi là điện tử thứ cấp, chúng đều phát sinh theo các khả năng sau đây:

- Sự bắn phá của ion dương vào cực âm để giải thoát điện tử (ion hoá bề mặt).
- Ion hoá quang trong nội bộ chất khí (do bức xạ của thác thứ nhất).
- Hiệu ứng quang giải thoát điện tử từ bề mặt cực âm (cũng do bức xạ của thác thứ nhất).

Quá trình được phát triển theo khả năng nào còn tùy thuộc vào áp suất của chất khí giữa hai điện cực.

Khả năng thứ nhất và thứ ba thường xảy ra khi áp suất thấp, vì lúc này các ion dương có thể đạt được tốc độ lớn và phôi tòn trong quá trình bay tới mặt điện cực không bị các phân tử khí hấp thụ hay khuếch tán ra môi trường xung quanh. Ở áp suất cao hai khả năng này bị hạn chế và chỉ có thể phát triển theo khả năng thứ hai và cần năng lượng lớn. Như vậy các thác điện tử thứ cấp được phát sinh do ion hoá bề mặt, ion hoá quang, bức xạ quang. Các thác điện tử liên kết với nhau để thành "dòng" hướng từ cực âm đến cực dương.

Đồng thời với sự phát triển của dòng hướng từ cực âm đến cực dương bắt đầu hình thành dòng của các điện tích dương ngược lại hướng từ cực dương đến cực âm - gọi là "dòng dương". Thực tế cho ta thấy khi thác điện tích có mật độ điện tích lớn (khoảng 10^{12} ion/cm³) và gần tiếp cận tới điện cực dương, toàn bộ điện áp giữa hai điện cực dồn đặt lên một khe hở hẹp tại đó cường độ điện trường rất lớn làm bứt các ion dương từ cực dương chuyển động theo chiều ngược lại của thác điện tử. Khi chúng hoà nhập làm một sẽ gây nên phóng điện chọc thủng điện môi khí tạo thành dòng plazma, kết thúc bằng quá trình phóng điện.

Thường thường phóng điện trong chất khí xảy ra rất nhanh gần như tức thời, nếu khe hở khí là 1cm thì thời gian phát triển phóng điện chọc thủng khoảng $10^{-7} \div 10^{-8}$ giây.

Nếu điện áp tác dụng càng cao thì sự phóng điện chọc thủng càng chóng phát triển. Nếu thời gian tác dụng của điện áp càng bé thì điện áp chọc thủng càng cao. Ngoài ra còn có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến cường độ điện trường cách điện của chất khí, chúng ta sẽ xem xét kỹ trong các phần sau.

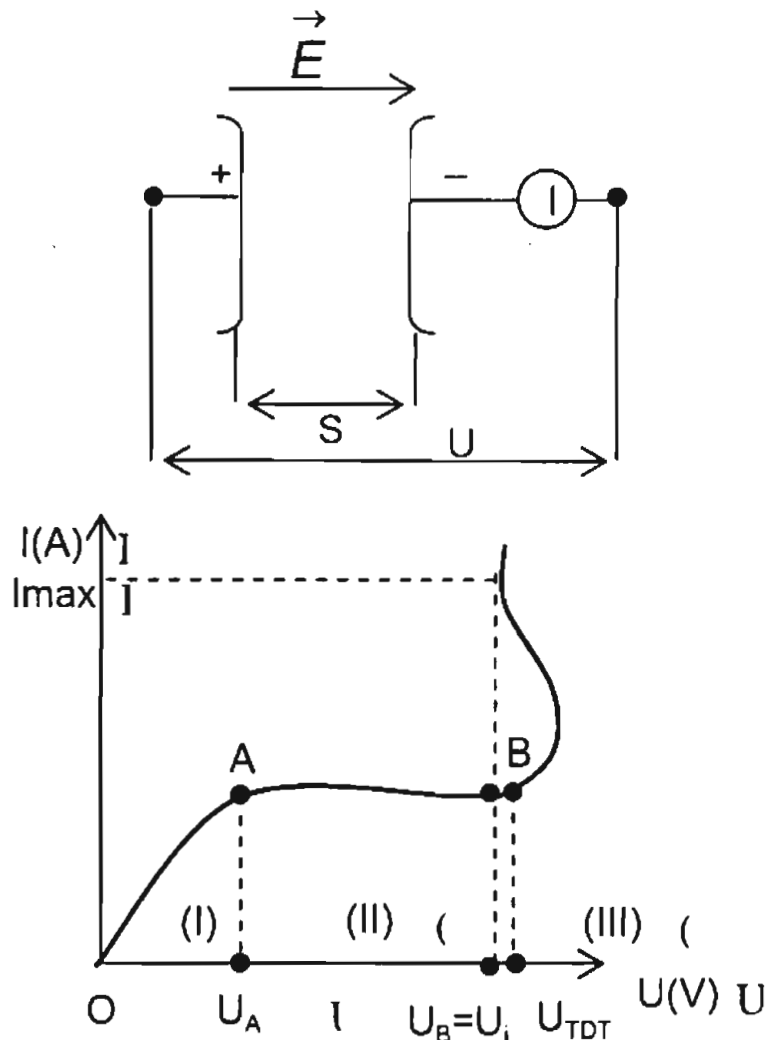
5.2.5. Đặc tính von - ampe (V-A) và các dạng phóng điện trong chất khí

Khi có điện áp một chiều tác dụng lên hai điện cực, cho trị số điện áp thay đổi từ thấp đến cao và đo trị số dòng điện ứng với các điện áp, vẽ quan hệ giữa dòng điện với điện áp ta được đặc tính von - ampe của chất khí (hình 5-7).

Qua hình vẽ chúng ta thấy trong giai đoạn từ "0" đến "A" ($u = 0 \div u_A$) các ion và điện tử tự do có sẵn trong chất khí (do yếu tố ion hoá bên ngoài) dưới tác dụng của điện trường sẽ chuyển động về các điện cực và tạo nên dòng điện. Khi điện áp tăng thì cường độ điện trường giữa hai điện cực sẽ tăng ($E = \frac{U}{S}$); lực tác dụng lên các điện tích sẽ tăng lên ($F = q.E$), do vậy tốc độ chuyển động của các điện tích tăng và dòng điện sẽ **tăng tuyến tính theo định luật Ôm** (vùng I). Ở trong vùng I các điện tích âm và dương có thể kết hợp với nhau thành phân tử trung hoà. Ở điểm A có điện áp cao, tốc độ chuyển động của các điện tích lớn, quá trình tăng của dòng điện chấm dứt vì toàn bộ các điện tích đều tới được điện cực.

* **Giai đoạn từ "A" đến "B"** là giai đoạn bão hoà: ($U = U_A \div U_B$). Trong vùng II này dòng điện vẫn được duy trì nhưng không tăng là do số lượng điện tích sinh ra bởi nhân tố ion hoá bên ngoài có hạn. Tốc độ chuyển động của các điện tích khá cao, có bao nhiêu điện tích sinh ra thì có bấy nhiêu điện tích đi về các điện cực hết (không còn sự kết hợp) và dòng điện đạt trị số bão hoà.

* **Giai đoạn sau điểm B** ($U > U_B = U_i$): Nếu cho điện áp tiếp tục tăng, cường độ điện trường tăng cao và tốc độ chuyển động của các điện tích khá lớn, khi va chạm với phân tử trung hoà sẽ gây nên ion hoá mãnh liệt. Số lượng điện tích tăng lên theo hàm số mũ, do đó dòng điện tăng vọt lên và gây nên phóng điện giữa hai điện cực.



Hình 5-7. Đặc tính von-ampe của chất khí.

Sau điểm B nếu nguồn vẫn được duy trì thì dòng điện càng tăng và điện áp giữa hai điện cực giảm đi tới mức cần thiết để duy trì hồ quang (U_{TDT}). Quá trình ion hoá trong giai đoạn này là *quá trình tự duy trì* vì nó không phụ thuộc vào nhân tố ion hoá bên ngoài. Lúc này chất khí bị mất hoàn toàn tính chất cách điện, trở thành vật dẫn ở *trạng thái plazma*. Trong plazma, phần lớn các phân tử khí được ion hoá và số điện tích âm (chủ yếu là điện tử) đã tạo nên điện dẫn chất khí. Tuy nhiên điện dẫn điện tử của plazma có khác với điện dẫn điện tử của kim loại vì các điện tích khác dấu của nó không ngừng kết hợp với nhau, do đó để có dẫn điện trong plazma phải luôn luôn có quá trình ion hoá để giữ cho mật độ điện tích ổn định.

Trên thực tế dòng điện phóng điện không thể tăng lên vô cùng lớn được bởi vì công suất nguồn có hạn ($P_{max} = U \cdot I_{max}$). Do vậy để bảo vệ nguồn điện áp cao người ta phải khống chế không cho dòng điện phóng điện vượt quá I_{max} (tương ứng với P_{max}), bằng cách lắp rơle dòng điện bên sơ cấp. Khi quá dòng rơle sẽ tác động cắt nguồn điện bên sơ cấp, điện áp bên phía thứ cấp (cao áp) sẽ bị cắt, dòng điện phóng điện bị triệt tiêu.

Tóm lại, quá trình phóng điện trong chất khí là quá trình hình thành dòng plazma trong toàn bộ hay một phần khoảng không gian giữa hai điện cực. Tùy thuộc vào công suất nguồn, áp suất khí và dạng của điện trường, quá trình hình thành dòng plazma có khác nhau và đưa đến các dạng phóng điện khác nhau như sau:

a) Phóng điện toả sáng: xảy ra khi áp suất thấp, plazma không thể có điện dẫn lớn vì số lượng phân tử khí quá ít. Phóng điện toả sáng thường chiếm toàn bộ khoảng không gian giữa các cực và được ứng dụng làm đèn nêông, đèn quảng cáo, trang trí, ống phát sáng v.v...

b) Phóng điện tia lửa: xảy ra khi áp suất lớn, plazma không chiếm hết toàn bộ khoảng không gian mà chỉ là một tia dòng nhỏ nối giữa các điện cực. Mật độ điện tích trong dòng plazma rất lớn nên có thể dẫn được dòng điện lớn nhưng không lớn quá vì bị giới hạn bởi công suất nguồn. Trong thực tế phóng điện tia lửa áp dụng làm thiết bị đốt lò gaz và dầu, đánh lửa budi xe máy, ô tô, thử nghiệm cường độ trường cách điện của các điện môi v.v...

c) Phóng điện hồ quang: tương tự như phóng điện tia lửa nhưng ở đây công suất nguồn lớn và tác dụng trong thời gian dài. Phóng điện này xảy ra trong áp suất cao. Dòng điện hồ quang lớn, đốt nóng dòng plazma làm cho điện dẫn của nó tăng thêm do đó dòng hồ quang càng tăng. Dòng điện hồ quang sẽ tăng tới mức ổn định khi có sự cân bằng giữa phát nóng và toả nhiệt của khe hồ quang.

Phóng điện hồ quang là một quá trình đòi hỏi phải có đủ thời gian cần thiết. Bởi vậy, khi thời gian tác dụng của điện áp ngắn dù công suất nguồn lớn cũng chỉ

gây nên phóng điện tia lửa mà thôi (ví dụ như phóng điện của sét, phóng điện trên các đường dây tải điện...). Dòng điện phóng hồ quang có nhiệt độ cao, nên trong thực tế áp dụng là điện cực hồ quang, hàn hồ quang, hàn điểm, đầu dây dẫn ...

d) Phóng điện vầng quang: là một dạng phóng điện đặc biệt chỉ tồn tại trong trường không đồng nhất và xuất hiện trong khu vực chung quanh điện cực. Dạng phóng điện này là dạng phóng điện không hoàn toàn vì dòng plasma không nối liền giữa hai điện cực, do đó không thể có dòng điện lớn. Phóng điện vầng quang chưa làm mất hẳn tính chất cách điện của chất khí nhưng cũng không nên để phát sinh vầng quang vì nó gây nhiều tác hại. Có thể nói phóng điện vầng quang chính là sự ion hoá chất khí và quá trình kết hợp các ion trái dấu để trở lại trạng thái bình thường, cả hai quá trình này đều trả lại năng lượng dưới dạng quang năng. Khi thời tiết xấu có thể thấy phóng điện vầng quang trên các đường dây tải điện áp cao. Phóng điện này gây nên một tổn thất năng lượng lớn trên đường dây truyền tải điện, chúng ta phải làm giảm phóng điện này bằng cách: tăng thiết diện dây dẫn, dùng dây dẫn có bề mặt nhẵn bóng, phân dây pha thành các dây nhỏ nối liền với nhau để có đường kính lớn. Trong công nghiệp phóng điện vầng quang được sử dụng để sơn tĩnh điện, lọc bụi tĩnh điện bảo vệ môi trường...

5.2.6. Phóng điện của chất khí trong điện trường đồng nhất Định luật Pasen

Điện trường đồng nhất là trường hợp tỷ tương, trị số điện trường tại mọi điểm đều bằng nhau ($E = \text{const}$) và có đường sức của từ trường song song với nhau. Đặc điểm của phóng điện trong điện trường đồng nhất là:

Do trị số trường không đổi ($E = \text{const}$) và khi áp suất khí cũng không thay đổi thì hệ số ion hoá α là hằng số.

Quá trình hình thành và phát triển của phóng điện không phụ thuộc vào cực tính.

Ta xét hai trường hợp sau:

Phóng điện trong trường đồng nhất có áp suất thấp

Như đã trình bày ở trên để có thể duy trì phóng điện ở áp suất thấp, việc sinh ra các điện tử thứ cấp (điện tử mới) dựa vào sự giải thoát điện tử từ bề mặt cực âm của các ion dương và của phổ tổng bức xạ từ thác điện tử thứ nhất.

Các điện tử thứ cấp có được là do tác dụng bắn phá của các ion dương vào bề mặt cực âm. Ở áp suất thấp các ion dương dưới tác dụng của trường có thể chuyển động với tốc độ lớn, khi đập vào bề mặt âm cực gây nên ion hoá bề mặt với hệ số ion hoá là γ .

Khi thác điện tử thứ nhất phát triển trên toàn bộ khoảng cách giữa hai cực thì số lượng điện tử trong thác là $e^{\alpha s}$ điện tử (s - là khoảng cách giữa hai điện cực). Như vậy số ion dương mới phát sinh ra do quá trình ion hoá và cũng là số lượng điện tử

của thác là: $e^{\alpha s} - 1$. Số ion dương này khi bay về phía cực âm sẽ giải thoát được $\gamma(e^{\alpha s} - 1)$ điện tử từ bề mặt âm cực. Để có thể duy trì phóng điện, phải có ít nhất một điện tử mới kế tiếp cho điện tử đầu. Do vậy ta có điều kiện phóng điện tự duy trì chỉ do các ion dương gây nên sẽ là:

$$\gamma(e^{\alpha s} - 1) \geq 1 \quad (5-28)$$

Nếu ta gọi f là hệ số phô tôn do một điện tử phát ra, η - là hệ số chỉ khả năng ion hoá bề mặt do phô tôn, thì số điện tử gây ra do phô tông sẽ là: $f \cdot \eta \cdot e^{\alpha s}$.

Như vậy điều kiện phóng điện tự duy trì do tác dụng của cả ion dương và phô tôn phối hợp được viết:

$$\gamma(e^{\alpha s} - 1) + f \cdot \eta \cdot e^{\alpha s} \geq 1 \quad (5-29)$$

Do $e^{\alpha s} \gg 1$ nên công thức (5-29) có thể viết đơn giản hơn là:

$$e^{\alpha s} (\gamma + f \cdot \eta) \geq 1$$

hay

$$e^{\alpha s} \gamma_{dir} \geq 1 \quad (5-30)$$

Ở đây $\gamma_{dir} = \gamma + f \cdot \eta$ - là hệ số ion hoá bề mặt đẳng trị.

Để có phóng điện thì số lượng điện tích trong khe hở giữa hai điện cực phải đạt tới một giá trị nhất định. Do vậy, từ công thức (5-30) ta có:

$$\alpha s \geq \ln \frac{1}{\gamma_{dir}} = \text{const} \quad (5-31)$$

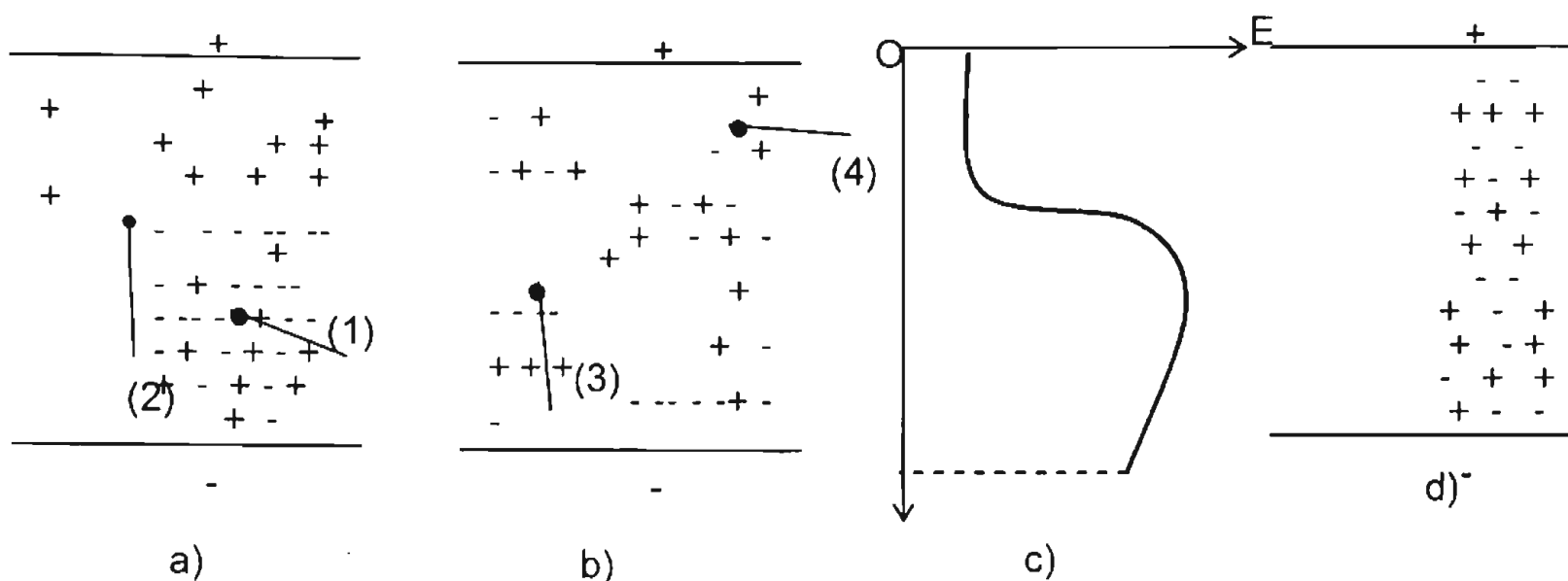
Ở áp suất thấp bằng kết quả thực nghiệm hằng số này có trị số khoảng từ $3,7 \div 4$.

Do áp suất thấp nên dòng plazma không thể có điện dẫn cao, mặt khác plazma phân bố đều trong toàn bộ không gian giữa hai điện cực là phóng điện toả sáng, ví dụ: đèn ống, đèn phát sáng, đèn trang trí v.v...

b) Phóng điện trong trường đồng nhất áp suất cao

Ở áp suất cao các ion dương không thể chuyển động với tốc độ lớn vì chúng bị va chạm liên tục với các phân tử khí. Do vậy ở áp suất cao việc sản sinh các điện tử mới dựa vào sự ion hoá quang trong khối khí. Khi thác điện tử phát triển tới mức có số lượng các điện tích khối đủ lớn để tăng trường phía đầu thác cũng giảm như trường sau đầu thác một cách đáng kể thì mới phóng xạ nhiều phô tông có năng lượng lớn gây ion hoá các phân tử khí. Xét trường hợp điện áp tác dụng lên hai điện cực là điện áp phóng điện bé nhất (hình 5-8). Để có thể sản sinh điện tử mới, thác điện tử thứ nhất phải phát triển hết toàn bộ khoảng cực, chúng tạo nên các thác mới ở phía sau đầu thác thứ nhất (hình 5-8a).

Điện tử của các thác mới sẽ bị điện tích khối dương ở thác thứ nhất kéo về và vì trường trong không gian chứa điện tích khối không lớn nên các điện tử dễ bị hút vào các phân tử trung hoà để trở thành ion âm. Các ion âm cùng với các ion dương có sẵn sẽ tạo nên dòng plazma (hình 5-8b).



Hình 5-8. Quá trình phóng điện trong trường đồng nhất.

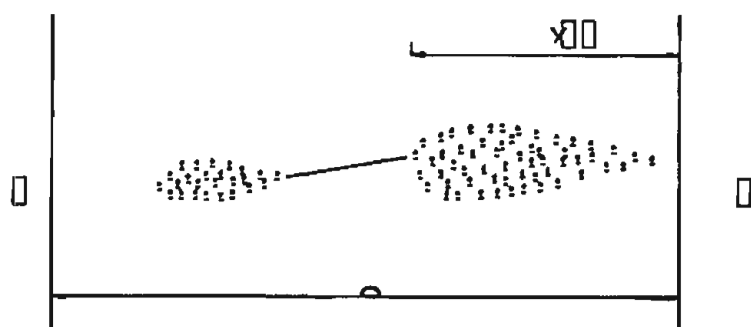
1 - thác đầu tiên; 2 - thác thứ 2; 3 - thác thứ 3; 4 - dòng bắt đầu được hình thành

Vì dòng plazma có điện dẫn cao lại được đặt trong điện trường nên điện tích của nó sẽ phân bố không đều. Đầu dòng do có điện tích dư nên cường độ điện trường tăng, ngược lại trường nội bộ giảm thấp (hình 5-8c). Sự tăng cường trường phía đầu dòng làm cho quá trình ion hoá quang trong khối khí vẫn tiếp diễn, hình thành các thác điện tử mới, kết quả làm cho dòng điện kéo dài về phía điện cực đối diện với tốc độ ngày càng nhanh do trường ở đầu dòng tăng liên tục.

Quá trình phóng điện ngược được hoàn thành khi dòng plazma phát triển tới cực đối diện và nối liền khoảng cách giữa các điện cực (hình 5-8d).

Do trường nội bộ bé nên khi dòng phát triển sẽ làm giảm trường xung quanh nó, do đó ngăn cản sự hình thành của các dòng khác. Điều này giải thích tại sao ở áp suất cao phóng điện chỉ tập trung vào một dòng mà không rải trên toàn bộ khoảng không gian giữa các điện cực.

Khi điện áp tác dụng lớn hơn trị số điện áp phóng điện bé nhất, nghĩa là trường bây giờ có cường độ mạnh hơn thì sự xuất hiện điện tử mới không phải chờ đợi cho thác thứ nhất phát triển hết khoảng cách



Hình 5-9. Phóng điện trong trường đồng nhất khi trị số điện áp lớn hơn trị số điện áp phóng điện bé nhất.

"s" mà chỉ cần tới mức dài $x_k < s$ đồng thời chúng có thể xuất hiện không chỉ ở phía sau đầu thác thứ nhất mà còn cả ở phía trước nó (hình 5-9).

Yếu tố này rất quan trọng vì như vậy là dọc theo khoảng cực có nhiều thác phát triển đồng thời, mỗi thác chỉ phải đi qua một phần của khoảng cách "s", do đó quá trình phóng điện được phát triển kiểu nhảy vọt và thời gian phóng điện giảm đi nhiều.

Điều kiện phóng điện tự duy trì trong trường hợp điện áp phóng điện bé nhất là thác điện tử đầu tiên phải phát triển hết toàn bộ khoảng cực mới có đủ số lượng điện tích làm biến dạng trường chính, phóng xạ phổ tông và sản sinh điện tử thứ cấp. Như vậy điều kiện này được viết dưới dạng:

$$e^{\alpha s} = \text{const} \quad (5-32)$$

Thực nghiệm cho thấy ở áp suất cao $\alpha s = 20$. Điều này cũng tương tự với điều kiện phóng điện tự duy trì ở áp suất thấp nên có thể viết công thức trên dưới dạng tổng quát:

$$e^{\alpha s} = \frac{1}{\gamma} \text{ hoặc } \alpha s = \ln \frac{1}{\gamma} \quad (5-33)$$

Cần chú ý rằng hệ số γ ở hai công thức (5-31) và (5-33) khác nhau về ý nghĩa vật lý và cả về trị số. Ở áp suất thấp nó là hệ số ion bề mặt còn ở áp suất cao nó biểu thị sự ion hoá quang trong khối khí.

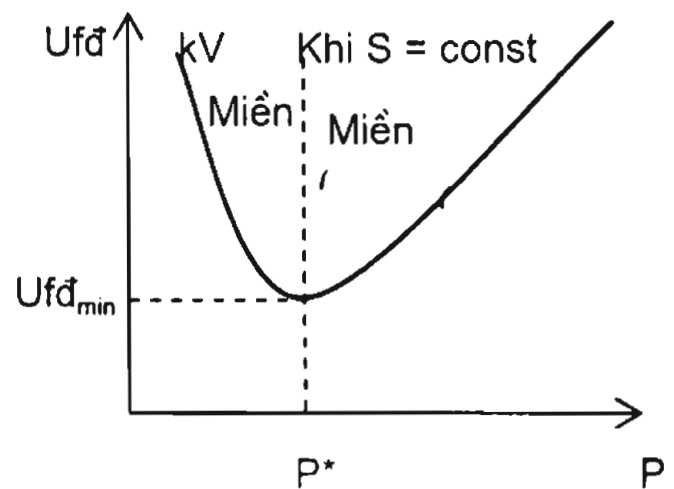
c) Định luật Pasen

Khi nghiên cứu phóng điện của chất khí trong điện trường đồng nhất ta thấy điện áp phóng điện phụ thuộc vào áp suất P của chất khí và cũng phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai điện s ($U_{fd} = f(p, s)$). Chúng ta xét riêng từng trường hợp một:

* **Trường hợp thứ nhất:** Quan hệ điện áp phóng điện phụ thuộc vào áp suất khi khoảng cách hai cực không đổi ($s = \text{const}$). Đồ thị quan hệ $U_{fd} = f(p)$ cho ở hình 5-10.

Chúng ta có thể giải thích như sau:

- Khi áp suất lớn, mật độ phân tử khí tăng cao, khoảng cách giữa các phân tử khí bé, nghĩa là đoạn đường chuyển động tự do của điện tử bé "λe" nên năng lượng tích lũy của điện tử trong chuyển động tự do sẽ nhỏ, mặc dù số va chạm với phân tử trung hoà lớn, song hệ số ion hoá bé. Để có đủ điện tích gây nên phóng điện thì



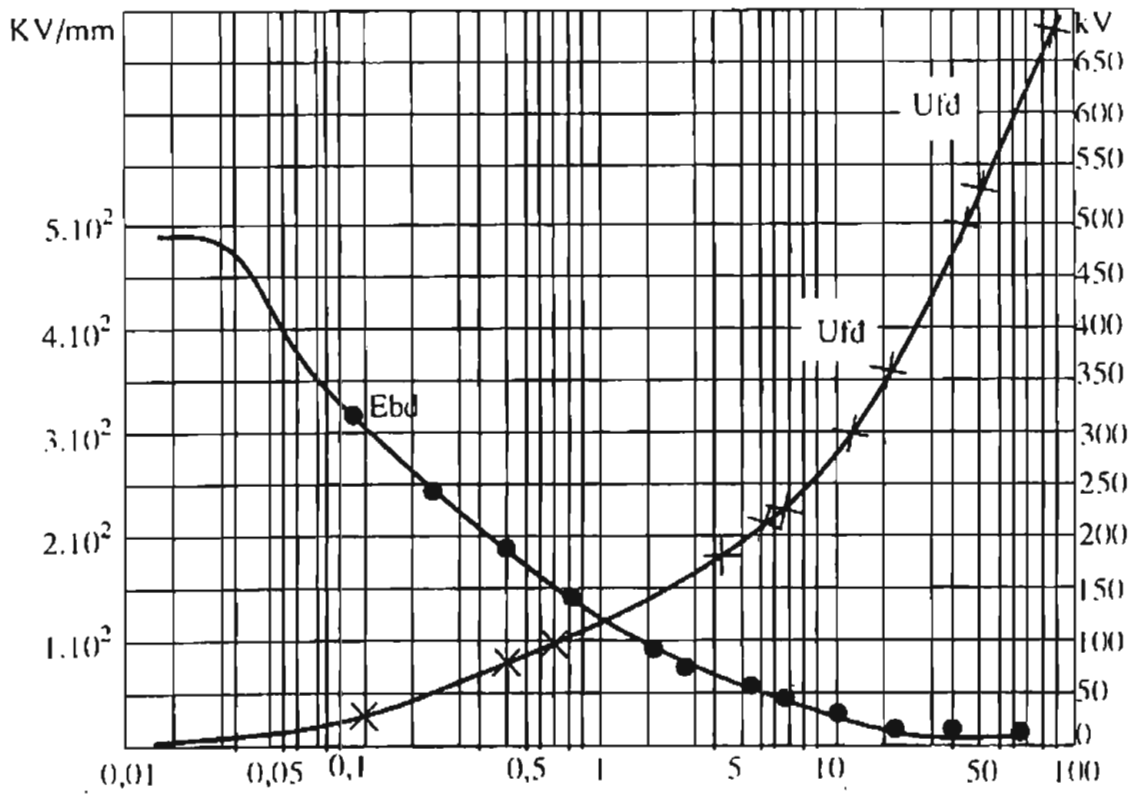
Hình 5-10. Quan hệ $U_{fd} = f(P)$ khi $S = \text{const}$.

phải cần có sự ion hoá lớn, do vậy cần phải tăng điện áp lên đến một mức độ nào đó. Chính vì vậy ở áp suất cao có điện áp phóng điện lớn (vùng II của đồ thị).

Nếu giảm áp suất lúc đầu điện áp phóng điện sẽ giảm bởi vì lúc đó quãng đường chuyển động tự do để điện tử tích lũy năng lượng sẽ tăng lên (λ_e), khả năng ion hoá sẽ tăng làm cho sự phóng điện có thể phát sinh. Khi áp suất ở P_* thì hệ số ion hoá α là lớn nhất (α_{max}), do vậy điện áp phóng điện sẽ cực tiểu ($U_{fd} min$).

Nhưng nếu áp suất giảm quá một trị số nào đó (P_*) thì điện áp phóng điện lại tăng lên. Đó là do số phân tử khí giảm, xác suất va chạm của điện tử với phân tử khí giảm nhiều, mặc dù quãng đường chuyển động tự do tăng, song hệ số ion hoá lại giảm vì vậy sự ion hoá lớn khó xảy ra. Để có đủ điện tích phóng điện cần phải tăng điện áp lên, tức là điện áp phóng điện sẽ tăng khi áp suất giảm (vùng I của đồ thị). Khi áp suất dần tới "0" sẽ xảy ra hiện tượng bức xạ ngược, tức là xảy ra ion hoá bề mặt cực âm.

*** Trường hợp thứ hai:** Quan hệ giữa điện áp phóng điện với khoảng cách khi áp suất không đổi ($p = const$). Đồ thị quan hệ $U_{fd} = f(s)$ khi $p = const$ cho ở hình 5-11.



Hình 5-11. Quan hệ $U_{fd} = f(S)$ khi $P = const$.

Qua hình vẽ ta thấy nếu khoảng cách giữa hai cực tăng lên thì điện áp phóng điện sẽ tăng, điều này dễ dàng thấy được bởi vì khi tăng khoảng cách điện tích gây nên bởi ion hoá không đủ để tạo thành dòng plasma. Muốn tạo thành dòng cần có sự ion hoá lớn, tức là điện áp phải tăng cao. Mặt khác, khi khoảng cách tăng lên thì

điện trường phóng điện sẽ giảm (nếu điện cực có kích thước không đổi) vì khi đó điện trường giữa hai điện cực chuyển từ trường đồng nhất sang không đồng nhất.

Định luật Pasen xuất phát từ điều kiện phóng điện tự duy trì $\alpha s = \ln \frac{1}{\gamma}$ và thay thế các trị số:

$$\alpha = A p e^{\frac{-Bp}{E}} ; E = \frac{U}{s} \text{ rút ra được trị số điện áp phóng điện } U_0 = f(ps) \text{ khi cả } p$$

và s thay đổi:

$$U_0 = \frac{Bps}{\ln\left(\frac{Aps}{\ln \frac{1}{\gamma}}\right)} \quad (5-34)$$

Công thức (5-34) là công thức của định luật Pasen. Hệ số γ trong công thức có thể xác định bằng tính toán lý thuyết nhưng rất phức tạp nên thường được xác định bằng cách so sánh giữa các số liệu tính toán và thực nghiệm của điện áp phóng điện. Khi tính toán lấy các hằng số:

$$A = 8,5 \text{ 1/cm. mm Hg.}$$

$$B = 250 \text{ V/cm. mm Hg.}$$

Trị số thực nghiệm phải hiệu chỉnh về điều kiện khí hậu tiêu chuẩn ($P = 760$ mm Hg, $t = 20^\circ\text{C}$) vì điện áp phóng điện phụ thuộc vào áp suất và nhiệt độ $U_{td}(t,p)$.

$$U_{td} = U_0 \cdot \delta \quad (5-35)$$

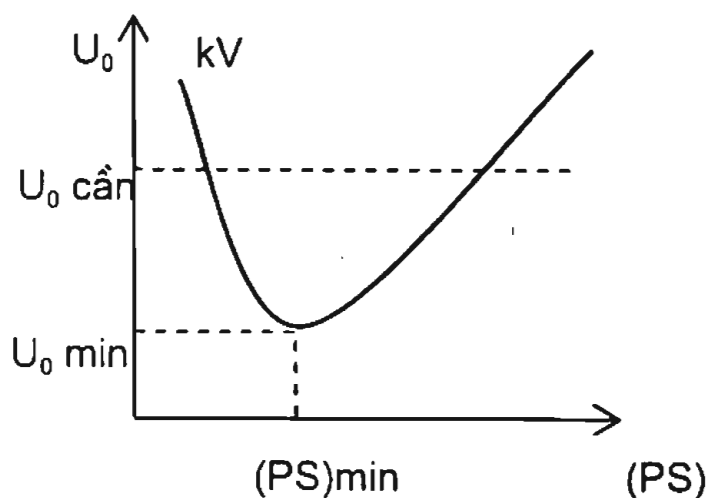
Với δ - mật độ tương đối của không khí $\delta = \frac{0,386p}{t^\circ + 273^\circ}$. Ngoài ra điện áp

phóng điện còn phụ thuộc vào độ ẩm của không khí. Nếu ta gọi K là hệ số hiệu chỉnh theo độ ẩm, ta có:

$$U_0 = U_{td} \cdot \frac{K}{\delta} \quad (5-36)$$

Nhận thấy rằng khi áp suất lớn có thể viết điều kiện phóng điện tự duy trì của không khí: $\alpha s = 20$, còn khi áp suất thấp chỉ là: $\alpha s = 3,7 \div 4$.

Công thức của định luật Pasen nói lên quan hệ giữa điện áp phóng điện với tích số ps (khi nhiệt độ môi trường không đổi): $U_0 = f(ps)$. Quan hệ này được biểu



Hình 5-12. Quan hệ $U_0 = f(ps)$.

thị trên hình 5-12. Điện áp phóng điện có trị số cực tiểu tương ứng với trị số $(ps)_{\min}$ còn ở hai bên trị số điện áp phóng điện tăng cao. Để giải thích hiện tượng này ta trở lại công thức tính hệ số ion hoá α :

$$\alpha = A p s e^{-\frac{B p s}{U_0}} \quad \text{có thể viết: } \alpha s = A p s e^{-\frac{B p s}{U_0}}$$

Ở vế phải của công thức này: tích số $A p s$ là số lần va chạm của một điện tử khi nó đi suốt khoảng cực, còn $e^{-\frac{B p s}{U_0}}$ là xác suất ion hoá (có thể suy từ xác suất có đoạn đường tự do $\geq x_i = \frac{w_i}{qE}$). Ứng với trị số ps lớn (phía bên phải của đồ thị so với $(ps)_{\min}$). Khi ps tăng, tuy số lần va chạm có tăng nhưng xác suất ion hoá giảm, hệ số ion hoá α giảm, đồng thời với khoảng cách cực lớn nên mật độ điện tích bé không đủ gây nên phóng điện. Để có đủ điện tích để gây nên phóng điện tự duy trì cần phải tăng điện áp lên để có sự ion hoá lớn, tức là U_0 phóng điện phải tăng.

Khi ps bé (phía bên trái trị số $(ps)_{\min}$) và khi giảm ps thì số lần va chạm giảm, tuy xác suất ion hoá có tăng nhưng tăng chậm. Mặt khác, hệ số ion hoá α giảm khi áp suất giảm, đồng thời mật độ phân tử khí bé nên xác suất va chạm càng bé khi điện tử chuyển động trên một khoảng cách cực bé, nên khó có thể gây nên ion hoá lớn để gây nên phóng điện. Để xảy ra phóng điện cần phải có đủ mật độ điện tích, tức là cần phải tăng điện áp để có ion hoá lớn, U_0 phóng điện tăng lên.

Tóm lại khi ps giảm và ps tăng đều làm cho điện áp phóng điện U_0 tăng lên. Như vậy điện áp phóng điện U_0 đạt cực tiểu ở $(ps)_{\min}$. Dựa vào quan hệ $U_0 = f(ps)$ của định luật Pasen, trong thực tế người ta tính toán tối ưu kích thước thiết bị và công nghệ chế tạo thiết bị đảm bảo yêu cầu kỹ thuật vận hành. Khi cần phóng điện sớm như công nghệ làm đèn nêông, đèn quảng cáo, trang trí ... với một khoảng cách cực đã xác định cần giảm áp suất tới một trị số nào đó để có $(ps)_{\min}$ ứng với U_0 min. Nhưng đối với các thiết bị điện áp cao cần tránh phóng điện, tức là không nên để xảy ra phóng điện ta thường vận dụng nhánh bên phải (nén áp suất cao) hay nhánh bên trái (hút chân không), xem hình 5-12.

Khi xét mức độ ảnh hưởng của nhiệt độ tới điện áp phóng điện U_0 , công thức của định luật Pasen có thể viết dưới dạng:

$$U_0 = \frac{B T_0 \left(\frac{ps}{T} \right)}{\ln \left[\frac{A T_0 \left(\frac{ps}{T} \right)}{\ln \frac{1}{\gamma}} \right]} \quad (5-37)$$

hoặc dạng tổng quát $U_0 = f\left(\frac{ps}{T}\right)$ hay $U_0 = f(\delta s)$.

Như vậy trong điều kiện trường đồng nhất trị số điện áp phóng điện của chất khí là hàm số của tích số giữa khoảng cách cực với mật độ tương đối của chất khí. Trị số điện áp phóng điện của chất khí phụ thuộc vào điều kiện khí hậu nên khi tiến hành thực nghiệm ở các điều kiện khí hậu khác nhau phải có sự hiệu chỉnh trở về điều kiện khí hậu tiêu chuẩn.

5.2.7. Phóng điện của chất khí trong điều kiện điện trường không đồng nhất

a) Phân biệt giữa hai loại điện trường gần đồng nhất và không đồng nhất

Trong thực tế rất ít khi đạt được điện trường đồng nhất mà thường là loại điện trường không đồng nhất như: điện trường giữa hai dây dẫn, giữa hai hình trụ hoặc giữa dây dẫn với mặt đất ...

Đặc điểm của loại điện trường không đồng nhất là sự phân bố không đều của cường độ điện trường trong không gian giữa hai điện cực. Mức độ không đồng nhất của điện trường được biểu thị bằng hệ số không đồng nhất K - đó là tỷ số giữa trị số cường độ điện trường cực đại (E_{max}) với trị số trung bình:

$$K = \frac{E_{max}}{E_{tr.b}}$$

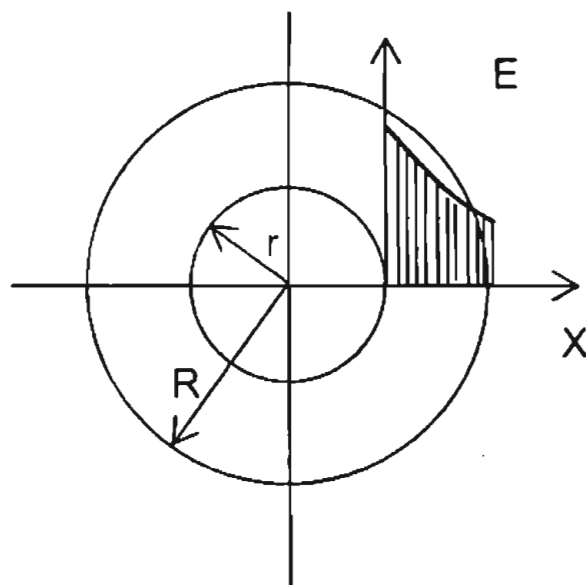
$E_{tr.b}$ - cường độ điện trường trung bình, bằng tỷ số giữa điện áp với chiều dài khoảng cách giữa các cực: ($E_{tr.b} = \frac{U}{s}$).

Cường độ điện trường cực đại E_{max} xuất hiện ở trên bề mặt điện cực mà có bán kính cong bé nhất.

Thực nghiệm cho thấy tính chất không đồng nhất của trường ảnh hưởng nhiều đến quá trình phóng điện. Xét trường hợp điện trường giữa hai hình trụ đồng tâm (hình 5-13), trụ trong có bán kính r và trụ ngoài có bán kính R .

Cường độ điện trường tại điểm cách tâm khoảng cách x ($r \leq x \leq R$) được xác định theo công thức sau:

$$E_x = \frac{U}{x \cdot \ln \frac{R}{r}} \quad (5-38)$$



Hình 5-13. Điện trường giữa hai hình trụ đồng tâm.

Từ công thức (5-38) xác định được điện trường cực đại xuất hiện trên mặt điện cực hình trụ nhỏ và có trị số:

$$E_{\max} = \frac{U}{r \ln \frac{R}{r}} \quad (5-39)$$

Còn điện trường cực tiểu xuất hiện trên bề mặt hình trụ lớn:

$$E_{\min} = \frac{U}{R \ln \frac{R}{r}} \quad (5-40)$$

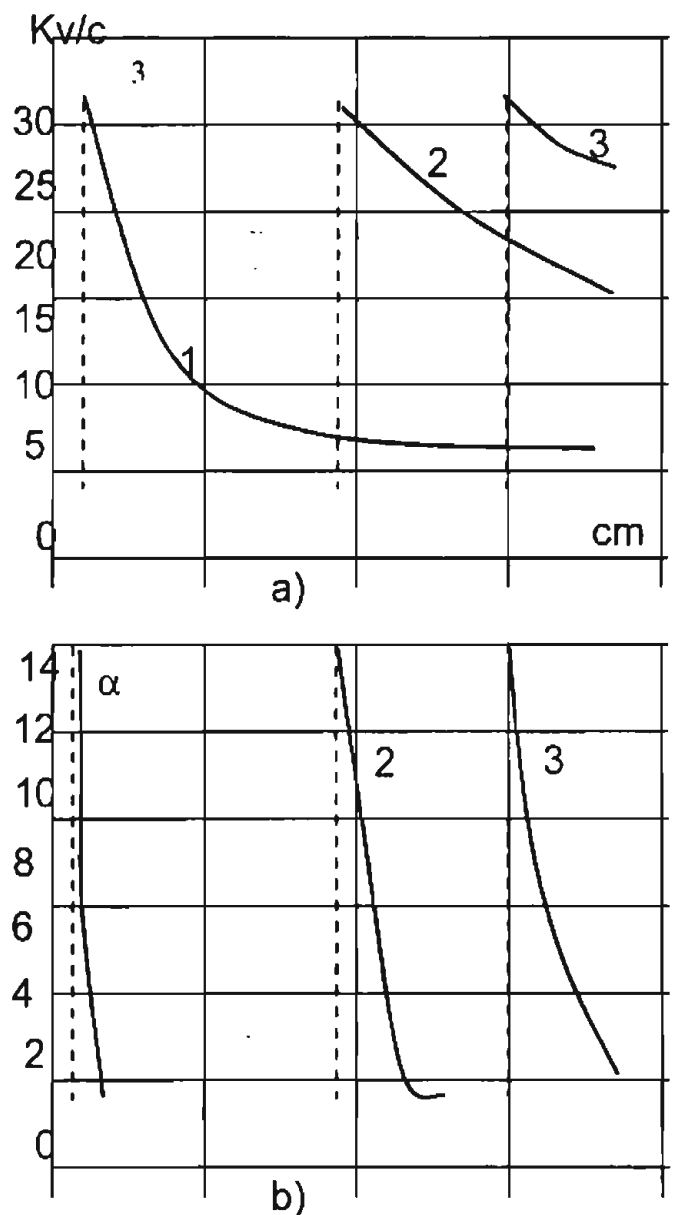
Khi cho thay đổi bán kính r của trụ trong nhưng giữ cố định bán kính R của trụ ngoài để được các mức độ không đồng nhất khác nhau (r càng bé trường càng không đồng nhất), đồng thời thay đổi trị số điện áp sao cho trong mọi trường hợp trị số điện trường cực đại giữ không đổi.

Trên hình 5-14a biểu thị sự phân bố của trường và 5-14b, của hệ số ion hoá α theo x . Các đường cong của hình 5-14 cho thấy:

Khi bán kính trụ trong càng bé thì trường càng không đồng nhất và hệ số ion hoá α giảm càng nhanh, đặc biệt ở trường hợp 1 và 2, hệ số α chỉ tồn tại trong một phạm vi nào đó của khoảng cực nên quá trình ion hoá và chạm chỉ xảy ra trong lớp khí bao quanh hình trụ bên trong.

Ở trường hợp 3 có hệ số $\alpha \neq 0$ trên toàn bộ khoảng cực nên thác điện tử đầu tiên được phát triển trên suốt chiều dài khoảng cực và sau đó hình thành dòng; quá trình phóng điện xảy ra tương tự như trong trường đồng nhất.

Ở trường hợp 2 thác điện tử chỉ phát triển trong một đoạn tương đối lớn của chiều dài cực (đoạn có hệ số $\alpha \neq 0$), tiếp theo sau là quá trình hình thành dòng khác với trường đồng nhất. Vì cường độ trường ở đoạn còn lại đủ lớn



Hình 5-14. Quan hệ của điện trường và hệ số ion hoá α theo x trong tụ điện trụ.

nên vẫn có thể khiến cho dòng tiếp tục phát triển tới cực đối diện để duy trì quá trình phóng điện giữa hai điện cực.

Ở trường hợp 1 thác điện tử chỉ phát triển được một đoạn đường rất ngắn, sau đó có hình thành dòng nhưng vì trường ở đoạn còn lại quá bé (hình 5-14a) nên dòng không thể phát triển tới điện cực đối diện được. Quá trình phóng điện ở đây vẫn là tự duy trì nhưng chỉ tồn tại trong một phạm vi nhỏ bao quanh trụ trong mà không chiếm được toàn bộ khoảng cách giữa các điện cực. Dạng phóng điện này được gọi là phóng điện "vàng quang". Để có phóng điện hoàn toàn cần phải tăng điện áp cao hơn so với trị số điện áp phóng điện vàng quang.

Tương ứng với hai trường hợp sau gọi là trường gần đồng nhất. Như vậy, trong trường không đồng nhất có hai dạng phóng điện đó là: phóng điện "vàng quang" và phóng điện "chọc thủng". Trong các phần sau chúng ta xét kỹ hơn hai dạng phóng điện này.

Trên thực tế rất khó xác định ranh giới giữa hai loại điện trường nói trên. Có thể cho rằng khi trường gần đồng nhất thì hệ số không đồng nhất $K < 2$ và chỉ khi $K > 4$ thì các đặc điểm của quá trình phóng điện của trường không đồng nhất mới biểu hiện rõ rệt. Từ đó ta có trường gần đồng nhất của hai hình trụ đồng tâm khi có: $S < r$. Trong trường hợp điện cực là hai bán cầu đường kính là D , trường phân bố giữa hai cực gần đồng nhất khi có $S < D$ (S - là khoảng cách giữa hai điện cực).

b) Phóng điện trong trường gần đồng nhất

Quá trình phóng điện trong điện trường gần đồng nhất xảy ra tương tự với điện trường đồng nhất. Xuất phát từ đó có thể viết được điều kiện phóng điện tự duy trì, song cần chú ý là do cường độ điện trường thay đổi nên hệ số ion hoá cũng thay đổi nên không thể viết $\alpha s = \text{const}$ mà phải viết là:

$$\int_0^s \alpha dx = \text{const} \quad (5-41)$$

Tích phân này tiến hành theo đường sức gần nhất từ cực này đến cực kia. Trị số của hằng số trong công thức (5-11) cũng gần bằng với hằng số của phương trình (5-32) nghĩa là bằng khoảng 20.

Chúng ta không thể xác định một công thức chung để tính toán điện áp phóng điện cho tất cả các loại trường gần đồng nhất, bởi vì, cường độ điện trường cũng như hệ số ion hoá α còn phụ thuộc vào các kích thước hình học của từng loại điện cực. Ở đây sẽ trình bày cách tính toán cho một số trường hợp đơn giản nhất và từ đó suy luận ra dạng tổng quát:

Trong trường hợp hai hình trụ đồng tâm ta có điều kiện phóng điện tự duy trì sau:

$$\int_r^R A p s e^{\frac{-Bp}{E}} dx = \text{const}$$

Thay trị số của E ở công thức (5-38) ta sẽ được:

$$\int_r^R A p e^{\frac{-B p x \cdot \ln R / r}{U_0}} dx = \text{const}$$

Sau khi lấy tích phân ta có phương trình của điện áp phóng điện như sau:

$$\frac{AU_0}{B \ln \frac{R}{r}} \left[e^{-\frac{B \ln \frac{R}{r}}{U_0} p \cdot r} - e^{-\frac{B \ln \frac{R}{r}}{U_0} \frac{R}{r} \cdot p \cdot r} \right] = \text{const}$$

Dạng tổng quát có thể viết:

$$U_0 = f(p, r, \frac{R}{r}) \quad (5-42)$$

hoặc:
$$U_0 = f(p, s, \frac{R}{r})$$

hoặc:
$$U_0 = f(\delta, s, \frac{R}{r}) \quad (5-43)$$

Từ công thức (5-43) thấy rằng: trong trường gần đồng nhất trị số điện áp phóng điện không những chỉ là hàm số của tích số giữa mật độ tương đối của chất khí với khoảng cách cực mà còn là hàm số của một số tỷ lệ độc lập nhau giữa các kích thước hình học của điện cực.

Điện áp phóng điện giữa hai quả cầu (khi $s < D$) được xác định theo công thức:

$$U_0 = 27,2 \cdot \delta \cdot r \cdot \frac{\left(1 + \frac{0,54}{\sqrt{\delta r}}\right) \frac{s}{r}}{0,25 \cdot \left[\frac{s}{r} + 1 + \sqrt{\left(\frac{s}{r} + 1\right)^2 + 8}\right]}$$

Trong đó: r - bán kính của quả cầu, $r = D/2$; δ - mật độ tương đối của không khí.

Dạng tổng quát để biểu thị điện áp phóng điện của trường gần đồng nhất được viết:

$$U_0 = f(\delta s; \frac{r_1}{s}; \frac{r_2}{s}; \dots) \quad (5-44)$$

Quy luật phóng điện trong trường gần đồng nhất mở đường cho việc nghiên cứu phóng điện trên các mô hình đồng dạng. Ta có thể phát biểu quy luật trên như sau:

"Nếu thay đổi khoảng cách giữa các điện cực và kích thước hình học khác của điện cực sao cho các tỷ lệ hình học nói trên giữ không đổi - nghĩa là dùng các khe hở đồng dạng về hình học - thì điện áp phóng điện chỉ còn là hàm số của tích số ps " và "nếu cho áp suất biến thiên ngược với sự biến thiên của khoảng cực thì trị số điện áp phóng điện sẽ giữ không đổi" ...

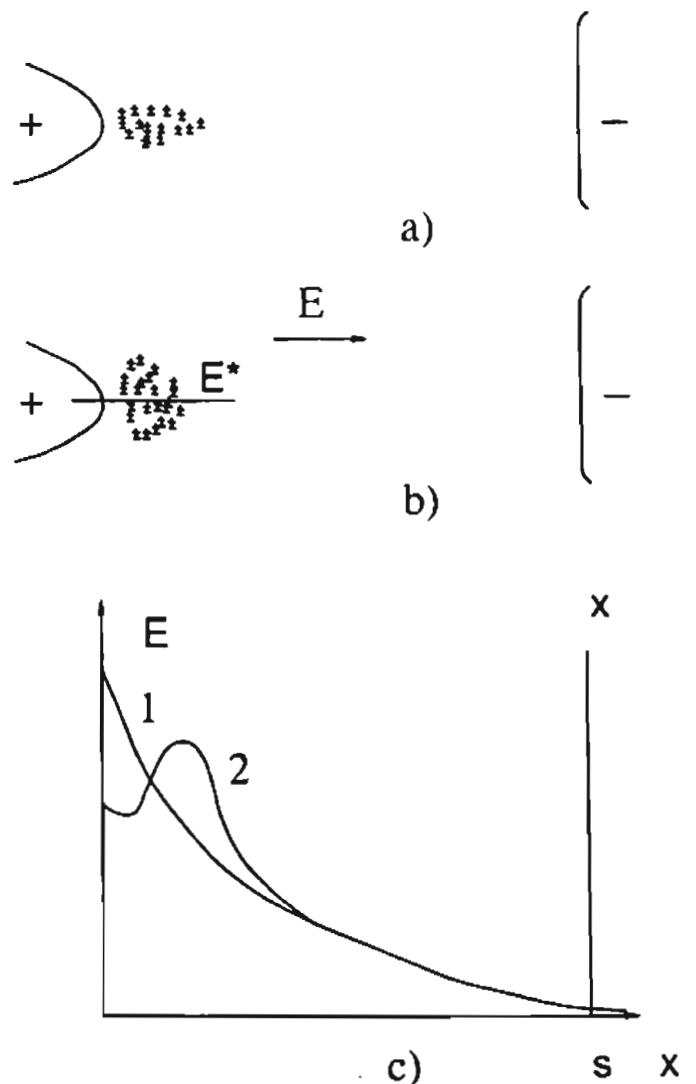
Định luật về phóng điện trong điện trường gần đồng nhất bao hàm nhiều ý nghĩa quan trọng. Trước hết, do trị số điện áp phóng điện cũng là hàm số của tích số giữa khoảng cách cực với áp suất nên thường dùng biện pháp tăng áp suất khí để nâng cao điện áp phóng điện (mức cách điện). Điều quan trọng hơn hết là định luật này đặt cơ sở cho việc nghiên cứu phóng điện trên các mô hình đồng dạng, tạo khả năng khái quát hoá các kết quả thực nghiệm để xác định trị số điện áp phóng điện.

c) Phóng điện trong điện trường không đồng nhất

Đặc điểm của điện trường không đồng nhất là sự phân bố không đều cường độ điện trường trong khoảng không gian giữa hai điện cực. Do sự tăng cường trường ở phía điện cực có bán kính cong bé nên mọi quá trình ion hoá, quá trình phóng điện cũng đều bắt nguồn từ đáy dù điện cực là dương hay âm. Khi có ion hoá điện tích không gian sinh ra sẽ làm biến dạng điện trường bên ngoài và có ảnh hưởng rất lớn đến sự phát triển của phóng điện về sau. Cho nên để nghiên cứu về phóng điện trong trường không đồng nhất cần phải nghiên cứu riêng cho từng trường hợp cụ thể - khi điện cực có bán kính cong bé là dương hay âm.

Dạng điện cực điển hình cho loại trường không đồng nhất là đôi cực: mũi nhọn - cực bản.

Trong trường không đồng nhất có thể xảy ra hai loại phóng điện đó là: phóng điện "**vàng quang**" và phóng điện "**chọc thủng**". Cả hai loại phóng điện này



Hình 5-15. Quá trình phóng điện vàng quang khi mũi nhọn có cực tính dương.

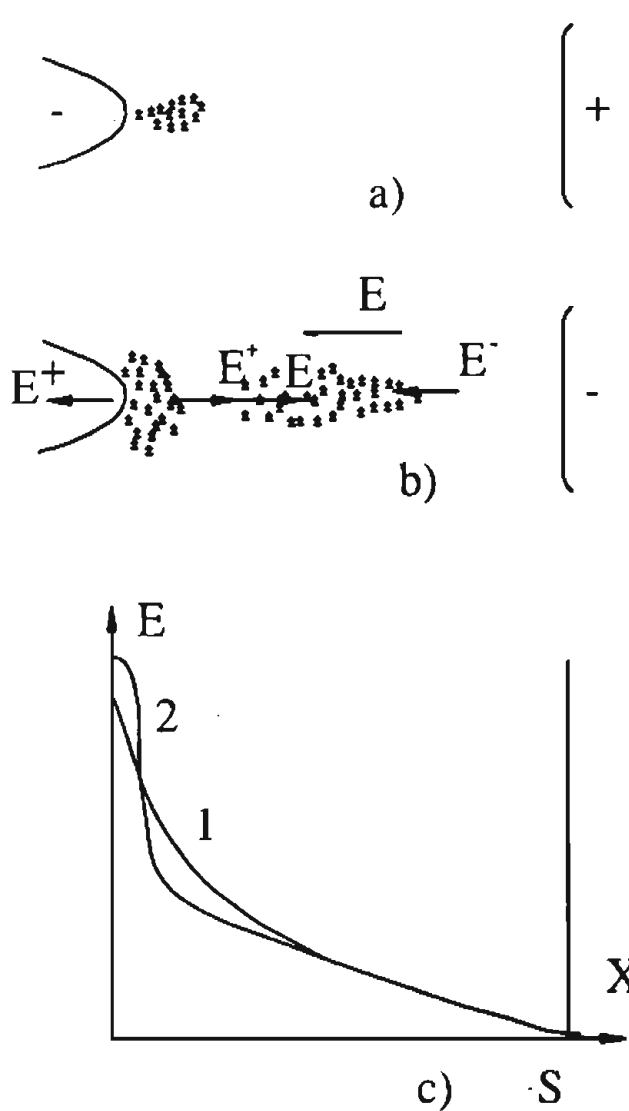
đều phụ thuộc vào cực tính, do vậy dưới đây sẽ lần lượt trình bày phóng điện ứng với từng trường hợp khi mũi nhọn có cực tính khác nhau.

a) Phóng điện vầng quang

* **Khi mũi nhọn có cực tính dương:** Cường độ điện trường bên ngoài là đường 1 của hình 5-15c. Mũi nhọn là khu vực có điện trường mạnh nên trước khi có xuất hiện vầng quang ở đây đã có quá trình ion hoá và tạo nên thác điện tử (hình 5-15a), các thác này sẽ di chuyển về phía mũi nhọn (cực dương) và khi tới nơi các điện tử của thác đi vào điện cực để lại các ion dương tạo nên lớp điện tích không gian ở khu vực mũi nhọn (hình 5-15b). Trường của điện tích không gian dương E^+ sẽ làm biến dạng trường bên ngoài (hình 5-15c) là đường 2 của đồ thị. Kết quả ở phía bên phải trường được tăng cường (E^+ cùng phương với trường bên ngoài E), ngược lại ở phía bên trái tức là ở khu vực gần điện cực mũi nhọn trường bị giảm đi (E^+ ngược phương với E) do đó, sẽ hạn chế quá trình ion hoá gây khó khăn cho sự hình thành vầng quang. Để duy trì phóng điện vầng quang liên tục cần phải nâng điện áp lên so với điện áp đặt vào ban đầu, tức là $U_{đvq}$ tăng.

* **Khi mũi nhọn có cực tính âm:** Cường độ điện trường bên ngoài giảm dần từ mũi nhọn đến cực bản (đường 1 của hình 5-16c). Ở phía mũi nhọn có trị số trường cực đại cho nên quá trình ion hoá và hình thành thác điện tử cũng xảy ra ở khu vực điện cực mũi nhọn, bây giờ là cực âm. Các điện tử của thác sẽ di chuyển về phía cực dương (cực bản) nhưng khi bay về phía này, điện tử rơi vào khu vực trường yếu dần, nên ngoài một số bay tới được cực dương và bị hút vào đấy, số còn lại do tốc độ giảm dần nên dễ bị hút vào nguyên tử ôxy, hình thành một lớp điện tích không gian âm ở lưng trùng khoảng giữa các điện cực (xem hình 5-16b).

Các điện tích dương của thác sẽ di chuyển về phía mũi nhọn và hình thành một lớp điện tích không gian dương ở khu vực này. Chúng không bị hút ngay vào cực âm vì khối lượng của chúng lớn nên tốc độ di chuyển chậm. Trường của các điện tích không gian (E^+ - của lớp điện tích không



Hình 5-16. Quá trình phóng điện vầng quang khi mũi nhọn có cực tính âm.

gian dương; E⁻ của lớp điện tích không gian âm) sẽ làm biến dạng trường chung bên ngoài (đường 2 của hình 5-16c). Do mật độ của lớp điện tích không gian âm bé hơn so với điện tích không gian dương nên tác dụng làm biến dạng trường của nó yếu hơn và do đó cường độ điện trường tổng ở khu vực mũi nhọn được tăng cường làm cho quá trình ion hóa cũng như phóng điện vầng quang phát triển dễ dàng hơn. Do vậy, để duy trì phóng điện vầng quang liên tục ta có quyền giảm điện áp sau khi có thác điện tử phát triển so với điện áp ban đầu đặt vào giữa hai cực (U_{fdvq} giảm xuống). Sự phân tích trên đây hoàn toàn phù hợp với kết quả thực nghiệm: điện áp phóng điện vầng quang khi mũi nhọn có cực tính dương cao hơn so với khi mũi nhọn có cực tính âm nếu có cùng một khoảng cách cực.

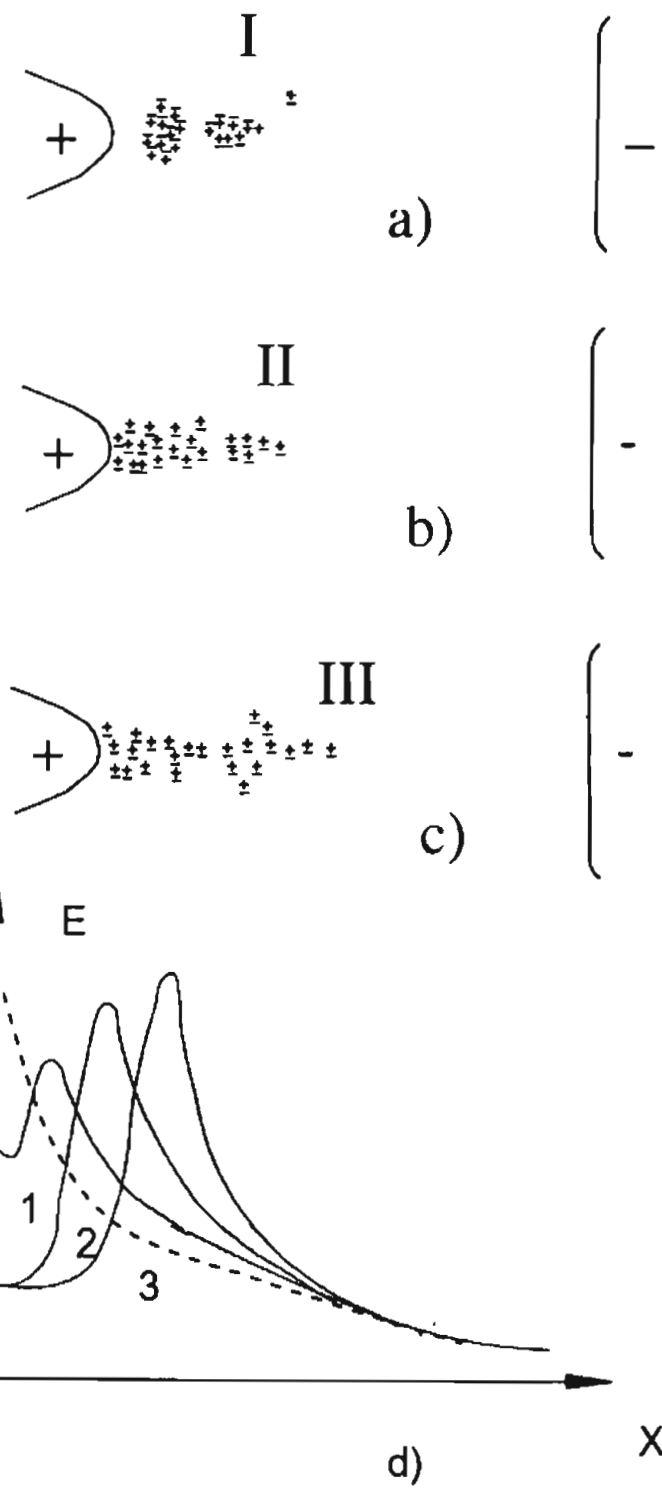
$$U_{fdvq} > U_{fdvq} \quad (5-45)$$

b) Phóng điện chọc thủng

Ta cũng xét hai trường hợp: khi mũi nhọn có cực tính dương và khi mũi nhọn có cực tính âm.

* Khi mũi nhọn có cực tính dương:

Như trên đã phân tích, lớp điện tích không gian dương ở khu vực mũi nhọn làm giảm trường ở phía mũi nhọn, gây khó khăn cho phóng điện vầng quang. Nhưng trường phía cực bản được tăng cường và nếu tiếp tục tăng điện áp thì sẽ đến lúc trường ở đây có cường độ đủ lớn và có thể tạo nên các thác điện tử mới (I) như trên hình 5-17a. Điện tử của thác sẽ hợp với các ion dương của lớp điện tích không gian tạo nên dòng plazma bám vào điện cực mũi nhọn, trong khi đó có các ion dương của thác I sẽ hình thành lớp điện tích không gian dương tồn tại ở khu vực đầu dòng plazma (hình 5-17b). Quá trình trên tương đương với sự kéo dài điện cực



Hình 5-17. Quá trình phóng điện chọc thủng khi mũi nhọn có cực tính dương.

mũi nhọn thêm một đoạn bằng chiều dài của dòng và phía trước nó có tồn tại lớp điện tích không gian dương.

Trên hình 5-17d mô tả sự phân bố của trường:

- Đường chấm là trường ngoài (khi chưa bị ảnh hưởng của lớp điện tích không gian).

- Đường 1 mô tả sự phân bố của trường trước khi xuất hiện thác điện tử mới (ứng với đường cong trên hình 5-15c).

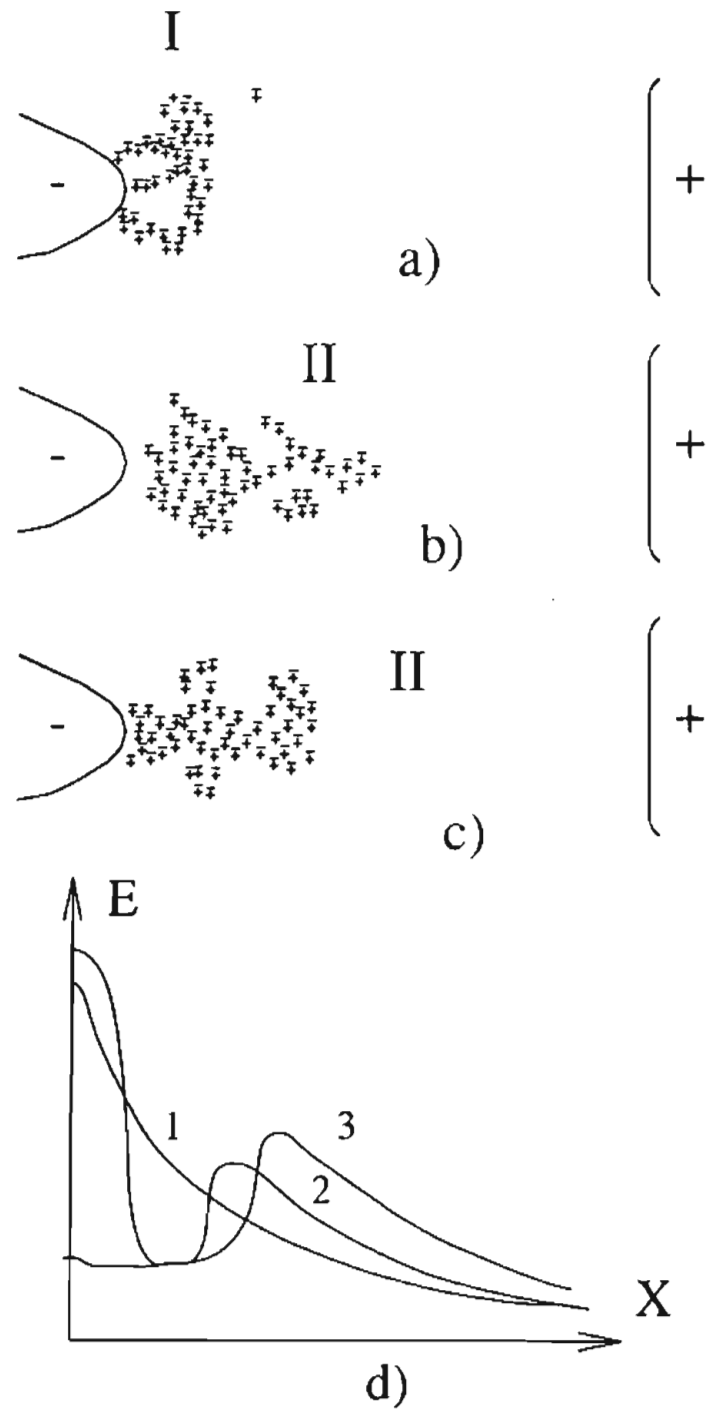
- Đường cong 2 là sự phân bố của trường sau khi mũi nhọn đã được kéo dài (trường được tăng cao hơn so với đường 1 vì đã tăng điện áp và khoảng cách cực bị rút ngắn).

Quá trình tiếp theo xảy ra tương tự: sẽ hình thành các thác mới (II) ở phía đầu dòng (hình 5-17b) và dòng được kéo dài thêm (hình 5-17c), sự phân bố của trường lúc này sẽ theo đường cong 3 (hình 5-17d). Sau đó hình thành các thác mới (III) như hình 5-17c v.v... và quá trình được phát triển tiếp tục, dòng được kéo dài về phía cực bản với nhịp độ ngày càng nhanh do cường độ trường ở khu vực đầu dòng càng được tăng cao (so sánh trị số cực đại của các đường cong 1, 2, 3 trên hình 5-17d) làm cho phóng điện sớm hơn.

Mũi nhọn có cực tính dương có điện áp phóng điện thấp hơn so với trường hợp khác bởi 2 lý do: Thứ nhất là sự tăng cường trường ở đầu dòng làm cho sự ion hoá phần khí tiếp theo dễ dàng hơn. Thứ hai là cường độ điện trường giữa hai điện cực có sự thay đổi lớn (không đồng nhất) xem ở hình 5-17d cũng làm cho điện áp phóng điện giảm. Thực nghiệm cho ta thấy:

$$\overset{\longrightarrow}{U_0} = (2 \div 2,5) \overset{\longrightarrow}{U_0} \quad (\text{khi khoảng}$$

cách giữa 2 cực không đổi).



Hình 5-18. Quá trình phóng điện chọc thủng khi mũi nhọn có cực tính âm.

** Mũi nhọn có cực tính âm*

Trên hình 5-16c ta thấy ở gần mũi nhọn trường được tăng cường nhưng ngay sau đó chỉ cần dịch về phía bên phải một ít thì trường giảm đi rất nhiều. Sự tăng của trường ở gần mũi nhọn làm cho quá trình ion hoá ở nơi này phát triển mạnh và cùng một lúc nhiều thác điện tử mới (I) như trên hình 5-18 a. Vì số lượng thác điện tử nhiều nên không thể hình thành một dòng plazma hẹp mà sẽ tạo nên một lớp plazma rộng bao quanh mũi nhọn (hình 5-18b), như vậy sẽ không tập trung điện tích thành dòng.

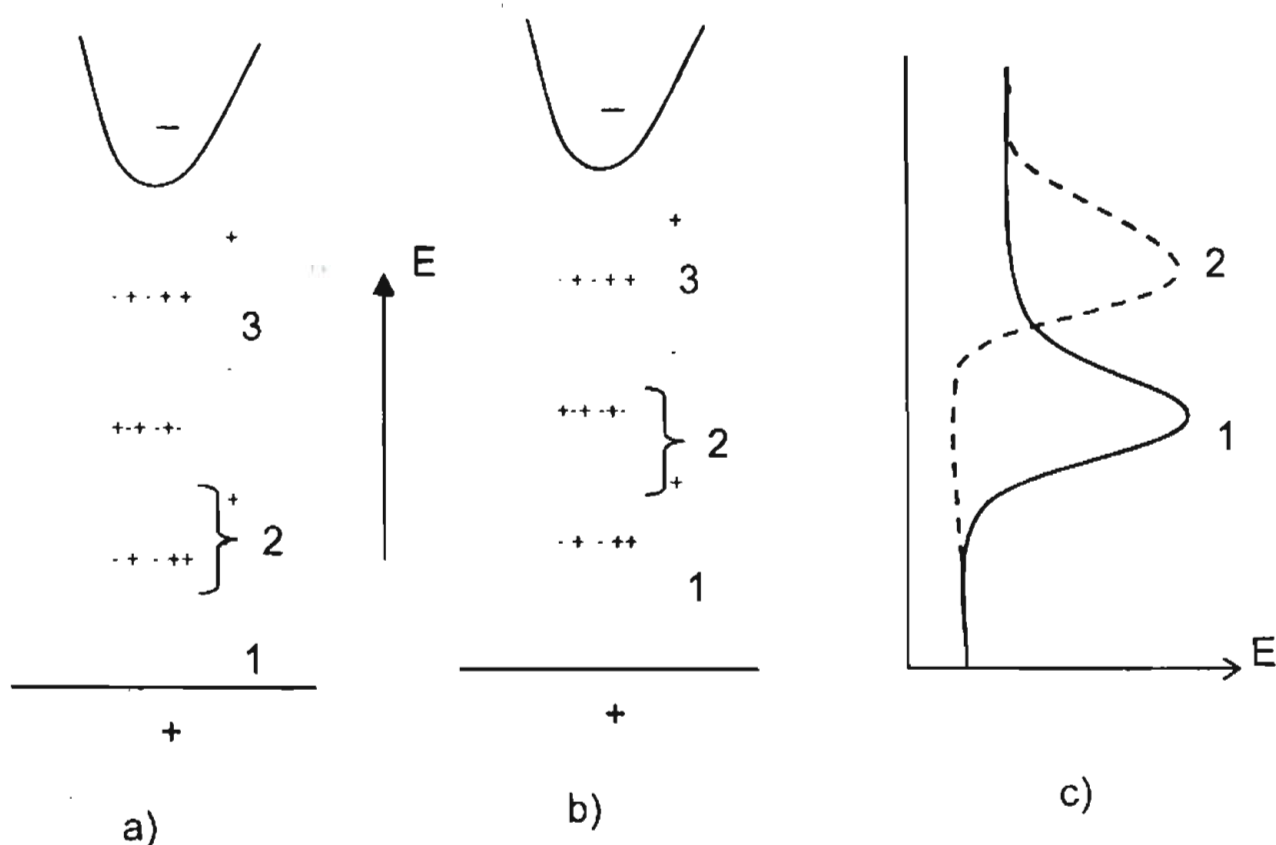
Lớp điện tích này có tác dụng như một lớp màn chắn dẫn điện với bán kính cong lớn hơn nhiều so với của mũi nhọn (có thể xem như kích thước điện cực được tăng cường). Sự phân bố của trường biểu thị bởi đường cong 2 trên hình 5-18d: ở bên trái lớp plazma trường được tăng cường nhưng bên phải trường bị giảm yếu, do đó ở phía bên phải lớp plazma ion hoá khó phát triển, ngược lại quá trình ion hoá lại phát triển mạnh trong khu vực giữa lớp plazma và điện cực mũi nhọn.

Nếu tiếp tục tăng điện áp thì trong giai đoạn đầu quá trình ion hoá chủ yếu vẫn xảy ra ở phía trái lớp plazma và đưa đến kết quả là thể tích lớp plazma tăng dần và hơi bị méo về phía cực bản. Do điện áp tăng, cường độ điện trường ở phía bên phải lớp plazma cũng tăng theo và khi nó đạt được trị số đủ lớn sẽ gây ion hoá và hình thành các thác điện tử mới (II) như trên hình 5-18b. Quá trình tiếp theo xảy ra tương tự. Kết quả là lớp plazma ngày càng được kéo dài về phía cực bản. So với trường hợp khi mũi nhọn là cực dương thì quá trình phóng điện ở đây khó khăn hơn và do đó điện áp phóng điện cao hơn (có thể gấp 2÷ 2,5 lần). Sự khác nhau của cực tính khiến cho quá trình hình thành và phát triển của dòng có khác nhau nhưng kết quả đều giống nhau ở chỗ dòng plazma kéo dài từ mũi nhọn tới cực bản.

Sự phát triển của dòng trên toàn bộ khoảng cách giữa các điện cực đảm bảo có quá trình phóng điện hoàn toàn nhưng chưa phải là kết thúc. Xét trường hợp mũi nhọn có cực tính âm (hình 5-19). Vì dòng plazma dẫn điện nên kết quả có thể xem tương đương với sự kéo dài điện cực mũi nhọn về phía cực bản, điện áp ở đầu dòng có trị số gần bằng điện áp của mũi nhọn (chênh lệch bởi thành phần điện áp đáng trên thân dòng). Khi dòng tiếp cận với cực bản thì cường độ trường ở khe hở giữa nó với cực bản sẽ tăng lên rất cao vì hầu như toàn bộ điện áp đặt vào khoảng cách còn lại này sẽ gây nên ion hoá mãnh liệt và tạo nên dòng plazma mới có mật độ ion hoá lớn hơn nhiều so với dòng cũ (hình 5-19a).

Sự phân bố của trường như đường 1 hình 5-19c. Vì có điện dẫn cao nên trường trong nội bộ dòng mới nhỏ nhưng trường ở đầu dòng (chỗ tiếp giáp giữa dòng cũ và mới) rất lớn đảm bảo cho dòng mới tiếp tục phát triển từ cực bản về mũi nhọn (hình 5-19b và đường 2 hình 5-19c).

Quá trình này được gọi là "*phóng điện ngược*" vì nó phát triển theo chiều ngược với dòng ban đầu.



Hình 5-19. Quá trình phóng điện ngược.

Hình a và b: 1 - dòng mới; 2 - khu vực điện trường mạnh; 3 - dòng cũ.

Phóng điện ngược có tốc độ phát triển rất nhanh, khoảng 10^9 cm/giây và bảo đảm hình thành dòng điện có điện dẫn lớn nối liền giữa hai cực, kết thúc quá trình phóng điện.

Tóm lại, khi nghiên cứu quá trình phóng điện vầng quang và phóng điện chọc thủng khí điện cực mũi nhọn dương và âm ta có kết quả sau:

$$\begin{array}{ccc} \xrightarrow{+} & \xrightarrow{-} & \\ U_{fdvq} & > U_{fdvq} & \quad (5-45) \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \xrightarrow{+} & \xrightarrow{-} & \\ U_{fdct} & < U_{fdct} & \quad (5-46) \end{array}$$

Dựa vào kết quả này người ta sử dụng *chính lưu "âm"* là cực phóng trong hệ thống lọc bụi tĩnh điện, sơn tĩnh điện đem lại hiệu quả cao và đảm bảo an toàn khi vận hành. Bởi vì trong lọc bụi tĩnh điện, sơn tĩnh điện cần có sự ion hoá lớn ở cực phóng, song không được phóng điện chọc thủng. Nếu để xảy ra phóng điện chọc thủng sẽ gây nên cháy nổ phá huỷ thiết bị.

d) Biện pháp nâng cao điện áp phóng điện trong điện môi khí

Trong kỹ thuật điện nói chung và kỹ thuật điện cao áp nói riêng những thiết bị điện có cách điện là các chất khí không được phép để xảy ra phóng điện chọc

thùng hay phóng điện bề mặt. Nếu để xảy ra phóng điện sẽ dẫn tới sự phá huỷ thiết bị làm thiệt hại lớn về kinh tế và quá trình vận hành hệ thống điện. Chính vì vậy khi thiết kế, chế tạo thiết bị điện người ta chọn cách điện là các chất khí phải có cường độ cách điện cao, nhiệt độ hoá lỏng thấp và có tính chất truyền nhiệt làm mát tốt ... (ví dụ: khí êlêgaz, khí frêôn hay các chất khí khác) đảm bảo vận hành lâu dài và đem lại hiệu quả kinh tế cao.

Khi nghiên cứu quá trình phóng điện của chất khí trong điện trường đồng nhất ở trên, chúng ta thấy một trong những biện pháp để nâng cao điện áp phóng điện (tức là hạn chế phóng điện), đó là nén áp suất cao hoặc hút chân không. Biện pháp nén áp suất cao vẫn sử dụng để nâng cao điện áp phóng điện trong điện trường không đồng nhất.

Nghiên cứu hiện tượng phóng điện trong trường không đồng nhất cho thấy sự tăng cực bộ của trường là do trong khe hở tồn tại điện tích không gian. Điện tích không gian làm biến dạng trường chung tạo điều kiện thuận lợi cho sự hình thành dòng và quá trình phóng điện được phát triển dễ dàng hơn. Ở phạm vi áp suất khí quyển, điện trường phóng điện trong trường đồng nhất và gần đồng nhất, khoảng 30kV/cm, nhưng trong trường không đồng nhất chỉ đạt 20 kV/cm khi mũi nhọn có cực tính âm và khoảng 7,5 kV/cm khi mũi nhọn có cực tính dương.

Với cùng khoảng cách giữa hai cực, nếu ta thay đổi điện trường bằng cách thay đổi điện cực từ đồng nhất sang gần đồng nhất và không đồng nhất, chúng ta có quan hệ của điện áp phóng điện chọn thùng như sau:

$$U_{fdct}^{E \text{ đồng nhất}} > U_{fdct}^{E \text{ gần đồng nhất}} > U_{fdct}^{E \text{ không đồng nhất}}$$

Như vậy, để nâng cao điện áp phóng điện trong trường không đồng nhất thực tiễn hơn cả là cải thiện sự phân bố điện trường sao cho đồng nhất hơn. Theo phương hướng này ta dùng màn chắn đặt giữa các điện cực nhằm ngăn cản sự di chuyển của điện tích không gian. Tuy nhiên tác dụng của màn chắn không cao vì hiệu quả tăng điện áp phóng điện không thể vượt quá giới hạn của trường đồng nhất và màn chắn chỉ phát huy tác dụng khi mũi nhọn có cực tính dương.

Màn chắn thường là một tấm cách điện mỏng đặt trùng với phương của mặt đẳng thế và ở vị trí thích hợp giữa hai điện cực. Cường độ cách điện của bản thân màn chắn không có ảnh hưởng đáng kể vì hiệu quả nâng cao cách điện của toàn bộ khe hở không phải là do cách điện của bản thân mà là do nó làm thay đổi sự phân bố của điện tích không gian và của trường.

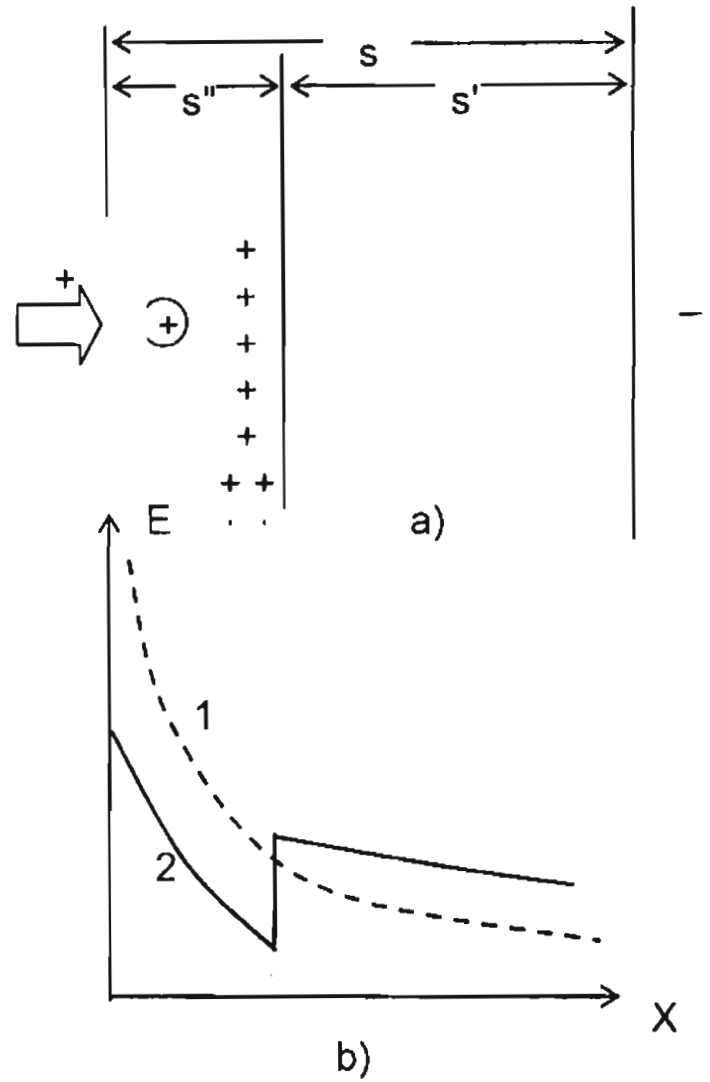
** Trường hợp mũi nhọn có cực tính dương.*

Khi chưa đặt màn chắn lớp điện tích không gian dương ở gần mũi nhọn (hình 5-15) làm tăng điện trường ở phía cực bản, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình ion hoá phát triển về phía cực đối diện. Khi có đặt màn chắn các ion dương này di

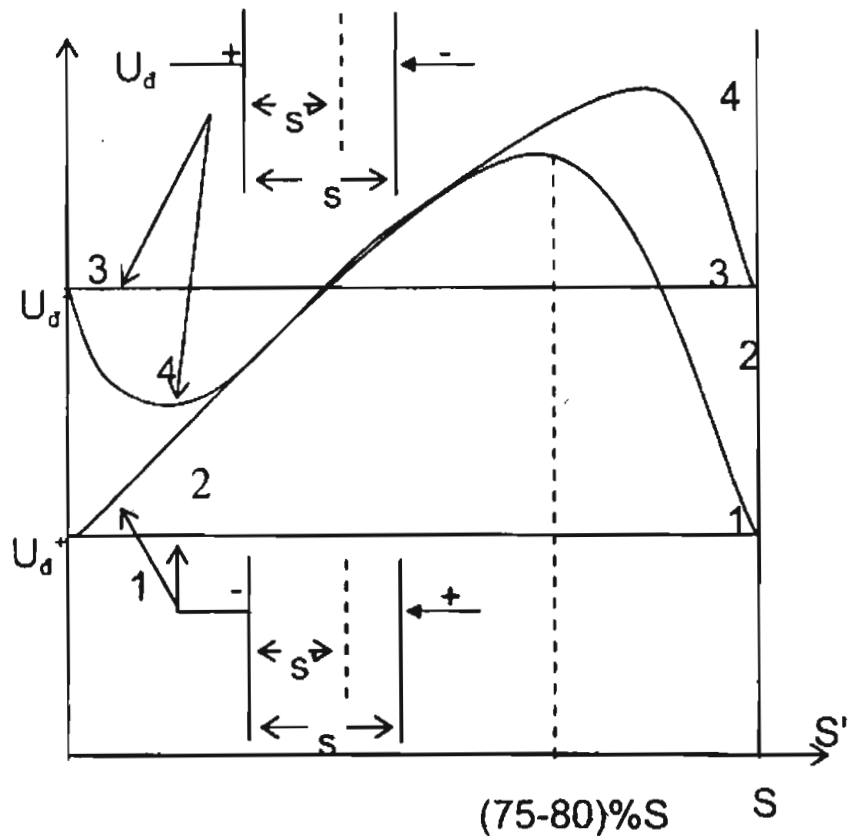
chuyển về phía cực bản sẽ bị giữ lại và phân bố trên mặt màn chắn. Sự phân bố này càng đều khi màn chắn đặt càng xa mũi nhọn. Như vậy, giữa màn chắn và cực bản sẽ hình thành một trường gần đồng nhất. Trên hình 5-20b, đường 1 là sự phân bố của trường khi chưa đặt màn chắn, đường 2 là khi có màn chắn đặt cách mũi nhọn khoảng cách s'' . Cách điện của toàn bộ khe hở là tổng hợp của hai phần có trường không đồng nhất là s'' và trường gần đồng nhất là s' .

Nếu đặt màn chắn càng gần mũi nhọn thì phần có trường gần đồng nhất s' sẽ chiếm được phần lớn khoảng cực và điện áp chọc thủng càng tăng. Tuy nhiên nó chỉ có thể đạt tới mức độ nhất định vì khi đặt gần sát mũi nhọn điện tích sẽ phân bố không đều trên màn chắn, cường độ trường sẽ tăng cao và gây nên ion hoá chất khí cả ở phía bên kia của màn chắn (phía cực bản). Do đó điện áp chọc thủng bắt đầu giảm. Đặc biệt khi màn chắn đặt sát mũi nhọn (hoặc cực bản) thì nó mất hoàn toàn tác dụng và điện áp chọc thủng sẽ trở lại trị số như khi không có màn chắn.

Nếu ta thay đổi vị trí màn chắn s'' trong khoảng không gian giữa hai cực s (s không đổi) thì điện áp phóng điện chọc thủng là đường 2 của đồ thị hình 5-21, nó đạt trị số cực đại khi s' bằng



Hình 5-20. Màn chắn đặt trong khe hở có cực mũi nhọn dương.



Hình 5-21. Tác dụng của màn chắn trong trường không đồng nhất.

- Đường 2,4 - có đặt màn chắn.
- Đường 1,3 - chưa có màn chắn.

70%-75% chiều dài khoảng cách cực s. Đường 1 trên hình vẽ là điện áp phóng điện khi chưa có màn chắn. Nếu so sánh trị số của đường 2 ở điểm cực đại với đường 1 thì điện áp phóng điện chọc thủng khi có màn chắn tăng lên hơn hai lần.

** Trường hợp mũi nhọn có cực tính âm.*

Do ảnh hưởng của các lớp điện tích không gian dương và âm (hình 5-16 khi mũi nhọn có cực tính âm) nên trường được tăng cường ở phía mũi nhọn nhưng phía cực bản trường giảm đi rất nhiều. Khi có màn chắn lớp điện tích không gian âm sẽ phân bố trên mặt màn chắn tạo nên trường gần đồng nhất giữa nó với cực bản. Như vậy nếu lúc chưa có màn chắn trị số điện áp chọc thủng tăng cao chủ yếu là do ảnh hưởng của lớp điện tích không gian dương thì khi có màn chắn lớp điện tích không gian âm sẽ giữ vai trò chính.

Tác dụng của màn chắn tương tự như trường hợp trên nghĩa là tạo nên một trường gần đồng nhất (s') giữa nó với cực bản; vì lý do này trên hình 5-21 đường 2 và 4 có phần lớn đoạn đường hầu như đi trùng với nhau, không có sự phân biệt về cực tính. Đối chiếu trị số điện áp chọc thủng giữa đường 3 và đường 4 thấy rằng, trong trường mũi nhọn có cực tính âm màn chắn chỉ phát huy tác dụng trong một phạm vi nào đó của khoảng cực ($s' = (0,5 \div 1) s$). Đặc biệt khi đặt ở các vị trí s' bé thì màn chắn lại làm giảm điện áp chọc thủng tới mức thấp hơn so với khi không có màn chắn, điều này có thể giải thích là do ở phía mũi nhọn và cực bản có mật độ điện tích lớn gần như dẫn điện, màn chắn như là điện cực âm, giữa màn chắn và cực bản có khoảng cách bé và điện áp phóng điện sẽ có trị số thấp.

Xét hai trường hợp mũi nhọn có cực tính dương và mũi nhọn có cực tính âm, ta thấy màn chắn có tác dụng tốt nhất khi s' ở vị trí khoảng (75-80)%S. Như vậy màn chắn vẫn phát huy tác dụng ở điện áp xoay chiều, làm tăng điện áp phóng điện chọc thủng khi đặt đúng vị trí. Dựa vào tính chất này người ta sử dụng màn chắn trong thiết bị điện cao áp để tăng cường cách điện và giảm kích thước thiết bị đem lại hiệu quả kinh tế cao.

5.2.8. Phóng điện vầng quang trên đường dây tải điện

Đường dây tải điện là một phần tử lớn trong hệ thống điện để truyền tải và phân phối điện năng từ các nhà máy điện đến các nơi tiêu thụ. Sự truyền tải năng lượng điện với công suất lớn thường đòi hỏi phải tăng điện áp và dòng điện trên đường dây dài hàng trăm thậm chí tới hàng nghìn kilômét. Xung quanh dây dẫn điện áp cao có cường độ điện trường lớn sẽ xảy ra hiện tượng phóng điện vầng quang và gây nên tổn hao năng lượng lớn, gây nhiễu loạn hệ thống thông tin liên lạc và sự ăn mòn vật liệu ... Do vậy chúng ta phải nghiên cứu hiện tượng phóng điện vầng quang trên đường dây cao áp, từ đó đề ra các biện pháp làm giảm phóng điện vầng quang và tổn hao do vầng quang gây nên.

Vầng quang là một dạng phóng điện tự duy trì đặc trưng cho sự phóng điện trong trường không đồng nhất. Phóng điện tuy đạt được điều kiện tự duy trì nhưng dòng không thể kéo dài trên toàn bộ khoảng cực mà chỉ giới hạn trong phạm vi nhỏ ở gần điện cực có bán kính cong bé. Phạm vi ấy là quang của vầng quang. Các quá trình ion hoá hoặc kết hợp trở về trạng thái bình thường của các phân tử bị kích thích phát sinh rất nhiều photon khiến cho vùng hẹp này toả sáng (do đó mà có tên gọi là vầng quang). Các ion được tạo nên trong quang của vầng quang dưới tác dụng của điện trường sẽ chuyển dịch ra phía ngoài và hình thành dòng điện vầng quang. Điện áp tăng cao thì số ion tăng và dòng điện vầng quang tăng. Quan hệ của dòng điện vầng quang với điện áp là một trong các đặc tính năng lượng cơ bản của phóng điện vầng quang.

Nội dung vật lý của vầng quang đã được nghiên cứu các phân ở trên trong khe hở mũi nhọn - cực bản, trong đó mũi nhọn thay thế cho dây dẫn có đường kính bé. Điện áp bắt đầu có phóng điện tự duy trì gọi là điện áp phát sinh vầng quang ứng với trị số U_{vq} .

Phóng điện vầng quang có ý nghĩa quan trọng trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật điện cao áp. Ở một số cơ sở luyện kim, nhà máy nhiệt điện, nhà máy sản xuất xi măng, hoá chất v.v... đã dùng vầng quang âm để lọc bụi. Điện tử sinh ra bởi quá trình ion hoá trong quang vầng quang sẽ chuyển dịch về phía cực dương, trong quá trình đó nó sẽ bám vào bụi khói, di chuyển về và bám vào cực lẳng là cực dương. Qua hệ thống rung và gõ sau chu kỳ nhất định bụi được xả xuống phễu thu bụi. Ngoài ra phóng điện vầng quang còn sử dụng trong hệ thống sơn tĩnh điện đem lại hiệu quả kinh tế và chất lượng sơn.

Trong hệ thống điện vầng quang có các tác dụng khác nhau. Bình thường không nên để xảy ra vầng quang vì sự chuyển dịch của ion dưới tác dụng của trường sẽ tạo nên dòng điện rò, gây tổn hao năng lượng. Tuy vậy vầng quang lại có tác dụng tích cực trong bảo vệ hệ thống điện chống quá điện áp khí quyển. Khi có sét đánh trên đường dây, vầng quang sẽ tiêu hao năng lượng của các sóng quá điện áp sét, làm giảm biên độ và độ dốc đầu sóng, do đó tăng an toàn cho cách điện của trạm biến áp và nhà máy điện.

a) Vầng quang trên đường dây dẫn điện một chiều

Đặc điểm của phóng điện vầng quang của " dây dẫn - cực bản " khi dây dẫn ngắn cũng giống như của khe hở " mũi nhọn - cực bản ". Kết quả quan sát cho thấy khi dây dẫn có cực tính âm dòng điện vầng quang cũng có các dạng xung lặp lại đều đặn, còn khi cực tính dương thì các xung dòng điện rất hỗn loạn. Nhưng cần chú ý là ngay cả khi dây dẫn được đánh bóng rất kỹ trên bề mặt cũng có chỗ bị nhám và ở đó vầng quang xuất hiện sớm.

Khi dây dẫn dài, vầng quang có thể phát triển đồng thời tại nhiều điểm vì vậy các xung dòng điện hợp lại thành dòng điện liên tục. Nếu tăng điện áp thì vầng quang sẽ phát triển trên toàn bộ bề mặt dây dẫn và dòng điện mất hẳn tính chất không liên tục của nó.

Thực nghiệm cho thấy, cường độ trường phát sinh vầng quang E_{vq} ít phụ thuộc vào cực tính. Trong tụ điện hình trụ - dây dẫn bán kính r_0 đặt dọc theo trục của hình trụ bán kính R ($R \gg r_0$) - cường độ trường phát sinh vầng quang được xác định bằng công thức kinh nghiệm:

$$E_{vq} = 31,8 \delta \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{r_0 \delta}} \right) \quad (5-47)$$

và điện áp phát sinh vầng quang:

$$U_{vq} = E_{vq} \cdot r_0 \cdot \ln \frac{R}{r_0} \quad (5-48)$$

Với hai dây dẫn bán kính r_0 đặt cách nhau khoảng cách là s ($s \gg r_0$) hay là dây dẫn đặt cách mặt phẳng $h = \frac{s}{2}$ thì cũng có các công thức tính tương tự:

$$E_{vq} = 29,8 \delta \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r_0 \delta}} \right) \quad (5-49)$$

$$U_{vq} = E_{vq} \cdot r_0 \cdot \ln \frac{s}{r_0} \quad (5-50)$$

Sự dịch chuyển của điện tích từ dây dẫn có vầng quang đến điện cực đối diện tạo nên dòng điện vầng quang. Dòng điện này có tính chất như một dòng điện rò và gây tổn hao năng lượng gọi là tổn hao vầng quang. Ứng với đơn vị dài của đường dây, tổn hao này được xác định theo công thức:

$$P = U \cdot I = U \cdot f(u) \quad (5-51)$$

I - dòng điện vầng quang; $I = f(u)$ - đặc tính von-ampe của vầng quang.

Việc xác định biểu thức để giải thích đặc tính von-ampe của vầng quang rất phức tạp, cho đến nay vẫn chưa được giải quyết thích đáng do chưa xác định được chính xác sự phân bố điện tích trong quang của vầng quang cũng như trong khu vực ngoài.

Trong tụ điện hình trụ có thể xác định gần đúng đặc tính von-ampe bằng cách giải phương trình Poisson trong tọa độ trụ:

$$\operatorname{div} E = \frac{dE}{dr} + \frac{E}{r} = \frac{1}{r} \frac{d(Er)}{dr} = \frac{\rho}{\epsilon}$$

với: ρ - mật độ điện tích khối; $K = \frac{U}{E}$ - độ linh hoạt của điện tích.

Để tính dòng điện văng quang trong trường hợp này có thể sử dụng công thức sau:

$$I = \frac{8\pi \cdot \epsilon \cdot k}{R^2 \ln \frac{R}{r_0}} \cdot U(U - U_{vq}) \quad (5-52)$$

Công thức tính tổn hao văng quang của đường dây dẫn điện một chiều có thể viết dưới dạng gần đúng như sau:

$$P = A \cdot U^2 (U - U_{vq}), \quad \text{kW/km} \quad (5-53)$$

Trong đó: A - là hệ số phụ thuộc vào kích thước của khe hở.

Trên đường dây dẫn điện một chiều văng quang đơn xảy ra khi dây dẫn chỉ có một cực tính, còn văng quang kép là khi các dây dẫn đặt trên cột có cực tính khác nhau.

b) Văng quang trên đường dây dẫn điện xoay chiều

Khi nghiên cứu về phóng điện văng quang trên đường dây dẫn điện xoay chiều ba pha, ta cần phải xem xét điện tích khối của các pha có ảnh hưởng lẫn nhau không. Vì cực tính của các dây dẫn biến đổi trong từng chu kỳ nên điện tích khối của mỗi pha chỉ bị đẩy xa khỏi dây dẫn một đoạn đường nào đó, còn trong nửa chu kỳ sau lại bị kéo về phía dây dẫn.

Ta xét quá trình phóng điện trên một dây dẫn xoay chiều với giả thiết dây dẫn được nối với nguồn đúng vào lúc điện áp bằng không. Trên hình 5-22a cho đường biểu diễn điện áp nguồn $U(t)$ cường độ trường trên mặt dây dẫn $E_{dd}(t)$ và điện tích dây dẫn $Q_{dd}(t)$ biến thiên trong phạm vi một chu kỳ.

* **Khi: $t = t_0 \div t_1$:** thời gian này chưa xuất hiện văng quang nên điện tích của dây dẫn được tính theo công thức:

$$Q_{dd} = U \cdot C_{hh} \quad (5-54)$$

C_{hh} - điện dung của dây dẫn đối với đất khi chưa có văng quang.

* **Khi $t = t_1 \div t_2$:** điện áp và cường độ trường trên mặt dây dẫn đạt trị số tới hạn U_{vq} , E_{vq} để phát sinh văng quang. Lúc này có xuất hiện các dòng plazma, một số ion theo dòng đi từ dây dẫn ra khoảng không gian xung quanh sẽ tạo nên điện tích khối dương (hình 5-22a). Khi điện áp tăng từ trị số U_{vq} tới trị số biên độ U_{max} thì dòng càng kéo dài và số điện tích chuyển dịch ra ngoài càng nhiều khiến cho dòng điện dẫn cao và trường trong nội bộ dòng bé hơn nhiều so với trị số E_{vq} . Trong khi đó cường độ trường trên mặt dây dẫn giữ không đổi và bằng E_{vq} vì nó chỉ cần đảm bảo có quá trình ion hoá chung quanh dây dẫn, điện áp tăng sẽ làm cho dòng dài thêm nhưng trường thì không tăng thêm. Do đó điện tích trên mặt dây dẫn cũng giữ không đổi:

$$Q_{dd} = 2\pi\epsilon \cdot E_{vq} \quad (5-55)$$

Điện tích này tạo nên phần điện áp trên dây dẫn:

$$U'_{dd} = \frac{Q_{dd}}{C_{hh}} \quad (5-56)$$

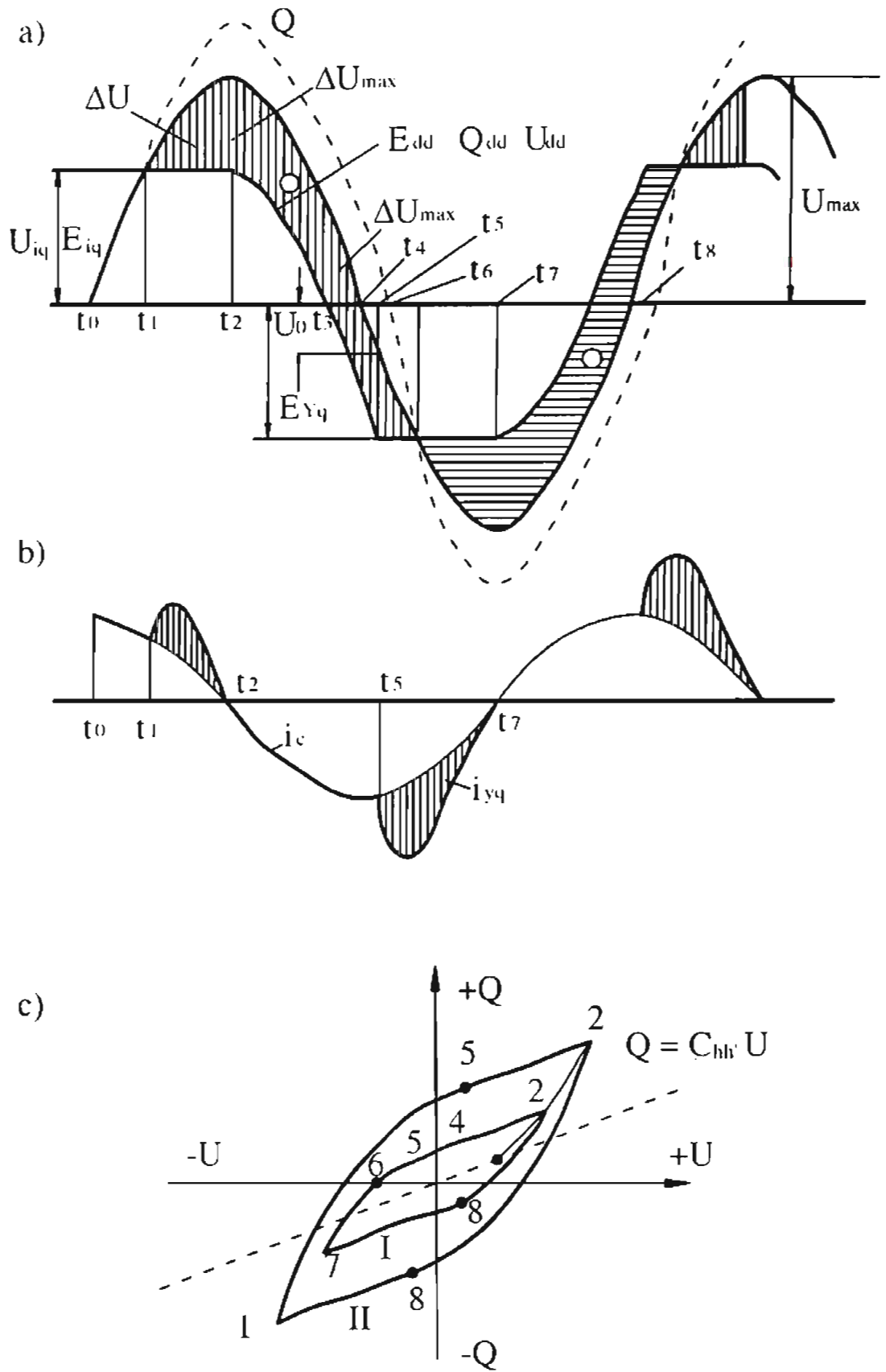
Như vậy phần điện áp còn lại trên dây dẫn $\Delta U = U = U'_{dd}$ (biểu thị bởi phần gạch theo chiều thẳng đứng trên hình 5-22a) là do điện tích khối ΔQ tạo nên. Trên hình vẽ, đường chấm biểu thị trị số điện tích tổng mà nguồn phải cung cấp do có thêm quá trình hình thành điện tích khối ΔQ , điện tích này có trị số:

$$Q = Q_{dd} + \Delta U.$$

Khi điện áp đạt tới trị số U_{max} thì cũng đạt được các trị số ΔU_{max} , ΔQ_{max} , Q_{max} .

* **Khi $t = t_2 \div t_3$:** khi $t > t_2$ điện áp nguồn bắt đầu giảm và kéo theo sự giảm của điện tích tổng Q .

Những điện tích trên bề mặt dây dẫn sẽ chạy về nguồn trước nghĩa là Q_{dd} bị giảm do đó làm giảm cường độ trường trên mặt dây dẫn và ion hoá chấm dứt. Các dòng plasma mất dần và tiến tới mất hẳn tính chất dẫn điện, để lại trong khoảng không gian quanh dây dẫn số lượng điện tích khối ΔQ_{max} (hình 5-22b).



Hình 5-22. Vầng quang điện trường dây dẫn điện xoay chiều.

a) Biến thiên theo thời gian của điện áp U , cường độ trường trên mặt dây dẫn, điện tích tổng Q ;

b) Dòng điện i_c và i_{vq} ; c) đặc tính Von-Culông

Tại thời điểm $t = t_3$, toàn bộ phần điện tích trên dây dẫn đã trả về nguồn, cường độ trường trên mặt dây dẫn cũng như thành phần điện áp U'_{dd} giảm tới số không. Điện áp $U(t)$ còn có trị số dương là do ảnh hưởng của điện tích khối (đường biểu diễn của E_{dd} , Q_{dd} và U'_{dd} trong khoảng thời gian này được xác định bằng cách lấy tung độ của đường $U(t)$ trừ đi một đoạn ΔU_{max} còn đường $Q(t)$ thì xác định bằng cách cộng thêm vào tung độ đường Q_{dd} đại lượng ΔQ_{max}).

* **Khi $t = t_4$** trên dây dẫn xuất hiện điện tích âm đủ để tạo nên phần điện áp có trị số bằng ΔU_{max} (hình 5-22a) triệt tiêu phần điện áp do điện tích khối gây nên và làm cho điện áp tổng giảm tới số không.

Tại thời điểm t_5 trường trên dây dẫn đã đạt được trị số tới hạn để phát sinh vầng quang âm. Xung quanh dây dẫn bắt đầu hình thành điện tích khối âm, chúng sẽ bù các điện tích khối dương còn lại từ nửa chu kỳ trước và đến khi $t = t_6$ thì điện tích khối dương được bù hoàn toàn và điện tích tổng Q lúc này có trị số bằng không. Các thành phần Q_{dd} , E_{dd} và U'_{dd} sẽ giữ không đổi trong suốt giai đoạn có xảy ra quá trình ion hoá ($t_5 \div t_7$).

Từ hình vẽ có thể thấy được khi $t = t_5$ điện áp nguồn chỉ cần đạt tới mức $U_0 < U_{vq}$ đã có thể bắt đầu có vầng quang âm. Trị số U_0 được xác định theo biểu thức:

$$U_0 = U_{vq} - \Delta U_{max}$$

Thay thế trị số $\Delta U_{max} = U_{max} - U_{vq}$ sẽ được:

$$U_0 = 2U_{vq} - U_{max} \quad (5-57)$$

Do đó nếu biên độ điện áp nguồn càng lớn thì vầng quang âm xuất hiện càng sớm thậm chí có thể phát sinh ngay trong nửa chu kỳ dương của điện áp (khi $U_{max} > 2U_{vq}$ thì $U_0 < 0$).

* **Khi $t = t_5 \div t_7$** : Quá trình được lặp lại như ở đoạn thời gian $t = t_1 \div t_2$, điện áp nguồn tăng tới trị số biên độ và điện tích khối âm đạt trị số cực đại ΔQ_{max} . Các quá trình về sau cũng được lặp lại tương tự.

Hình 5-22b cho quan hệ về dòng điện khi có vầng quang. Trên thành phần dòng điện, điện dung hình "sin" ic xác định bởi điện áp nguồn và điện dung hình học của đường dây ($i_c = C_{hd} \frac{du}{dt}$) có xếp chồng thành phần dòng điện do sự chuyển dịch ion của quá trình ion hoá. Thành phần này chỉ tồn tại trong giai đoạn có vầng quang (khoảng thời gian $t_1 \div t_2, t_5 \div t_7$).

Hình 5-22c cho đặc tuyến von-culông của đường dây có vầng quang, đó là quan hệ giữa điện tích tổng do nguồn cung cấp với điện áp nguồn. Đoạn thẳng 01 ứng với khoảng thời gian khi chưa xuất hiện vầng quang, độ nghiêng của nó xác

định bởi điện dung hình học của đường dây, các phần đường đặc tuyến được xây dựng từ các số liệu của hình 5-22a.

c) Tổn hao vầng quang trên đường dây dẫn điện xoay chiều

* Để tính tổn hao vầng quang của đường dây dẫn điện xoay chiều có thể dựa vào đặc tính von-culông (hình 5-22c), tổn hao trong một chu kỳ được tính theo:

$$P = \int_0^{\pi} u i dt = \int u dQ$$

nó tỷ lệ với diện tích của đường đặc tính von-culông. Tổn hao trong một đơn vị thời gian nghĩa là công suất tổn hao vầng quang có trị số bằng:

$$\Delta P = f \cdot \int u dQ$$

f- là tần số của điện áp xoay chiều.

* Phương hướng chính để xác định tổn hao vầng quang trên đường dây dẫn xoay chiều vẫn là tổng quát hoá các số liệu thực nghiệm. Một trong các công thức kinh nghiệm được quen biết nhiều là công thức của Pich:

$$\Delta P = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r_0}{s}} (U - U_0)^2 \cdot 10^5 \text{ kW / km.pha.}$$

Trong đó: δ - mật độ tương đối của không khí;

r_0 - bán kính dây dẫn , cm;

s - khoảng cách trung bình hình học giữa các dây dẫn , cm;

f- tần số;

U - giá trị hiệu dụng của điện áp pha, KV;

U_0 - trị số điện áp tính toán , gần bằng điện áp vầng quang. Trị số này được tính theo công thức:

$$U_0 = 21,2 \cdot \delta \cdot r_0 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \ln \frac{s}{r_0} \quad (5-58)$$

m_1 là hệ số nhả được đặc trưng cho bề mặt của dây dẫn (0,85 ÷ 0,9).

m_2 - hệ số khí hậu, biểu thị mối quan hệ giữa tổn hao vầng quang với điều kiện khí hậu.

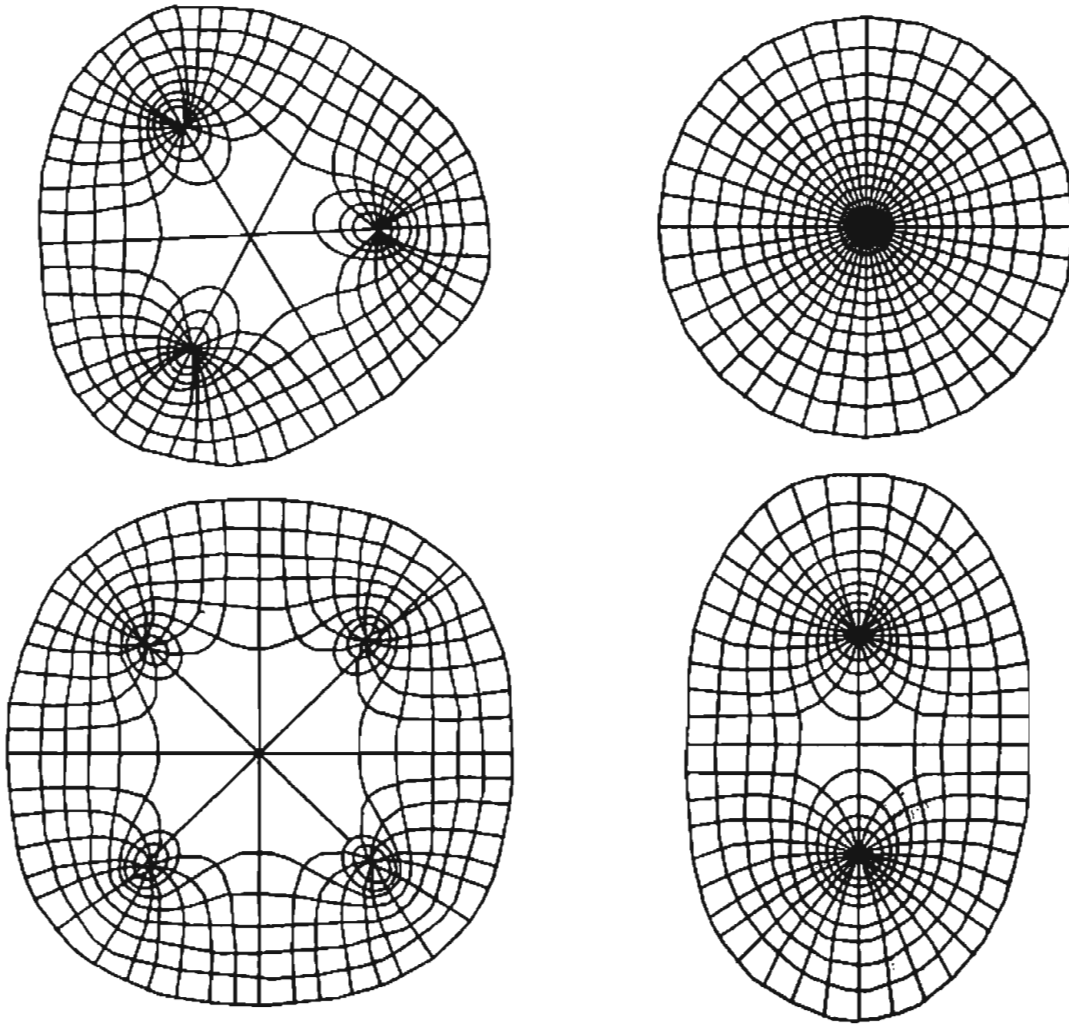
Hiện nay công thức Pich không được dùng để xác định tổn hao vầng quang vì kết quả của nó khác nhiều so với số liệu thực nghiệm, đặc biệt đối với đường dây siêu cao áp.

* Đối với đường dây siêu cao áp để giảm tổn hao vầng quang và khả năng chuyên tải năng lượng cần phải có đường kính lớn, điều đó gây rất nhiều khó khăn cho sản xuất cũng như trong xây lắp. Vấn đề này được giải quyết bằng cách dùng

dây phân nhỏ - dây dẫn ở mỗi pha có tiết diện lớn được thay thế bằng một số dây dẫn tiết diện nhỏ hơn đặt cách nhau theo khoảng cách thích hợp.

Trên hình 5-23 cho sự phân bố của trường khi dây dẫn được thay bằng 2, 3, 4 dây phân nhỏ.

Để tính cường độ trường trên mặt dây phân nhỏ có thể dùng phương pháp xếp chồng: trường trên mặt dây phân nhỏ sẽ là tổng hợp của trường tạo nên bởi điện tích của chính nó và trường được tạo nên bởi điện tích của dây phân nhỏ ở bên cạnh.



Hình 5-23. Phân bố trường của dây đơn và dây phân nhỏ.

Trường tạo nên bởi điện tích của chính nó có dạng hình tia và có trị số tuyệt đối bằng:

$$E = \frac{U_{ph}}{n \cdot r_0 \cdot \ln \frac{s}{r_{t\otimes}}} \quad (5-59)$$

Trong đó: U_{ph} - điện áp làm việc của dây dẫn (điện áp pha); n - số dây phân nhỏ; r_0 - bán kính dây phân nhỏ; s - khoảng cách các pha;

$$r_{td} = \sqrt[n]{r_0 \cdot D_1 \cdot D_2 \dots D_{n-1}}; \quad D = 2r_{td}.$$

$D_1, D_2 \dots D_{n-1}$ - là khoảng cách từ một dây phân nhỏ đến các dây phân nhỏ khác trong pha.

Trường tạo nên bởi điện tích của dây phân nhỏ bên cạnh cũng có dạng hình tia và có trị số:

$$\Delta E = \frac{q}{2\pi\epsilon D} = E \cdot \frac{r_o}{D} \quad (5-60)$$

Trường cực đại và cực tiểu khi dùng hai dây phân nhỏ được tính:

$$E_{\max}^{(2)} = E_{tb} \left(1 + \frac{2r_o}{D} \right) \quad (5-61)$$

$$E_{\min}^{(2)} = E_{tb} \left(1 - \frac{2r_o}{D} \right) \quad (5-62)$$

Công thức tính trị số trường cực đại khi dùng 3 và 4 dây phân nhỏ:

$$E_{\max}^{(3)} = E_{tb} \left(1 + \frac{2\sqrt{3}r_o}{D} \right) \quad (5-63)$$

$$E_{\max}^{(4)} = E_{tb} \left(1 + \frac{3\sqrt{r_o}}{D} \right) \quad (5-64)$$

Từ biểu thức của trị số E_{\max} - trị số đáng được quan tâm nhất vì có liên quan trực tiếp đến sự phát sinh vầng quang - có thể thấy rõ với khoảng cách D thích hợp thì trị số E_{\max} có trị số bé nhất, đó là trị số được chọn bằng phương pháp tính toán hoặc thực nghiệm khi thiết kế đường dây.

Dùng đường dây phân nhỏ ngoài tác dụng làm giảm tổn hao vầng quang còn có ưu điểm khác là làm giảm điện cảm của đường dây do đó tăng thêm khả năng chuyên tải công suất và đem lại hiệu quả kinh tế lớn.

Hiện nay để tính toán sơ bộ về trị số tổn hao vầng quang thường dùng công thức Maiơ, công thức này có thể dùng cho dây đơn cũng như dây phân nhỏ:

$$\Delta P = nkfr_o^2 \cdot E_{td} (E_{td} - E_{vq}) \left(2,3 \ln \frac{1350E_{td}}{fr_o} - 1 \right) 10^{-5}, \text{ kW / km pha} \quad (5-65)$$

n - số dây phân nhỏ; f - tần số, Hz; r_o - bán kính dây dẫn, cm; E_{vq} - cường độ trường phát sinh vầng quang, kV/cm; $E_{td} = \frac{E_{\max} + E_{tb}}{2}$, kV/cm; K - hệ số liên quan tới khí hậu $K = 44$ và $E_{vq} = 17\text{kV/cm}$ khi khí hậu tốt và $k = 31,5$; $E_{vq} = 11\text{kV/cm}$ khi khí hậu xấu.

Nếu thời gian có khí hậu xấu chiếm tỷ lệ $m\%$ của thời gian cả năm thì công suất tổn hao vầng quang trung bình hàng năm là:

$$\Delta P_{\text{th.năm}} = m\% \Delta P_{\text{xấu}} + (1-m\%) \Delta P_{\text{lối}} \quad (5-66)$$

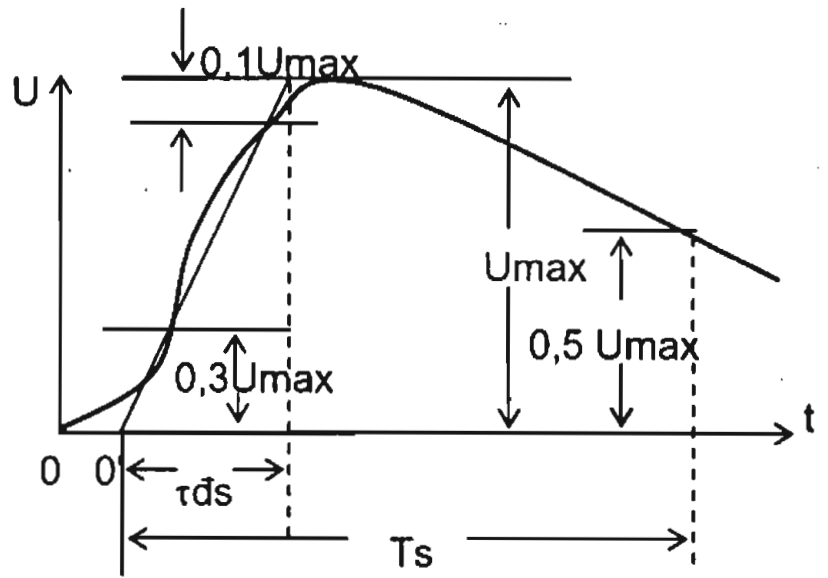
Nói chung, các tính toán về vầng quang cho đến nay vẫn chưa toàn diện và chính xác vì bản thân vầng quang có liên quan đến nhiều yếu tố phức tạp mà trong tính toán chưa đề cập đến một cách đầy đủ.

5.2.9. Phóng điện ở điện áp xung

a) Điện áp xung

Ở các phần trên đã nghiên cứu phóng điện trong chất khí khi điện áp tác dụng là điện áp một chiều và xoay chiều. Trong thực tế điện áp tác dụng còn có thể ở dạng xung gây nên bởi phóng điện sét vào đường dây trên không hoặc khi sét đánh vào khu vực gần đường dây, đánh vào thiết bị của trạm biến áp ngoài trời v.v...

Loại điện áp này có dạng sóng xung kích: điện áp tăng nhanh từ không đến trị số cực đại (đầu sóng) và sau đó giảm chậm đến trị số không (đuôi sóng). Hình 5-24 cho dạng sóng xung kích và cách xác định độ dài đầu sóng T_{ds} và độ dài sóng τ_s .



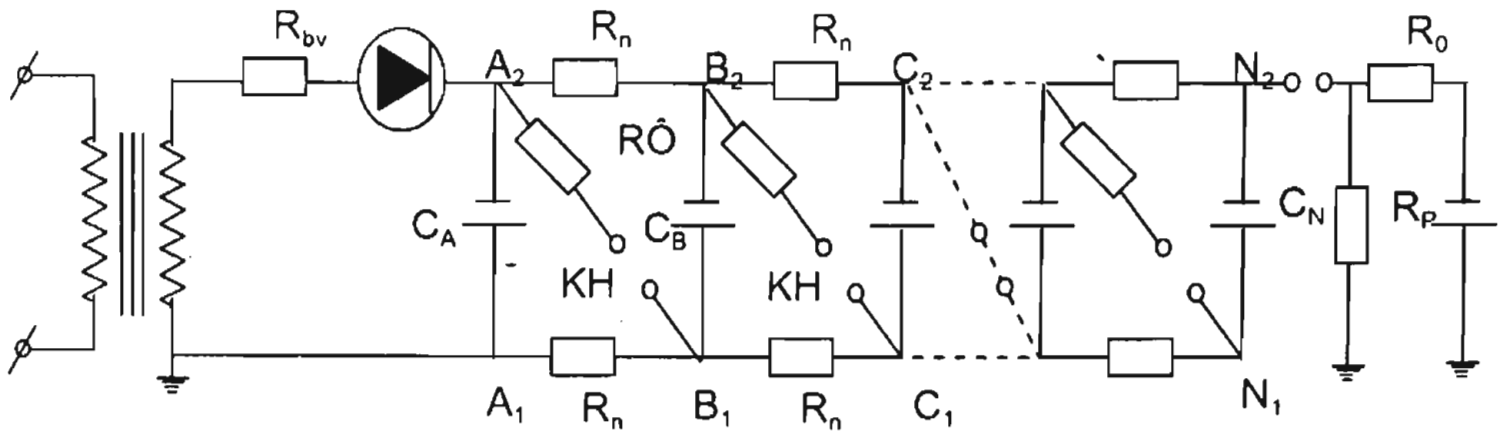
Hình 5-24. Cách xác định độ dài sóng và độ dài đầu sóng.

Do phần đầu sóng tăng chậm và không có ý nghĩa quan trọng đến quá trình phóng điện, nên nó được thay thế bằng đoạn thẳng xiên góc qua các điểm có tung độ $0,3 U_{\text{max}}$ và $0,9 U_{\text{max}}$, giao điểm của đường xiên này với trục hoành và đường nằm ngang qua U_{max} cho độ dài đầu sóng τ_{ds} . Độ dài sóng τ_s tính tới khi điện áp giảm xuống chỉ còn một nửa trị số biên độ U_{max} . Quy định này xuất phát từ kết quả thực nghiệm, khi điện áp đã giảm tới mức 50% trị số biên độ sẽ không còn khả năng gây nên phóng điện do đó có thể không cần chú ý đến phần sau của sóng.

Theo quy ước quốc tế, dạng sóng tiêu chuẩn có độ dài đầu sóng: $\tau_{ds} = 1,2/\mu$ giây $\pm 30\%$ và độ dài sóng $\tau_s = 50/\mu$ giây $\pm 20\%$. Ký hiệu sóng xung $\tau = 1,2/50$. Ở Liên Xô cũ sóng tiêu chuẩn với độ dài đầu sóng $\tau_{ds} = 1,5/\mu$ giây và độ dài sóng $\tau_s = 40/\mu$ giây ($\tau = 1,5/40$).

Trong các phòng thí nghiệm thường dùng máy phát điện áp xung để tạo nên điện áp xung mà nguyên lý làm việc của nó là dựa trên các quá trình nạp và phóng của tụ điện. Để có điện áp xung có thể tiến hành bằng cách dùng nhiều tụ, chúng được nạp song song nhưng khi phóng điện lại nối tiếp làm cho điện áp tăng cao theo kiểu nối cấp. Hình 5-25 cho sơ đồ cụ thể của máy phát điện áp xung.

* **Giai đoạn nạp:** Qua máy biến áp T và chỉnh lưu K các tụ điện C_A, C_B, \dots, C_N được nạp tới điện áp U và khi quá trình nạp kết thúc thì điểm A_2, B_2, \dots, N_1 có điện thế U còn các điểm A_1, B_1, \dots, N_1 có điện thế bằng không (nối đất).



Hình 5-25. Sơ đồ máy phát điện áp xung.

T- máy biến áp thí nghiệm;

K - chỉnh lưu cao;

C_A, C_B, \dots, C_N - tụ điện;

R_{bv} - điện trở bảo vệ

R_n - điện trở nạp điện;

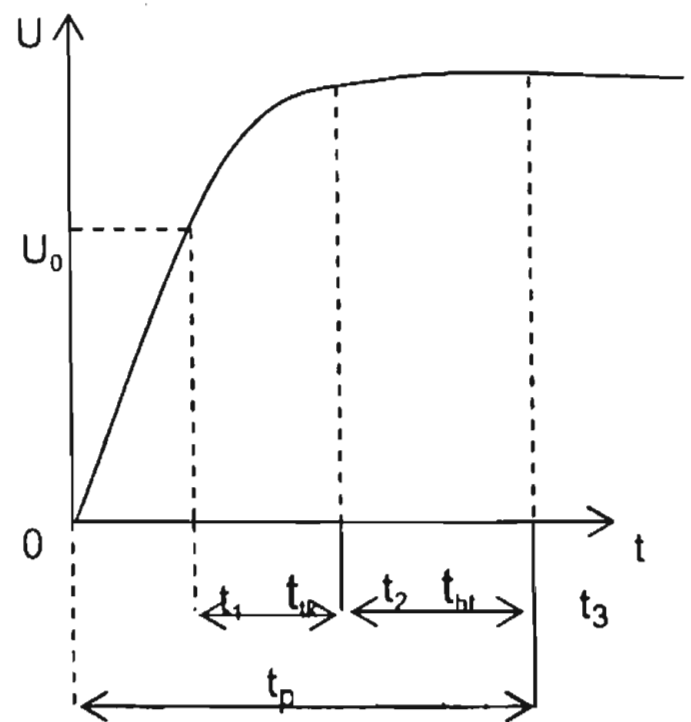
R_0 - điện trở ổn định;

R_p - điện trở phóng điện;

C_p - tụ điện phóng điện.

* **Giai đoạn phóng:** Nếu chọn khoảng cách khe hở KH_1 sao cho ở điện áp U có thể có phóng điện được thì sau khi phóng điện của điểm B_1 sẽ tăng vọt tới mức U và như vậy thế của điểm B_2 sẽ tăng tới mức 2U. Khe hở KH_2 được chọn cho phóng điện ở điện áp 2U và sau khi nó phóng điện sẽ làm thế điểm C_1 tăng từ 0 đến mức 2U và của điểm C_2 tăng từ U tới mức 3U ...

Như vậy, nếu dùng n cấp để các tụ điện trong giai đoạn phóng được ghép nối tiếp nhau qua các khe hở KH_1, \dots, KH_n thì điện áp xung ở đầu máy phát có thể đạt tới mức nU.



Hình 5-26. Các thành phần của thời gian phóng điện.

Các phần tử còn lại trong sơ đồ làm nhiệm vụ bảo vệ và điều chỉnh quá trình phóng điện áp xung.

Thời gian phóng điện:

Khi dùng điện áp một chiều hay xoay chiều thì trị số điện áp phóng điện ít phụ thuộc vào thời gian tác dụng của điện áp. Nhưng đối với điện áp xung, trị số điện áp phóng điện phụ thuộc rất nhiều vào thời gian tác dụng của điện áp, thời gian càng bé thì điện áp phóng điện càng tăng cao. Nguyên nhân chủ yếu của hiện tượng này là do bản thân quá trình phóng điện đòi hỏi phải có khoảng thời gian cần thiết để tích lũy đủ mật độ điện tích gây nên phóng điện. Thời gian này gọi là thời gian phóng điện.

Cho điện áp tác dụng lên khe hở khí hình 5-26 và giả thiết tại mức điện áp U_0 điều kiện phóng điện tự duy trì được thực hiện. Trước thời điểm t_1 và ngay cả ở t_1 cũng chưa thể có phóng điện vì trước hết phải có xuất hiện ít nhất một điện tử tác dụng ở khu vực cực âm, từ đó tạo nên thác điện tử thứ nhất. Điện tử này có thể được tạo nên do sự bắn phá cực âm của các ion dương hoặc các nhân tố ion hoá bên ngoài. Như vậy, quá trình phóng điện không thể bắt đầu từ t_1 mà phải từ thời điểm $t_2 = t_1 + t_{ik}$; trong đó: t_{ik} - là thời gian chờ đợi xuất hiện điện tử tác dụng đầu tiên. Vì thời gian này rất tản mạn, có thể nhanh chậm khác nhau và chỉ có thể xác định bằng phương pháp thống kê nên gọi là thời gian chậm trễ thống kê. Quá trình phóng điện được hoàn thành ở thời điểm $t_3 = t_2 + t_{ht}$ trong đó: t_{ht} - là thời gian hình thành phóng điện, trong khoảng thời gian này thác điện tử sẽ phát triển thành dòng để nối liền khoảng cực và hoàn thành quá trình phóng điện.

Tổng hợp ba thành phần thời gian nói trên sẽ được thời gian phóng điện:

$$t_p = t_1 + t_{ik} + t_{ht} \quad (5-67)$$

- Trị số thời gian chậm trễ thống kê có thể xác định bằng thực nghiệm. Quy luật phân bố của thời gian chậm trễ thống kê trung bình cũng giống như quy luật phân bố đoạn đường tự do:

$$P = e^{-\frac{t}{(t_{ik})_{tb}}}$$

với p là xác suất có thời gian chậm trễ thống kê lớn hơn hoặc bằng t . Thời gian chậm trễ thống kê phụ thuộc vào khá nhiều yếu tố như: nhân tố ion hoá bên ngoài, công thoát của vật liệu làm điện cực, điện áp v.v...

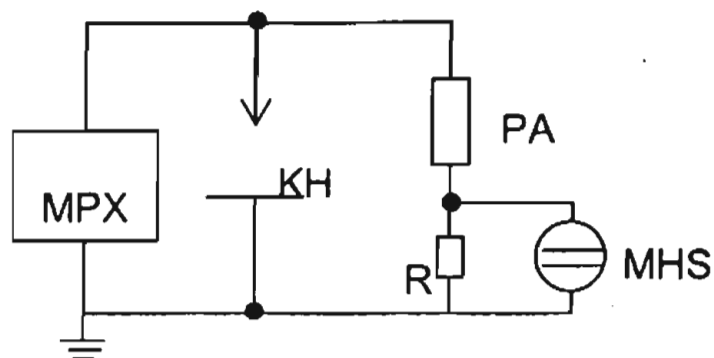
Thời gian hình thành phóng điện gồm ba giai đoạn:

- + Giai đoạn thác điện tử đầu tiên phát triển tới độ dài x_k chuẩn bị điều kiện cho việc hình thành dòng.
- + Giai đoạn phát triển của dòng tới hết chiều dài khoảng cực.
- + Giai đoạn của phóng điện ngược.

Sự phát triển của dòng là do có nhiều thác mới mà sự hình thành của chúng lại phụ thuộc vào thời gian chờ đợi xuất hiện các điện tử thứ cấp, thời gian này rất bé so với thời gian chậm trễ thống kê của thác đầu tiên, diện tích không gian phân bố không theo quy luật nhất định, đặc biệt trong các khoảng cách dài quỹ đạo phóng điện không theo đường thẳng v.v... Những nguyên nhân này đều làm cho thời gian hình thành phóng điện cũng bị tản mạn và có tính chất thống kê.

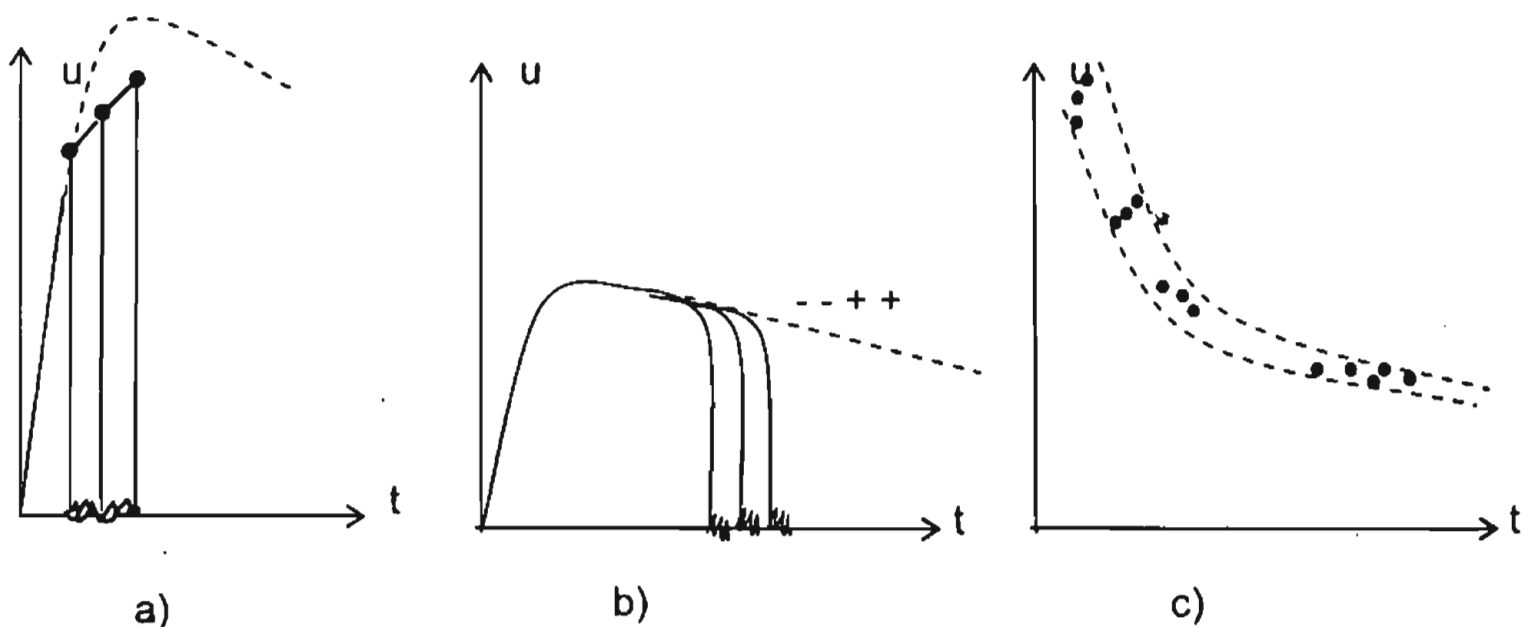
b) Phóng điện xung kích

Sau khi xét về thời gian phóng điện thấy rằng: trị số điện áp phóng điện xung kích phụ thuộc vào thời gian tác dụng của điện áp, thời gian càng ngắn thì yêu cầu trị số điện áp càng cao. Do đó đối với phóng điện xung kích không thể biểu thị điện áp phóng điện bằng trị số cố định mà biểu thị bởi đặc tính von-giây là quan hệ giữa biên độ điện áp tác dụng với thời gian phóng điện. Đặc tính này được xác định bằng thực nghiệm theo sơ đồ hình 5-27. Xây dựng đặc tính von-giây rất công phu và phức tạp, phải dùng dạng sóng nhất định và thí nghiệm nhiều lần cho mỗi cặp trị số $U(t)$.



Hình 5-27. Sơ đồ nguyên lý để xác định đặc tính von-giây bằng phương pháp thực nghiệm.

MPX - máy phát điện áp xung;
KH - khe hở; PA - phân áp;
MHS - máy hiện sóng



Hình 5-28. Cách xây dựng đặc tính von-giây.

Trên hình 5-28 cho kết quả thực nghiệm và cách xây dựng đặc tính von-giây của cách điện. Hình 5-28a ứng với các trường hợp phóng điện xảy ra ở giai đoạn

dầu sóng khi điện áp có biên độ lớn, còn hình 5-28b là khi biên độ bé phóng điện ở đuôi sóng. Ứng với mỗi trị số biên độ điện áp sẽ có nhiều trị số của thời gian phóng điện và ngược lại, cho nên đặc tính von-giây là một khu vực tập hợp nhiều điểm (hình 5-28c). Thực tế thường biểu thị theo đường cong trung bình có kèm theo giới hạn sai số so với đường trung bình ấy.

Trong phóng điện xung kích không những chỉ có thời gian phóng điện mà cả khả năng phóng điện cũng mang tính chất tản mạn. Đặc điểm này được biểu thị bằng xác suất về số lần phóng điện, nó phụ thuộc rất nhiều vào biên độ điện áp tác dụng, biên độ càng lớn thì xác suất phóng điện càng cao. Trong thực tế, thường dùng các trị số điện áp phóng điện theo xác suất phóng điện sau đây để biểu thị mức cách điện xung kích:

- Trị số điện áp phóng điện xung kích 50% còn gọi là điện áp phóng điện bé nhất (ký hiệu $U_{50\%}$), là biên độ sóng xung kích khi cho tác dụng nhiều lần sẽ có 50% số lần xảy ra phóng điện. Trị số này ứng với đoạn nằm ngang của đường đặc tính von-giây và có thời gian phóng điện khoảng $6 \div 10 \mu\text{giây}$.

- Cường độ xung kích đảm bảo là giới hạn an toàn của cách điện với xác suất phóng điện bằng không. Trị số này thường bé hơn điện áp thí nghiệm xung kích khoảng $10 \div 30\%$.

Cần chú ý là các đường đặc tính von-giây còn phụ thuộc vào cực tính dương hay âm của sóng xung điện áp.

Đường đặc tính von-giây có ý nghĩa rất quan trọng trong việc phối hợp cách điện giữa thiết bị điện và thiết bị bảo vệ cho nó. Để bảo đảm an toàn cho cách điện thiết bị không bị phóng điện, thiết bị bảo vệ cần phải có đường đặc tính von-giây hoàn toàn nằm dưới đường đặc tính von-giây của cách điện và có dạng phẳng ngang không giao chéo ở khoảng thời gian bé.

5.3. SỰ PHÓNG ĐIỆN TRONG ĐIỆN MÔI LỎNG

Ở điều kiện bình thường điện môi lỏng có cường độ điện trường cách điện cao hơn nhiều so với điện môi khí. Hiện tượng phóng điện trong điện môi lỏng phức tạp hơn nhiều so với điện môi khí ngay cả khi điện môi lỏng tinh khiết, vì sau mỗi lần phóng điện sẽ sinh ra các tạp chất là muội khói do chất lỏng bị đốt cháy.

Trong các chất lỏng thường chứa các tạp chất như là: nước, bọt khí, bụi bẩn, xơ v.v... lơ lửng ở bên trong. Sự tồn tại các tạp chất làm cho hiện tượng phóng điện đánh thủng điện môi lỏng phức tạp lên rất nhiều, gây khó khăn cho việc thành lập lý thuyết chính xác về phóng điện điện môi lỏng. Đã có nhiều công trình nghiên cứu về tiền phóng điện, diễn biến quá trình phóng điện v.v trong điện môi lỏng. Để giải thích cơ cấu của sự phóng điện chất lỏng, người ta đã đưa ra một số lý thuyết cơ bản dưới đây.

5.3.1. Lý thuyết về nhiệt

Lý thuyết này áp dụng đối với các điện môi lỏng kỹ thuật. Trong các chất này thường chứa các tạp chất như: bọt khí, nước, tạp chất cơ học, các chất dẫn điện, bán dẫn ... Ở đây sự phóng điện không phải là do ion hoá va chạm mà là do sự phát nóng cục bộ và sự sôi cục bộ ở bên trong chất lỏng ở những nơi có nhiều tạp chất đưa đến sự hình thành một cầu dẫn điện giữa hai cực. Theo lý thuyết này, khi điện áp tác dụng tăng lên thì lúc đầu sẽ có sự ion hoá trong các bọt khí, ở phần bọt khí có nhiệt độ và độ dẫn điện tăng, dưới tác dụng của trường nó sẽ bị kéo dài ra và gây nên phóng điện giữa hai cực.

5.3.2. Lý thuyết ion hoá

Đối với các điện môi lỏng đã được lọc sạch các tạp chất, người ta giải thích sự phóng điện như sự ion hoá đối với chất khí. Song mật độ phân tử chất lỏng lớn hơn nhiều so với chất khí nên đoạn đường chuyển động tự do của điện tử bé và năng lượng tích lũy trên quãng đường này có trị số bé khó gây nên ion hoá lớn. Chính vì vậy mà chất lỏng có cường độ cách điện cao hơn nhiều so với chất khí.

5.3.3. Lý thuyết phóng điện do điện thuận tuý

Lý thuyết này dùng để giải thích sự phóng điện trong chất lỏng tinh khiết. Nguyên nhân chủ yếu là do điện gây nên. Sự phóng điện ở trong trường hợp này là do các điện tử thoát ra từ mặt điện cực bằng kim loại dưới tác dụng của cường độ điện trường mạnh đồng thời sự phân huỷ bản thân phân tử chất lỏng.

Trong thực tế kỹ thuật điện người ta thường phối hợp cả ba lý thuyết trên để giải thích sự phóng điện trong điện môi lỏng. Thực tế cho ta thấy cường độ cách điện của chất lỏng phụ thuộc vào nhiều yếu tố: ví dụ ta xét sự phóng điện của dầu máy biến áp.

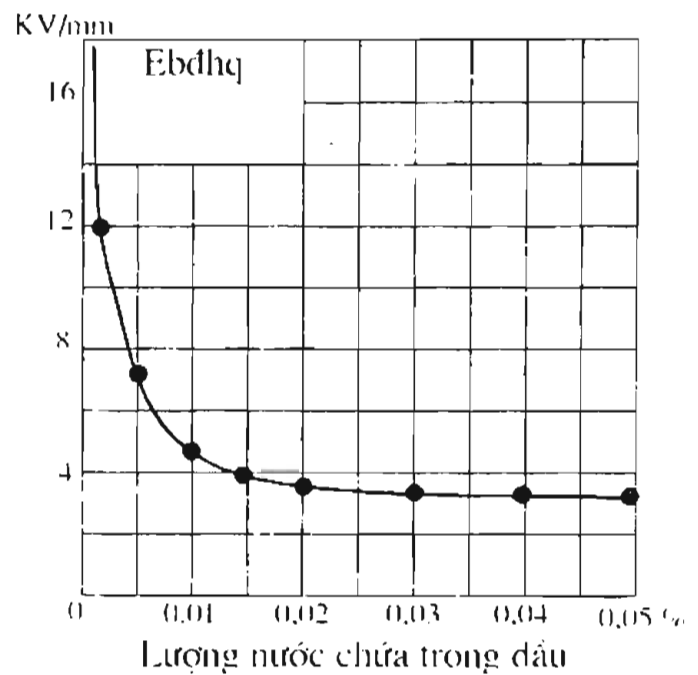
Để xác định cường độ cách điện hay điện áp phóng điện của dầu máy biến áp, người ta thường tiến hành thí nghiệm trên các thiết bị có điện áp tăng cao (AИИ-70, AИМ-90, AИД-70 của Liên Xô cũ ...) với công suất khoảng 2KVA. Mẫu dầu máy biến áp được cho vào cốc thử dầu có 2 cực phẳng hay hai nửa bán cầu đường kính ϕ 25mm, khoảng cách giữa hai cực được căn chuẩn là 2,5 mm (khe hở dầu giữa hai cực). Điện áp tần số 50Hz được tăng đều với tốc độ tăng 2kV/giây cho đến khi phóng điện.

a) Ảnh hưởng của nước và sợi bẩn

Thí nghiệm đã cho thấy tạp chất ảnh hưởng rất lớn tới độ bền điện của điện môi lỏng. Điều này thấy rõ từ đường cong hình 5-29, quan hệ giữa độ bền điện của dầu MBA theo lượng nước chứa trong nó. Nếu lọc sạch các tạp chất ra khỏi dầu

MBA sẽ làm cho độ bền điện tăng lên rõ rệt. Ví dụ, dầu MBA không sạch có $E_{db} \approx 4\text{KV/mm}$, sau khi lọc sạch cẩn thận, độ bền điện tăng lên đến 20-25 kV/mm.

Nước trong điện môi lỏng có thể ở trạng thái hoà tan hay trạng thái nhũ tương (bọc nước). Khi có quá nhiều nước thì có trạng thái lắng đọng (vì tỷ trọng của nước là 1, còn của dầu MBA nằm trong khoảng từ 0,86 đến 0,88). Với cùng một lượng nước trong dầu nhưng khi ở trạng thái hoà tan thì cường độ cách điện của dầu giảm không nhiều, thí nghiệm phóng điện khó phát hiện ra. Còn khi ở trạng thái nhũ tương thì điện áp phóng điện giảm đi nhiều và nhất là trong dầu có chứa các sợi nhỏ tạp chất ở thể rắn. Vì các sợi và bọc nước tạo điều kiện làm cầu nối cho sự phóng điện sớm hơn (tính chất bắc cầu).

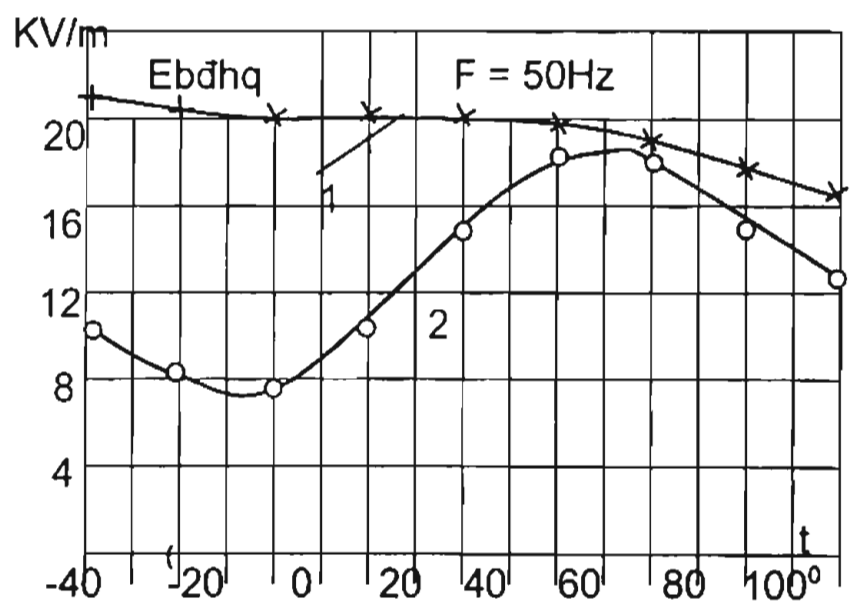


Hình 5-29. Sự biến thiên của độ bền điện $E_{đt}$ theo lượng nước trong dầu.

Đối với điện áp xung thì tạp chất ít bị ảnh hưởng tới trị số điện áp phóng điện vì thời gian tác dụng của điện áp quá ngắn. Độ bền điện của điện môi lỏng bản cao gấp 5÷7 lần độ bền điện khi điện áp tác động lâu dài. Đối với chất lỏng tinh khiết thì những trị số này không khác nhau nhiều và tỷ số giữa các trị số điện áp đánh thủng ấy nhỏ hơn 3.

b) Ảnh hưởng của nhiệt độ

Độ bền điện của điện môi lỏng tinh khiết hầu như không phụ thuộc vào nhiệt độ khi nhiệt độ làm việc nhỏ hơn 80°C. Khi nhiệt độ cao, điện môi lỏng có sự giãn nở nhiệt, chuyển động nhiệt của các phân tử tăng lên nhất là gần nhiệt độ sôi của điện môi lỏng, làm cho điện áp phóng điện hay độ bền điện sẽ giảm.



Hình 5-30. Sự biến thiên của độ bền điện dầu MBA theo nhiệt độ.

1- dầu sạch; 2 - dầu đang vận hành có chứa nước.

Trên hình 5-30 là quan hệ của cường độ điện trường cách điện của dầu máy biến áp với nhiệt độ khi dầu sạch (đường 1) và khi dầu đang vận hành (đường 2).

Qua đồ thị (đường 2) ta thấy, dầu MBA có cường độ điện trường cách điện lớn nhất khi dầu có nhiệt độ trong miền từ $60 \div 80^{\circ}\text{C}$. Ở miền nhiệt độ này nước có trong dầu MBA đã hoà tan đều trong dầu, làm cho độ bền điện lớn. Khi nhiệt độ tăng từ $80 \div 100^{\circ}\text{C}$ độ bền điện giảm vì gần nhiệt độ sôi của nước và dầu, dễ dàng cho sự phóng điện.

Khi nhiệt độ ở trong miền nhỏ hơn 60°C các phân tử dầu chuyển đẩy nước từ hoà tan sang trạng thái nhũ tương (bọc nước) làm cầu nối cho sự phóng điện sớm hơn, nên cường độ cách điện giảm. Ở miền nhiệt độ thấp nước nằm trong trạng thái đóng băng, khi xảy ra phóng điện cần năng lượng lớn phá vỡ lực liên kết của băng. Do vậy cường độ cách điện tăng lên khi nhiệt độ càng giảm.

c) Ảnh hưởng của áp suất

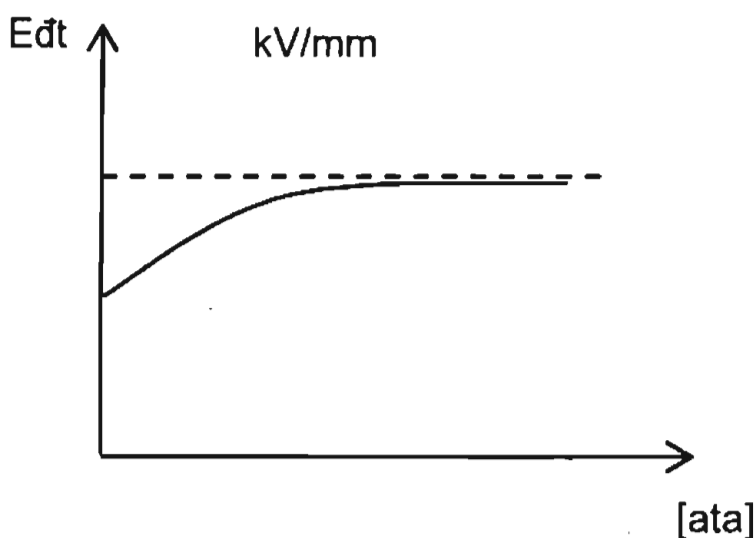
Cường độ cách điện của điện môi lỏng bình thường thì không phụ thuộc vào áp suất. Song khi điện môi lỏng có chứa các bọt khí thì quan hệ giữa E_{dt} với áp suất được biểu diễn ở hình 5-31.

Khi áp suất tăng thì cường độ cách điện sẽ tăng, song không tăng nhiều vì số lượng bọt khí có hạn. Thực chất ở đây chỉ là nén phân bọt khí chứa trong điện môi lỏng, quy luật này đã được xét kỹ trong phần phóng điện trong điện môi khí ở bên trên.

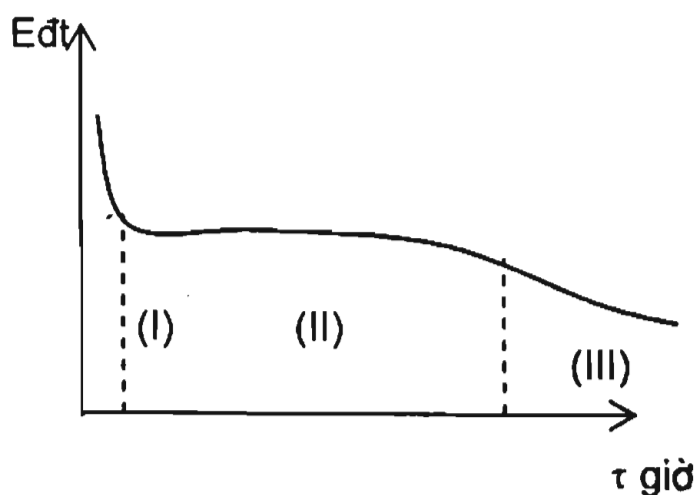
d) Ảnh hưởng thời gian tác dụng điện áp

Độ bền điện của điện môi lỏng giảm khi thời gian tác dụng của điện áp càng tăng (xem hình 5-32). Chất lỏng có nhiều tạp chất thì có mức độ suy giảm mạnh.

Khi thời gian tác dụng điện áp bé ($t \leq 10^{-4}$ giây) các phân tử tạp chất không kịp chuyển dịch trên khoảng cách giữa các cực nên không làm ảnh hưởng tới cường độ



Hình 5-31. Quan hệ $E_{dt} = f(P)$ khi chất lỏng có chứa các bọt khí.



Hình 5-32. Quan hệ $E_{dt} = f(\tau \text{ giờ})$.

độ cách điện, độ bền điện càng cao khi thời gian càng nhỏ giống như điện áp xung (vùng I của đồ thị). Ở vùng II của đồ thị là thời gian làm việc ổn định của điện môi lỏng. Dưới tác dụng của điện áp cao và thời gian tác dụng lớn, điện môi lỏng có thể bị phân huỷ, biến tính tức là điện môi bị biến già, màu của chúng thay đổi sẫm dần và cường độ cách điện bị suy giảm (vùng III của đồ thị).

Thực tế cho thấy trong quá trình vận hành dưới tác dụng của điện trường, nhiệt độ, ôxy của không khí,... dầu máy biến áp sẽ mất dần tính chất cách điện ban đầu, nó biến đổi màu, nồng độ axit sẽ tăng ... Do vậy cần phải định kỳ kiểm tra dầu MBA để đánh giá chất lượng dầu và có biện pháp sửa chữa, bảo dưỡng, đại tu thiết bị, đảm bảo vận hành thiết bị an toàn.

Cần chú ý rằng, khi dầu MBA vận hành ở điện áp và nhiệt độ càng cao thì khả năng lão hoá càng nhanh. Mặt khác cường độ cách điện giảm khi số lần thí nghiệm phóng điện tăng, bởi vì sau mỗi lần phóng điện sẽ sinh ra tạp chất là muối khoáng trong mẫu thử. Dựa vào quan hệ giữa độ bền điện với số lần phóng điện ta có thể đánh giá tuổi thọ của dầu máy biến áp và phát hiện ra dầu mới hay dầu tái sinh.

5.4. SỰ PHÓNG ĐIỆN TRONG ĐIỆN MÔI RẮN

Khi nghiên cứu về sự phóng điện điện môi rắn ta thấy có hai khả năng xảy ra, đó là:

- Phóng điện đánh thủng hay còn gọi là phóng điện xuyên qua điện môi rắn.
- Phóng điện bề mặt điện môi rắn.

5.4.1. Phóng điện đánh thủng

Phóng điện đánh thủng điện môi rắn phức tạp hơn nhiều so với chất khí và lỏng vì các lý do sau đây:

Điện môi rắn sau khi bị phóng điện sẽ mất hoàn toàn tính chất cách điện, tính chất này không thể khôi phục lại được tức là không có tính chất thuận nghịch như chất khí và lỏng.

Chúng ta không thể tạo nên các mẫu có cấu trúc giống hệt nhau tại mọi điểm, do vậy, phải thí nghiệm nhiều mẫu và dùng xác suất thống kê để đưa ra quy luật về sự phóng điện cho từng loại điện môi rắn.

Cường độ cách điện của các điện môi rắn phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: loại phân tử, liên kết phân tử, lượng tạp chất chứa trong điện môi và các yếu tố môi trường: nhiệt độ, độ ẩm, áp suất .v.v....

Khi xét quan hệ cường độ điện trường với nhiệt độ cho thấy: ở nhiệt độ thấp cường độ điện trường ít phụ thuộc vào nhiệt độ (vùng I của hình 5-33), ở đây gọi là phóng điện do điện gây nên. Ở nhiệt độ cao (vùng II của hình 5-33) cường độ điện

trường giảm nhiều khi nhiệt độ tăng, ta thường gọi là phóng điện do nhiệt gây nên trong điện môi rắn.

Phóng điện do điện và phóng điện do nhiệt gây nên có sự khác nhau ở một số điểm sau:

- Phóng điện do điện gây nên xuất hiện khi cường độ điện trường lớn (tùy thuộc vào loại vật liệu) và xảy ra trong thời gian ngắn 10^{-7} - 10^{-8} giây. Còn phóng điện do nhiệt gây nên xảy ra trong một thời gian dài để có thời gian làm tăng nhiệt độ.

Cường độ cách điện $E_{đt}$ do điện gây nên không phụ thuộc vào chiều dày điện môi. Còn phóng điện do nhiệt lại phụ thuộc vào chiều dày điện môi, $E_{đt}$ giảm khi chiều dày tăng vì thường cách điện đi đôi với cách nhiệt.

Phóng điện do điện gây nên ít phụ thuộc vào nhiệt độ, song phóng điện do nhiệt phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ, cường độ điện trường đánh thủng giảm khi ở nhiệt độ cao.

- Phóng điện do nhiệt gây nên xảy ra ở nơi nào trong điện môi có sự phát nhiệt lớn nhất, sự truyền nhiệt và làm mát kém nhất. Còn phóng điện do điện gây nên chỉ xảy ra ở nơi yếu nhất và có cường độ điện trường lớn nhất ...

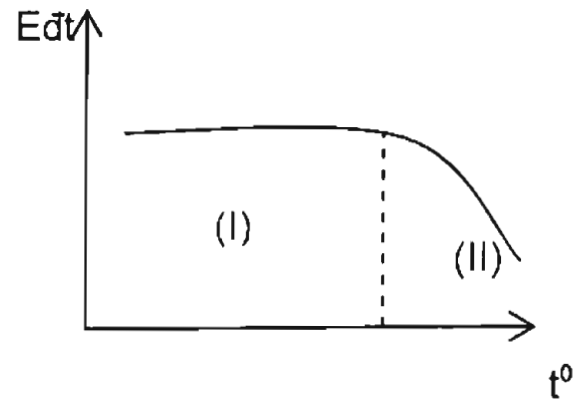
Người ta phân biệt thành bốn dạng đánh thủng điện môi rắn:

- Sự đánh thủng do điện các điện môi rắn đồng nhất vi mô.
- Sự đánh thủng do điện các điện môi rắn không đồng nhất.
- Sự đánh thủng do điện - hoá gây nên.
- Sự đánh thủng do nhiệt gây nên.

Một trong những dạng đánh thủng kể trên có thể xảy ra đối với cùng một vật liệu, tùy theo tính chất của điện trường: một chiều, xoay chiều hay xung, tần số cao hay thấp, khuyết tật trong điện môi, đặc biệt là các bọt khí, những điều kiện làm mát, thời gian tác động của điện áp, điều kiện của môi trường...

a) Sự đánh thủng do điện các điện môi rắn đồng nhất vi mô

Dạng đánh thủng này có đặc điểm phát triển rất nhanh, xảy ra trong khoảng thời gian nhỏ $10^{-7} \div 10^{-8}$ giây và không phải do năng lượng nhiệt, mặc dù độ bền điện khi đánh thủng phụ thuộc vào nhiệt độ ở một mức độ nào đó.



Hình 5-33 .Quan hệ $E_{đt} = f(t^0)$

Về bản chất, sự đánh thủng này là một quá trình điện tử thuần túy, khi trong chất rắn có một số ít điện tử ban đầu dưới tác động của điện trường mạnh sẽ tạo thành thác điện tử. Các điện tử ban đầu này tiêu thụ năng lượng mà nó tích lũy trong quá trình chuyển động trong điện trường, kích thích mạng tinh thể, khi điện tử đạt đến một tốc độ nào đó thì có khả năng tạo nên các điện tử mới do ion hoá và chạm phá huỷ sự cân bằng của chất rắn.

Sự đánh thủng do điện gây nên trong điện môi rắn không gây nên tổn hao điện môi, nghĩa là không làm ảnh hưởng đến độ dẫn điện hay ion hoá các bọt khí ở bên trong điện môi. Trong trường đồng nhất và vật liệu có cấu tạo hoàn toàn đồng nhất có thể dùng cường độ điện trường đánh thủng điện môi làm thước đo độ bền điện của điện môi đó.

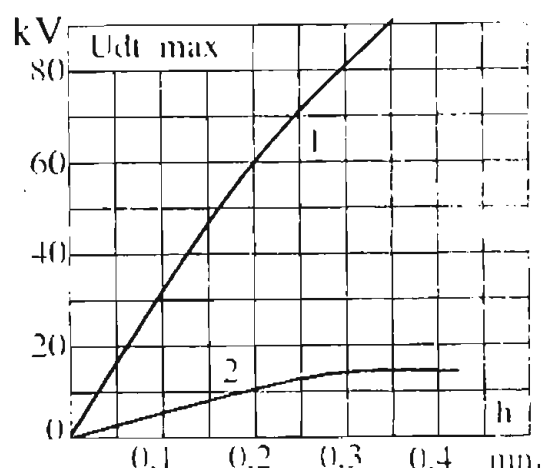
Cường độ cách điện của điện môi rắn càng cao khi kích thước phân tử càng bé. Cường độ cách điện phụ thuộc vào liên kết phân tử, khi liên kết phân tử chặt chẽ thì cường độ cách điện cao.

Đối với điện môi đồng nhất có sự khác nhau rõ rệt giữa trị số điện áp đánh thủng trong trường đồng nhất và không đồng nhất (hình 5-34). Điều này nói lên cường độ điện trường có ảnh hưởng lớn tới sự phóng điện đánh thủng điện môi rắn đồng nhất vi mô. Với cùng một chiều dày h của điện môi thì điện áp phóng điện trong điện trường đồng nhất cao hơn nhiều so với điện áp phóng điện trong trường không đồng nhất.

b) Sự đánh thủng do điện các điện môi rắn không đồng nhất

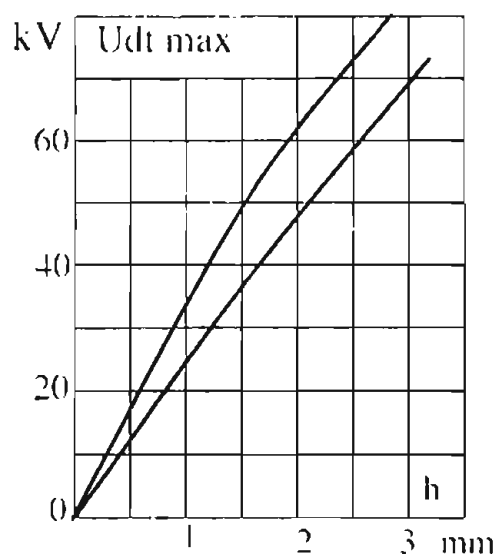
Sự phóng điện đánh thủng này đặc trưng cho các điện môi rắn dùng trong kỹ thuật điện mà hầu hết các trường hợp có chứa tạp chất là bọt khí.

Cũng như sự đánh thủng do điện



Hình 5-34. Quan hệ $U_{dt} = f(h)$.

- 1- trường đồng nhất;
- 2- trường không đồng nhất.



Hình 5-35. Quan hệ $U_{dt} = f(h)$ của sứ cách điện khi $f = 50\text{Hz}$.

- 1 - trường đồng nhất;
- 2 - trường không đồng nhất.

của điện môi đồng nhất, hiện tượng đánh thủng này có đặc điểm phát triển rất nhanh. Điện áp đánh thủng đối với điện môi không đồng nhất ở trong điện trường đồng nhất hoặc không đồng nhất thường không cao và khác nhau ít (hình 5-35).

Do cấu tạo không đồng nhất nên sự xuất hiện các điểm yếu nhiều hơn, nên ảnh hưởng của cường độ điện trường tới điện áp phóng điện không đáng kể (phóng điện dễ xảy ra ở các vị trí yếu trong điện môi).

Các số liệu về quan hệ giữa điện áp đánh thủng với chiều dày h của điện môi ở hình 5-34 và 5-35 chỉ ra rằng, khi tăng chiều dày của mẫu thử nghiệm thì độ không đồng nhất của cấu trúc tăng lên, số lượng các chỗ yếu, các bọt khí tăng và độ bền điện trong trường đồng nhất cũng như không đồng nhất đều giảm.

Đôi khi trong thí nghiệm quan sát thấy độ bền của gốm khi trường không đồng nhất thậm chí còn cao hơn khi trường đồng nhất. Ví dụ, độ bền điện của mẫu gốm rutin có chiều dày $1,6 \div 1,7$ mm khi điện áp thí nghiệm là một chiều trong trường hợp các điện cực kim - mặt phẳng vào khoảng 24 kV/mm, còn ở các điện cực phẳng - chỉ bằng $12,5 \div 15$ kV/mm. Từ đó suy ra rằng, diện tích cực càng nhỏ, trị số độ bền điện của vật liệu gốm càng cao, có thể cao hơn do số lượng chỗ yếu nằm trong phạm vi của trường giảm xuống, mặc dù trong trường hợp này trường rất không đồng nhất.

Độ bền điện của điện môi rắn không đồng nhất trên thực tế không phụ thuộc vào nhiệt độ khi nhiệt độ thấp. Nếu nhiệt độ cao hơn một trị số nào đó, độ bền điện giảm rõ rệt. Điều đó chứng tỏ sự xuất hiện cơ chế đánh thủng do nhiệt (hình 5-33).

Những điện môi có lỗ xốp hờ có độ bền điện rất kém, trong loại điện môi này có đá hoa, giấy không được tẩm, gỗ, gốm xốp. Độ bền điện của chúng, trừ giấy có độ ép chặt cao, khác rất ít so với độ bền điện của không khí. Các điện môi có lỗ xốp kín (bọt khí ở bên trong), ví dụ: gốm, có độ bền điện cao hơn. Sự có mặt của các bọt khí trong vật liệu cách điện rắn đặc biệt nguy hiểm khi ở tần số cao hay điện áp cao. Vì khi ở điện áp cao và tần số cao có thể gây nên ion hoá bọt khí, dẫn đến sự phát nóng lớn, làm cầu nối cho sự phóng điện sớm hơn. Mặt khác khi bị ion hoá ôxy biến thành ôzôn (O_3), nó kết hợp với nước và nitơ của không khí thành axit nitric (HNO_3) có thể ăn mòn hoá học vật liệu.

Các điện môi có cấu tạo đặc và không chứa bọt khí có độ bền điện cao. Loại này gồm mica, giấy đã được tẩm điện môi lỏng thuỷ tinh v.v...

Trị số độ bền điện của một số điện môi rắn cho ở bảng 5.4.

Bảng 5.4. Trị số E_{dt} của một số điện môi rắn

Tên vật liệu	Độ bền điện trong trường đồng nhất tần số 50HZ E_{dt} KV/mm	Đặc điểm cấu tạo
Thủy tinh	100 ÷ 300	Điện môi đồng nhất và nhiều lớp nếu trường vuông góc với các lớp
Muối mỏ	100 ÷ 150	
Mi ca	100 ÷ 300	
Giấy tẩm	100 ÷ 300	
Polistirol	90 ÷ 120	
Gốm	10 ÷ 30	Điện môi cấu tạo không đồng nhất có mao quản kín hoặc nhỏ nối thông với nhau.
Micaléch	10 ÷ 15	
Chất dẻo có độn (Phênolfóc nealdehyt, chất dẻo amin)	10 ÷ 15	
Đá hoa	4 ÷ 5	
Gốm xốp	1,5 ÷ 5	
Gỗ	4 ÷ 2,6	
Giấy cáp không tẩm	7 ÷ 10	

c) Sự đánh thủng do điện hoá gây nên

Sự đánh thủng do điện hoá gây nên của các vật liệu cách điện có ý nghĩa đặc biệt quan trọng khi ở nhiệt độ và độ ẩm cao. Dạng đánh thủng này có thể thấy ở cả điện áp một chiều và xoay chiều tần số thấp, khi quá trình điện phân phát triển trong vật liệu làm cho điện trở cách điện bị giảm và không hồi phục được. Hiện tượng này thường gọi là sự hoá già điện môi trong điện trường, bởi vì nó làm cho độ bền điện giảm dần và cuối cùng điện môi bị đánh thủng ở cường độ trường thấp hơn nhiều so với cường độ trường đánh thủng khi làm thí nghiệm ngắn hạn.

Trong các điện môi hữu cơ (giấy tẩm, cao su v.v...) sự hoá già được gây ra trước hết bởi sự phát triển quá trình ion hoá các bọt không khí có trong nó. Các quá trình này gắn liền với việc thoát khí ôzôn và ôxít nitơ tạo nên axit nitơric HNO_3 làm cho cách điện bị phá huỷ hoá học dần dần. Hiện tượng hoá già còn có thể xảy ra ở một số điện môi vô cơ, ví dụ gốm titan.

Quá trình phát triển của sự đánh thủng do điện hoá cần phải có thời gian dài, bởi vì nó liên quan tới hiện tượng dẫn điện. Hiện tượng này làm cho một lượng nhỏ hoạt chất hoá học thoát dần ra hoặc hình thành nên các hợp chất bán dẫn. Trong

gốm chứa ôxít kim loại có hoá trị biến đổi (ví dụ: TiO_2) sự đánh thủng điện hoá thường gặp hơn trong gốm có các ôxít nhôm, silíc, magiê, bari v.v...

Sự có mặt của ôxít kiềm trong gốm nhôm silicat tạo điều kiện để đánh thủng điện hoá và hạn chế nhiệt độ làm việc cho phép. Vật liệu chế tạo điện cực có tác dụng lớn đối với hiện tượng đánh thủng điện hoá quan sát ở điện áp một chiều và xoay chiều tần số thấp trong điều kiện nhiệt độ cao hay độ ẩm lớn. Ví dụ, bạc có khả năng khuếch tán vào gốm làm cho sự đánh thủng điện hoá thêm dễ dàng (đối với vàng thì ngược lại).

d) Sự đánh thủng do nhiệt gây nên

Loại phóng điện này là do khi đặt điện môi vào trong điện trường điện môi bị nung nóng đến nhiệt độ cao, có thể làm cho vật liệu bị nứt, phồng rộp, cháy hay các dạng phá huỷ nhiệt khác, điều này có liên quan tới sự phát triển quá mức của dòng điện dẫn hay tổn hao điện môi. Khi tổn hao điện môi có trị số lớn sẽ làm nung nóng vật liệu, nhiệt độ trong vật liệu sẽ tăng lên và điện dẫn cũng tăng lên theo hàm số mũ, nó tác động đến điện môi làm cho điện môi tích luỹ năng lượng nhiệt lớn. Nếu không có sự truyền nhiệt và làm phát thích hợp thì nhiệt độ bên trong điện môi tăng lên quá mức làm phá huỷ điện môi, lúc đó gọi là phóng điện do nhiệt gây nên.

Điện áp đánh thủng trong phóng điện do nhiệt liên quan với một loạt yếu tố: tần số của điện trường, điều kiện làm mát, nhiệt độ môi trường xung quanh v.v... Ngoài ra, điện áp đánh thủng do nhiệt còn phụ thuộc vào tính chất chịu nhiệt của vật liệu. Với cùng một điều kiện bên ngoài như nhau thì các điện môi hữu cơ bao giờ cũng có điện áp đánh thủng nhiệt thấp hơn các điện môi vô cơ vì độ bền nhiệt của điện môi hữu cơ nhỏ hơn điện môi vô cơ.

Khi tính toán điện áp đánh thủng do nhiệt, trước tiên cần chú ý tới độ bền nhiệt của vật liệu, góc tổn hao điện môi của nó và sự biến thiên tổn hao điện môi hay tgđ theo nhiệt độ. Sự phát nhiệt trong điện môi phụ thuộc vào tổn hao điện môi, khi làm việc ổn định ở một điện áp nào đó nhiệt lượng sinh ra trong điện môi bằng nhiệt lượng toả ra môi trường xung quanh. Trong nhiều trường hợp sự toả nhiệt được thực hiện bởi sự đối lưu với không khí, song cũng có khi bằng sự truyền dẫn nhiệt vào môi trường xung quanh. Khi tính toán và chọn vật liệu chúng ta phải chọn trị số điện áp làm việc tương ứng với nhiệt độ làm việc ổn định lâu dài, không được cho nhiệt độ vượt quá một trị số tới hạn nào đó. Vì nếu nhiệt độ cao hơn trị số này thì vật liệu cách điện sẽ bị phân huỷ.

Cần lưu ý rằng khi điện áp đặt vào vật liệu tăng lên, công suất phản kháng sẽ tăng, làm cho tgđ cũng tăng lên theo nhiệt độ và vật liệu cách điện càng bị nung nóng hơn, tức là có nhiệt độ cao hơn (xem chương IV).

Nếu gọi nhiệt lượng phát sinh trong điện môi là P thì ta có:

$$P = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg}\delta \quad (\text{VAR})$$

Trong đó: P - công suất phản kháng (VAR); U- điện áp; ω - tần số góc; C - điện dung vật liệu cách điện; $\operatorname{tg}\delta$ - tang góc tổn hao điện môi ở nhiệt độ làm việc.

Nhiệt lượng toả ra môi trường là Q:

$$Q = \sigma \cdot S (t_{\text{bm}} - t_0)$$

với: σ - hệ số truyền nhiệt, $\text{w/cm}^2 \cdot \text{độ}$; S - diện tích bề mặt vật liệu cách điện, cm^2 ; t_{bm}, t_0 - nhiệt độ bề mặt và nhiệt độ môi trường, $^{\circ}\text{C}$.

Khi làm việc ổn định ta có: $P = Q$, tức là:

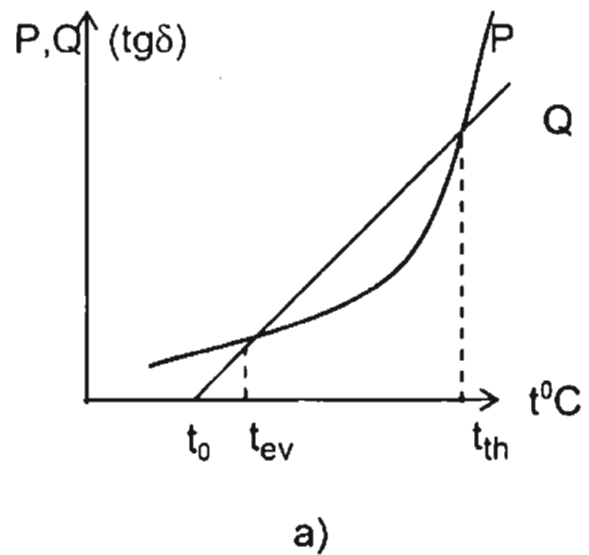
$$P = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg}\delta = Q = \sigma \cdot S (t_{\text{bm}} - t_0) \quad (5-68)$$

Công thức (5-68) cho phép tính toán điện áp làm việc cho phép với mức độ chính xác cần thiết đối với các vật liệu có điện dung biết trước và điện môi dẫn nhiệt tốt, đảm bảo độ giáng nhiệt nhỏ theo tiết diện của vật liệu.

Có thể xây dựng phương trình (5-68) bằng đồ thị với các nhiệt độ bề mặt vật liệu khác nhau khi điện dung của vật liệu không biến đổi theo nhiệt độ (hình 5-36).

Đường cong P trên hình 5-36 là sự biến thiên nhiệt lượng toả ra trong vật liệu do tổn hao điện môi theo nhiệt độ, hình dạng đường cong được xác định bởi quan hệ $\operatorname{tg}\delta = f(t^{\circ})$.

Đường thẳng Q là đặc tính truyền nhiệt từ bề mặt vật liệu cách điện vào môi trường theo nhiệt độ. Tang góc nghiêng của đường thẳng này bằng tích diện tích bề mặt vật liệu cách điện với hệ số truyền nhiệt. Đường thẳng cắt trục ngang tại điểm tương ứng với nhiệt độ môi trường xung quanh.



Hình 5-36. Quan hệ $P = f(t^{\circ})$ và $Q = f(t^{\circ})$.

Trong trường hợp tổng quát, đường cong P và Q cắt nhau tại hai điểm ở nhiệt độ làm việc (t_{lv}) và nhiệt độ tới hạn (t_{th}), (xem hình 5-36). Qua hình vẽ ta thấy: trong miền nhiệt độ: $t_0 \leq t \leq t_{lv}$, (nhiệt độ thấp) có $P > Q$ là do điện môi đặt dưới điện áp làm việc bị nung nóng lên do tổn hao điện môi; nhiệt độ đốt nóng ổn định cuối cùng của vật liệu ứng với t_{lv} . Nhưng trong thực tế vật liệu có thể còn bị đốt nóng thêm bởi các nguồn nhiệt ngẫu nhiên khác như: tia mặt trời v.v..., ở đây ta không xét đến nguồn nhiệt này. Song cũng phải lưu ý rằng nếu nguồn nhiệt bên ngoài quá lớn làm đốt nóng và tăng nhiệt độ của vật liệu quá mức giới hạn (t_{th}) thì

cũng có thể dẫn đến sự phá huỷ vật liệu nếu không có sự làm mát tốt. Trong miền nhiệt độ $t > t_{th}$: nhiệt lượng phát sinh ra trong điện môi lớn hơn nhiệt lượng toả vào môi trường sẽ làm cho vật liệu phát nóng và có nhiệt độ cao, sẽ gây nên phóng điện do nhiệt phá huỷ vật liệu.

Hiệu số giữa t_{th} và t_{lv} : $\Delta t = t_{th} - t_{lv}$ - chính là khả năng cho phép giao động điện áp của vật liệu (vì ở đó có $P < Q$), đồng thời cho phép tác động của nguồn nhiệt bên ngoài với một mức độ nào đó. Chất lượng của vật liệu càng cao nếu Δt càng lớn.

Từ công thức (5-68) ta có:

$$U_{lv} = \sqrt{\frac{\sigma S(t_{lv} - t_o)}{\omega C \operatorname{tg} \delta_1}} \quad (5-69)$$

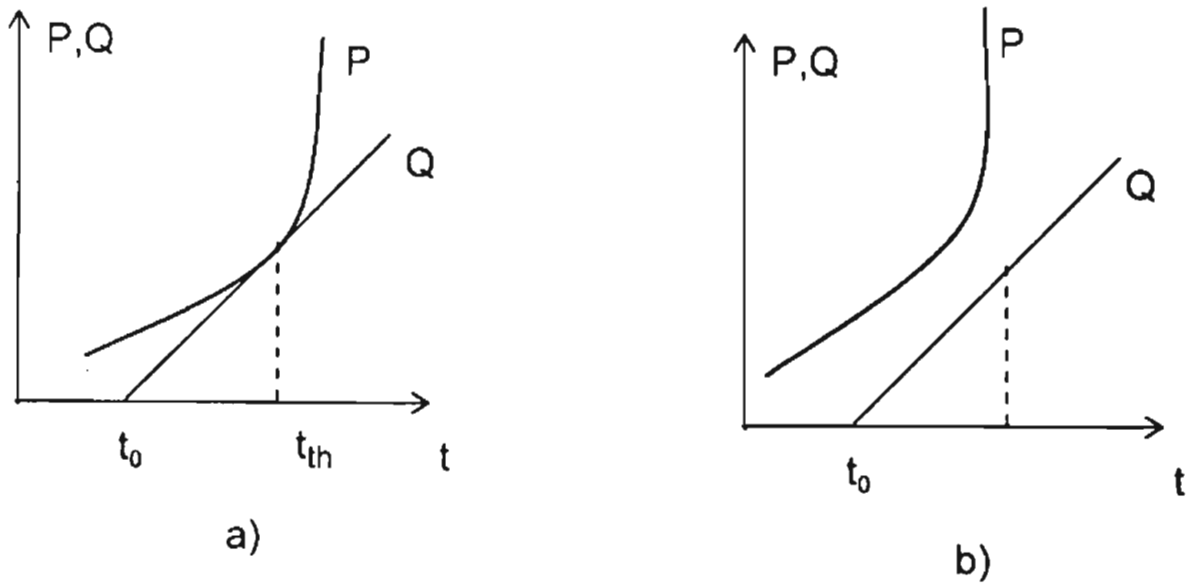
$$U_{th} = \sqrt{\frac{\sigma S(t_{th} - t_o)}{\omega C \operatorname{tg} \delta_2}} \quad (5-70)$$

Trong đó: $\operatorname{tg} \delta_1$ và $\operatorname{tg} \delta_2$ ứng với trị số $\operatorname{tg} \delta$ ở nhiệt độ t_{lv} và t_{th} .

Như vậy giới hạn điện áp đặt lên điện môi khi không có nguồn nhiệt bên ngoài tác động sẽ là:

$$\Delta U = U_{th} - U_{lv} \quad (5-71)$$

Thực tế còn xảy ra hai trường hợp nữa đó là: P và Q cắt nhau tại một điểm (hình 5-37a) và không cắt nhau hình 5-37b.



Hình 5-37. Quan hệ $P = f(t)$, $Q = f(t)$.

Trường hợp đầu (a) ta thấy chỉ có một nhiệt độ làm việc duy nhất, tức là vật liệu chỉ có một điện áp làm việc (công thức 5-70). Nếu có sự dao động điện áp sẽ dẫn đến sự phóng điện do nhiệt. Còn trường hợp sau (b) thì ta không thể chọn được bất kỳ nhiệt độ hay điện áp làm việc nào cho phù hợp với vật liệu vì luôn có $P > Q$, nếu đưa vào vận hành vật liệu sẽ sớm bị phá huỷ hoàn toàn.

Để xác định điện áp đánh thủng do nhiệt ta coi điện áp này là điện áp tới hạn ở nhiệt độ tới hạn trong hình vẽ 5-37a:

$$U_{dt} = U_{th} = \sqrt{\frac{\sigma S(t_{th} - t_0)}{\omega C \operatorname{tg} \delta}}$$

Từ hình 5-37a thấy rằng ở chế độ tới hạn, đạo hàm theo nhiệt độ làm việc về trái và về phải của biểu thức (5-68) sẽ bằng nhau. Với: $\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta_0 \cdot e^{\alpha_{\operatorname{tg} \delta}(t_h - t_0)}$ trong đó: $\alpha_{\operatorname{tg} \delta}$ - hệ số nhiệt của tang góc tổn hao điện môi, ta có:

$$U_{dt}^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta_0 \cdot e^{\alpha_{\operatorname{tg} \delta}(t_h - t_0)} \cdot \alpha_{\operatorname{tg} \delta} = \sigma S \quad (5-71)$$

Nếu tính trị số điện dung của tụ điện phẳng qua hằng số điện môi và kích thước điện môi: h - chiều dày điện môi ; S - diện tích điện cực:

$$C = \frac{2\epsilon \cdot S}{h}$$

Đối với tụ điện phẳng khi truyền nhiệt qua điện cực ta có điện áp đánh thủng nhiệt (sau khi biến đổi công thức 5-71) sẽ là:

$$U_{dt} = \sqrt{\frac{2\sigma h}{\omega \cdot \epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta_0 \cdot \alpha_{\operatorname{tg} \delta} \cdot e}} \quad (5-72)$$

Chú ý rằng công thức này chỉ áp dụng cho trường hợp cho mẫu vật liệu có chiều dày bé.

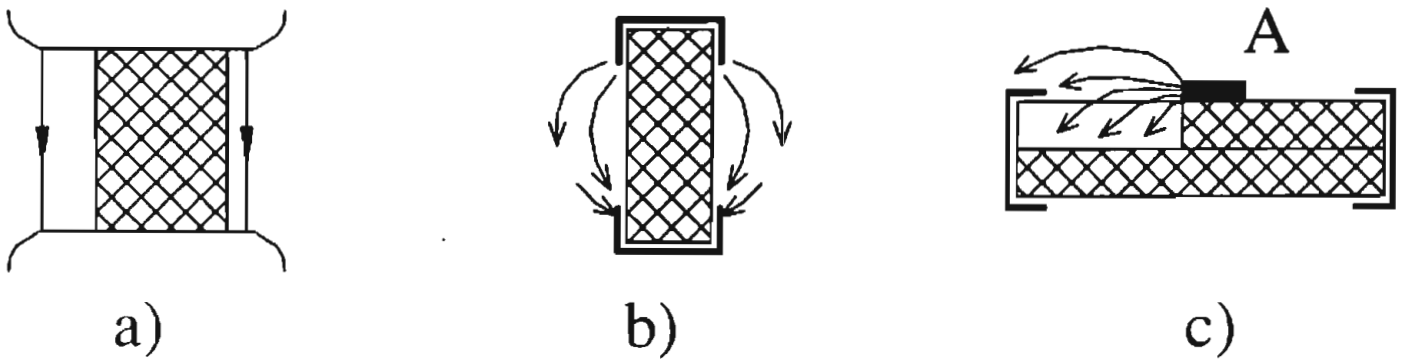
Trong từng trường hợp riêng biệt có thể tìm được cân bằng nhiệt của vật liệu cách điện với sự tính toán độ chênh lệch nhiệt theo chiều dày. Muốn vậy người ta tính toán hoặc xác định bằng thực nghiệm điện dung của vật cách điện, sau đó giải bài toán bằng phương pháp đồ thị phân tích có chú ý đến quan hệ $\operatorname{tg} \delta$ theo nhiệt độ. Thực tế cho thấy, tính toán nhiệt theo phương pháp phân tích trong hàng loạt trường hợp không phản ánh hết các quy luật phức tạp xác định quá trình tỏa nhiệt trong điện môi và tản nhiệt ra môi trường xung quanh.

5.4.2. Phóng điện bề mặt điện môi rắn

Khi điện môi rắn được đặt trong môi trường khí hay dầu MBA (như: sứ cách điện đường dây, sứ đầu ra của MBA, thủy tinh cách điện, v.v...) thì quá trình phóng điện xảy ra men theo mặt ngoài của điện môi với trị số điện áp phóng điện bé hơn nhiều so với trị số điện áp chọc thủng của khe hở khí hay dầu cũng như của bản thân điện môi rắn. Hiện tượng này rất phổ biến trong cách điện thiết bị điện, cách điện đường dây điện áp cao, các phóng điện này thường không làm hư hỏng cách điện nhưng có thể dẫn đến các sự cố ngắn mạch trong hệ thống điện, do đó cần hạn chế không để xảy ra.

Tùy theo quá trình diễn biến phóng điện với các đặc điểm khác nhau của điện trường, có thể phân ra thành ba trường hợp sau đây:

- Điện môi đặt trong điện trường đồng nhất (hình 5-38a).
- Điện môi đặt trong trường không đồng nhất có thành phần trường dọc theo bề mặt (thành phần tiếp tuyến) lớn (hình 5-38b).
- Điện môi đặt trong trường không đồng nhất có thành phần pháp tuyến lớn (hình 5-38c).



Hình 5-38. Các trường hợp phóng điện dọc theo bề mặt điện môi rắn.

Thực nghiệm cho ta thấy, khi đặt điện môi vào trong điện trường đồng nhất trị số điện áp phóng điện xảy ra men theo mặt ngoài của điện môi bé hơn điện áp chọc thủng của khe hở khí (từ 2 lần trở lên). Hiện tượng chọc thủng trong nội bộ điện môi rắn càng khó xảy ra vì cường độ cách điện của nó lớn hơn nhiều so với không khí. Trong trường đồng nhất điện áp phóng điện giảm thấp do các nguyên nhân sau đây:

Trước hết do tiếp xúc giữa điện môi với các điện cực không tốt nên giữa chúng có lớp không khí mỏng. Điện trường trong lớp khí mỏng rất lớn và sớm có quá trình ion hoá, các điện tử và ion dương sinh ra sẽ phân bố trên mặt ngoài của điện môi tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình phóng điện. Thực tế trong các kết cấu cách điện thường dùng mọi biện pháp để đảm bảo sự tiếp xúc chặt chẽ giữa điện cực và điện môi (như dùng ximăng, keo kết dính ...), nhưng trị số điện áp phóng điện mặt ngoài vẫn bé, đó là do nguyên nhân khác: mặt ngoài điện môi bị ẩm. Do tính hút ẩm của vật liệu nên mặt ngoài điện môi hình thành một màng ẩm mỏng. Bản thân màng ẩm có điện dẫn ion và dưới tác dụng của điện trường các ion đó sẽ di chuyển về các điện cực khác dấu. Sự di chuyển này rất chậm chạp nên trên mặt điện môi gần điện cực sẽ tích tụ một số ion cùng dấu với điện cực đó, làm thay đổi sự phân bố điện áp trên bề mặt điện môi, trường trở nên không đồng nhất và do đó điện áp phóng điện giảm thấp.

Trị số điện áp phóng điện mặt ngoài phụ thuộc vào nhiều yếu tố:

- *Độ ẩm của không khí.* Độ ẩm của không khí có ảnh hưởng rất lớn tới trị số điện áp phóng điện. Khi độ ẩm tương đối từ 60-70% trở xuống, trị số điện áp phóng

diện bề mặt tương đối ổn định, nhưng khi độ ẩm cao hơn gây nên sự ngưng tụ khí ẩm trên bề mặt điện môi làm cho điện áp phóng điện giảm nhiều.

- *Do tốc độ di chuyển của các ion trên bề mặt điện môi bé* nên tích tụ điện tích cùng dấu ở các điện cực diễn ra tương đối chậm và cần có thời gian, khiến cho điện áp phóng điện phụ thuộc vào thời gian tác dụng của điện áp.

- *Tính hút ẩm của điện môi.* Khi điện môi cực tính có sự hút ẩm mạnh nên có điện áp phóng điện thấp. Parafin có tính hút ẩm bé nên có điện áp phóng điện cao.

* *Khi điện môi đặt trong trường không đồng nhất có thành phần tiếp tuyến lớn*, trị số điện áp phóng điện còn giảm thấp hơn so với khi đặt trong trường đồng nhất, nguyên nhân chính là do mặt ngoài bị ẩm và trường không đồng nhất.

Ở gần điện cực cường độ trường rất lớn nên quá trình ion hoá xuất hiện sớm. Dưới tác dụng của thành phần tiếp tuyến của trường, các ion sẽ chuyển dịch về điện cực khác dấu, tạo nên dòng điện đốt nóng lớp ẩm và làm nó bốc hơi. Do lớp ẩm phân bố trên bề mặt điện môi dày mỏng không đều, chỗ mỏng sẽ khô trước gây nên sự gián đoạn dòng điện và tại các nơi này sẽ phát sinh hồ quang, càng xúc tiến quá trình ion hoá phát triển.

Tuy nhiên sự phụ thuộc vào yếu tố ẩm của các loại vật liệu khác nhau nên sự phóng điện có khác với trường hợp trên. Điện áp phóng điện bề mặt của điện môi hút ẩm như gỗ có trị số cao hơn so với sứ, thuỷ tinh - là các vật liệu hút ẩm ít hơn. Hiện tượng này là do lớp ẩm trên mặt gỗ được phân bố đều còn trên mặt sứ, thuỷ tinh ẩm thường đọng thành giọt không liên tục.

* *Khi thành phần pháp tuyến của điện trường lớn* sẽ làm thay đổi tính chất phóng điện khiến cho điện áp phóng điện giảm đi rất nhiều. Trường ở mép cực rất lớn nên ngay khi điện áp thấp đã có xuất hiện vầng quang, khi điện tăng phóng điện sẽ có dạng các tia lửa xuất phát từ mép cực dương về điện cực đối diện.

Khi điện áp đủ lớn số ion trong các tia lửa tăng nhiều, dưới tác dụng của thành phần pháp tuyến của trường, chúng sẽ bắn phá bề mặt điện môi làm cho bề mặt bị phát nóng, ở một số nơi nhiệt độ sẽ tăng rất cao và phát sinh ion hoá nhiệt. Sự xuất hiện của ion hoá nhiệt làm cho quá trình phóng điện phát triển thuận lợi hơn nhiều, chiều dài của các tia lửa tăng nhanh và quá trình phóng điện kết thúc khi chúng kéo dài tới điện cực đối diện. Giai đoạn này gọi là giai đoạn "*phóng điện trượt*", các tia lửa bám sát bề mặt điện môi dọc theo đường nối liền giữa các cực.

Một đặc điểm khác là do thành phần tiếp tuyến của trường bé nên dòng ion không thể khép kín bằng đường men theo mặt ngoài điện môi mà sẽ khép mạch qua điện dung giữa nó với điện cực đối diện. Trị số về dòng điện, số ion, chiều dài tia lửa ... ngoài việc phụ thuộc vào điện áp còn phụ thuộc vào suất điện dung mặt và tốc độ biến thiên của điện áp theo thời gian. Ở điện áp một chiều vì dòng ion không

thể khép mạch qua điện dung nên các điện tích sẽ ngưng tụ trên bề mặt điện môi và dần dần làm cho điện áp phân bố đều. Như vậy dòng ion không đạt đến trị số đủ gây nên ion hoá nhiệt, do đó điện áp phóng điện không bị giảm thấp mà giữ ở mức cao gần bằng điện áp chọc thủng của khe hở khí.

* Trong thực tế trên bề mặt điện môi không chỉ có ẩm mà còn có bụi bẩn, tạp chất. Nếu lớp bụi này khô ráo thì nó có điện trở cao và không ảnh hưởng đáng kể đến điện áp phóng điện. Khi trời ẩm, có sương mù hay mưa nhỏ sẽ hình thành lớp dẫn điện trên bề mặt điện môi. Nếu trong bụi có các thành phần muối hoà tan thì điện dẫn của nó tăng cao sẽ tạo nên dòng điện rò lớn đốt nóng bề mặt điện môi. Do độ dày lớp bụi khác nhau và có thành phần hoá học cũng khác nhau nên điện trở trên bề mặt điện môi luôn thay đổi ở các vị trí khác nhau và sự phát nóng càng mãnh liệt theo đường phóng điện. Ở các nơi này được sấy khô điện trở tăng lên đồng thời cũng sẽ phải chịu phần điện áp giáng lớn tạo điều kiện cho trường tăng cục bộ và dẫn đến phóng điện cục bộ làm cho dòng điện rò tăng lên.

Phần đoạn đường còn lại tiếp tục sấy khô và cũng xuất hiện phóng điện cục bộ. Nếu tăng điện áp thì phóng điện cục bộ xuất hiện càng nhiều và có thể xảy ra cùng một lúc tại nhiều chỗ khác nhau trên bề mặt điện môi, khi các vùng có phóng điện này được nối liền với nhau thì sẽ dẫn đến phóng điện hoàn toàn. Quá trình phóng điện diễn biến tương đối chậm, không liên tục nên phóng điện phụ thuộc vào thời gian tác dụng của điện áp.

** Biện pháp nâng cao điện áp phóng điện bề mặt.*

Để nâng cao trị số điện áp phóng điện bề mặt người ta thường dùng các biện pháp sau đây:

1- *Tăng chiều dài phóng điện dọc theo bề mặt*, ví dụ trong kết cấu cách điện có bố trí nhiều tầng lá để tăng chiều dài phóng điện và chiều dài rò điện. Đối với các đường dây tải điện trên không đi trong các vùng bụi phải dùng các loại cách điện đặc biệt có chiều dài phóng điện lớn hơn so với loại thông thường hoặc giải quyết bằng cách tăng cường thêm số cách điện trong chuỗi cách điện.

2 - *Cải thiện sự phân bố trường*. Khi điện môi đặt trong trường không đồng nhất có thể dùng cực ngầm để giảm cường độ trường ở cực có điện áp.

Khi có đặt cực ngầm, trường sẽ tập trung ở đầu cực ngầm còn ở phía mũ trường giảm, do đó, làm tăng điện áp phóng điện mặt ngoài. Trường ở cực ngầm có tăng nhưng không đáng ngại vì khả năng chọc thủng cách điện từ nó tới để rất khó xảy ra.

3 - *Trong vận hành để giữ cho điện môi không bị bám bụi* có thể tiến hành vệ sinh theo định kỳ hoặc phủ lên điện môi lớp men hay vật liệu cách điện khác có tính chất chống bám bụi và hơi ẩm.

Chương VI

TÍNH CHẤT CƠ - LÝ - HOÁ - CỦA ĐIỆN MÔI

Khi lựa chọn vật liệu cách điện sử dụng vào một mục đích cụ thể, cần phải chú ý tới không những tính chất cách điện của nó trong những điều kiện làm việc bình thường mà còn phải xem xét tới độ ổn định của những tính chất đó khi có sự tác động của cơ học, lý học, hoá học, điều kiện môi trường xung quanh và của các tia phóng xạ, bức xạ v.v... Trong quá trình nghiên cứu, thiết kế, xây dựng công nghệ chế tạo máy điện và các thiết bị điện đòi hỏi phải có sự hiểu biết về các tính chất như: độ bền chịu kéo, nén, uốn, va đập, độ bền chịu rung ở các biên độ và tần số dao động cơ học, độ bền nhiệt, hệ số dẫn nở nhiệt, khả năng chống ăn mòn hoá học, vi sinh học, thời gian lão hoá của vật liệu v.v... để chế tạo ra những thiết bị chất lượng cao, đảm bảo làm việc lâu dài và đem lại hiệu quả kinh tế cao. Đó chính là lý do của việc nghiên cứu về các tính chất cơ - lý - hoá - nhiệt của điện môi.

6.1. TÍNH HÚT ẨM CỦA ĐIỆN MÔI

Các vật liệu cách điện nói chung ở mức độ ít hay nhiều đều hút ẩm vào bên trong từ môi trường xung quanh hay thấm ẩm tức là cho hơi nước xuyên qua chúng. Khi bị thấm ẩm các tính chất cách điện của điện môi bị giảm nhiều. Những vật liệu cách điện không cho nước đi vào bên trong nó khi đặt ở trong môi trường có độ ẩm cao, trên bề mặt có thể ngưng tụ một lớp ẩm làm cho dòng rò bề mặt tăng, điện áp phóng điện dọc theo bề mặt giảm và có thể gây nên sự cố cho các thiết bị điện.

6.1.1. Độ ẩm của không khí

Trong không khí luôn chứa một lượng hơi nước nhất định. Độ ẩm của không khí được đánh giá qua số lượng hơi nước chứa trong nó. Chúng ta có những khái niệm về độ ẩm không khí như sau:

Độ ẩm tuyệt đối của không khí được đánh giá bằng khối lượng (m gram) của hơi nước chứa trong một đơn vị thể tích không khí (m^3). Trên hình 6-1 đưa ra quan

hệ độ ẩm bão hoà tuyệt đối của không khí (m_{max}) theo nhiệt độ. Như vậy, ứng với mỗi nhiệt độ sẽ có lượng hơi nước bão hoà nhất định, khi nhiệt độ càng cao lượng hơi nước bão hoà trong không khí càng lớn song không thể vượt quá một trị số nhất định vì hơi nước sẽ rơi xuống dạng sương.

Độ ẩm tương đối $\varphi\%$. Độ ẩm tương đối của không khí được tính bằng tỷ số phần trăm giữa độ ẩm tuyệt đối với độ ẩm tuyệt đối tối đa.

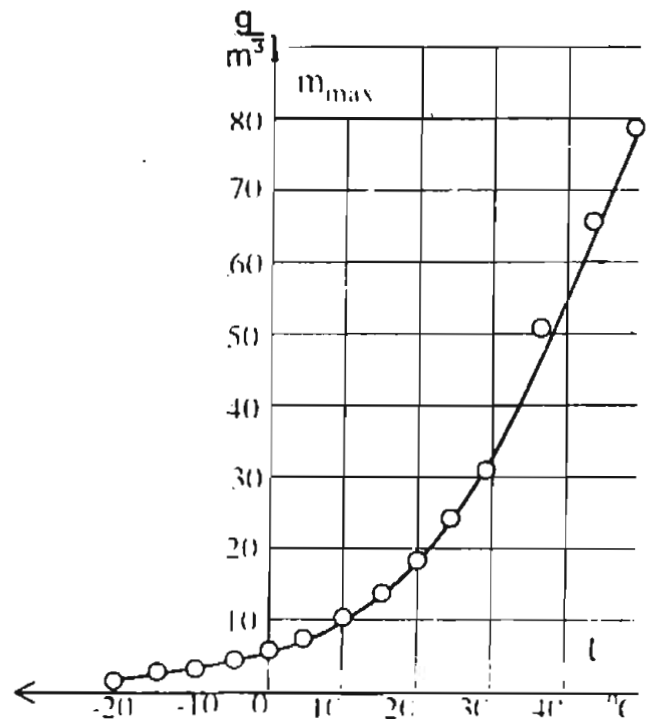
$$\varphi\% = \frac{m}{m_{max}} \cdot 100\% \quad (6-1)$$

Ở nhiệt độ bình thường $20^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ độ ẩm của không khí được lấy bằng 60 - 70% (thường là 65%) - tương đương với độ ẩm tuyệt đối là $m = 11\text{g}/\text{m}^3$.

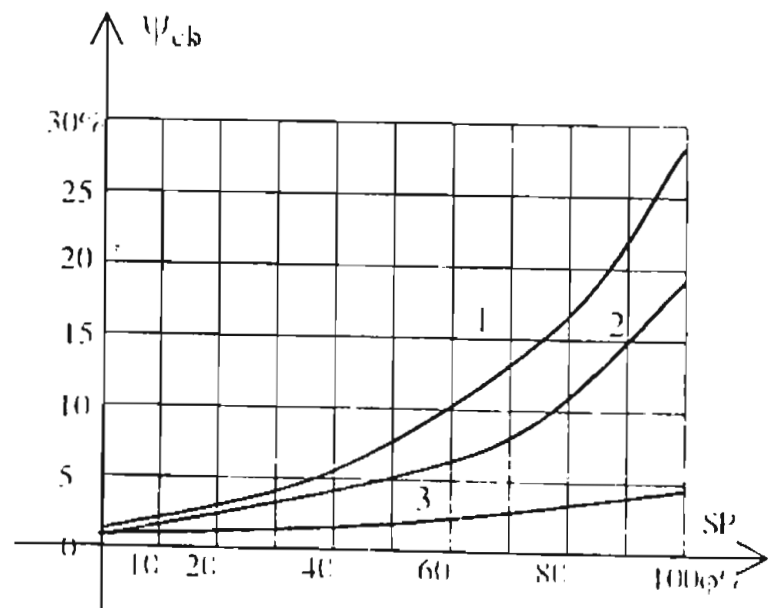
6.1.2. Độ ẩm của vật liệu

Khi vật liệu cách điện làm việc ở trong môi trường không khí với độ ẩm $\varphi\%$ và nhiệt độ $t^\circ\text{C}$ nào đó, sau một thời gian độ ẩm của vật liệu φ - là lượng hơi nước chứa trong vật liệu sẽ đạt tới giới hạn độ ẩm cân bằng tương ứng với độ ẩm của môi trường không khí. Trị số độ ẩm cân bằng phụ thuộc vào độ ẩm của không khí ($\varphi\%$) và đặc tính hút ẩm của vật liệu cách điện. Trên hình 6-2 cho quan hệ φ_{cb} với độ ẩm của không khí đối với các loại vật liệu khác nhau: đường 1 của hình vẽ là vật liệu tơ tự nhiên; đường 2 - vật liệu sợi bông; đường 3 - vật liệu là sợi polietilen.

Nếu vật liệu tương đối



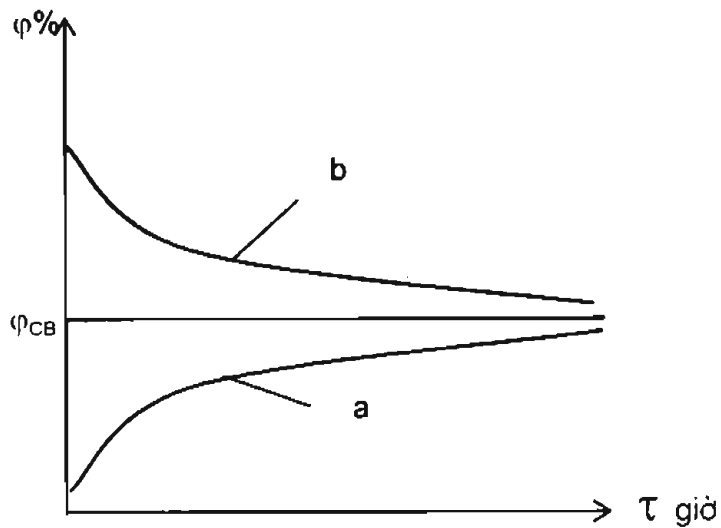
Hình 6-1. Quan hệ giữa độ ẩm tuyệt đối bão hoà theo nhiệt độ của không khí.



Hình 6-2. Quan hệ $\varphi_{cb} = f(\varphi\%)_{kk}$ đối với một số vật liệu.

1- vật liệu là tơ tự nhiên; 2- vật liệu từ sợi bông;
3- vật liệu là sợi poliêtilen.

khô được đặt trong không khí ẩm thì vật liệu hút dần hơi ẩm từ không khí, khi đó vật liệu có độ ẩm φ tức là lượng hơi nước chứa trong một đơn vị trọng lượng của vật liệu. Thời gian đặt vật liệu vào trong môi trường tăng lên thì độ ẩm vật liệu tăng dần đến độ ẩm cân bằng tương ứng với độ ẩm của không khí φ_{kk} (hình 6-3a). Ngược lại, nếu độ ẩm trong vật liệu lớn (vật liệu bị ướt) đặt ở trong môi trường không khí với độ ẩm tương đối cũng là φ_{kk} thì



Hình 6.3. Sự biến đổi độ ẩm φ của vật liệu; hút ẩm (a) và sấy khô (b).

sau một thời gian vật liệu được sấy khô (sấy khô tự nhiên), độ ẩm trong vật liệu sẽ giảm xuống và tiệm cận dần tới độ ẩm cân bằng φ_{cb} (đường cong b hình 6-3).

Thường thường người ta xác định độ ẩm của vật liệu bằng cách xác định lượng hơi nước thấm vào hay thoát ra khỏi vật liệu bằng số phần trăm:

$$\varphi_{vl} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \cdot 100\% \quad (6-2)$$

với M_1, M_2 - trọng lượng của mẫu vật liệu trước và sau khi bị ẩm.

Đối với những vật liệu dệt hay những vật liệu khác như: giấy, bìa cát tông, ... người ta dùng khái niệm *độ ẩm quy ước*, tương ứng với độ ẩm cân bằng khi đặt để trong không khí ở điều kiện bình thường. Ví dụ, đối với giấy cáp, độ ẩm quy ước lấy bằng 8%. Cấu tạo và bản chất hoá học có ảnh hưởng quyết định đến tính hút ẩm của vật liệu. Sự tồn tại và kích thước của các mao dẫn giữ một vai trò lớn trong việc hút ẩm vào bên trong. Các vật liệu xốp, đặc biệt là vật liệu sợi có tính hút ẩm mạnh hơn các vật liệu có cấu tạo đặc vì phân tử nước có kích thước nhỏ (khoảng $2,7\text{Å}$) có thể đi xuyên qua các lỗ xốp trong phân tử vật liệu cách điện.

Người ta xác định độ hút ẩm của vật liệu bằng sự tăng trọng lượng trước và sau khi mẫu bị ngấm ẩm. Nhưng khả năng hút ẩm của vật liệu không phản ảnh hoàn toàn mức độ biến đổi tính chất của vật liệu đó khi bị ẩm. Trong trường hợp nếu hơi ẩm hút vào có khả năng tạo nên sợi hay màng mỏng theo chiều dày cách điện, lớp màng và sợi có thể xuyên qua toàn bộ khoảng cách giữa các điện cực, thì chỉ với một lượng rất nhỏ hơi ẩm hút vào cũng làm cho tính chất của cách điện giảm đi rất nhiều. Nếu hơi ẩm phân bố theo thể tích của vật liệu dưới dạng các tạp chất nhỏ riêng biệt (không nối với nhau) thì ảnh hưởng của hơi ẩm đến tính chất cách điện của vật liệu sẽ ít hơn. Ở các vật liệu xốp mà có chứa các chất hoà tan

trong nước khi bị ẩm ngấm vào bên trong sẽ làm cho điện trở suất khối của vật liệu giảm đi rõ rệt nhất là khi vật liệu ở nhiệt độ cao.

Ở điện áp xoay chiều, một trong những tham số thay đổi nhiều nhất là tgδ và hằng số điện môi ε của vật liệu khi độ ẩm của vật liệu thay đổi. Vì vậy, trong nhiều trường hợp người ta đo trị số điện dung để xác định vật liệu có bị ẩm hay không.

6.1.3. Tính thấm ẩm

Tính chất thấm ẩm của vật liệu là khả năng cho hơi nước đi qua bản thân nó. Đặc điểm này rất quan trọng khi đánh giá chất lượng của vật liệu dùng để sơn, phủ bảo vệ chống sự xâm nhập ẩm vào bên trong những vật liệu hay chi tiết cần được bảo vệ. Phần lớn các vật liệu đều thấm ẩm qua các lỗ xốp rất nhỏ và có độ ẩm đo được, song cũng có loại vật liệu như thủy tinh, kim loại, polietilen, gốm đã được nung kỹ ... không thấm ẩm và có độ ẩm bằng không.

Lượng hơi ẩm m (đo bằng microgam) trong thời gian τ giờ đi qua mặt phẳng S (cm²) của lớp vật liệu cách điện có chiều dày h (cm) dưới tác dụng của hiệu số áp suất hơi nước P₁ và P₂ (mm cột thủy ngân) ở hai phía bề mặt vật liệu được tính bằng công thức sau:

$$m = \Phi \frac{(P_1 - P_2)S}{h \cdot \tau} \quad (6-3)$$

Trong đó: Φ - độ thấm ẩm của vật liệu.

Độ thấm ẩm của các vật liệu khác nhau thì cũng khác nhau, ví dụ: parafin Φ = 0,0007 vòn đối với polistirol - 0,03; còn triaxetat xenlulô bằng 1 μg/cm.mm cột thủy ngân.

Để làm giảm độ hút ẩm và thấm ẩm của vật liệu cách điện xốp người ta thường dùng biện pháp tẩm. Những vật liệu được tẩm sẽ làm cho sự hút ẩm của vật liệu chậm lại không làm cho điện trở suất ρ thay đổi nhiều sau thời gian tác động lâu dài của độ ẩm. Điều đó được giải thích bởi các phân tử của chất tẩm có kích thước lớn hơn nhiều so với kích thước phân tử nước nên không có khả năng bịt kín hết các lỗ xốp của vật liệu nhất là khi vật liệu có các lỗ xốp nhỏ. Để khắc phục vấn đề này người ta dùng biện pháp tẩm sấy bằng chân không.

Khi sử dụng lâu dài các thiết bị điện trong điều kiện nhiệt đới, trên các điện môi hữu cơ có thấy nấm mốc phát triển. Sự xuất hiện nấm mốc làm cho điện trở suất mặt của điện môi xấu đi, làm tăng tổn hao điện môi, làm cho độ bền cơ học giảm đi và gây nên sự ăn mòn các bộ phận kim loại tiếp xúc với nó.

Những vật liệu làm bằng xenlulô trong đó có cả các vật liệu đã được tẩm (hêtinác, tectôlít) bằng côlôfan, dầu sơn v.v... dễ bị nấm mốc phá huỷ nhất. Các vật

liệu vô cơ như: gốm, thủy tinh, mica, silic hữu cơ, nhựa épốc xi, teflon-4, polietilen, polistirol v.v... ít bị nấm mốc tác động. Trong vùng nhiệt đới nóng - ẩm cần phải tính đến khả năng gây hư hỏng cách điện, vỏ cáp bởi các côn trùng, mối, kiến, hay các động vật khác, ngay cả khi chuyên chở hay được lưu giữ trong kho cũng có khả năng này. Do vậy khi chọn vật liệu cho các thiết bị điện làm việc ở môi trường nhiệt đới cần phải thí nghiệm xác định tính bền nhiệt đới và tuổi thọ của vật liệu để thiết bị làm việc tốt nhất đem lại hiệu quả kinh tế cao.

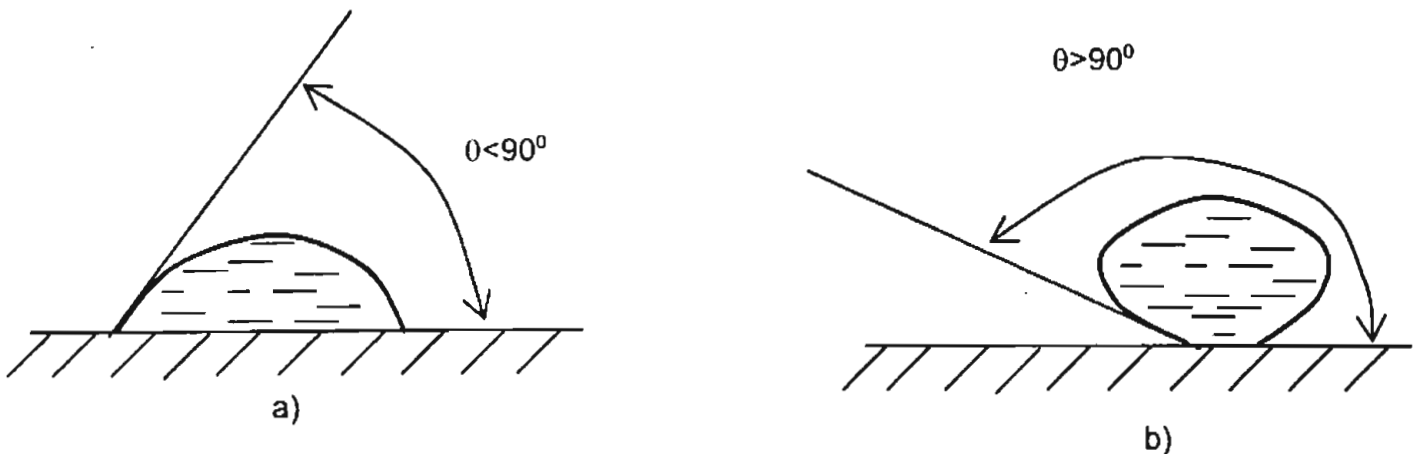
Với mục đích nâng cao tính chống nấm mốc của vật liệu cách điện hữu cơ người ta đưa thêm vào thành phần của nó chất fungixít hoặc phủ lên chất cách điện lớp sơn có chứa fungixít. Chất fungixít là một chất độc hạn chế nấm mốc phát triển khi sử dụng đối với các vật liệu khác nhau cần có công thức pha chế cho thích hợp.

6.1.4. Sự hấp phụ nước trên bề mặt điện môi

Đối với vật liệu không thấm ẩm khi đặt vào trong môi trường có độ ẩm cao thì trên mặt vật liệu hình thành màng ẩm hay bị ngưng tụ lớp nước. Quá trình ngưng tụ hơi nước trên mặt vật liệu gọi là sự hấp phụ nước của vật liệu

Lớp nước hấp phụ phụ thuộc vào độ ẩm, cấu trúc bề mặt và loại vật liệu.

Độ ẩm càng lớn thì bề dày của lớp hấp phụ lớn. Những vật liệu có kết cấu ion hay cực tính mạnh thì có khả năng hấp phụ mạnh vì lực tác dụng giữa các phân tử vật liệu với phân tử nước lớn; còn các vật liệu trung tính hay cực tính yếu thì lực hút này nhỏ nên có sự hấp phụ yếu (ví dụ như parafin).



Hình 6-4. Giọt chất lỏng trên bề mặt vật liệu.

a) Vật liệu dính nước tốt; b) Vật liệu không dính nước.

Khả năng dính nước (hoặc chất lỏng khác) của điện môi được đặc trưng bởi "góc biên dính nước" θ của giọt nước đổ lên bề mặt phẳng của vật liệu (hình 6-4). Góc θ càng nhỏ, sự dính nước càng mạnh, đối với vật liệu với bề mặt dính nước $\theta < 90^\circ$ (hình 6-4a), đối với bề mặt không dính nước (kị nước) có $\theta > 90^\circ$ (hình 6-4b).

Khi bề mặt vật liệu bị hút ẩm thì dòng điện dẫn mặt tăng lên, tổn hao năng lượng cũng sẽ tăng và dễ dàng gây nên phóng điện bề mặt, gây nên sự cố trong các thiết bị điện (xem chương V, mục "phóng điện bề mặt điện môi rắn").

Để hạn chế sự tác động của độ ẩm đối với vật liệu cách điện người ta đã dùng 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.
- Quét lên bề mặt điện môi lớp sơn phủ nhằm ngăn chặn sự xâm nhập hơi ẩm vào bên trong điện môi.
- Để nâng cao điện áp phóng điện bề mặt phải tăng cường chiều dài dò điện bằng cách đặt thêm các gờ, tán như ở các sứ cách điện ... Trong điều kiện cho phép làm vệ sinh tẩy rửa bụi bẩn bám trên bề mặt điện môi.

6.2. TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA ĐIỆN MÔI

Các chi tiết bằng vật liệu cách điện trong các thiết bị điện khi vận hành ngoài sự tác động của điện trường còn phải chịu tác động của các phụ tải cơ học nhất định. Vì vậy, khi chọn vật liệu cần phải xem xét tới độ bền cơ học của các vật liệu và khả năng chịu đựng của chúng mà không bị biến dạng.

6.2.1. Độ bền chịu nén, chịu kéo và uốn

Các dạng đơn giản nhất của phụ tải tĩnh cơ học - nén, kéo và uốn được nghiên cứu trên cơ sở quy luật cơ bản ở giáo trình sức bền vật liệu.

Trị số của độ bền chịu kéo (σ_k), chịu nén (σ_n) và uốn (σ_u) được đo bằng KG/cm² hoặc trong hệ SI bằng N/m², ($1 \text{ N/m}^2 \approx 10^{-5} \text{ KG/cm}^2$). Các vật liệu có kết cấu không đẳng hướng (vật liệu có nhiều lớp, sợi v.v...) thì độ bền cơ học phụ thuộc vào phương tác dụng của tải trọng, theo các hướng không gian khác nhau thì có trị số độ bền khác nhau. Đối với các vật liệu như: thủy tinh, sứ, chất dẻo, v.v... độ bền uốn có trị số bé. Ví dụ ở thủy tinh thạch anh độ bền chịu nén $\sigma_n = 20.000 \text{ KG/cm}^2$ còn khi kéo đứt chưa đến 500 KG/cm^2 , chính vì vậy người ta thường sử dụng nó ở vị trí đỡ. Ngoài ra độ bền cơ của nhiều điện môi phụ thuộc vào diện tích tiết diện ngang của mẫu, phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ và thường giảm khi nhiệt độ tăng. Những vật liệu hút ẩm có độ bền phụ thuộc vào độ ẩm ...

Trong nhiều trường hợp tính giòn, độ rắn và một số đặc tính cơ học khác của vật liệu cách điện có ý nghĩa thực tế rất lớn.

* **Tính giòn:** Nhiều vật liệu giòn tức là trong khi có độ bền tương đối cao đối với phụ tải tĩnh thì lại dễ bị phá hủy bởi lực động bất ngờ đặt vào. Để đánh giá khả

năng của vật liệu chống lại tác động của phụ tải động người ta xác định ứng suất dai va đập.

Ứng suất dai va đập σ_{vd} của vật liệu tìm được bằng cách chia năng lượng A tiêu tốn để bẻ gãy vật mẫu có tiết diện ngang S cho tiết diện này. Ứng suất dai va đập đo bằng kG.cm/cm^2 hoặc trong hệ SI bằng J/m^2 ; $1\text{J/m}^2 \approx 10^{-3} \text{kG.cm/cm}^2$. Vì thế để chuyển đổi ứng suất dai va đập sang KG cm/cm^2 , cần phải nhân nó với 10^3 .

Polietylen có ứng suất dai va đập rất cao, $\sigma_{vd} > 100 \text{kG.cm/cm}^2$, còn với vật liệu gốm và mica chỉ khoảng $2 \div 5 \text{kG cm/cm}^2$. Trong nhiều trường hợp người ta kiểm tra khả năng vật liệu cách điện chịu đựng được tác động rung lâu dài, tức là những dao động lặp lại có tần số và biên độ nhất định. Cách kiểm tra này thường tiến hành cho các thành phẩm, vật để kiểm tra được lắp trên giá thử rung theo chế độ định trước bởi cơ cấu truyền động tương ứng. Việc xác định độ bền rung là rất quan trọng đối với vật liệu cách điện trong trang bị điện của máy bay.

* **Độ cứng:** Độ cứng của vật liệu là khả năng của bề mặt vật liệu chống lại biến dạng gây nên bởi lực nén truyền từ vật có kích thước nhỏ vào nó. Độ cứng được xác định theo nhiều phương pháp. Đối với vật liệu vô cơ, độ cứng được xác định theo thang khoáng vật, còn vật liệu hữu cơ - theo phương pháp Brinel và phương pháp con lắc của Cuznaxốp.

Thang khoáng vật hay là thang thập phân quy ước của độ cứng. Nếu ta quy ước hoạt thạch là 1 đơn vị thì thạch cao có độ cứng là 1,4, apatít - 44, thạch anh - 1500, hoàng ngọc (topa) - 5500, kim cương - 5.000.000.

Phương pháp Brinel thường được dùng nhất là sử dụng hòn bi bằng thép đã tôi có đường kính D được ép vào mẫu bởi một lực nhất định P. Sau khi loại bỏ phụ tải người ta đo chiều sâu h của vết lõm hòn bi trên bề mặt vật liệu hoặc đường kính d của vết lõm. Độ cứng theo Brinel T_B tìm được bằng cách chia lực P cho diện tích vết lõm:

$$T_B = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ kG / mm}^2 \quad (6-4)$$

* **Độ nhớt:** Đối với vật liệu cách điện thể lỏng hoặc nửa lỏng như dầu, sơn, hỗn hợp tráng, tẩm, dầu MBA v.v... thì độ nhớt là một đặc tính cơ học quan trọng. Có ba khái niệm về độ nhớt của chất lỏng.

+ **Độ nhớt động lực học η** hay còn gọi là hệ số ma sát bên trong của chất lỏng. Tốc độ chuyển động của hòn bi rắn, bán kính r trong môi trường không giới hạn có độ nhớt động lực học η dưới ảnh hưởng của lực F không lớn tác động liên tục lên hòn bi là không đổi và có trị số xác định theo định luật Stóc:

$$v = \frac{l}{\eta} \cdot \frac{F}{6 \cdot \pi \cdot r} \quad (6-5)$$

+ **Độ nhớt động học** v bằng tỷ số độ nhớt động lực học của chất lỏng và mật độ của nó:

$$v = \frac{\eta}{\rho} \quad (6-6)$$

Tất cả các chất lỏng không bị biến đổi hoá học khi nung nóng có độ nhớt giảm nhiều khi nhiệt độ tăng (hình 6-5). Thường thường quy luật biến đổi độ nhớt theo nhiệt độ tương ứng với phương trình hàm số mũ:

$$\eta = A \cdot e^{\frac{w}{KT}} \quad (6-7)$$

Trong đó: A - hằng số đặc trưng cho chất lỏng đang xét; w - năng lượng kích thích bằng công chuyển phân tử từ trạng thái ổn định này sang trạng thái ổn định khác. Hằng số A có liên quan tới hằng số phân tử chất lỏng:

$$A = \frac{6KT}{fl^3}$$

f - tần số giao động nhiệt của phân tử, bằng $10^{12} \div 10^{13}$ 1/giây;

l - khoảng cách giữa các phân tử.

+ **Độ nhớt tương đối theo Angle**: Đây là độ nhớt đo bằng tỷ số giữa thời gian chảy từ nhớt kế Angle của 200ml chất lỏng (ở nhiệt độ thí nghiệm cho trước) với thời gian chảy của 200ml nước cất ở 20°C (khoảng 51-52 giây).

$$\eta = \frac{\tau_t}{\tau_{H_2O}} \cdot E^0 \quad (6-8)$$

6.3. TÍNH CHẤT NHIỆT CỦA ĐIỆN MÔI

Những tính chất nhiệt quan trọng nhất của điện môi là: độ bền chịu nóng (độ bền nhiệt), độ bền chịu lạnh, độ dẫn nhiệt và giãn nở nhiệt.

6.3.1. Tính chịu nóng (độ bền nhiệt)

Khả năng của vật liệu cách điện và các chi tiết chịu đựng không bị hư hỏng trong thời gian ngắn cũng như lâu dài dưới tác động của nhiệt độ cao và sự thay đổi đột ngột nhiệt độ được gọi là độ bền chịu nóng hay còn gọi là độ bền nhiệt.

Độ bền chịu nóng của điện môi vô cơ thường được xác định theo điểm bắt đầu biến đổi tính chất điện, ví dụ, tgδ tăng rõ rệt hay điện trở suất giảm. Đại lượng độ bền chịu nóng được đánh giá bằng trị số nhiệt độ (đo bằng °C) xuất hiện sự biến đổi các tính chất.

Độ bền chịu nóng của điện môi hữu cơ thường được xác định theo điểm bắt đầu biến dạng cơ học kéo hoặc uốn, hoặc theo độ lún sâu của kim loại dưới áp lực khi nung nóng điện môi. Với các điện môi khác có thể xác định độ bền chịu nóng theo các đặc tính điện.

Đối với điện môi lỏng có đưa ra hai khái niệm là nhiệt độ chớp cháy và nhiệt độ cháy.

Nhiệt độ chớp cháy được gọi là nhiệt độ của chất lỏng mà khi nung nóng đến nhiệt độ đó hỗn hợp hơi của nó với không khí sẽ bốc cháy khi đưa lửa vào gần. Còn nhiệt độ cháy là nhiệt độ cao hơn mà ở đó khi đưa ngọn lửa lại gần, bản thân chất lỏng thử nghiệm bắt đầu cháy. Các đặc tính này cần lưu ý đặc biệt khi đánh giá chất lượng của dầu biến áp và các dung môi dùng để sản xuất sơn cách điện.

Vấn đề nhiệt độ làm việc cao nhất cho phép được giải quyết trên cơ sở nghiên cứu kỹ độ bền chịu nóng ngắn hạn hay lâu dài của vật liệu, cần có chú ý đến hệ số dự trữ. Hệ số này phụ thuộc vào điều kiện làm việc, mức độ an toàn cần thiết và tuổi thọ của chất cách điện.

Để kiểm tra độ bền của vật liệu cách điện về mặt hoá già nhiệt, mẫu vật liệu được giữ lâu dài ở nhiệt độ tương đối cao nhưng chưa làm cho vật liệu bị phá huỷ nhanh chóng. Tính chất của mẫu đã hoá già sau khoảng thời gian nhất định được đo và so sánh với tính chất của vật liệu lúc ban đầu. Ngoài nhiệt độ, tốc độ hoá già còn chịu ảnh hưởng đáng kể của áp suất không khí, nồng độ ôxy, sự có mặt của ôzôn, các chất phản ứng hoá học khác làm nhanh hay chậm sự hoá già. Sự hoá già nhiệt độ tăng nhanh khi chiếu mẫu bằng các tia cực tím, khi có điện trường, phụ tải cơ học v.v... tác động.

Khả năng nâng cao nhiệt độ làm việc của chất cách điện rất quan trọng. Trong các nhà máy điện và thiết bị điện nâng cao nhiệt độ cho phép nhận được công suất cao hơn khi kích thước không đổi hoặc nếu giữ nguyên công suất thì có thể giảm kích thước, trọng lượng và giá thành của thiết bị ...

Theo quy định của IEC (Hội kỹ thuật điện quốc tế) các vật liệu cách điện được phân tích theo các cấp chịu nhiệt - độ bền chịu nóng (bảng 6.1). Đây là nhiệt

độ làm việc lớn nhất cho phép khi sử dụng các vật liệu đó trong các thiết bị điện làm việc lâu dài ở điều kiện bình thường. Ở nhiệt độ này thời gian phục vụ định trước theo yêu cầu kinh tế kỹ thuật của thiết bị điện được bảo đảm. Trong những trường hợp đặc biệt có thể nâng cao nhiệt độ làm việc so với các trị số nêu ra trong bảng 6.1 của vật liệu cách điện tương ứng, song thiết bị điện có thời gian phục vụ rất ngắn.

Bảng 6.1: Phân cấp vật liệu cách điện theo độ bền chịu nóng

Ký hiệu cấp chịu nhiệt	Nhiệt độ làm việc lớn nhất cho phép °C	Ký hiệu cấp chịu nhiệt	Nhiệt độ làm việc lớn nhất cho phép °C
Y	90	B	130
A	105	F	155
E	120	H	180
		C	> 180

* **Cấp Y:** Bao gồm các vật liệu sợi gốc xenlulô và tơ (sợi, vải, băng dai, giấy, catton, gỗ v.v...) nếu chúng không được tẩm và ngâm trong vật liệu cách điện lỏng.

* **Cấp A:** Là các vật liệu của cấp Y khi đã được ngâm hay tẩm bất kỳ chất cách điện khác. Ví dụ: giấy tẩm hay ngâm trong dầu biến áp, vải bông tẩm dầu, tơ có dầu hay sơn. Trong cấp A gồm có axetyl butirát xenlulô, triaxêtyl xenlulô và nhựa poliamít, êmay gốc sơn nhựa dầu, tẩm gỗ dán v.v...

* **Cấp E:** Gồm các chất dẻo có chất độn hữu cơ và lớp nhựa liên kết chịu nhiệt loại fenol focmalđêhít và các loại tương tự khác (hêtinác, téctôlít, bột nén có độn bột gỗ v.v...), nhựa epôc xi và hỗn hợp không có độn, chất cách điện của dây êmay gốc sơn polivinyl axêtal v.v...

Như vậy, các cấp Y, A, E gồm chủ yếu là các vật liệu cách điện thuần túy hữu cơ. Một số vật liệu cách điện hữu cơ khác (cao su, polistyrol, v...) có độ bền chịu nóng thậm chí còn thấp hơn cấp Y và không được đưa vào phân loại theo tiêu chuẩn.

* **Cấp B:** Bao gồm mica vụn, các vật liệu sợi amian và thủy tinh kết hợp với các vật liệu liên kết và tẩm hữu cơ như: các micamít (trong đó có đệm giấy hoặc vải hữu cơ), vải sơn thủy tinh, téctôlít thủy tinh dựa trên nhựa phenol focmaldehyt chịu nhiệt, hỗn hợp epôcxi với lớp độn vô cơ v.v...

* **Cấp F:** Bao gồm micanít, các vật liệu trên cơ sở sợi thủy tinh không có lớp đệm hoặc có lớp đệm vô cơ, chất liên kết và tẩm là vật liệu hữu cơ có độ bền chịu nóng cao, epôcxi poliête chịu nhiệt, silic hữu cơ.

* **Cấp H:** tương tự với cấp F, nhưng chất liên kết là loại nhựa silic hữu cơ có độ bền nhiệt đặc biệt cao.

* **Cấp C:** Gồm các vật liệu vô cơ thuần túy, hoàn toàn không có thành phần kết dính hay tẩm. Đó là chất cách điện ôxít nhôm và florua nhôm, mica, thủy tinh và vật liệu sợi thủy tinh, thạch anh, amiăng, mica lếch, xi măng amiăng không tẩm, mi ca nhít chịu nóng (chất liên kết vô cơ) v.v... Trong tất cả các vật liệu cách điện hữu cơ chỉ có polytêtrafloêtylen (teflon - 4) thuộc cấp chịu nhiệt C.

Việc phân cấp chịu nhiệt các vật liệu cách điện hoặc hỗn hợp của chúng đòi hỏi phải thử nghiệm rất công phu và lâu dài đối với các vật mẫu về sự hoá già do nhiệt trong những điều kiện gần nhất với các điều kiện làm việc thực tế của vật liệu đó.

Đối với các vật liệu cách điện đặc biệt giòn, dễ vỡ (thủy tinh, vật liệu gốm v.v...) cần phải thử nghiệm độ bền xung nhiệt.

Để xác định độ bền chịu nóng của vật liệu theo tính chất điện, có thể dùng đường cong quan hệ góc tổn hao điện môi theo nhiệt độ $\tan \delta = f(t^0)$, quan hệ $E_{đi} = f(t^0)$ hay các quan hệ khác với nhiệt độ. Khi thí nghiệm về tác động của nhiệt độ tới các tính chất cách điện của vật liệu cần phải gắn liền đồng thời với tác động của độ ẩm không khí (điều kiện nhiệt đới) và tác động của điện trường, khi đó mới đạt kết quả chính xác và sát với điều kiện thực tế vận hành.

6.3.2. Tính chịu băng giá

Ở các nước có băng tuyết, thiết bị thường làm việc ở ngoài trời và phải chịu tác động của nhiệt độ thấp, do vậy cần phải chú ý đến khả năng chịu băng giá (chịu lạnh) của vật liệu. Tính chịu băng giá hay độ bền chịu lạnh là khả năng của chất cách điện làm việc không bị suy giảm độ tin cậy vận hành ở nhiệt độ thấp (khoảng -60 đến -70^0C).

Thường thường ở nhiệt độ thấp tính chất của vật liệu cách điện của điện môi thường tốt hơn, nhưng nhiều vật liệu dẻo và đàn hồi ở trong điều kiện bình thường sẽ trở nên rất giòn và cứng khi ở nhiệt độ thấp, gây khó khăn cho sự làm việc của chất cách điện.

Thí nghiệm vật liệu cách điện và những thiết bị được chế tạo từ chúng theo tác động của nhiệt độ thấp thường được tiến hành đồng thời với tác động rung cơ học tần số cao. Đối với nước ta có thời tiết nóng ẩm của vùng nhiệt đới nên có thể không quan tâm nhiều đến tính chất chịu băng giá của vật liệu.

6.3.3. Độ dẫn nhiệt

Độ dẫn nhiệt có ý nghĩa quan trọng là vì nhiệt toả ra do tổn thất công suất trong dây dẫn bọc cách điện trong lõi thép của máy biến áp và tổn hao điện môi trong các chất cách điện được truyền ra môi trường xung quanh qua nhiều lớp vật liệu khác nhau. Độ dẫn nhiệt ảnh hưởng tới độ bền điện khi đánh thủng nhiệt và

ảnh hưởng đến độ bền của vật liệu đối với xung nhiệt. Độ dẫn nhiệt của vật liệu được đặc trưng bởi nhiệt dẫn suất γ_N trong phương trình Furiê:

$$\Delta P_N = \gamma_N \cdot \frac{dT}{dl} \cdot \Delta S \quad (6-9)$$

Trong đó: ΔP_N - công suất của dòng nhiệt qua diện tích vuông góc với dòng năng lượng; $\frac{dT}{dl}$ - gradien nhiệt độ.

So với kim loại thì trị số γ_N của các vật liệu cách điện rất nhỏ. Các vật liệu cách điện xốp có lẫn tạp chất không khí có γ_N nhỏ nhất. Khi tẩm và cả khi làm đặc vật liệu bằng áp lực bên ngoài thì γ_N tăng lên. Trong bảng 6.2 đưa ra trị số nhiệt dẫn suất của một số điện môi.

Bảng 6.2. Nhiệt dẫn suất của một số điện môi

Tên gọi vật liệu	γ_N (w/cm. độ)
Không khí (trong khe hở nhỏ)	0,00025
Nhựa đường	0,0007
Giấy	0,0010
Vải sơn	0,0013
Hêtinắc	0,0035
Nước	0,0058
Thạch anh nóng chảy	0,0125
Sứ	0,016
Steatit	0,022
Thạch anh kết tinh	0,125
Ôxít nhôm	0,300

6.3.4. Sự giãn nở nhiệt

Sự dẫn nở nhiệt của điện môi cũng như của các vật liệu khác được đánh giá bằng hệ số dẫn nở chiều dài theo nhiệt độ.

$$TK_L = \alpha_L = \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} \quad (\text{độ}^{-1}) \quad (6-10)$$

Những vật liệu mà hệ số dẫn nở dài nhỏ thường có độ bền chịu nóng cao hơn và ngược lại. Để xác định α_L theo đồ thị đường cong quan hệ $L = f(t^0)$, có thể dùng phương pháp tương tự với phương pháp xác định TK_ϵ ở trong chương III.

Trong bảng 6.3 đưa ra hệ số giãn nở nhiệt của một số điện môi thường dùng.

Bảng 6.3. Hệ số dẫn nở dài theo nhiệt độ của một số điện môi

Tên vật liệu	$\alpha_L \cdot 10^6$ (độ ⁻¹)	Ghi chú
Thuỷ tinh thạch anh	0,55	Chất vô cơ
Sứ cao tần	4,5	
Steatit	7	
Phênolfómaldêlit và các chất dẻo có độn khác	25 - 70	Chất hữu cơ
Tấm chất dẻo clorua polivinyli	70	
Polistirol	60 - 80	
Poliêtilen	100	

Các điện môi vô cơ có hệ số dẫn nở dài bé nên các chi tiết chế tạo từ vật liệu vô cơ có kích thước ổn định khi nhiệt độ thay đổi. Ngược lại ở các điện môi hữu cơ hệ số dẫn nở dài có trị số lớn gấp hàng trăm lần so với điện môi vô cơ. Khi sử dụng trong điều kiện nhiệt độ thay đổi cần chú ý đến tính chất này của vật liệu để tránh các trường hợp xấu xảy ra.

6.4. TÍNH CHẤT HOÁ HỌC CỦA ĐIỆN MÔI VÀ TÍNH NĂNG CỦA NÓ DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA PHÁT XẠ CÓ NĂNG LƯỢNG CAO

6.4.1. Tính chất hoá học của điện môi

Chúng ta phải nghiên cứu tính chất hoá học của điện môi vì hai nguyên nhân:

a) Độ tin cậy của vật liệu phải được bảo đảm khi làm việc lâu dài nghĩa là không bị phân huỷ để giải thoát ra các sản phẩm phụ và không ăn mòn kim loại tiếp xúc với nó, không phản ứng với các chất khác (ví dụ: khí, nước, axit, kiềm, dung dịch muối, ...). Độ bền đối với tác động của các chất này ở các điện môi khác nhau thì rất khác nhau.

b) Khi sản xuất các chi tiết có thể gia công vật liệu bằng những phương pháp hoá công khác nhau - dính được, hoà tan trong dung dịch tạo thành sơn.

Độ hoà tan của vật liệu rắn có thể đánh giá bằng khối lượng vật liệu chuyển sang dung dịch trong một đơn vị thời gian từ một đơn vị diện tích tiếp xúc giữa vật liệu với dung môi. Ngoài ra người ta còn hay đánh giá độ hoà tan theo khối lượng lớn nhất của chất có thể hoà tan trong dung dịch (tức là theo nồng độ của dung dịch bão hoà).

Dễ hoà tan nhất là các chất có bản chất hoá học gần với dung môi và chứa các nhóm nguyên tử giống nhau trong phân tử. Các chất lưỡng cực dễ hoà tan hơn trong chất lỏng lưỡng cực, các chất trung tính - trong chất lỏng trung tính. Ví dụ,

hydro cacbon không cực tính hay cực tính yếu (parafin, cao su) dễ hoà tan trong hydro cacbon lỏng như: xăng, nhựa lỏng cực chứa nhóm hydroxít (fênolformaldêhít và các nhựa khác) hoà tan dễ dàng trong rượu và các dung môi lỏng cực khác.

Khi tăng mức trùng hợp thì độ hoà tan giảm. Các chất cao phân tử có cấu trúc mạch thẳng dễ hoà tan hơn so với cấu trúc không gian. Khi tăng nhiệt độ thì độ hoà tan tăng lên.

6.4.2. Tác động của bức xạ năng lượng cao

Trong thực tế kỹ thuật các thiết bị điện có thể làm việc lâu dài hay ngắn hạn trong môi trường có bức xạ hạt hoặc sóng năng lượng cao. Khi đó điều quan trọng là cần phải biết mức độ bền vững của vật liệu dưới tác động của bức xạ, mức độ duy trì tính chất điện và cơ của chúng - tức là độ bền bức xạ.

Bức xạ năng lượng cao có thể sử dụng trong quá trình công nghệ để tạo ra vật liệu mới với những tính chất đặc biệt tốt, có thể tạo ra những vật liệu mới có những tính chất mà trước đây không thể nào có được. Trong một số trường hợp còn yêu cầu vật liệu thực hiện chức năng màng hút bức xạ bên cạnh việc sử dụng các tính chất điện và cơ chủ yếu của chúng.

Các hạt neutron nhanh và chậm, các mảnh hạt nhân, hạt α và tia β - các điện tử có tốc độ khác nhau, thuộc loại bức xạ hạt. Còn tia γ , tia phóng xạ ronghen cứng và mềm thuộc loại bức xạ sóng.

Khi gặp bề mặt vật liệu, năng lượng phóng xạ giảm theo mức độ thâm vào chiều sâu theo định luật:

$$P_x = P_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (6-11)$$

Trong đó; P_0 - công suất của liều lượng vật lý trong không khí ở bề mặt vật liệu; x - chiều sâu; μ - hệ số hiệu quả làm yếu tia phóng xạ trong vật liệu.

Hệ số hiệu quả làm yếu đối với các chất đơn giản:

$$\mu \approx K \cdot \lambda^3 \cdot Z^3 \cdot \rho \quad (6-12)$$

Trong đó: λ - chiều dài sóng phát xạ; Z - số thứ tự của nguyên tố trong bảng tuần hoàn Mendêlêép; ρ - nồng độ; K - hệ số tỷ lệ.

Như vậy, sự hấp thụ phóng xạ trong vật liệu từ biểu thức (6-12) phụ thuộc vào bản chất vật liệu và chất lượng của chính phóng xạ. Sự khuếch tán năng lượng phóng xạ xảy ra chủ yếu do ion hoá (hiệu ứng quang bên trong và kích thích các nguyên tử, hiệu ứng Comtôn và khi năng lượng rất lớn do sự biến đổi hạt nhân).

Một phần năng lượng tiêu tốn để tách nguyên tử hoặc ion ở giữa các nút, khi đó xuất hiện "lỗ khuyết" và các trung tâm khuyết tật.

Sự ion hoá có thể là nhiều cấp tạo nên nguyên tử thứ cấp và thậm chí nguyên tử tam cấp. Quá trình tương tự sẽ diễn ra nếu bắn phá các hạt tích điện vào vật chất.

Tác động của bức xạ có thể dẫn đến hàng loạt biến đổi phân tử và phản ứng hoá học. Quá trình ion hoá gây nên dòng điện tử tức thời, phá huỷ hoặc chuyển dịch các mối liên kết hoá học và tạo nên các gốc tự do. Điện tử được tích lũy trong các chỗ khuyết tật. Các phản ứng hoá học khác nhau được kích thích. Đặc biệt nếu là chất trùng hợp hữu cơ thì sẽ có khí thoát ra và xảy ra quá trình hình thành và mất đi các mối liên kết kép, trùng hợp hoá, tạo thành mạch ngang, lưu hoá v.v... Khi bức xạ lâu dài hoặc với cường độ rất mạnh, cuối cùng các chất bị bức xạ đều bị phân huỷ.

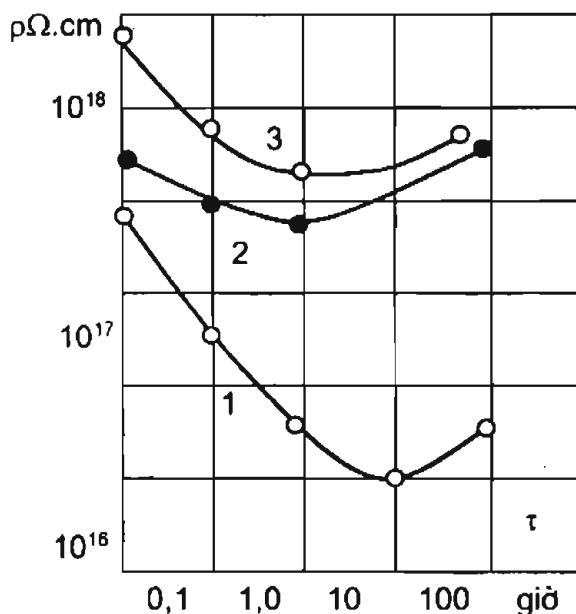
Các vật liệu bền vững đối với bức xạ phải có hai thuộc tính:

- Khả năng hấp thụ năng lượng mà không bị ion hoá lớn.
- Khả năng tạo mối liên kết kép với mức độ lớn hơn sự phá huỷ liên kết đó.

Dưới tác dụng của bức xạ chất trùng hợp có thể chuyển từ trạng thái này sang trạng thái cấu trúc khác.

Ảnh hưởng của bức xạ đối với điện môi vô cơ như thạch anh, mica, ôxít nhôm, xilicôn, ôxít berili và vật liệu mica có liên kết dạng thuỷ tinh ít hơn so với các chất hữu cơ. Khi xét các quá trình gây nên bởi bức xạ cho ta thấy tất cả các tính chất điện, hoá, lý, cơ đều có thể bị biến đổi so với khi chưa bị bức xạ trong các vật liệu cách điện. Điều này xảy ra đối với các vật liệu khác nhau ở mức độ khác nhau. Ví dụ: trên hình 6-6 nêu ra các đường cong biến đổi điện trở suất khối của những điện môi hữu cơ tốt nhất theo thời gian tác động của phóng xạ γ .

Theo hình vẽ ta thấy điện trở suất của polietilen giảm nhiều, trong khi đó polistirol và politetrafloêtilen có điện trở suất biến đổi không đáng kể. Khi liều lượng bức xạ lớn, ở tất cả các vật liệu đều có xu hướng tăng điện trở suất. Mức độ biến đổi điện trở suất khối của chất trùng hợp khi bức xạ còn phụ thuộc vào nhiệt



Hình 6-6. Điện trở suất khối của các chất (đo ở nhiệt độ 20°C) theo thời gian tác động phóng xạ γ với cường độ 200R/h.

1- polietilen; 2- politetrafloêtilen; 3- polistirol.

độ của điện môi, do vậy khi sử dụng vật liệu cần phải thí nghiệm để có số liệu chính xác.

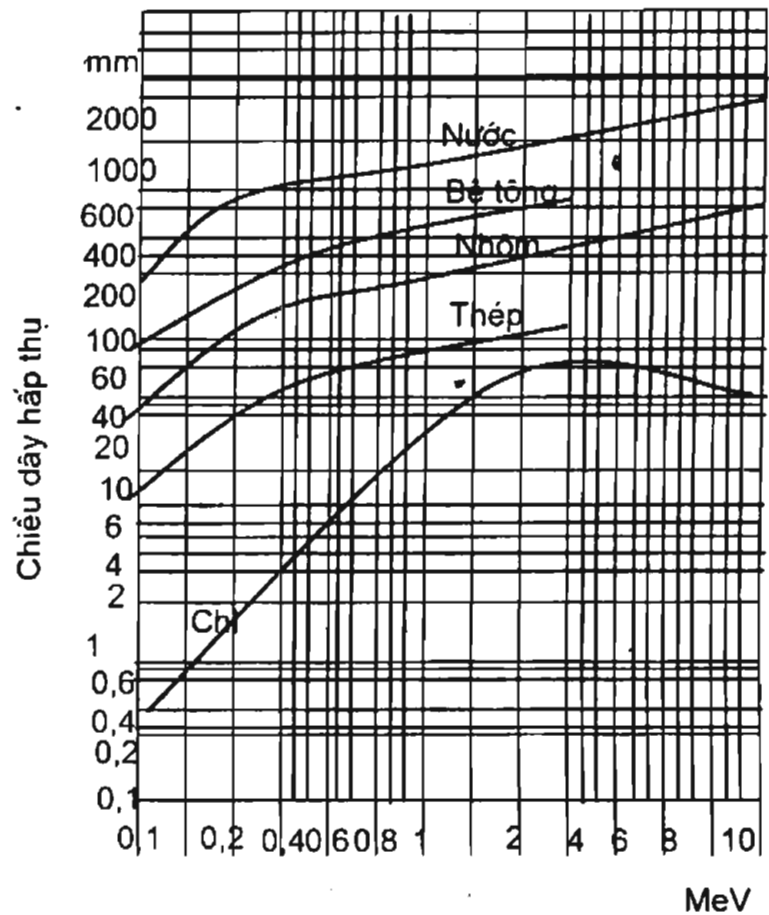
Độ bền điện của điện môi dưới tác động của bức xạ có thể tăng hoặc giảm tùy thuộc vào các quá trình diễn ra trong vật liệu. Hiện nay việc nghiên cứu độ bền điện của điện môi đối với bức xạ hạt và sóng có năng lượng cao còn chưa nhiều và tính năng của những vật liệu nghiên cứu chưa rõ ràng, đòi hỏi phải thí nghiệm và kiểm tra cho chính xác thêm.

Hiện nay đang tiến hành việc ứng dụng phóng xạ trong quá trình sản xuất điện môi. Khi bức xạ poliêtilen bằng liều lượng khoảng 5MR có thể nâng độ bền chịu nóng của nó từ 105°C lên đến 200°C . Mạch phân tử của poliêtilen đã bị bức xạ dài hơn phân tử bình thường 4-5 lần. Do đó độ bền cơ học của vật liệu tăng lên, trong khi đó tính chất điện của nó không bị suy giảm vì tgđ vẫn nhỏ hơn $5 \cdot 10^{-4}$.

Có thể đặc trưng khả năng bảo vệ của các vật liệu bằng lớp suy giảm mười lần, tức là chiều dày lớp vật liệu mà sau khi đi qua nó cường độ phóng xạ giảm 10 lần. Đặc tính này giúp cho việc tính toán bảo vệ vật liệu cách điện dễ dàng hơn khi thiết bị làm việc trong môi trường phóng xạ.

Trên hình 6-7 cho các đường cong quan hệ chiều dày của lớp suy giảm mười lần đối với nước và bê ton bari để so sánh với một số kim loại theo năng lượng của lượng tử phóng xạ.

Từ hình vẽ ta thấy sự hấp thụ tăng theo mật độ của vật liệu và phụ thuộc vào năng lượng lượng tử.



Hình 6-7. Sự biến đổi chiều dày của lớp suy giảm, 10 lần theo năng lượng của lượng tử phóng xạ của các vật liệu khác nhau.

Chương VII

VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

7.1. KHÁI NIỆM VÀ PHÂN LOẠI VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

Vật liệu cách điện có ý nghĩa cực kỳ quan trọng đối với kỹ thuật điện. Chúng được dùng để tạo ra cách điện bao quanh những bộ phận dẫn điện trong các thiết bị điện và để tách rời các bộ phận có điện thế khác nhau. Nhiệm vụ của cách điện là chỉ cho dòng điện đi theo những con đường trong mạch điện đã được sơ đồ quy định. Rõ ràng là nếu thiếu cách điện sẽ không thể chế tạo được bất kỳ một thiết bị điện nào kể cả loại đơn giản nhất. Vật liệu cách điện dùng làm điện môi để tạo thành điện dung trong các tụ điện. Ngoài ra còn có các điện môi hoạt tính có tính chất điện điều chỉnh được (chất xétnhét, chất áp điện, điện châm v.v...).

Tuỳ thuộc vào các trường hợp sử dụng, vật liệu cách điện phải đáp ứng được nhiều yêu cầu khác nhau. Ngoài những tính chất về điện đã được nghiên cứu trong bốn chương trước của quyển sách này thì những tính chất cơ, nhiệt, và hoá lý khác (chương 6) cũng như khả năng gia công các vật liệu để chế tạo những sản phẩm cần thiết cũng giữ vai trò to lớn. Vì vậy trong những trường hợp sử dụng khác nhau phải chọn các vật liệu khác nhau cho phù hợp, đảm bảo chất lượng thiết bị khi vận hành và đem lại hiệu quả kinh tế cao.

Trong các vật liệu kỹ thuật điện nói chung thì vật liệu cách điện gồm có nhiều số lượng và chủng loại khác nhau, chúng ta không thể đề cập đến tất cả được. Vì vậy nhiệm vụ chủ yếu của phần này là đưa ra những khái niệm cơ bản làm cơ sở cho sự phân loại hợp lý các vật liệu cách điện và những đặc tính chung đối với từng nhóm vật liệu dựa theo các quy luật nghiên cứu ở các phần trên. Chúng ta cũng sẽ nghiên cứu tính chất, công nghệ chế tạo của một số loại vật liệu cách điện cụ thể phổ biến nhất trong thực tế, những số liệu về đặc tính và về sự phụ thuộc các đặc tính này vào những yếu tố khác nhau sẽ được dùng để minh hoạ thêm cho phần lý thuyết nghiên cứu về điện môi đã nêu ở phần A.

Theo trạng thái của vật chất, người ta chia vật liệu cách điện thành các loại ở thể *khí, lỏng và rắn*. Vật liệu hoá rắn được phân vào nhóm đặc biệt. Ở thời điểm ban đầu khi đưa vào sản xuất chất cách điện thì chúng là chất lỏng nhưng sau đó khi chế tạo xong thì chúng ở thể rắn (ví dụ như: épóc xi, sơn và các chất hỗn hợp khác).

Theo bản chất hoá học của vật liệu có thể phân thành *vật liệu cách điện hữu cơ và vô cơ*. Có rất nhiều vật liệu hữu cơ có tính chất cơ học quý, có tính dẻo và tính đàn hồi, chúng được chế tạo thành dạng sợi, màng mỏng và các sản phẩm có hình dạng khác nhau, do vậy hiện nay vật liệu này được sử dụng rất rộng rãi trong thực tiễn. Tuy nhiên có một điều cần phải thấy đó là vật liệu cách điện hữu cơ có độ bền nhiệt tương đối thấp. Ngược lại đa số các vật liệu cách điện vô cơ không có tính dẻo và tính đàn hồi, chúng thường giòn, công nghệ gia công chế tạo khá phức tạp. Tuy nhiên các vật liệu cách điện vô cơ thường có độ bền nhiệt cao hơn nhiều so với vật liệu cách điện hữu cơ, do đó chúng được dùng trong những trường hợp cách điện cần phải làm việc ở nhiệt độ cao.

Trong những năm gần đây xuất hiện những vật liệu mới trung gian giữa những tính chất của vật liệu hữu cơ và vật liệu vô cơ. Đó là các vật liệu hữu cơ trong phân tử ngoài những nguyên tử cacbon còn có các nguyên tố khác không gặp trong thành phần các chất hữu cơ và đặc trưng cho vật liệu vô cơ nhiều hơn như: Si, Al, và các nguyên tố khác. Ngoài ra còn có những tổ hợp cách điện thường gọi là compôzít, trong thành phần của chúng có chứa cả vật liệu vô cơ và vật liệu hữu cơ với tỷ lệ thành phần nhất định với nhiều tính năng cách điện tốt hơn hẳn so với tính chất của từng thành phần.

Cần chú ý rằng các đặc tính cách điện cũng như các đặc tính cơ, nhiệt, độ ẩm và các tính chất khác của vật liệu cách điện thay đổi một cách đáng kể, chúng phụ thuộc vào công nghệ sản xuất và chế biến vật liệu, sự có mặt của các tạp chất, điều kiện môi trường sản xuất và thí nghiệm v.v... Vì vậy, những số liệu về các tính chất của vật liệu đưa ra ở trong phần này là các trị số gần đúng.

7.2. VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN THỂ KHÍ

Trong số các vật liệu cách điện thể khí trước tiên phải nói đến không khí. Không khí được sử dụng rộng rãi để làm cách điện chủ yếu của các đường dây tải điện trên không, cách điện của thiết bị điện làm việc trong không khí, hoặc phối hợp với các chất cách điện rắn và lỏng. Đối với cách điện của máy điện, cáp điện, máy biến áp, tụ điện... nếu quá trình sản xuất không được cẩn thận sẽ còn có những bọt khí ở bên trong. Những bọt khí này làm giảm chất lượng cách điện vì khi cách điện làm việc dưới điện áp cao hay điện trường lớn bọt khí sẽ thành ổ phát sinh vầng quang, phát sinh ra nhiệt.

Về các tính chất cách điện của chất khí đã được nghiên cứu ở những chương trước của cuốn sách này, còn những tính chất lý hoá chung của không khí đã được biết rõ trong các giáo trình vật lý và hoá học nên không cần thiết dừng lại thêm về vấn đề này. Vì vậy chúng ta chỉ xét tới một số chất khí khác đang được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện.

Với cùng một điều kiện thí nghiệm như nhau (áp suất, nhiệt độ, độ ẩm, dạng cực, khoảng cách giữa các cực ...) các chất khí khác nhau có cường độ điện trường cách điện khác nhau. Nếu lấy cường độ cách điện của không khí là một đơn vị thì các tính chất và cường độ cách điện của một số chất khí thường dùng trong kỹ thuật được cho ở bảng 7.1.

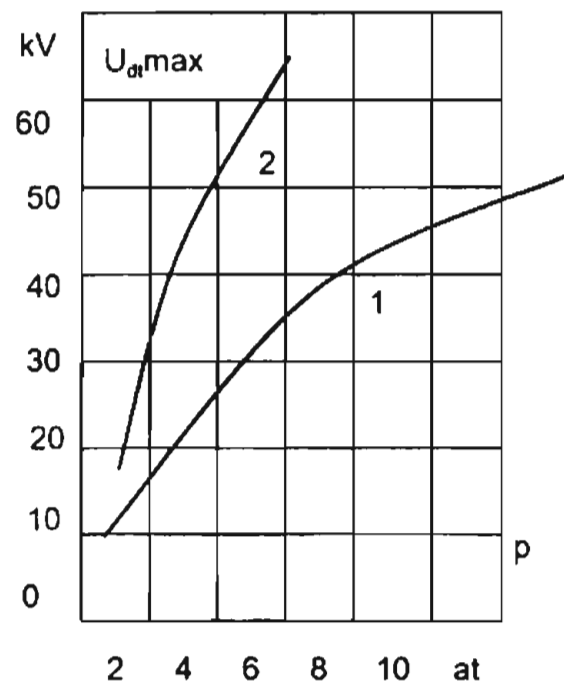
Bảng 7.1: So sánh đặc tính của không khí với các chất khí

Các đặc tính tương đối	Không khí	Nitơ (N ₂)	Cácbonic (CO ₂)	Hydrô H ₂
Tỷ trọng	1	0,97	1,52	0,07
Nhiệt dẫn suất	1	1,08	0,64	6,69
Tỷ nhiệt	1	1,05	0,85	14,35
Hệ số toả nhiệt từ vật rắn sang khí	1	1,03	1,13	1,61
Độ bền điện	1	1,00	0,9	0,60

Theo bảng 7.1 ta thấy, so với không khí thì cường độ cách điện của các chất khí đều kém hơn. Song nitơ (N₂) đôi khi được dùng thay cho không khí để lấp đầy các tụ điện khí hay trong các thiết bị điện khác vì nó có đặc tính gần giống với không khí lại không chứa oxy - là chất có thể gây ra oxy hoá các vật liệu khi tiếp xúc với nó.

Hiện nay có một số chất khí chủ yếu là các hợp chất halôgen (flo, clo, ...) có khối lượng phân tử và tỷ trọng cao, năng lượng ion hoá lớn, có cường

độ cách điện cao hơn hẳn so với không khí. Ví dụ, florua lưu huỳnh SF₆ hay còn gọi là khí êlêgaz có độ bền điện lớn hơn không khí khoảng 2,5. Trên hình 7-1 cho các trị số điện áp đánh thủng (giữa hai điện cực phẳng để tạo nên điện trường không

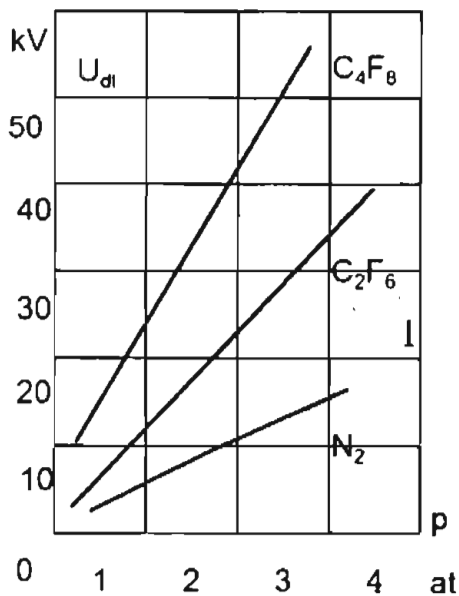


Hình 7-1. Quan hệ giữa $U_{đ}$ với áp suất của không khí (1) và khí êlêgaz (2) trong trường đồng nhất và khoảng cách cực $s = 3,8 \text{ mm}$.

đồng nhất) của không khí và khí êlêgaz theo áp suất P. Êlêgaz nặng hơn không khí năm lần, có nhiệt độ sôi (ở áp suất bình thường) là -64°C (209°K) và trong nhiệt độ bình thường có thể nén tới 20at vẫn không hoá lỏng. Êlêgaz không độc, chịu được tác dụng hoá học, không bị phân huỷ khi đốt nóng tới 800°C ; có thể sử dụng trong tụ điện, cáp điện, máy cắt ở các cấp điện áp khác nhau ... đem lại hiệu quả kinh tế cao, đặc biệt có những ưu điểm lớn khi ở áp suất cao.

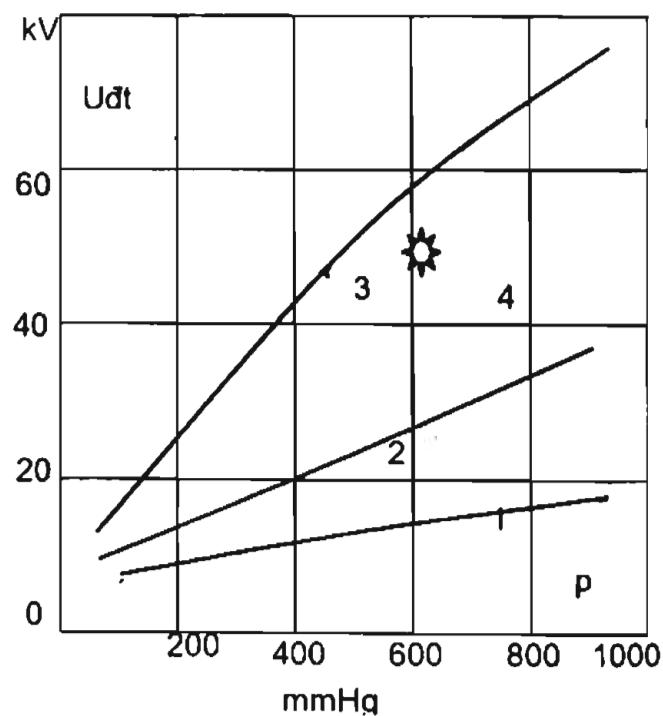
Khí frêon (CCl_2F_2) có độ bền điện gần bằng khí êlêgaz nhưng nhiệt độ sôi của nó chỉ bằng -28°C (245°K) và ở nhiệt độ bình thường nó chỉ có thể chịu nén tới 6at. Khí frêon ăn mòn một số vật liệu hữu cơ thể rắn, đây là điều cần chú ý khi dùng loại khí này trong tủ lạnh, máy điều hoà, máy làm lạnh v.v...

Hiện nay người ta đã nghiên cứu và chế tạo nhiều loại hydrô cacbon flo hoá, đó là những hydrôcacbon trong đó tất cả các nguyên tử hydrô được thay thế bằng nguyên tử flo. Trong điều kiện bình thường một số các chất đó là chất khí (ví dụ: tetraflomêtan CF_4 có nhiệt độ hoá lỏng là -128°C và nhiệt độ hoá rắn là -184°C , hexaflôetan C_2F_6 có nhiệt độ hoá lỏng -78°C và nhiệt độ hoá rắn -100°C ; decaflôbutan C_4F_{10} hoá lỏng -2°C và hoá rắn -80°C), còn một số khác (C_7F_{14} , C_7F_8 , C_8F_{16} , $\text{C}_{14}\text{F}_{24}$...) lại là chất lỏng.



Hình 7-2. Quan hệ điện áp đánh thủng N_2 , C_2F_6 và C_4F_8 theo áp suất [at].

(Thí nghiệm điện cực là 1 quả cầu ϕ 19mm với mặt phẳng, khoảng cách cực 2,5 mm).



Hình 7-3. Quan hệ $U_{đt} = f(p)$ ở tần số 50 Hz.

1- không khí ; 2- SF_6 ; 3- C_7F_{14} (với điện cực là cầu ϕ 12,5 mm, khoảng cách cực 5 mm).

Các chất khí và hơi của các chất lỏng nói trên có độ bền điện lớn hơn không khí từ 6-10 lần (hình 7-2, 7-3). Người ta thường pha một lượng nhỏ khí êlêgaz,

frêon hay các chất khí kể trên lẫn vào trong không khí sẽ đem lại một hỗn hợp khí có độ bền điện tăng đáng kể và được sử dụng trong các thiết bị điện cao áp.

Trong kỹ thuật điện thì khí hydrô là khí nhẹ có đặc tính truyền dẫn nhiệt tốt nên được dùng làm mát thay cho không khí trong các máy điện công suất lớn, làm giảm tổn thất công suất do ma sát của rôto với chất khí và do quạt gió gây ra. Khi dùng hydrô sẽ làm chậm sự hoá già các chất cách điện hữu cơ trong dây quấn và loại trừ khả năng hoả hoạn trong trường hợp bị ngắn mạch ở bên trong máy điện, đồng thời khí hydrô làm cải thiện điều kiện làm việc của chổi than. Do làm mát bằng khí hydrô cho phép tăng công suất và hiệu suất làm việc của máy điện, người ta thường chế tạo các máy phát nhiệt điện và các máy bù đồng bộ công suất lớn làm mát bằng khí hydrô. Nhưng khí hydrô dễ kết hợp với ôxy theo tỷ lệ nhất định sẽ tạo ra hỗn hợp dễ nổ, vì vậy để tránh nguy hiểm do không khí lọt vào máy cần phải duy trì áp suất trong máy cao hơn áp suất khí quyển hay không được để khí hydrô tiếp xúc với không khí (khí hydrô làm việc trong chu trình kín).

Hiện nay, người ta còn dùng khí trơ như: argon, neon, v.v.. cũng như hơi thủy ngân để làm các dụng cụ điện chân không và bóng đèn. Khí trơ có độ bền điện thấp. Heli có độ bền điện thấp nhất trong các loại khí, độ bền điện của nó nhỏ hơn khoảng 17 lần so với độ bền điện của không khí.

7.3. VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN THỂ LỎNG

7.3.1. Dầu mỡ cách điện

Trong số các vật liệu cách điện thể lỏng thì dầu biến áp được ứng dụng nhiều nhất trong kỹ thuật điện. Dầu biến áp có hai chức năng chính : một là, dầu lấp đầy các lỗ xộp trong vật liệu cách điện gốc sợi và khoảng trống giữa các dây dẫn của cuộn dây và giữa cuộn dây với vỏ máy biến áp, làm nhiệm vụ cách điện và tăng độ bền cách điện của lớp cách điện lên rất nhiều; hai là, dầu có nhiệm vụ làm mát, tăng cường sự thoát nhiệt do tổn hao công suất trong dây quấn và lõi thép máy biến áp sinh ra.

Một lĩnh vực ứng dụng quan trọng khác của dầu biến áp là sử dụng làm cách điện và dập tắt hồ quang điện giữa các đầu cực trong các máy cắt dầu điện áp cao, dầu biến áp tạo điều kiện làm nguội dòng hồ quang và nhanh chóng dập tắt hồ quang. Người ta còn dùng dầu biến áp làm cách điện và làm mát trong một số kháng điện, biến trở và các thiết bị điện khác.

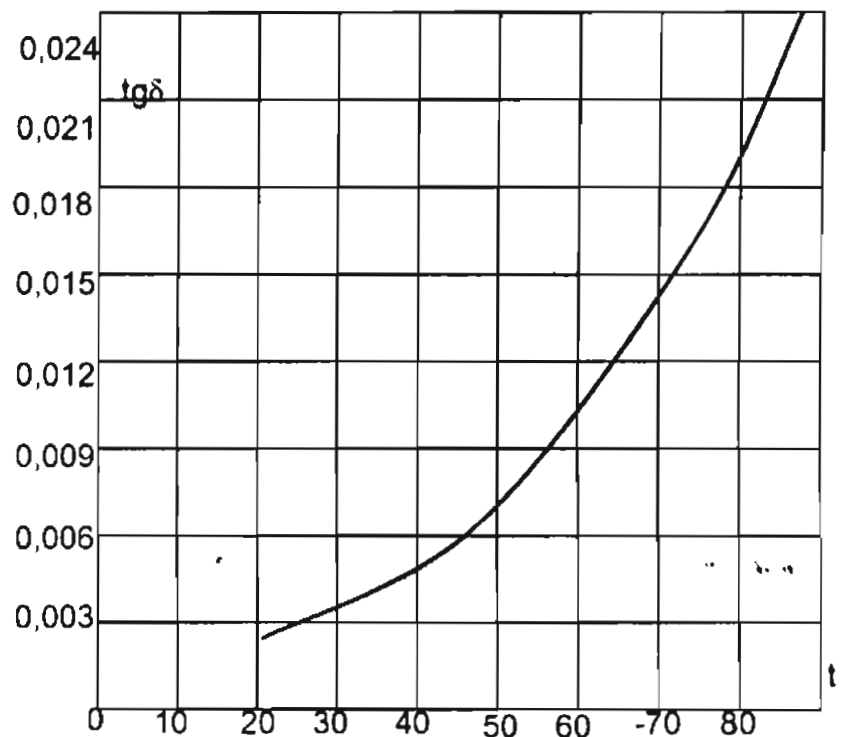
Dầu biến áp được điều chế từ dầu mỏ bằng phương pháp chưng cất từng cấp. Dựa vào nhiệt độ sôi khác nhau của các thành phần có thể tách ra dầu thô, sau đó tẩy thật sạch các tạp chất không bền vững về hoá học bằng cách xử lý với axit

sunfuaric, với kiềm rồi đem rửa sạch bằng nước ,sau đó loại trừ nước và các tạp chất cực tính bằng các chất hấp phụ.

Dầu biến áp có thành phần hoá học là hỗn hợp của các hydrô cacbon khác nhau và có màu biến đổi từ chỗ hầu như không màu sang màu vàng sẫm. Dầu lấy từ các mỏ khác nhau có các đặc tính khác nhau và các đặc tính đó cũng phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ. Độ nhớt của dầu biến áp phụ thuộc vào nhiệt độ. Tiêu chuẩn quy định độ nhớt động học của dầu biến áp không quá $30.10^2 \text{cm}^2/\text{giây}$ ở nhiệt độ 20°C và không được quá $9,6.10^2 \text{cm}^2/\text{giây}$ ở 50°C . Trị số giới hạn của độ nhớt có ý nghĩa quan trọng bởi vì dầu quá nhớt sẽ làm giảm sự thoát nhiệt từ dây quấn và lõi thép của máy biến áp ra ngoài.

Dầu biến áp là chất lỏng dễ cháy nên nhiệt độ chớp cháy của dầu biến áp quy định không được thấp hơn $+135^\circ\text{C}$. Nhiệt độ đông đặc của dầu không được cao hơn -45°C (228°K); đặc tính này có ý nghĩa quan trọng đối với loại dầu được dùng trong các máy cắt điện đặt tại các trạm ngoài trời ở những khu vực có mùa đông lạnh.

Xuất phát từ tính chất cách điện của dầu máy biến áp, tiêu chuẩn quy định trị số $\text{tg}\delta$ (ở tần số 50Hz) không được lớn hơn 0,003 khi nhiệt độ là 20°C và không được lớn hơn 0,025 khi ở nhiệt độ 75°C . Quan hệ $\text{tg}\delta$ theo nhiệt độ của dầu biến áp được trình bày trên hình 7-4; quan hệ này có dạng giống như quan hệ $\text{tg}\delta = f(t^\circ)$ của những điện môi lỏng không cực tính.



Hình 7-4. Quan hệ $\text{tg}\delta$ với nhiệt độ của dầu biến áp (ở tần số 50Hz).

Một trong những đặc tính đặc biệt quan trọng có ý nghĩa thực tiễn là độ bền điện của dầu biến áp. Trị số độ bền điện của dầu biến áp rất nhạy cảm với đối với độ ẩm của dầu; chỉ với một lượng nước nhỏ lẫn vào dầu ở dạng nhũ tương đã làm cho độ bền điện của dầu giảm đi nhiều. Điều đó được giải thích như sau: vì ϵ của nước (khoảng 80) lớn hơn nhiều so với của dầu ($\epsilon_{\text{dầu MBA}} = 2,2$), dưới tác dụng của lực điện trường các hạt nước ở dạng nhũ tương trong dầu bị hút vào những nơi

có cường độ điện trường lớn và tại đó sự phóng điện bắt đầu phát triển. Độ bền điện của dầu còn giảm nhiều hơn nếu như trong dầu còn có chứa những sợi tạp chất, chúng làm cầu nối cho sự phóng điện sớm phát triển.

Nước có thể xâm nhập vào dầu trong lúc vận chuyển, bảo quản, rót dầu vào thùng hay thiết bị khi không được sấy khô v.v... Có nhiều biện pháp lọc nước làm khô dầu như: lọc dầu qua phin lọc của máy máy lọc nén, lọc dầu bằng phương pháp ly tâm và ly tâm có bộ phận gia tăng nhiệt độ, xử lý bằng các chất hấp phụ, phun dầu nóng vào thùng khí chứa đầy nitơ để cho nước bốc hơi mạnh ra khỏi dầu v.v...

Trên bảng 7.2 dẫn ra những trị số tối thiểu của độ bền điện dầu máy biến áp theo quy trình kỹ thuật vận hành thiết bị điện. Thí nghiệm tiến hành đánh thủng mẫu dầu ở giữa hai điện cực bằng kim loại hình đĩa có mép uốn tròn, đường kính cực $\phi = 25\text{mm}$, khoảng cách giữa các cực là 2,5 mm, điện áp thử nghiệm xoay chiều tần số 50Hz:

Tỷ trọng của dầu máy biến áp là 0,87 - 0,89 G/cm³. Những đặc tính nhiệt của dầu: tỷ nhiệt: 0,43 ÷ 0,58 (calo/g.độ); nhiệt dẫn suất ở 20°C vào khoảng 0,0015, ở 80°C khoảng 0,02 (W/cm. độ). So với không khí thì dầu tản nhiệt ra khỏi dây quấn và lõi thép của máy biến áp lớn hơn khoảng 28 lần. Hệ số dẫn nở nhiệt khối của dầu vào khoảng 0,00065 (độ⁻¹).

Bảng 7.2: Tiêu chuẩn độ bền điện của dầu biến áp

Đối với thiết bị có điện áp làm việc, kV	Điện áp phóng điện của dầu, KV/2,5 mm, không nhỏ hơn.	
	Đối với dầu mới	Đối với dầu đã vận hành
6 và thấp hơn	25	20
35	30	25
110 và 220	40	35
330 và cao hơn	50	45

Trong quá trình làm việc dầu biến áp trong các thiết bị điện bị hoá già, các tính chất của dầu bị giảm đi, màu của dầu trở nên sẫm hơn. Khi bị hoá già trong dầu có chứa các axit, các chất nhựa hoà tan hay bị lắng xuống đáy thùng. Axit mới sinh ra ở trong dầu sẽ phá huỷ cách điện của dây quấn và ăn mòn kim loại.

Tốc độ hoá già của dầu tăng lên trong những trường hợp sau:

a) Khi có không khí lọt vào, bởi vì: hiện tượng hoá già dầu gắn liền với hiện tượng oxy hoá dầu bằng oxy của không khí; đặc biệt sự hoá già dầu phát triển mạnh khi tiếp xúc với ôzôn.

b) Khi nhiệt độ làm việc tăng.

c) Khi có sự tiếp xúc giữa dầu với một số kim loại (đồng, sắt, chì v.v...) và các chất khác là những chất xúc tác của hiện tượng hoá già.

d) Khi có tác dụng của ánh sáng.

e) Khi có tác dụng của cường độ điện trường cao.

Khi bị hoá già trong điện trường ở một số phạm vi nhiệt độ nhất định, một vài loại dầu có thải ra khí. Hiện tượng này rất có hại vì các bọt khí có thể trở thành nguồn gốc của sự ôxy hoá. Khả năng không sinh ra khí khi bị hoá già trong điện trường được gọi là *độ bền khí của dầu*.

Các loại dầu gốc khác nhau có độ biến già khác nhau, vì vậy trước khi đưa vào vận hành phải thử nghiệm kiểm tra khả năng chịu hoá già tăng cường của dầu theo những điều kiện rất khắc nghiệt đã được quy định theo tiêu chuẩn.

Thực tế cho thấy, nếu không tác được những thành phần do hiện tượng hoá già gây nên ra khỏi dầu thì dầu sẽ biến già nhanh hơn. Người ta thường dùng biện pháp tái sinh dầu bằng các chất hấp phụ, các chất hấp phụ này không những hút nước mà còn hút cả những chất cực tính. Ngoài ra có thể tiến hành tái sinh dầu liên tục trong máy biến áp đang vận hành bằng cách lắp bộ lọc xi phông nhiệt. Bộ lọc làm việc được nhờ có sự đối lưu dầu. Trong thời gian vận hành dầu máy biến áp bị đốt nóng và giảm đi tỷ trọng, dầu sẽ nổi lên phần trên của thùng và chảy vào ống dẫn của xi phông nhiệt. Tại đây dầu được nguội dần và tăng tỷ trọng nên chảy xuống dưới của thùng máy biến áp. Nhờ có các van ta có thể tháo bộ lọc ra để có thể thay chất hấp phụ.

Người ta còn dùng biện pháp khác làm chậm sự hoá già dầu như lưu thông không khí trong các bình dầu phụ qua bộ phận silicagen, clorua canxi và những chất tương tự khác để rút hơi ẩm, bụi và các chất bẩn hoạt tính khác ra khỏi không khí. Trong các máy biến áp công suất lớn thường dùng nitơ thay cho không khí để tránh sự tiếp xúc dầu với ôxy (bảo vệ bằng nitơ). Cũng có thể cho thêm chất cản hoá hay còn gọi là chống ôxy hoá vào dầu biến áp như chất: amidôpyrin với khối lượng 0,3kg cho 1 lít dầu. Amidôpyrin hoà tan dễ dàng trong dầu ở nhiệt độ 70 - 80°C, nó không làm thay đổi màu cũng như các đặc tính cách điện của dầu. Sử dụng chất cản hoá cho phép tăng thời gian vận hành của dầu (không cần tái sinh) lên vài lần và mang lại hiệu quả kinh tế cao.

Nên phủ mầu sẫm lên mặt ngoài của các đầu vào bằng thuỷ tinh để giữ cho dầu khỏi bị tác dụng của ánh sáng.

7.3.2. Dầu tụ điện

Dầu tụ điện dùng để tẩm tụ điện giấy nhất là tụ điện động lực, dùng để bù công suất trong hệ thống điện. Khi cách điện bằng giấy của tụ điện được tẩm dầu

thì điện trở cách điện cũng như độ bền điện của nó tăng lên; do đó giảm được kích thước, trọng lượng và giá thành của tụ điện.

Do cũng điều chế từ dầu mỏ, các đặc tính của dầu tụ điện rất giống với dầu biến áp, nhưng dầu tụ phải được làm sạch đặc biệt cẩn thận bằng chất hấp phụ. Theo tiêu chuẩn tgđ của dầu tụ đo ở nhiệt độ $\pm 100^{\circ}\text{C}$ không được lớn hơn 0,002 với tần số 1KHz và phải nhỏ hơn 0,005 với tần số 50Hz. Độ bền điện của dầu tụ được làm sạch trong chân không phải có trị số lớn hơn 20KV/mm.

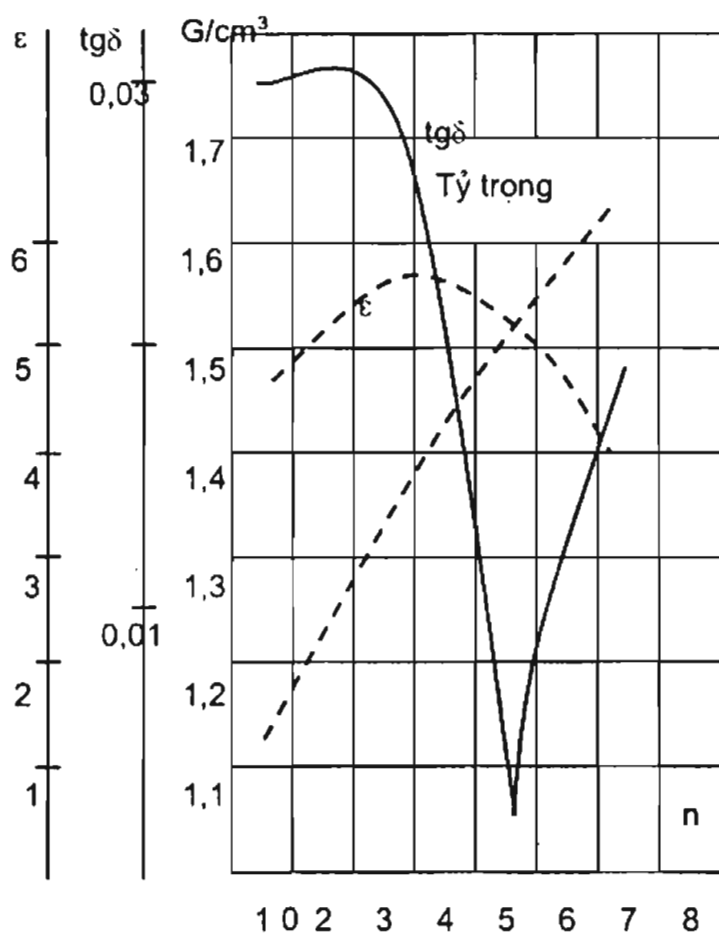
7.3.3. Dầu cách điện

Dầu cách được dùng trong việc sản xuất cáp điện lực để tẩm lớp giấy cách điện của cáp làm cho độ bền điện của nó tăng lên. Dầu cách cũng dùng làm cách điện trong các cáp điện áp cao 110, 220 KV. Dầu cách có nhiều loại khác nhau.

Để tẩm cáp có chứa dầu loại vỏ chì hoặc nhôm làm việc ở điện áp rất cao (110KV và cao hơn) người ta dùng dầu ít nhất được tẩy sạch và nhất là giải phóng hết các loại khí đã hoà tan vào dầu. Nhờ có thiết bị bổ xung đặc biệt nên trong thời gian vận hành áp suất của dầu trong cáp phải được duy trì ở mức độ nhất định (1 ÷ 3at), do đó loại trừ được khả năng hình thành bọt khí trong dầu.

Dầu có độ nhớt cao hơn dùng để tẩm cáp chứa dầu có áp suất cao (khoảng 15 at) trong ống thép. Theo tiêu chuẩn dầu cách có áp suất cao phải có độ nhớt động học như sau: ở 0°C không quá $5 \cdot 10^5 \text{ cm}^2/\text{giây}$, ở 20°C không quá $8 \cdot 10^4 \text{ cm}^2/\text{giây}$, ở 50°C không nhỏ hơn $5 \cdot 10^3 \text{ cm}^2/\text{giây}$, ở 100°C không nhỏ hơn $11 \cdot 10^{12} \text{ cm}^2/\text{giây}$. Lượng tro trong dầu không quá 0,001%, nhiệt độ chớp cháy không thấp hơn 180°C , độ bền điện không nhỏ hơn 20KV/mm, tgđ không lớn hơn 0,003 khi ở tần số 50Hz và 100°C .

Loại dầu mỏ nhớt hơn (dầu braistốc) được dùng cho cáp điện lực thông thường có chất tẩm quánh làm việc ở điện áp dưới 35KV. Để tăng thêm độ nhớt người ta cho



Hình 7-5. Quan hệ ϵ , tgđ, tỷ trọng diphenyl và số nguyên tử cho trong phân tử (n).

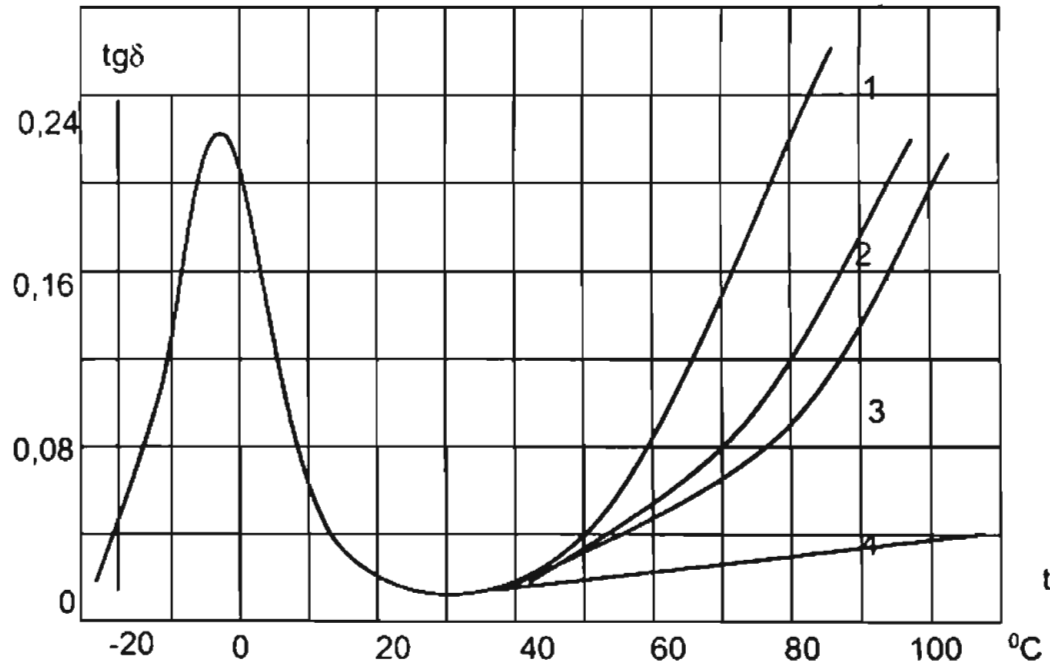
côlôfan hoà tan vào trong dầu để tạo thành hỗn hợp dầu côlôfan, loại này cũng được dùng để tẩm cáp.

7.3.4. Điện môi lỏng tổng hợp

Trong những năm gần đây người ta đã điều chế ra được nhiều vật liệu cách điện lỏng tổng hợp có một vài tính chất tốt hơn dầu mỏ cách điện. Chúng ta sẽ khảo sát một số loại quan trọng nhất trong những vật liệu đó.

a) *Hydrô cacbon clo hoá* nhận được từ các hydrô cacbon khác nhau bằng cách cho những nguyên tử clo thay thế các nguyên tử hydrô trong một số phân tử của chúng (hoặc trong toàn bộ). Sản phẩm của sự clo hoá đifênyl được sử dụng rộng rãi nhất. Phân tử của nó $C_{12}H_{10}$ ($H_5C_6 - C_6H_5$) gồm có hai gốc fênyl. Những đifênyl được clo hoá có công thức chung: $C_{12}H_{10} - Cl_n$ là những phân tử cực tính; những quan hệ của ϵ và $tg\delta$ (ở tần số thấp và nhiệt độ bình thường) cũng như tỷ trọng của chất lỏng theo trị số n được thể hiện trên hình 7-5. Trong thực tế dùng các vật liệu là những hỗn hợp của các đifênyl đồng phân với mức độ clo hoá n khác nhau và mang một tên chung là "ascaren". Ở Liên Xô (cũ) đã sản xuất được vật liệu mang tên là xôvôn.

Xôvôn gần giống pentaclodifênyl về thành phần hoá học $C_{12}H_5Cl_5$, nghĩa là trong phân tử của đifênyl $C_{12}H_{10}$ có 5 nguyên tử hydrô được thay thế bởi năm nguyên tử clo. Ở điều kiện bình thường hằng số điện môi của xôvôn gần bằng 5 ($\epsilon \approx 5$). Hằng số điện môi của xôvôn phụ thuộc vào tần số và nhiệt độ theo quy luật chung cho các điện môi cực tính như đã xét ở trên.



Hình 7-6. Quan hệ $tg\delta = f(t)$ của dầu Xôvôn (với $f = 50Hz$).

Sự biến thiên theo nhiệt độ của $tg\delta$ dầu xôvôn sạch được biểu diễn ở hình 7-6.

Nếu thay dầu mỏ bằng dầu xôvôn trong tụ điện bằng giấy sẽ giảm khối lượng của tụ có cùng công suất xuống khoảng hai lần. Kết quả đạt được hiệu quả kinh tế

lớn, mặc dù xovôn đắt tiền hơn dầu mỡ. Khi làm việc trong điện trường mạnh xovôn ổn định hơn dầu mỡ. Nhược điểm của tụ điện khi tẩm bằng xovôn là điện dung của tụ giảm khi nhiệt độ thấp hơn 0°C.

Xovôn là một chất lỏng không màu, trong suốt và có tỷ trọng vào khoảng 1,5 G/cm³, tức là nặng hơn dầu mỡ rất nhiều, vì vậy nó không được dùng trong các máy biến áp. Nếu xovôn đã được pha loãng bằng triclobenzen C₆H₃Cl₃ được gọi là xovtôn được dùng trong máy biến áp. Dầu xovôn và xovtôn đều không cháy được vì vậy máy biến áp ngâm trong dầu xovôn sẽ an toàn về mặt phòng cháy.

Xovôn (hoặc xovtôn) không dùng cho máy cắt vì khi dập hồ quang chúng sinh ra nhiều bồ hóng cùng với hơi độc và chất ăn mòn. Khi làm việc với các loại dầu này nên tránh không để dính vào da và phải đảm bảo thông gió tốt.

b) Silic hữu cơ và flo hữu cơ

Những chất lỏng silic hữu cơ có tổn hao điện môi rất nhỏ, độ hút ẩm thấp và độ bền nhiệt cao. Chất lỏng silic hữu cơ dùng để tẩm và làm cách điện tụ điện cùng các thiết bị điện khác làm việc trong khoảng nhiệt độ từ -60°C đến +100°C, đó là hỗn hợp poliêtilxilócxa có cấu trúc thẳng: (C₂H₅)₃-Si-O-[-(C₂H₅)₂-Si-O]_n-Si-(C₂H₅)₃ và loại có cấu trúc mạch vòng: [- (C₂H₅)₃-Si-O-]_n với trị số n = 7 hoặc n = 8.

Chất lỏng silic hữu cơ có nhiệt độ bốc cháy không thấp hơn 150°C và nhiệt độ đông đặc không cao hơn -60°C. Nó có điện trở suất ρ không nhỏ hơn 2,5.10¹⁴ Ω.cm (ở 20°C) và không nhỏ hơn 1,0.10¹⁴ Ω.cm (ở 100°C); ε = 2,4 ÷ 2,8; tgδ không lớn hơn 0,0003 (ở 1000 Hz và 20°C) và không lớn hơn 0,0008 (ở 1000Hz và 100°C); độ bền điện không nhỏ hơn 18kV/mm (ở 50Hz và 20°C).

Chất lỏng flo hữu cơ có nhiều loại dùng trong thực tế, chúng có tổn hao điện môi rất nhỏ, độ hút ẩm nhỏ không đáng kể và độ bền nhiệt cao. Một số chất lỏng flo hữu cơ có thể làm việc lâu dài ở nhiệt độ 200°C và cao hơn. Các chất lỏng flo hữu cơ có độ nhớt nhỏ, lực căng mặt ngoài thấp nên việc tẩm chất cách điện xốp dễ dàng, hệ số dẫn nở nhiệt khối cao và dễ bay hơi nên những thiết bị có chứa flo hữu cơ phải được bịt kín. Chúng có khả năng làm thoát nhiệt ra khỏi dây quấn và lõi từ mạnh hơn so với dầu mỡ hoặc chất lỏng silic hữu cơ.

Ưu điểm quan trọng nhất của chất lỏng flo hữu cơ so với silic hữu cơ là hoàn toàn không cháy được và có độ bền chịu hồ quang cao. Nhược điểm của chất lỏng của flo hữu cơ là đắt tiền.

Hiện nay có những chất lỏng tổng hợp có thành phần hydro cacbon không cực tính có tính chất tốt hơn dầu mỡ, như đặc tính cách điện, độ bền chịu nhiệt, độ bền hoá già, độ bền khí đều tốt hơn. Ví dụ, poliizobutilen với mức độ trùng hợp tương đối thấp (vào khoảng 10-20) ở dạng lỏng dùng để tẩm cho tụ điện giấy sẽ làm cho điện trở cách điện của tụ điện tăng lên khoảng 10 lần so với khi tẩm bằng dầu mỡ hoặc bằng vadolin.

Octol là hỗn hợp các polime và izome của izôbutilen có khối lượng phân tử từ 400 đến 1500 có tỷ trọng $0,850 \div 0,875 \text{ G/cm}^3$; ở nhiệt độ $+70^\circ\text{C}$ có độ nhớt đạt tới $1,5 \cdot 10^2 \div 3,5 \cdot 10^2 \text{ (cm}^2/\text{giây)}$; $\epsilon = 2,3$; $\text{tg}\delta = 0,001$. Tính chất cách điện của octol bị thay đổi không đáng kể khi đốt nóng tới 150°C trong môi trường có ôxy của không khí. Octol có độ bền cao khi bị tác động của điện trường, nó được dùng tốt cho việc tẩm cách điện bằng giấy của cáp điện có điện áp làm việc tới 10kV.

Ngày nay các chất lỏng tổng hợp đặc biệt có thành phần là hydrô cacbon (ví dụ như đơdexinbenzol, tridexinbenzol) được sử dụng trong những loại cáp làm việc ở điện áp siêu cao (275 kV và cao hơn).

7.4. VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN THỂ RẮN

7.4.1. Điện môi hữu cơ cao phân tử

Trong số các vật liệu cách điện được sử dụng trong kỹ thuật điện thì vật liệu hữu cơ cao phân tử có vị trí rất lớn và tầm quan trọng đặc biệt. Để hiểu thật kỹ những tính chất và khả năng ứng dụng của các vật liệu hữu cơ, chúng ta phải tìm hiểu những quy luật chung có liên quan tới cấu tạo, phân loại và các tính năng của chúng.

7.4.2.1. Cấu tạo và phân loại điện môi hữu cơ

Vật liệu hữu cơ gọi là các hợp chất của cacbon (C) với các nguyên tố khác. Cacbon có khả năng tạo ra một số lớn các hợp chất hoá học với nhiều loại cấu trúc phân tử rất khác nhau. Cụ thể là cacbon tham gia vào sự tạo thành các chất có "khung" phân tử hình chuỗi - xích, hình nhánh hoặc mạch vòng, khung ấy hoặc chỉ gồm có các nguyên tử cacbon hoặc ngoài nguyên tử cacbon còn có các nguyên tố khác dính vào giữa các nguyên tử cacbon đó.

Cấu trúc phân tử có ảnh hưởng chính đến những tính chất của các chất hữu cơ. Một số vật liệu cách điện hữu cơ thấp phân tử có số lượng nguyên tử tham gia vào phân tử của chất này không nhiều, từ một vài nguyên tử đến hàng chục, đôi khi đến hàng trăm nguyên tử. Trong các chất này có frêon hydro cacbon của dầu mỏ, xôvôn chúng ta đã nghiên cứu ở các phần trước.

Số lượng lớn nhất các vật liệu cách điện hữu cơ thuộc về các hợp chất cao phân tử. Đó là những chất có phân tử rất lớn, đôi khi trong một phân tử có hàng chục ngàn nguyên tử. Khối lượng phân tử của các chất này có thể lên tới khoảng một triệu, còn các kích thước hình học của những phân tử lên đến mức chúng không hoà tan được hoặc nếu có hoà tan thì dung dịch cũng giống như hệ keo.

Trong tự nhiên chúng ta gặp một số vật liệu thuộc về các vật liệu cao phân tử có ý nghĩa quan trọng trong kỹ thuật, ví dụ như: xenlulôza, tơ tằm, các anbumin,

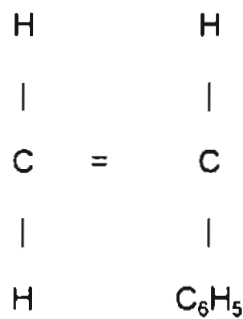
cao su v.v... Về các loại vật liệu này chúng ta xem xét ở trong các phần sau của quyển sách này.

Dựa theo nguồn gốc của các vật liệu cao phân tử người ta có thể phân chúng thành hai loại lớn: *loại thứ nhất, đó là vật liệu nhân tạo được sản xuất ra bằng cách chế biến hoá học những chất cao phân tử có sẵn trong thiên nhiên* (ví dụ: xenlulôza chế biến thành estexenlulôza), *loại thứ 2 có tầm quan trọng lớn hơn đối với kỹ thuật cách điện và nhiều ngành kỹ thuật khác, đó là vật liệu cao phân tử tổng hợp được sản xuất ra bằng cách tổng hợp từ các chất thấp phân tử*. Đa số trong các vật liệu đó có những tính chất kỹ thuật quý nhưng lại có thể được điều chế ra bằng nguyên liệu rẻ tiền, dễ tìm kiếm, như khí thiên nhiên, dầu mỏ, than đá v.v... Vì vậy ngày nay người ta chú ý nhiều đến việc nghiên cứu, hoàn thiện và ứng dụng các vật liệu đó với nhiều mục đích khác nhau, trong đó có vật liệu cách điện và trong công nghiệp đã xuất hiện các dây truyền sản xuất tự động đem lại hiệu quả kinh tế cao.

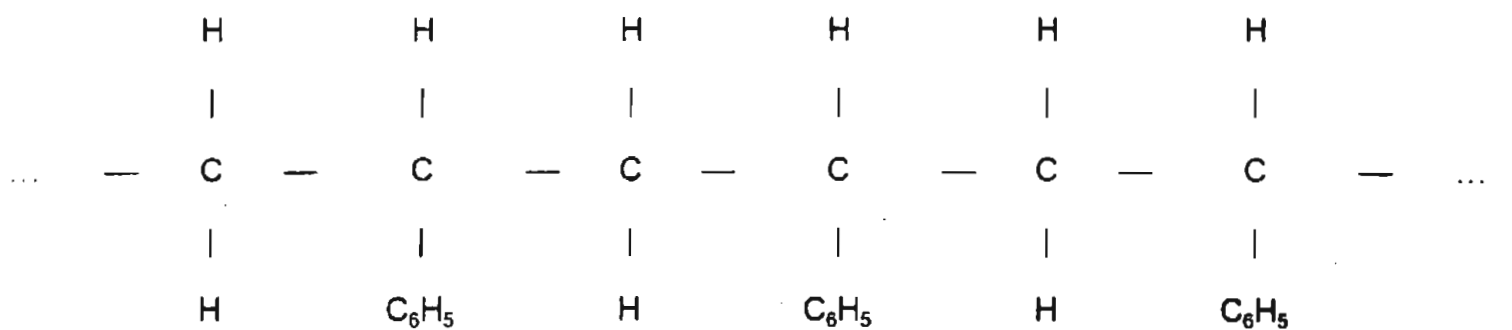
Về mặt hoá học thì đa số các liên kết cao phân tử là thuộc loại vật liệu trùng hợp, đó là những vật liệu mà phân tử của nó được tạo nên bởi sự tổng hợp một lượng rất lớn các nhóm nguyên tử có cấu trúc giống nhau và đơn giản được gọi là mônôme.

Phản ứng tạo thành polime từ mônôme được gọi là sự trùng hợp. Trong quá trình trùng hợp, các tính chất của các chất đó biến đổi theo quy luật nhất định, cụ thể là: khối lượng phân tử tăng lên, nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ sôi tăng, độ nhớt tăng; trong quá trình trùng hợp, chất có thể chuyển từ trạng thái khí hoặc lỏng sang trạng thái đặc của chất lỏng và sau đó cả trạng thái rắn, độ hoà tan giảm v.v...

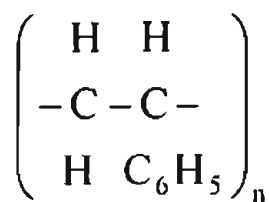
Stirol - là một hydrocacbon lỏng không bão hoà có thành phần nguyên tố C_6H_8 và cấu tạo phân tử:



Nhờ có mặt của mối liên kết kép khá yếu giữa hai nguyên tử cacbon nên stirol có khả năng trùng hợp dễ dàng và tạo thành polistirol - là chất rắn; phân tử của polistirol có cấu tạo như sau:



Hay có thể viết công thức cấu tạo phân tử của polistirol theo dạng:



Với n - là bậc trùng hợp. Nó là số phân tử mônôme trong một phân tử polime.

Bậc trùng hợp n của polistirol có thể đạt tới xấp xỉ 6000; khối lượng của phân tử stirol bằng $12,8 + 1,8 = 14,6$ còn khối lượng của polistirol đạt tới 624.000. Nhiệt độ nóng chảy của stirol là -33°C , còn nhiệt độ hoá dẻo của polistirol tăng lên đến $+75 \div 85^\circ\text{C}$.

Trong những điều kiện khác nhau quá trình trùng hợp diễn ra với tốc độ khác nhau. Chính vì vậy mà ta có thể điều chỉnh được tốc độ trùng hợp bằng cách thay đổi những điều kiện của quá trình trùng hợp. Để cho quá trình trùng hợp xảy ra nhanh ta có thể dùng biện pháp như: nâng cao nhiệt độ, chiếu ánh sáng, dùng chất xúc tác, chiếu phóng xạ ... Mặt khác trong điều kiện nhất định (tác dụng của nhiệt độ tương đối cao, gia công cơ khí v.v...) polime có thể tự phân huỷ thành những chất có bậc trùng hợp thấp hơn, thậm chí thành cả mônôme. Quá trình trái ngược với quá trình trùng hợp ấy được gọi là phản trùng hợp. Cũng có thể có những trường hợp trùng hợp phức tạp như sự đồng trùng hợp một số mônôme có thành phần khác nhau và sự đa ngưng. Đó là trường hợp không phải tất cả các nguyên tử của các phân tử mônôme đều tham gia vào thành phần của các phân tử polime được tạo thành mà đồng thời với sự tạo thành polime còn sinh ra nước hoặc những chất thấp phân tử khác.

Người ta chia các polime thành hai nhóm - polime đường thẳng và polime không gian.

Những phân tử của polime đường thẳng có hình dáng một chuỗi xích hoặc như một sợi chỉ cho nên tỷ số giữa chiều dài với kích thước chiều ngang của phân tử rất lớn, có thể đạt tới hàng ngàn. Ví dụ phân tử polistirol với $n = 6000$ có chiều dài khoảng $1,5 \cdot 10^4$ cm và chiều ngang là $1,5 \cdot 10^{-7}$ cm, những phân tử của các polime tự nhiên như xenlulôza và cao su có chiều dài khoảng 10^5 cm và chiều ngang là $10^{-8} \div 10^{-7}$ cm.

Những phân tử của các polime không gian phát triển đều hơn theo các hướng khác nhau. Vì vậy có dạng gọn hơn gần giống hình cầu.

Các tính chất của polime đường thẳng và của polime không gian rất khác nhau. Thông thường các polime đường thẳng khá mềm và co giãn tốt, khi nhiệt độ tăng lên vừa phải thì phần nhiều các polime đường thẳng hóa dẻo và sau đó nóng

chảy. Các polime không gian rất cứng, chúng chỉ hoá dẻo ở những nhiệt độ rất cao và có khi chưa đạt tới nhiệt độ hoá dẻo thì nhiều loại polime không gian đã bị phá huỷ về mặt hoá học (bị cháy, phồng rộp lên ...). Các polime đường thẳng thường có khả năng hoà tan trong những dung môi thích hợp; còn các polime không gian thì rất khó hoà tan, có nhiều loại không thể hoà tan được. Do cấu trúc phân tử nên các polime có khả năng chế tạo thành những sợi mảnh, dẻo và bền, có thể dùng để sản xuất các vật liệu dệt cũng như chế tạo các màng mỏng. Các polime đường thẳng với cấu trúc phân tử đủ dài có khả năng trên; còn các polime không gian không thể dùng để sản xuất ra sợi dệt cũng như màng dẻo được.

Các polime do sự trùng hợp tạo ra trong thực tế còn chia thành hai nhóm: các vật liệu nhiệt dẻo và các vật liệu nhiệt cứng.

Những vật liệu nhiệt dẻo khi nhiệt độ thấp ở trạng thái rắn nhưng khi được đốt nóng chúng trở thành mềm (dẻo) và dễ biến dạng. Chúng có thể hoà tan trong những dung môi thích hợp. Tính chất đặc biệt của các vật liệu nhiệt dẻo là khi bị nung nóng tới những nhiệt độ tương ứng với trạng thái dẻo của chúng thì không gây ra sự biến đổi không phục hồi tính chất của chúng. Nghĩa là sau khi làm nguội, các vật liệu ấy vẫn giữ được khả năng hoà tan và nếu được đốt nóng trở lại thì chúng lại mềm ra.

Trái ngược với các vật liệu nhiệt dẻo là các vật liệu nhiệt cứng, khi được đốt nóng thì thay đổi tính chất không phục hồi lại được, chúng bị cứng lại, tức là độ bền cơ học và độ cứng sẽ lớn hơn nhiều, đồng thời lại mất tính hoà tan và tính nóng chảy.

Từ nội dung vừa nêu ở trên ta thấy được sự khác nhau về bản chất hoá học của hai nhóm vật liệu đó. Các vật liệu nhiệt dẻo là những polime đường thẳng giữ được cấu trúc đường thẳng của các phân tử ngay cả khi nung nóng ví dụ như polystirol. Các vật liệu nhiệt cứng là những vật liệu chuyển sang cấu trúc mạng đặc tính của polime không gian khi bị đốt nóng; ví dụ stirol được bổ xung thêm divinylbenzôn thì lại là nhiệt cứng.

Nếu như chất cách điện khi vận hành cần phải chịu được ảnh hưởng của nhiệt độ cao mà không hoá dẻo, không biến dạng và giữ được độ bền cơ cao, hoặc nếu nó cần phải bền vững khi tiếp xúc với dung môi (ví dụ: cách điện của dây quấn trong máy biến áp ngâm dầu) thì dùng vật liệu nhiệt cứng thích hợp hơn. Các vật liệu nhiệt dẻo có những ưu điểm: phần nhiều là cơ giãn tốt hơn và ít giòn hơn so với vật liệu nhiệt cứng, chúng ít bị hoá già nhiệt; trong nhiều trường hợp công nghệ chế tạo vật liệu nhiệt dẻo nóng cũng đơn giản hơn. Ví dụ: politêrafloêtylen, polipropilen ... có thể dùng làm chất cách điện làm việc dưới nhiệt độ khá cao. Hiện nay các vật liệu nhiệt dẻo đã chiếm vào khoảng 70% tổng số các vật liệu polime được sử dụng trong công nghiệp điện toàn thế giới.

Tính hút nước, sức bền cơ, tính chất cách điện của các polime phụ thuộc nhiều vào thành phần hoá học và cấu tạo phân tử. Các chất của những phân tử polime có cấu tạo không đối xứng là những chất cực tính thường có tính hút ẩm (nước) cao, nhưng sức bền cơ của chúng thường cũng cao hơn so với các polime không cực tính khi bậc trùng hợp như nhau. Những hydrô cacbon cao phân tử thực tế là những chất không cực tính có độ hút nước rất nhỏ.

7.4.1.2. Nhựa cách điện

Nhựa có tên gọi của một nhóm các vật liệu có nguồn gốc và bản chất rất khác nhau nhưng có một số đặc điểm giống nhau về bản chất hoá học cũng như có một số tính chất vật lý chung. Ở nhiệt độ thấp đây là những chất vô định hình như dạng như thuỷ tinh với một độ giòn nhất định. Khi ở nhiệt độ cao, nhựa mềm ra, trở thành dẻo và sau đó hoá lỏng, như vậy nhiệt độ nóng chảy của nhựa không thể hiện rõ rệt.

Phần lớn các loại nhựa được sử dụng trong kỹ thuật cách điện không hoà tan trong nước và ít hút ẩm, nhưng chúng lại hoà tan trong các dung môi hữu cơ thích hợp. Thông thường nhựa có tính kết dính và khi chuyển từ trạng thái lỏng sang rắn nhựa sẽ gắn chặt vào vật rắn tiếp xúc với nó.

Nhựa được sử dụng khá rộng rãi trong nhiều ngành kỹ thuật rất khác nhau. Trong kỹ thuật cách điện chúng được dùng làm thành phần cấu tạo quan trọng nhất của nhiều loại sơn, các hỗn hợp, các chất dẻo, phim ảnh, các vật liệu xơ nhân tạo và xơ tổng hợp v.v...

Dựa theo nguồn gốc của các loại nhựa người ta chia ra thành các loại *nhựa tự nhiên, nhựa nhân tạo và nhựa tổng hợp*.

Nhựa tự nhiên là những chất do một số động vật (như cánh kiến) hoặc những loại cây có nhựa (như nhựa thông) tiết ra. Người ta khai thác chúng ở dạng đã có sẵn và chỉ làm một số khâu gia công không phức tạp lắm như: tẩy sạch, nấu chảy v.v... Nhựa khoáng sản (copan) cũng thuộc về loại này, đây là biến chất của những cây có nhựa nằm trong đất.

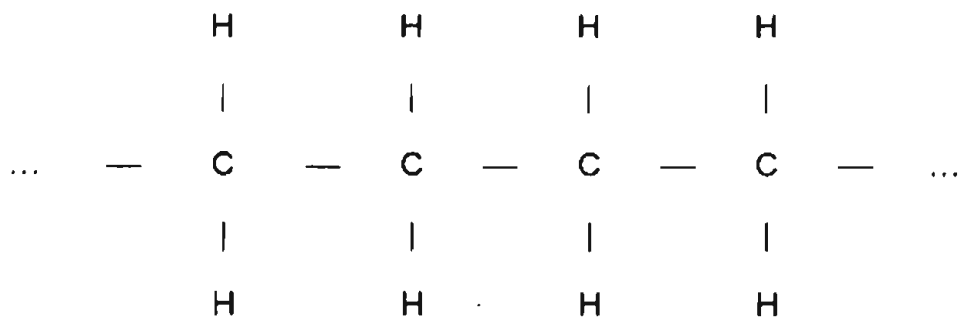
Trong thời gian gần đây, nhựa nhân tạo và nhựa tổng hợp trở nên rất quan trọng đối với kỹ thuật cách điện. *Dựa theo bản chất hoá học nhựa tổng hợp lại được chia nhỏ thành nhựa trùng hợp và nhựa ngưng tụ*. Đa số các loại nhựa trùng hợp là loại nhiệt dẻo, còn các loại nhựa trùng ngưng có thể là loại nhiệt cứng (ví dụ: nhựa poliamit; nhựa nôvôlac ...). Về mặt cách điện thì nhựa ngưng tụ có nhược điểm là khi hoá cứng sẽ sinh ra nước và các chất phân tử thấp lẫn trong nhựa làm cho tính chất cách điện của nhựa kém đi. Ngoài ra, trong nhựa ngưng tụ có chứa các nhóm cực tính làm tăng tổn hao điện môi và độ hút ẩm; còn nhựa trùng hợp có thể

là không cực tính và có tính cách điện tốt hơn (ví dụ: hydrô cacbon, politetrafloetilen).

Dưới đây sẽ xét cụ thể một số loại nhựa tổng hợp và nhựa tự nhiên được sử dụng trong kỹ thuật điện.

1) Polyêtilen

Polyêtilen là chất trùng hợp của êtylen có cấu tạo phân tử như sau:



Khối lượng phân tử của polyêtilen vào khoảng $15000 \div 60000$ hay cao hơn. Tùy thuộc vào quá trình trùng hợp người ta sản xuất ra polyêtilen có tỷ trọng từ 0,92 - 0,93 (polyêtilen tỷ trọng thấp hơn khi dùng áp suất cao) đến $0,94 \div 0,96 \text{ G/cm}^3$ (polyêtilen tỷ trọng cao hơn khi dùng áp suất thấp).

Polyêtilen có đặc tính cơ tốt, có độ trong suốt cao đối với các tia sáng nhìn thấy được và các tia cực tím chịu được axit và kiềm. Polyêtilen được sử dụng rộng rãi trong cuộc sống hàng ngày. Hàng năm trên thế giới sản xuất ra khoảng 2 triệu tấn polyêtilen, trong đó có trên 10% polyêtilen dùng để làm cách điện cho cáp điện tần số cao và cáp điện lực điện áp cao làm việc trong môi trường ẩm.

Tính chịu nhiệt của polyêtilen bị hạn chế bởi vì khi bị đốt nóng độ bền cơ giảm nhanh và sẽ có hiện tượng ôxy hoá nếu có không khí lọt vào. Polyêtilen tỷ trọng cao thì có độ bền cơ lớn hơn và có nhiệt độ hoá dẻo cao hơn loại có tỷ trọng thấp. Để nâng cao một cách đáng kể độ bền nhiệt của polyêtilen có thể cho nó chịu tác dụng của bức xạ ion hoá, vì khi bị chiếu xạ phân tử polyêtilen tạo ra được cấu trúc không gian làm cho nó cứng hơn. Polyêtilen đã được chiếu xạ ở trạng thái bị biến dạng khi đốt nóng lên nó có khả năng phục hồi hình dáng và kích thước của sản phẩm trước khi chiếu xạ. Tính chất này được gọi là tính đàn hồi nóng và được ứng dụng để chế tạo các ống, các hộp nối cách điện, khi lắp đặt xong và được đốt nóng thì chúng ngót lại khá nhiều, điều đó làm cho chất cách điện ép rất chặt vào vật dẫn.

Ngoài sự chiếu xạ còn có phương pháp thuận tuý hoá học để thu được polyêtilen có các phân tử cấu trúc không gian bằng cách cho thêm $1 \div 3\%$ perôxít hữu cơ vào vật liệu. Phương pháp này thường được thực hiện trong các lò tác động liên tục dưới áp suất và nhiệt độ cao sẽ rẻ tiền hơn và thuận lợi hơn so với phương pháp nối poliêtilen bằng cách chiếu xạ.

Những tính chất của polyêtilen được trình bày ở bảng 7.3.

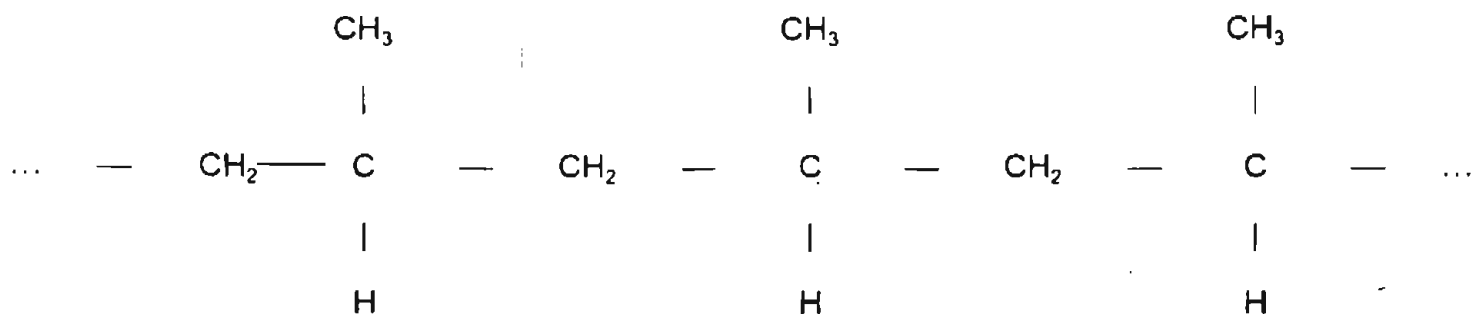
Bảng 7.3. Đặc tính của các loại nhựa tổng hợp điển hình

Phân loại nhựa theo bản chất lý hoá của chúng	Tên nhựa	Tỷ trọng G/cm ³	Giới hạn bền kéo KG/cm ²	Độ giãn dài tương đối khi kéo đứt %	Độ chịu nóng °C	Nhiệt dẫn suất w/ độ.cm	Hệ số giãn nở nhiệt theo chiều dài TKI.10 ⁵ 1/°C	Độ thấm nước sau 24 giờ, %	ρ.Ω.cm	ε	tgδ	E KV/m m						
													Hữu cơ	Ba tư	Nhiệt cứng	Trung tính		
																	Trung hợp	Trung tính
	Polietilen	0,91-0,97	100-150	300-750	90-120	3	16-18	0,01	10 ¹⁵ -10 ¹⁷	2,3-2,4	0,0001-0,0005	15-20						
	Polistiro	1,05	350-600	1-4	70-90	0,8	6-8	0,04	10 ¹⁶ -10 ¹⁷	2,4-2,6	0,0001-0,0003	20-35						
	Politetrafloé tilen	2,3	150-300	250-300	250	3,4	10	0,01	10 ¹⁷ -10 ¹⁸	1,9-2,2	0,0001-0,0002	20-30						
	Polivinylclor it	1,4-1,7	300-500	50-150	60-70	0,8	5-8	0,1	10 ¹⁵ -10 ¹⁶	3-5	0,03-0,08	15-20						
	Polimetylme tacrilat	1,2	400-700	2-10	70-90	2	9	0,35	10 ¹³ -10 ¹⁴	3,5-4,5	0,02-0,08	20-35						
	Poliamit	1,1-1,15	700-900	90	100-120	3	10-13	1,5	10 ¹³ -10 ¹⁴	3-4	0,015-0,035	15-20						
	Epôxi	1,1-1,25	800-900	-	120-140	2	6-6,5	0,1	10 ¹⁴ -10 ¹⁵	3-4	0,01-0,03	20-80						
	Phênolfôcm aldehyt	1,25-1,3	500-550	1-1,5	110-120	2	4-7	0,15	10 ¹³ -10 ¹⁴	5-6,5	0,01-0,1	10-20						
	Polyeste	1,1-1,45	250-270	5-10	110-150	1,7	8-10	0,1-0,6	10 ¹³ -10 ¹⁶	3-4,5	0,002-0,02	15-20						
	Silic hữu cơ	1,6-1,75	200-500	-	180-220	0,8	10,5	0,1	10 ¹⁴ -10 ¹⁵	3-5	0,01-0,03	15-20						

2) Poliprôpilên

Propilen $H_2C = CH - CH_3$ là một đồng đẳng của dãy êtilen hydrocacbon.

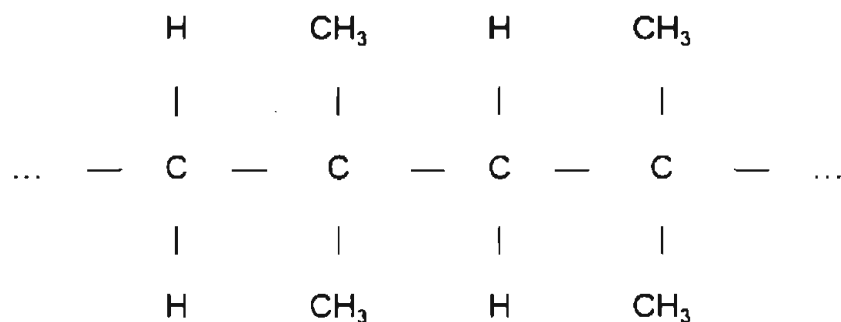
Poliprôpilên là polime của các mônômê đó có công thức cấu tạo như sau:



Qua công thức cấu tạo ta thấy các nhóm bên cạnh CH_3 và các nguyên tố H được phân bố trong không gian theo một quy luật đặc biệt. Poliprôpilên là một chất trùng hợp mới có tỷ trọng $0,90 \div 0,91 \text{ G/cm}^3$, rất dẻo (độ giãn dài khi đứt là 500 - 700 %). Tính chất cách điện của nó tương đương với poliprôpilên, nhưng độ bền nhiệt cao hơn nhiều: nhiệt độ hoá dẻo của poliprôpilên vào khoảng 165 đến 170°C.

3) Poliizobutilên

Cấu tạo phân tử của poliizobutilên có dạng như sau:



Đây là chất trùng hợp của izobutilên $H_2C = C(CH_3)_2$. Poliizobutilên cao phân tử (có khối lượng phân tử tới 400.000) là một chất giống như cao su, rất dính và có khuynh hướng chảy nguội ngay cả khi phụ tải cơ rất nhỏ. Nó có tính chịu lạnh tốt (ở nhiệt độ -80°C vẫn giữ được tính dẻo). Tỷ trọng của poliizobutilên là 0,91-0,93 G/cm^3 ; nó có độ bền hoá học và độ hút ẩm nhỏ gần giống như polietilen và poliprôpilên.

Để tăng thêm độ cứng người ta thường trộn poliizobutilên với các chất trùng hợp khác như polietilen. Độ thấm ẩm của poliizobutilên rất nhỏ, cho nên gần đây người ta chế tạo các polime tổng hợp thay thế cho các vỏ bọc của cáp là chì hay nhôm mà trước đây hay dùng.

4) Polistirol

Polistirol nhận được bằng cách trùng hợp stirol. Stirol thì được tạo ra bằng phương pháp tổng hợp hoặc nó là sản phẩm phụ khi trung khô than đá. Stirol rất dễ trùng hợp ngay cả khi để nó ở nhiệt độ bình thường, trong bóng tối và không cần

chất xúc tác. Polistirol nhận được trong suốt giống như thủy tinh dạng khối mang hình dạng của bình chứa nó hoặc là trong nhũ tương nước (polistirol nhũ tương).

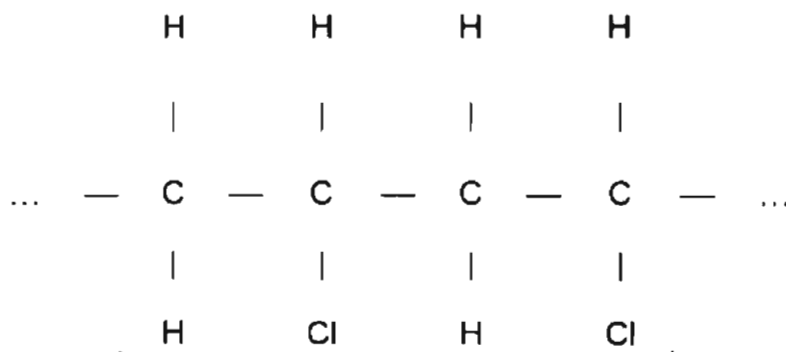
Polistirol khối rất sạch, nó có thể đem chế biến như chất dẻo hoặc cũng có thể gia công bằng cơ khí. Polistirol nhũ tương có tính cách điện và tính chịu nhiệt thấp hơn polistirol khối song không nhiều, nó được dùng để sản xuất bột ép, sơn v.v...

Những tính chất của polistirol cho ở bảng 7.3. Nhược điểm của polistirol là: trong nhiệt độ thấp thì khá giòn, có khuynh hướng dần dần tạo ra vết nứt trên bề mặt, kém bền đối với dung môi nhất là hydrocacbon lỏng, tính chịu nhiệt không cao (nhiệt độ hoá dẻo ở khoảng 70-80°C) thấp hơn nhiều so với poliêtilen. Để giảm những nhược điểm này người ta thường pha thêm vào polistirol loại cao su tổng hợp, nhưng trị số tgđ của vật liệu tạo ra vẫn còn cao.

Công dụng của polistirol là dùng làm điện môi trong kỹ thuật cao tần và siêu cao tần vì nó có tổn hao điện môi bé, nó dùng làm vỏ bọc các cuộn dây, các chi tiết và cách điện cáp cao tần. Polistirol cũng được dùng làm sơn, hỗn hợp cách điện, màng mỏng để chế tạo tụ điện ... (vì có điện trở cách điện cao và tgđ bé).

5) Polivinylclorít

Polivinylclorít là sản phẩm rắn của sự trùng hợp mônôme vinylclorít (clovinyl) $H_2C = CH-Cl$ ở dạng khí. Chất này có thành phần cơ bản là $(C_2H_3Cl)_n$ và cấu tạo phân tử là:



Do cấu tạo không đối xứng nên polivinylclorít là điện môi cực tính và có tính năng kém hơn các polime trung tính. Ví dụ: ở nhiệt độ bình thường tgđ của policlovinyl lớn hơn polistirol khoảng 100 lần. Độ ẩm có ảnh hưởng rất nhỏ đến điện trở suất khối của policlovinyl ($\rho_v > 5 \cdot 10^{15} \Omega \cdot cm$ khi $\phi = 90\%$) nhưng lại ảnh hưởng rõ rệt đến điện trở suất mặt của vật liệu. Policlovinyl rất bền đối với tác dụng của nước, kiềm, các axit loãng, dầu, xăng và rượu. Nó được dùng rộng rãi trong kỹ thuật và trong đời sống để sản xuất ra các chất dẻo khác nhau và các sản phẩm giống như cao su, dùng làm cách điện cho dây dẫn, cho vỏ bọc của cáp, để sản xuất ra bình ác quy v.v...

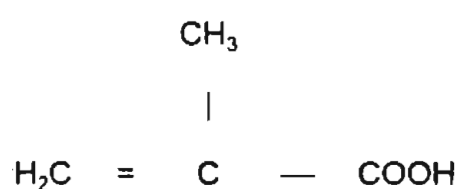
Để làm cho policlovinyl có tính dẻo và tính chịu lạnh tốt hơn người ta thường cho thêm chất tăng dẻo, đó là những chất lỏng hữu cơ khó bay hơi thường có cực

tính mạnh nên có thể làm cho tính cách điện của policlovinyl bị xấu đi. Ví dụ: policlovinyl không được làm dẻo có $\epsilon = 3,2 \div 3,6$ ở nhiệt độ bình thường, còn khi đã được làm dẻo thì $\epsilon = 5-6$; tgđ của policlovinyl đã được làm dẻo có thể đạt tới 0,10 - 0,15.

Ngoài ra người ta còn clo hoá thêm cho policlovinyl để làm tăng độ hoà tan của nó (trong sản xuất sơn, sợi tổng hợp) tức là tăng hàm lượng clo trong policlovinyl so với lượng clo có trong công thức đã nêu ở trên, khi đó thu được chất gọi là perclovinyl.

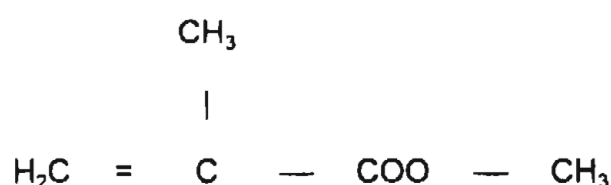
6) Poliacrilat

Poliacrilat là chất trùng hợp các este của axit acrylic $H_2C = CH - COOH$ và của axit metacrilic:



Đó là những điện môi cực tính có tính chịu lạnh, chịu dầu và chịu kiềm tốt. Tùy theo số lượng gốc rượu trong phân tử mônôme este mà chúng có những tính chất cơ: độ bền, độ rắn, độ dẻo khác nhau.

Chất trùng hợp phổ biến nhất trong các poliacrilat là polimetilmetacrilat. Đó là chất trùng hợp este metilic của axit metacrilic:

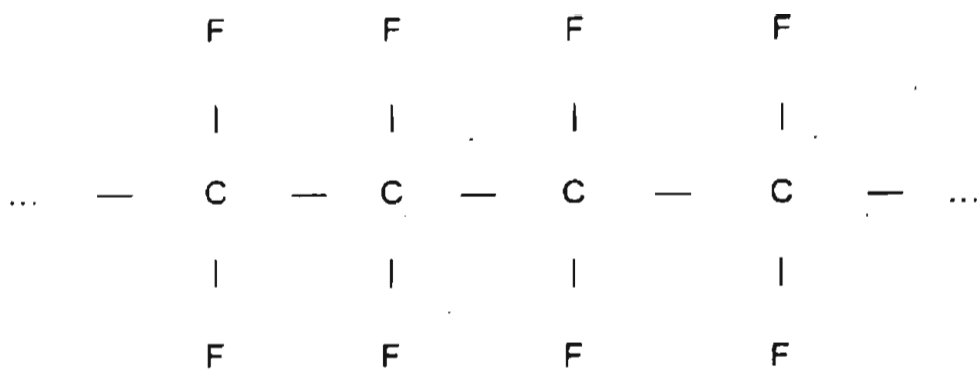


Người ta còn gọi nó là "thuỷ tinh hữu cơ" - là vật liệu không màu, trong suốt được dùng làm vật liệu kết cấu, vật liệu cho các tạp phẩm khác nhau ... Khi chịu tác dụng của hồ quang điện nó thải ra một lượng khí lớn (CO, H_2, H_2O, CO_2), vì vậy được dùng làm vật liệu dập hồ quang trong các cầu chì cao áp hay chống sét ống

7) Vật liệu nhựa flo hữu cơ

Để hoàn thiện loại điện môi hữu cơ, nâng cao những tính chất của chúng người ta chế tạo ra vật liệu hữu cơ trong đó có nguyên tố flo (F) thay thế cho hydro, kết hợp với nguyên tố cacbon (C) tạo nên một liên kết rất ổn định có độ bền điện và độ bền chịu nhiệt cao.

Trong số các loại nhựa flo hữu cơ trước hết phải nói đến politetrafloêtilen. Nó được điều chế bằng cách trùng hợp tetrafloêtilen $F_2C_2 = C_2F_2$ và có cấu tạo phân tử như sau:



Vì có cấu tạo đối xứng nên phân tử politetrafloêtilen không cực tính. Ở Liên Xô (cũ) gọi là teflon - 4, ở các nước khác gọi là teflon, nhựa daiflon v.v...

Teflon - 4 có độ bền nhiệt cao (khoảng $+250^{\circ}\text{C}$) điều đó có thể giải thích là do sự liên kết C - F có năng lượng lớn (124 kcal/mol) và các nguyên tử F có tác dụng màn chắn đối với sự liên kết giữa các nguyên tử C. Ngoài ra nó còn bền chặt về mặt hoá học, có thể còn trọi hơn vàng và bạch kim. Teflon - 4 hoàn toàn không cháy được, trên thực tế hoàn toàn không hút ẩm, không dính nước và các chất lỏng khác. Các chất dính thông thường không dính được vào teflon - 4, nó chỉ dính sau khi đã sử lý mặt ngoài bằng dung dịch natri kim loại trong amôniac không có nước ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ hoá lỏng của amôniac. Teflon - 4 là vật liệu hữu cơ duy nhất được xếp vào cấp chịu nhiệt là cấp C.

Ta có thể liệt kê một số đặc tính của nhựa teflon - 4 như sau: nhựa teflon - 4 là vật liệu nửa trong suốt màu trắng hoặc xám nhạt; tỷ trọng của nó ($2,1 - 2,3 \text{ G/cm}^3$) lớn hơn tỷ trọng của các chất trùng hợp hữu cơ thông thường. Vật liệu này khá mềm và có khuynh hướng chảy nguội; giới hạn độ bền kéo của nó là 140-250 kG/cm²; ứng suất dai va đập lớn hơn 100 kG/cm²; độ bền chịu uốn là 110-140 kG/cm²; độ rắn theo Brinen là 3 - 4kG/mm². Theo tính chất cách điện thì teflon - 4 được xếp vào loại tốt nhất trong các điện môi đã biết, đặc biệt là khi làm việc trong môi trường tần số cao và siêu cao; trong dải tần số từ 50 đến 10^{10} Hz thì ϵ của nó đạt tới $1,9 \div 2,2$; $\text{tg}\delta = 0,0001-0,0003$; $\rho = 10^{18} \Omega\cdot\text{cm}$. Ở nhiệt độ thấp -80°C vật liệu teflon - 4 vẫn giữ được tính dẻo, nếu là các màng mỏng thì dưới -100°C vẫn còn dẻo.

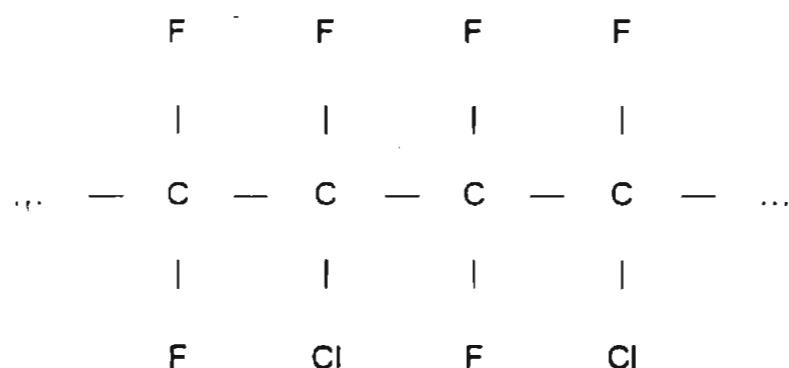
Trong những điều kiện nhất định teflon - 4 có thể chế biến thành tấm, chế tạo thành các sản phẩm có hình dáng khác nhau, thành những lá, màng dẻo, cách điện cho cáp ... Những tính chất này của teflon - 4 cho phép sử dụng trong những trường hợp cần thiết và quan trọng khi cách điện đồng thời chịu tác dụng của nhiệt độ cao hoặc thấp, của môi trường có hoạt tính hóa học hơi ẩm cao v. v... Vì teflon - 4 đắt tiền nên nó không được sử dụng rộng rãi. Cần chú ý rằng khi ở nhiệt độ cao hơn $+375^{\circ}\text{C}$ teflon - 4 bắt đầu thải ra khí flo là loại khí độc và hoạt tính hoá học.

Politetrafloêtilen có độ bền bức xạ không đáng kể, nên khi chịu tác dụng của bức xạ ion hoá có thể bị mất độ bền cơ và có thể biến thành bột. Vật liệu này không

bền khi bị tác động của vầng quang điện, vì vậy sử dụng nó trong các thiết bị điện cao áp gặp nhiều khó khăn, đặc biệt là ở điện áp xoay chiều. Teflon - 4 bị hoá già nhanh dưới tác dụng của vầng quang hay khi bị bắn phá các ion có năng lượng cao. Khi bị hoá già trong điện trường và không có vầng quang thì độ bền điện của teflon giảm xuống 6-7KG/mm và sau đó luôn giữ ở mức ấy.

8) Politrifrocloêtilen (Teflon - 3)

Teflon - 3 có cấu tạo phân tử:



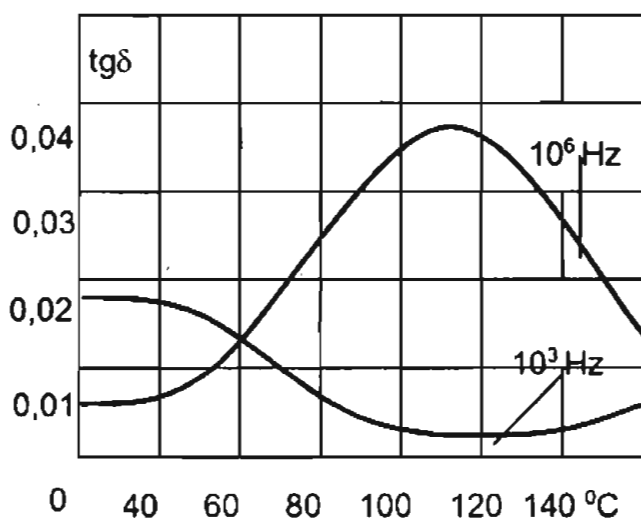
Là chất trùng hợp của triflocloetilen $\text{F}_2\text{O} = \text{CFCl}$ được sản xuất ở Liên Xô (cũ) với tên gọi là nhựa teflon - 3. Loại nhựa có những tính năng kém hơn teflon - 4 nhưng công nghệ chế tạo lại đơn giản hơn.

Teflon - 3 có tỷ trọng là $2,14 \text{ G/cm}^3$, độ bền chịu kéo $300-400 \text{ kG/cm}^2$; độ dãn dài tương đối khi đứt $125-200\%$; độ bền uốn $600 - 800 \text{ kG/cm}^2$; ứng suất dai va đập $20-30 \text{ kG/cm}^2$, độ cứng theo Brinen $10-13 \text{ kG/mm}^2$. Độ bền nhiệt của teflon - 3 kém hơn teflon - 4, nhiệt độ hoá dẻo của teflon - 3 vào khoảng $+190^\circ\text{C}$.

Vì cấu tạo phân tử không đối xứng nên teflon - 3 là điện môi cực tính nên quan hệ của tgδ với nhiệt độ ở tần số khác nhau được biểu diễn ở hình 7-7. Hằng số điện môi của teflon - 3 ở tần số thấp khoảng 3,3 còn khi $f = 1 \text{ MHz}$ là 2,7, điện trở suất khối $\rho = 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$. Nhiệt độ phân huỷ cao hơn $+315^\circ\text{C}$. Độ bền hoá học của teflon - 3 rất cao song vẫn thấp hơn teflon - 4, nhưng độ bền bức xạ lại cao hơn teflon - 4.

9) Nhựa tổng hợp nhiệt dẻo

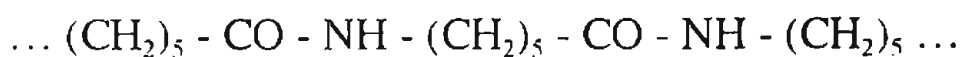
a) Nhựa poliamit: Có các phân tử hình xích do một số nhóm - CH_2 - và một số nhóm peptit - $\text{CO} - \text{NH}$ - lặp đi lặp lại nhiều lần tạo thành. Nó có độ bền cơ và độ dẻo rất cao, chỉ hoà tan trong một số điện môi như crezol và trong phenol nóng chảy.



Hình 7-7. Quan hệ $\text{tg}\delta = f(t)$ của Teflon -3 khi tần số là 10^3 và 10^{10} Hz .

Poliamít được sử dụng rộng rãi để chế tạo sợi tổng hợp, màng dẻo và các chất dẻo. So với nhiều loại poliamit có tính hút ẩm tương đối cao, dễ biến dạng ở nhiệt độ cao, kém bền đối với phóng xạ và ánh sáng.

Trong một số loại nhựa có capron được sử dụng rộng rãi (ở Tiệp gọi là silon, ở Đức gọi là dederon) có cấu tạo phân tử:



có nhiệt độ hoá dẻo ở 215 - 220°C. Còn nhựa nilon cũng có tầm quan trọng lớn với độ hoá dẻo cao hơn một ít và có cấu tạo phân tử như sau:



Nói chung những chất trùng hợp được cải tiến (có cho thêm các gốc thơm làm chất độn, các nguyên tử clo v.v...) thì dễ gia công hơn. Một số trong các vật liệu đó có thể làm việc lâu dài ở nhiệt độ cho phép khoảng 250-300°C và đồng thời có tính chịu lạnh hiếm có.

b) Poliurêtan

Là những chất trùng hợp đường thẳng. Trong dây mắt xích các phân tử của chúng có những nhóm - NCOO - phân bố vào giữa những gốc hydrocacbon. Vì vậy mà poliurêtan phối hợp ở mức độ nhất định những tính chất của poliamit chứa những nhóm - NHCO- và polieste chứa nhóm - COO-. Trong những điều kiện nhất định poliurêtan có thể tạo ra cả những phân tử có cấu trúc không gian.

Poliurêtan dùng để làm dây êmay, nó chịu được nhiệt độ cao hơn so với dây dẫn bọc bằng sơn polivinylaxetol nhưng lại kém hơn dây bọc bằng polieste. Đặc điểm cơ bản của các dây êmay tráng poliurêtal là chúng có khả năng tráng thiếc không cần cạo sạch lớp êmay. Có thể nhúng ngay đầu dây dẫn chưa cạo vào trong chất hàn nóng chảy hoặc khi gia công trực tiếp bằng mỏ hàn. Vì vậy, loại dây êmay này rất thuận tiện cho việc lắp các dụng cụ điện tử và kỹ thuật radiô, những thiết bị máy tính ... Nhược điểm của nó là tính dẻo nóng khá cao, điều này gây nguy hiểm cho cách điện khi xảy ra ngắn mạch.

10) Nhựa fênolfomandêhyt

Loại nhựa này là sản phẩm của sự đa ngưng tụ fênol $\text{C}_6\text{H}_5 - \text{OH}$ (hoặc crezol $\text{H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$ và các chất tương tự), bằng cách đun nóng dung dịch nước fênol và fomandêhyt trong lò kín có sự tham gia của chất xúc tác. Khi kết thúc phản ứng, từ trong dung dịch trước đó vốn là trong suốt tách ra một chất màu nâu nhạt và lắng xuống đáy lò, đó chính là nhựa fênolfomandêhyt.

Người ta có thể chế tạo ra nhựa fênolfomandêhyt loại nhiệt cứng và loại nhiệt dẻo. Nếu cứ một phân tử gam fênol có ít nhất một phân tử gam fomandêhyt tham gia vào phản ứng tạo thành nhựa nhiệt cứng và có tên gọi là bakêlít. Trong chế tạo

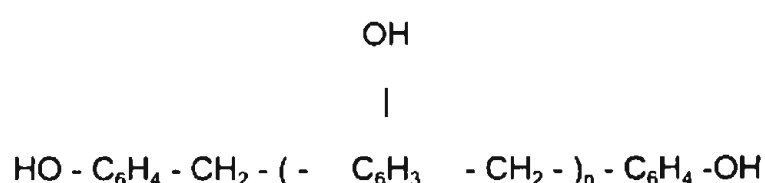
bakêlít người ta dùng chất xúc tác kiềm, thường là amoniac (đối với nhựa cách điện), loại xúc tác này sẽ không để lại tạp chất có tính điện phân trong nhựa. Kết quả của phản ứng thu được nhựa bakelít cấp A (rezol) ở trong lò nấu nhựa, nó có tính chất nóng chảy (nhiệt độ hoá dẻo 55-80°C) và dễ hoà tan trong rượu và axêton. Nếu bị đốt nóng rezôn sẽ trùng hợp thêm, khi đó chuyển qua cấp chịu nhiệt là cấp B, có những tính chất trung gian để chuyển sang hẳn cấp C. Trên thực tế, sự chuyển từ cấp A sang cấp C đòi hỏi nhiệt độ không được dưới 110-140°C, nhiệt độ càng cao thì chuyển càng nhanh. Ở nhiệt độ 160°C nó chỉ diễn ra trong vòng 1-3 phút. Việc tăng áp suất cũng làm cho bakêlít chóng đông đặc. Bakêlít cấp C không nóng chảy, chỉ khi đốt nóng tới nhiệt độ khá cao thì chỉ bị phồng lên rồi bị cháy, nó không hoà tan được nên bakêlít là chất cách điện nhiệt cứng tốt.

Vật liệu cách điện bằng chất bakêlít có độ bền cơ học cao, ít co dãn, nhưng có một nhược điểm là dễ tạo vết trên bề mặt nhất là khi bị tác động của hồ quang khi phóng điện. Người ta thường dùng bakêlít để tẩm gỗ và các vật liệu khác trong việc chế tạo các chất dẻo nhiều lớp như hêtinac, téctôlít v.v...

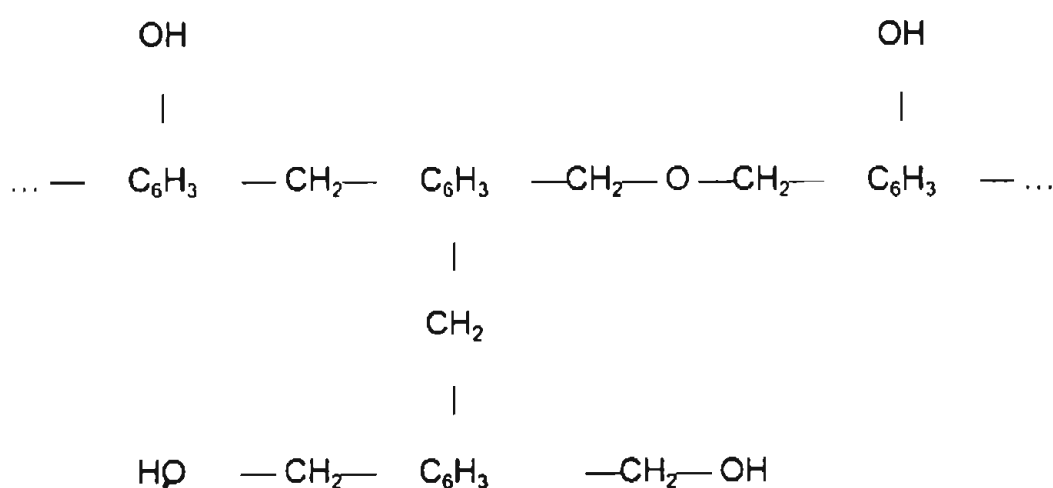
Khi nấu nhựa có fêmol và fomandêhýt dùng chất xúc tác là axít clohydric ta thu được loại nhựa novôlac. Novôlac là loại nhựa nhiệt dẻo, sau khi được đun nóng nó vẫn giữ được tính nóng chảy và hoà tan. Novôlac được dùng rộng rãi trong sản xuất ra chất dẻo (bột ép).

Nếu cho thêm fomandêhýt hoặc urotropin $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ vào nhựa novôlac sẽ tạo thành nhựa nhiệt cứng và được ứng dụng nhiều trong kỹ thuật sản xuất chất dẻo.

Công thức của nhựa novôlac có thể viết dưới dạng tổng quát như sau:



Còn công thức của nhựa bakêlít như sau;



Do có các nhóm hydroxít - OH trong các phân tử nên nhựa fêmol fomandêhýt có cực tính. Nhựa bakêlít có tính cách điện kém ($\rho \approx 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$); khi nhựa đóng rắn

lại có tính cách điện khá hơn $\rho_v = 10^{13} \div 10^{14} \Omega.cm$; $\rho_s = 10^{13} \Omega$. Tỷ trọng của bakêlít là $1,5 G/cm^3$, độ ẩm là 0,1%.

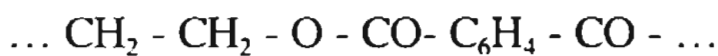
Người ta sản xuất nhựa cacbarnit fomandêhýt và nhựa melamin fomandêhýt bằng cách đa ngưng tụ fomandêhýt cùng với cacbarnit $(NH_2)_2CO_2$, melamin $C_3H_6N_6$ và các dẫn xuất của chúng. Các loại nhựa này có tính chống lại sự tạo vết và có khả năng bám dính cao nên chúng được dùng vào việc sản xuất chất dẻo, sơn, keo v.v...

11) Nhựa polieste

Polieste là sản phẩm của sự đa ngưng tụ các loại rượu và axit khác nhau (hoặc anhydrit của chúng). Chúng có nhiều loại và các tính chất khác nhau. Các loại nhựa thu được từ các loại rượu hai nguyên tử glicol có hai nhóm hydroxít - OH trong phân tử và từ các axit hữu cơ hai gốc có hai nhóm cacboxít - COOH trong phân tử là những chất nhiệt dẻo. Còn loại nhựa thu được từ rượu ba nguyên tử và loại axit có ít nhất là hai gốc là những chất có tính nhiệt cứng.

Nhựa gliptan nhận được bằng cách đa ngưng tụ rượu ba nguyên tử glixerin $H_2C.OH - CHOH - CH_2.OH$ và anhydrit ftalat có nhiệt độ đông rắn và thời gian lớn hơn so với bakêlít. Gliptan có ưu điểm trội hơn bakêlít là tính đàn hồi, độ dính, độ bền hoá già vì nhiệt và độ bền chống sự tạo vết. Gliptan khi chưa đông rắn hoà tan trong hỗn hợp rượu với benzen trong axêton và trong một số dung môi khác; khi gliptan đã hoàn toàn đông rắn thì lại rất bền đối với dung môi. Trong công nghiệp điện nhựa gliptan được dùng để dán mica thành băng mica hay micamít và để tấm cách điện của máy điện và thiết bị điện.

Một chất trùng hợp nhiệt dẻo đáng quan tâm trong công nghiệp điện là polietilenterefalat. Chất này thu được bằng cách đa ngưng tụ glicol $HO.CH_2 - CH_2 - OH$ và axit tereftalic $HOOC-C_6H_4-COOH$ và có cấu tạo phân tử như sau:



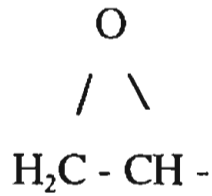
Khi có khối lượng phân tử vào khoảng 30.000 thì polietilenterefalat có độ bền cơ học rất tốt và nhiệt độ hoá dẻo cao (khoảng $+260^\circ C$). Đây là vật liệu rất quý, được dùng để chế tạo sợi tổng hợp, băng dẻo để cách điện cho các dây émay và dùng vào các mục đích khác. Ở Liên Xô (cũ) sản xuất ra với tên gọi là lapsan, còn các nước khác có tên gọi là "mailar", "khostafan", khi sản xuất sợi thì gọi là "terilen", "terin", "dacron" ... Ở nhiệt độ cao polietilenterefalat bị ôxy hoá khá mạnh trong không khí, vì vậy khi đốt nóng để làm dẻo vật liệu phải tiến hành trong khí nitơ.

Nhựa polieste không hoá già có tầm quan trọng lớn trong kỹ thuật điện. Nó là sản phẩm của sự đa ngưng tụ glicol hoặc rượu nhiều nguyên tử với axit không già hoặc các anhydrit của chúng (anhydritftalic, anhydritmaleic). Các loại nhựa này

được dùng rộng rãi để sản xuất ra các hợp chất nhiệt cứng để cách điện cho các máy điện và thiết bị điện hay để gắn các chất dẻo khi cần nhiều lớp v.v... Phần lớn các loại nhựa này có tính cách điện và tính chịu nóng tốt.

12) Nhựa êpoxi

Nhựa êpoxi được đặc trưng bởi sự có mặt của nhóm êpoxi ở trong phân tử:



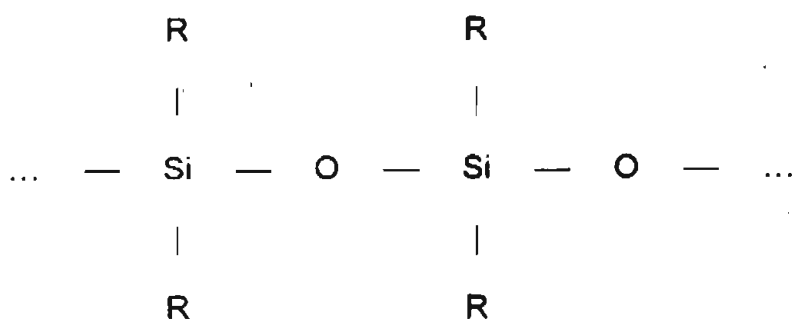
Ở trạng thái ban đầu loại nhựa này có cấu trúc mạch thẳng, tại mỗi đầu mút của phân tử mạch thẳng kết thúc bằng một nhóm êpoxi. Nó là một chất lỏng nhớt, có thể hoà tan trong axêton và trong các dung môi thích hợp khác. Nó có thể được bảo quản lâu dài ở dạng tinh khiết mà không bị biến đổi tính chất. Nhưng sau khi đã cho thêm chất đóng rắn vào thì nhựa êpoxi cứng lại khá nhanh đồng thời chuyển thành cấu trúc không gian. Quá trình hoá cứng là sự trùng hợp thuần tuý không có hiện tượng đa tụ, tức là không có nước hoặc các chất thấp phân tử khác thoát ra và tạo thành nguyên khối cách điện đồng đều không thấm nước.

Tùy theo chất đóng rắn mà sự hoá cứng của êpoxi có thể diễn ra ở nhiệt độ bình thường hay phải đun nóng từ 80-150°C và áp suất bình thường hay áp suất cao. Khi đóng rắn ở áp suất cao cho thu được chất cách điện có độ bền cơ cao hơn. Khi cứng lại độ co ngót của nhựa êpoxi khá nhỏ (0,5-2%); lực bám dính rất cao vào nhiều loại vật liệu khác nhau như: chất dẻo, thuỷ tinh, sứ, kim loại ... Đây chính là ưu điểm lớn của nhựa êpoxi. Nhựa êpoxi khi đã đóng rắn có khả năng chịu nhiệt tốt, trong nhiều trường hợp êpoxi có thể thay thế cho nhựa silic hữu cơ là loại nhựa đắt tiền và có độ bền cơ học không cao.

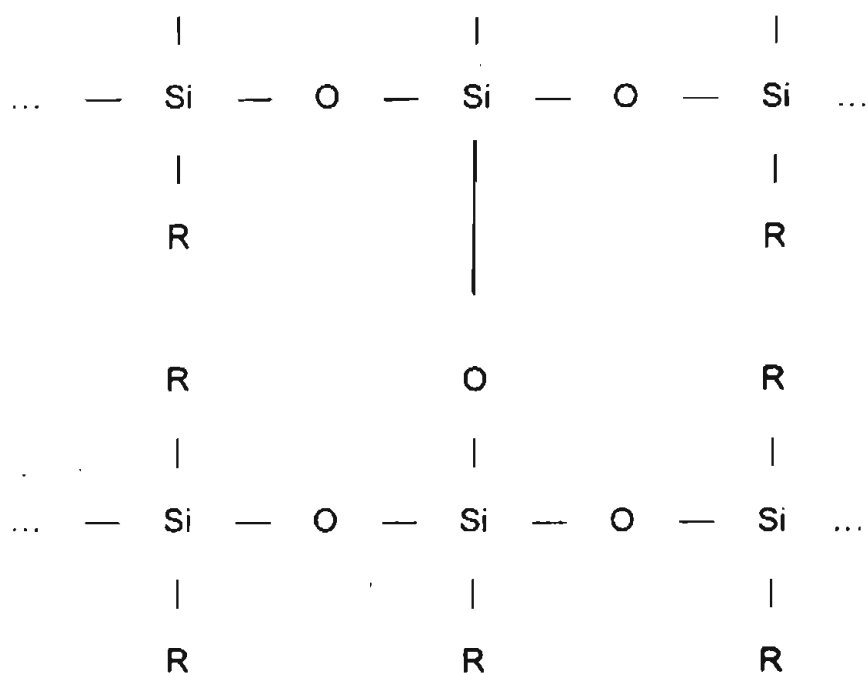
Trong thực tế người ta dùng riêng nhựa êpoxi hoặc hỗn hợp với các vật liệu khác để sản xuất keo dán, sơn, hợp chất để đổ rót vào máy biến áp nhỏ hay các đầu nối thiết bị, hộp nối đầu cáp điện lực v.v... Có nhiều loại nhựa êpoxi có tác dụng độc hại đối với cơ thể con người, gây ra bệnh ngoài da, nhưng khi đã hoá cứng thì lại không độc, do vậy trong quá trình chế tạo thiết bị cần có biện pháp bảo hộ lao động thích hợp.

13) Nhựa silic hữu cơ (silicon)

Trong thành phần của nhựa silicon ngoài cacbon là chất đặc trưng cho polime hữu cơ còn có silic là một trong những thành phần cấu tạo quan trọng nhất của nhiều điện môi vô cơ như: mica, amiăng, một số thuỷ tinh, vật liệu gốm v.v... Trong cấu tạo phân tử của silicon có khung silic ôxy làm nền tảng. Polime silic hữu cơ có thể là chất nhiệt dẻo và có cấu trúc mạch thẳng:



Và cũng có thể là chất nhiệt cứng có cấu trúc không gian như sau;



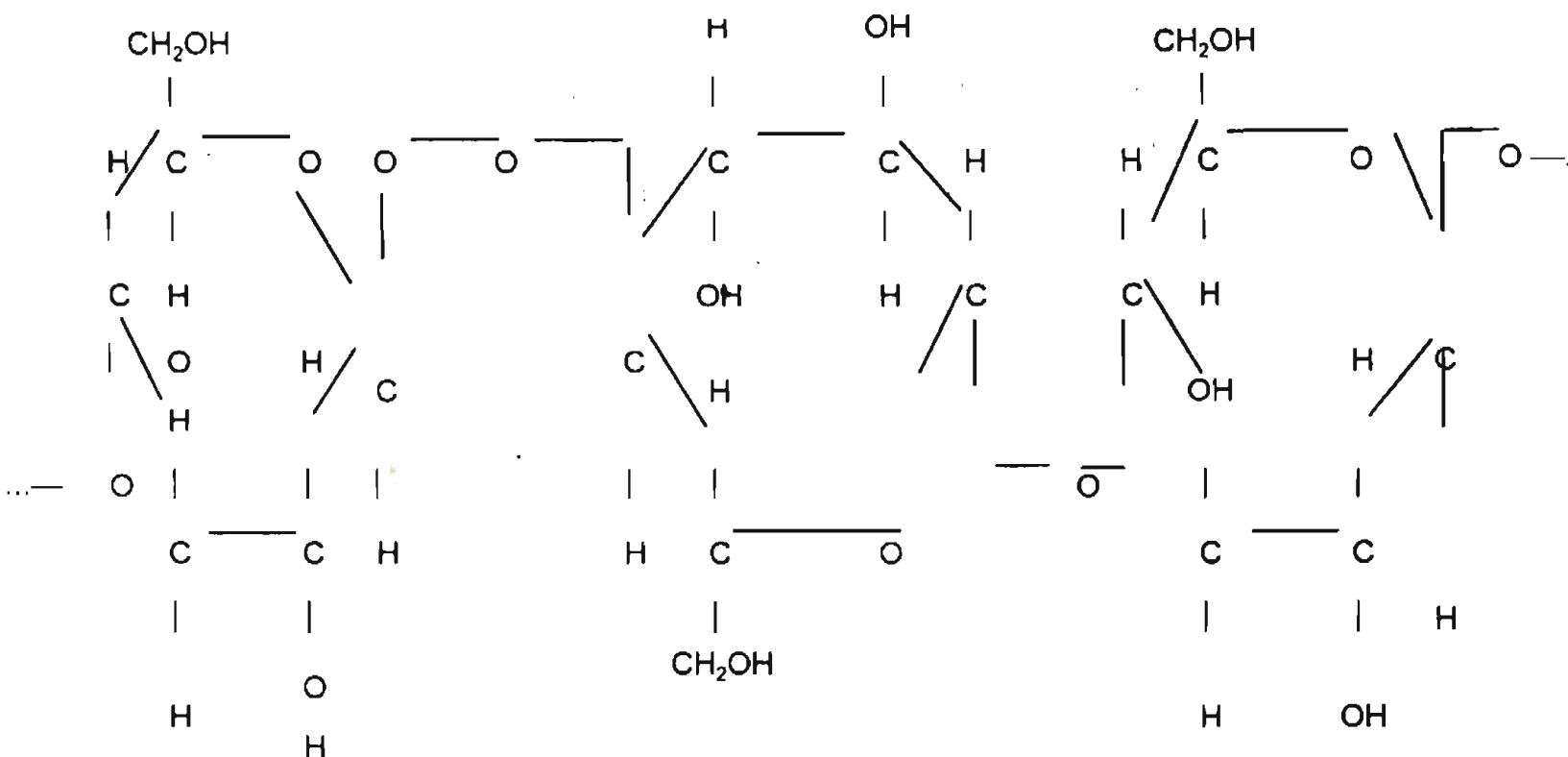
Polime silic hữu cơ có thể dùng để làm sơn, làm chất cách điện, làm chất dẻo, trong số đó có vài loại rất đàn hồi gọi là cao su silicon. Người ta có thể thu được hợp chất hữu cơ ngay cả ở dạng lỏng nữa.

Tính chất cách điện của các hợp chất hữu cơ khá cao kể cả khi ở nhiệt độ cao. Tính chịu nhiệt cao của silicon cho thấy việc sử dụng nó trong hỗn hợp với các vật liệu vô cơ có độ bền chịu nhiệt cao (như mica, sợi thủy tinh, amiang v.v..) ở dạng micanit, vải sơn thủy tinh ... làm chất kết dính là hợp lý. Hỗn hợp silic hữu cơ rất ít háo nước, thực tế nó không ngấm nước, cho nên nếu phủ lên các vật liệu xenlulô, các gốm hay vật liệu khác sẽ làm giảm độ ngấm ẩm của các chất đó. Vật liệu silic hữu cơ khá đắt tiền cho nên hạn chế sử dụng chúng trong thực tế. Ngoài ra nó còn có độ bền cơ thấp.

14) Etexenlulo

Etexenlulo là polime nhân tạo nhận được bằng cách xử lý hoá học polime thiên nhiên -xenlulô. Cấu tạo phân tử xenlulô ta thấy mỗi mắt xích chứa ba nhóm hydrôxyl.

Khi sản xuất ra etexenlulô thì các nguyên tử hydrô trong các nhóm hydrôxyl đó sẽ được thay thế toàn bộ hoặc một phần lớn bởi các nhóm nguyên tử khác nhau. Nếu các nhóm nguyên tử ấy là những gốc hydrôcacbon thì chúng ta thu được chất gọi là etexenlulô, nếu các nhóm nguyên tử ấy là gốc axit thì ta thu được estexenlulô.



So với xenlulô thiên nhiên thì các ete của nó ưu việt hơn ở chỗ chúng là vật liệu nhiệt dẻo tiêu biểu, lại nóng chảy được và có khả năng hoà tan trong những dung môi thích hợp, vì thế chúng thuận lợi cho việc chế biến lại, este xenlulô được dùng rộng rãi vào việc sản xuất sợi dệt nhân tạo, màng mỏng, sơn, chất dẻo. Ngoài ra vì các nhóm hydrôxyl có cực tính mạnh đã được thay thế bằng các nhóm có cực tính yếu hơn nên estexenlulô, nhất là estexenlulô có tính chất của điện môi cực tính yếu, tính cách điện tốt hơn và ít hấp nước so với xenlulô tự nhiên. Song nó có nhược điểm là chịu nhiệt kém.

15) Cánh kiến

Cánh kiến do một số côn trùng tiết ra trên các cành cây ở các xứ nóng thuộc vùng nhiệt đới. Người ta thu nhặt cánh kiến theo kiểu thủ công, làm sạch bản và nấu chảy. Đây là những lớp dạng vảy cá mỏng và giòn, màu vàng nhạt hoặc màu nâu. Thành phần chủ yếu của cánh kiến là những axit hữu cơ phức tạp. Cánh kiến dễ hoà tan trong rượu, cồn nhưng không hoà tan trong hydrôcacbon.

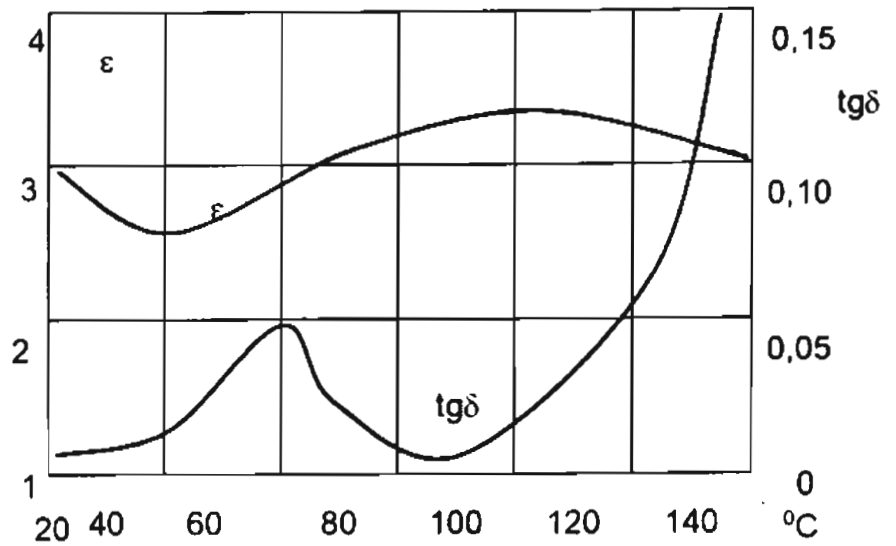
Cánh kiến có các đặc tính cách điện như sau: $\epsilon = 3,5$; $\rho_v = 10^{15} - 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$; $\text{tg}\delta = 0,01$; $E_{\text{th}} = 20 \div 30 \text{ KV/mm}$. Ở $50 - 60^\circ\text{C}$ cánh kiến trở nên dễ uốn và ở nhiệt độ cao hơn thì trở thành dẻo và nóng chảy ra. Khi đun nóng kéo dài thì cánh kiến được nung kết, đồng thời trở nên không nóng chảy và không hoà tan; nhiệt độ càng cao thì thời gian nung kết càng giảm. Trong kỹ thuật cách điện cánh kiến được dùng ở dạng sơn dán chế tạo ra micamít. Khi không có cánh kiến người ta thay bằng nhựa gliptan và các loại nhựa tổng hợp khác.

16) Nhựa thông (colofan)

Colofan là một loại nhựa giòn có màu vàng hoặc nâu được sản xuất từ nhựa thông bằng cách chưng cất từ dầu thông. Colofan gồm chủ yếu là những axit hữu

cơ, khi đun nóng chảy với những kim loại thích hợp hoặc các axit của kim loại đó thu được những loại muối gọi tên là resinát. Colofan hoà tan trong dầu mỡ (khi đun nóng) và các hydrocacbon khác, trong dầu thực vật, trong rượu, trong dầu thông v.v...

Colofan có tính chất cách điện như sau: $\rho = 10^{14} - 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$; $E_{đi} = 10 \div 15 \text{ KV/mm}$, có hằng số điện môi ϵ và $\text{tg}\delta$ phụ thuộc vào nhiệt độ như hình 9-2, đặc trưng cho điện môi cực tính. Nhiệt độ hoá dẻo của các loại colofan khác nhau vào khoảng $50-70^\circ\text{C}$. Colofan oxy hoá từ trong không khí, khi đó nhiệt độ hoá dẻo của nó tăng nhưng độ hoà tan lại giảm đi.



Hình 7-8. Quan hệ ϵ và $\text{tg}\delta$ theo nhiệt độ khi $f = 50 \text{ Hz}$ của colofan.

Colofan hoà tan trong dầu mỡ dùng vào việc ngâm tẩm cáp, nó cũng được dùng để sản xuất ra resinát là chất làm khô cho sơn dầu.

17) Nhựa cốp-an

Nhựa cốp-an là loại nhựa khó nóng chảy có đặc điểm là bóng, rất cứng và tương đối khó hoà tan. Cốp-an được khai thác trong các khoáng sản do cây có nhựa đã sinh trưởng trước đây phân tách ra, ngoài ra cũng thu được từ nhựa cây đang mọc ở sứ nóng. Người ta dùng nhựa cốp-an làm chất phụ gia cho sơn dầu nhằm tăng độ cứng màng sơn.

Hồ phách thuộc về loại cốp-an được khai thác trong tự nhiên. Hồ phách có $\rho = 10^{17} - 10^{19} \Omega \cdot \text{cm}$; $\epsilon = 2,8$; $\text{tg}\delta = 0,001$. Người ta dùng hồ phách để làm dầu vào của các thiết bị cần có điện trở rất cao.

7.4.1.3. Dầu thực vật

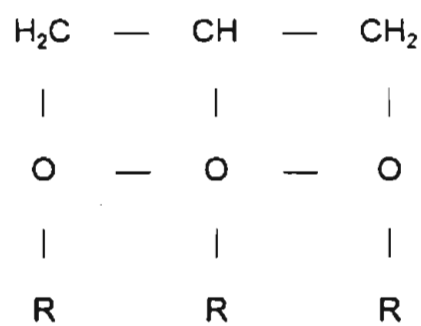
Dầu thực vật rất quan trọng trong kỹ thuật cách điện, đó là những chất lỏng nhớt thu được từ hạt của các loại thực vật khác nhau.

Trong số các loại dầu đó cần đặc biệt chú ý tới những dầu khô. Dưới tác dụng của nhiệt độ, ánh sáng và khi tiếp xúc với oxy của không khí cũng như dưới tác dụng của các yếu tố khác dầu khô có khả năng chuyển sang trạng thái rắn. Tốc độ khô của dầu tăng lên cùng với sự tăng của nhiệt độ, hoặc khi được chiếu sáng cũng như khi dùng những chất xúc tác của phản ứng hoá học làm khô dầu gọi là

chất làm khô. Trong thực tế sản xuất người ta thường dùng các hợp chất của chì, của canxi, coban v.v... để làm chất khô.

Những màng dầu khô đã cứng lại khá bền đối với tác dụng của dung môi, chúng không hoà tan ngay cả khi được đun nóng trong những hydrôcacbon nặng như dầu máy biến áp, vì vậy chúng có tính chất chịu dầu. Nhưng đối với những hydrôcacbon thơm (benzen) thì chúng kém bền hơn. Khi đốt nóng lớp màng đã cứng lại vẫn không hoá dẻo, vì vậy dầu khô là loại nhiệt cứng.

Về bản chất hoá học thì dầu khô là những este glyxerin và các axit hữu cơ, có sơ đồ cấu tạo chung của các phân tử như sau:



Trong đó: R- là gốc axit béo. Chỉ với điều kiện trong các gốc R có nhiều liên kết kép giữa các nguyên tử cacbon kề nhau thì dầu đó mới là dầu khô; khi các liên kết kép bị đứt có thể xảy ra quá trình trùng hợp các phân tử dầu, tức là màng dầu cứng lại. Những loại dầu khô phổ biến và hay dùng nhất trong kỹ thuật điện là dầu gai, dầu trẩu và thầu dầu.

a) Dầu gai: Là một chất lỏng màu vàng thu được từ các hạt gai. Tỷ trọng của nó là 0,93-0,94 G/cm³, nhiệt độ đông đặc vào khoảng -20°C.

b) Dầu trẩu: Người ta thu được dầu này từ các hạt cây trẩu. Dầu trẩu không ăn được (cũng như dầu gai) và còn độc hơn dầu gai. Tỷ trọng của dầu trẩu là 0,94G/cm³, nhiệt độ đông đặc từ 0 đến -5°C.

So với dầu gai thì dầu trẩu chóng khô hơn và khô đồng đều. Dầu trẩu tạo ra lớp màng ít thấm nước hơn dầu gai. Dầu khô được dùng trong công nghiệp điện để chế tạo ra sơn dầu cách điện, vải sơn, dùng để tẩm gỗ và vào các mục đích khác. Thời gian gần đây có khuynh hướng thay thế dầu khô bằng vật liệu tổng hợp. Dầu khô có thể sử dụng làm chất điện môi lỏng.

c) Dầu thầu dầu: Loại dầu này thu được từ hạt thầu dầu dùng để tẩm tụ điện giấy. Tỷ trọng của dầu thầu dầu là 0,9 -0,95 G/cm³, nhiệt độ đông đặc từ -10 đến -18°C; ε = 4,0÷4,5 (ở nhiệt độ 20°C) và ε = 3,5 ÷ 4,0 (ở nhiệt độ 90°C); tgδ = 0,01 ÷ 0,03 (ở 20°C) và tgδ = 0,2 ÷ 0,8 (ở 100°C); độ bền điện ở 20°C bằng 15-20KV/m.

Khác với dầu gai và dầu trẩu, dầu thầu dầu không hoà tan trong etxăng nhưng lại hoà tan trong rượu êtyl. Khác với dầu mỏ, dầu thầu dầu không làm cho cao su thông thường bị phồng lên.

7.4.1.4. Nhựa đường

Nhựa đường là hỗn hợp phức tạp của các hydrocacbon có chứa thêm một ít ôxy và lưu huỳnh, đó là những chất không định hình với những tính chất đặc trưng phức tạp. Chúng có màu đen hoặc màu sẫm. Nhựa đường hoà tan trong hydrocacbon, riêng với các hydrocacbon thơm (như benzen, toluen ...) thì càng dễ tan, không hoà tan trong rượu và nước. Chúng ít hút nước và thực tế là nước không thấm qua một lớp nhựa mỏng. Ở nhiệt độ thấp, nhựa đường thường giòn và sinh ra những vết nứt có dạng vân đặc biệt, chúng có tính nhiệt dẻo và tỷ trọng gần bằng $1\text{G}/\text{cm}^3$.

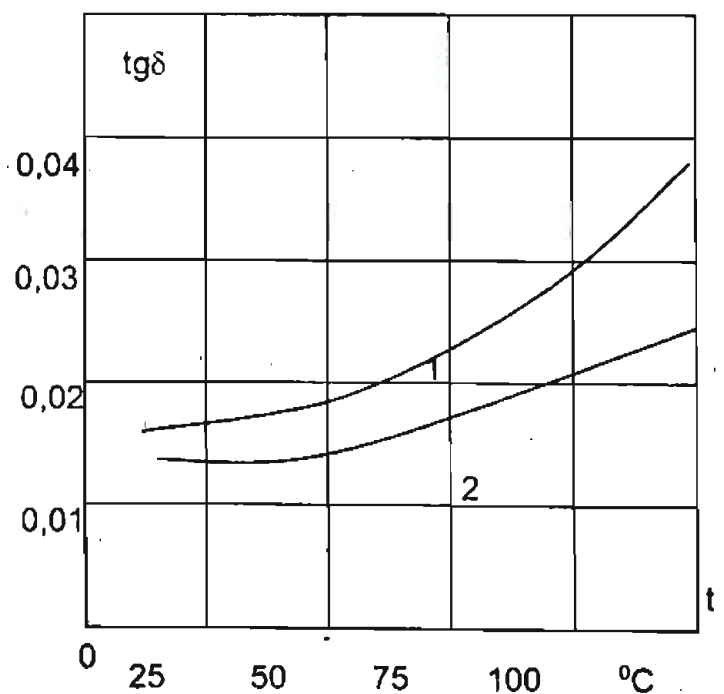
Theo nguồn gốc người ta phân nhựa đường thành: nhựa đường nhân tạo (gốc là dầu mỏ) là sản phẩm nặng khi chưng cất dầu mỏ và nhựa đường thiên nhiên (khoáng sản) mà thường gọi là nhựa đường atfan. Những lớp quặng atfan gắn liền với những lớp khoáng dầu mỏ vì trong những điều kiện tự nhiên atfan cũng được tạo thành từ dầu mỏ.

Trong kỹ thuật cách điện người ta sử dụng nhựa đường có nhãn hiệu $\sigma\text{H-III}$, $\sigma\text{H-IV}$ và $\sigma\text{H-V}$ được điều chế từ dầu mỏ và còn sử dụng loại đặc biệt có tính chịu nóng ký hiệu B và Γ . Nhiệt độ hóa dẻo của các loại nhựa đường nêu trên cho trong bảng 7.4.

Bảng 7.4. Nhiệt độ hóa dẻo của một số loại nhựa đường

Ký hiệu loại nhựa đường	$\sigma\text{H-III}$	$\sigma\text{H-IV}$	$\sigma\text{H-V}$	B	Γ
Nhiệt độ hoá dẻo, °C	50	70	90	110	125

Nhiệt độ hoá dẻo của atfan lên tới 220°C . Thông thường nhựa đường chịu được nhiệt độ càng cao thì tính chất cách điện càng tốt. Khi nhiệt độ tăng lên thì tính chất cách điện bị giảm dần dần (xem hình 7-9). Có thể nâng cao nhiệt độ hoá dẻo của nhựa đường bằng phương pháp thổi, luyện, tức là cho luồng không khí mạch đi qua nhựa đường nóng chảy. Để luyện thổi nhựa đường người ta đun nóng chảy trong lò hở đến $255-280^\circ\text{C}$, sau đó cho không khí đi qua nhựa dưới tác dụng của áp suất. Khi đó nhiệt độ hoá dẻo của nhựa đường



Hình 7-9. Quan hệ $\text{tg}\delta = f(t)$ ở tần số 50 Hz đối với nhựa đường $\sigma\text{H-V}$ -đường 1, ký hiệu Γ -đường 2.

tăng lên một phần nhờ có sự ôxy hoá và sự trùng hợp bổ xung của nhựa đường. Ngược lại nếu yêu cầu cần giảm bớt độ hoá dẻo của nhựa đường thì có thể bằng cách cho thêm ít dầu mỡ khi nóng chảy nhựa đường. Kết quả sẽ cho loại nhựa đường có tính chịu lạnh tốt hơn.

Nhựa đường là những chất cực tính yếu với $\epsilon = 2,5 \div 3,0$, $\text{tg}\delta \approx 0,01$; $E_{\text{đt}} = 10 \div 25 \text{KV/mm}$; $\rho_v = 10^{15} \div 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ và các đặc tính này ít phụ thuộc vào độ ẩm. Người ta dùng nhựa đường để sản xuất sơn, hợp chất cách điện, đồ các đầu cáp điện áp cao v.v...

7.4.1.5. Điện môi sáp

Những vật liệu sáp được sử dụng trong kỹ thuật điện là những chất rắn dễ nóng chảy màu trắng hay màu vàng tươi, có cấu tạo tinh thể, có độ bền cơ thấp và ít hút ẩm. Vật liệu sáp dùng vào việc ngâm, tẩm, song chúng có một nhược điểm là khi đông đặc có độ co ngót lớn, khoảng 15-20% vì vậy dễ sinh ra các bọt khí trong vật liệu cách điện và làm cho cường độ cách điện của khối điện môi giảm. Để khắc phục được vấn đề này người ta thường tẩm chất cách điện dưới áp suất cao.

1) Parafin

Parafin là chất sáp không cực tính, rẻ tiền, được điều chế từ dầu mỏ. Đầu tiên người ta chưng cất dầu mazút từ phần còn dư, ngưng tụ lại thành parafin, sau khi làm sạch ta được parafin sạch. Khi chế biến than nâu, đá dầu và than bùn cũng thu được sản phẩm tương tự như parafin.

Parafin đã được làm sạch là một chất kết tinh màu trắng có tỷ trọng 0,85-0,90 G/cm^3 và có nhiệt độ nóng chảy 50-55°C.

Hằng số điện môi của parafin $\epsilon = 2,1 \div 2,2$; khi nhiệt độ tăng thì ϵ giảm, trị số $\text{tg}\delta$ của parafin nhỏ 0,0003 \div 0,0007, nhưng ρ_v có trị số lớn hơn $10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$. Parafin không bị dính nước ρ_s lớn hơn $10^{15} \Omega$ ngay cả khi ở độ ẩm cao. Parafin là chất kỵ nước, nó không cho phân tử nước đi vào bên trong. Độ bền điện của parafin có tính ổn định hoá học.

Ở nhiệt độ bình thường, parafin có tính ổn định hoá học cao, nhưng ở nhiệt độ cao lại dễ bị ôxy hoá trong không khí. Sau khi nung nóng tới 130-140°C thì ρ giảm xuống 1000 lần hoặc cao hơn. Người ta dùng parafin để tẩm các tụ giấy điện áp thấp, để tẩm gỗ, bìa caton, để ngâm các cuộn dây làm việc ở nhiệt độ thấp và trong môi trường ẩm.

Parafin không tan trong nước và rượu, nhưng lại hoà tan trong những hydrocacbon lỏng như: dầu mỡ, etxăng, benzen. Khi dung môi bốc hơi paraffin không tạo ra một màng kín vì vậy nó không thích hợp đối với việc chế tạo sơn.

2) Serezin

Serezin là hỗn hợp những hydrocacbon rắn của dãy metan với công thức chung là C_nH_{2n+2} nhưng số lượng nguyên tử cacbon trong các phân tử của nó ($n = 39 \div 53$) nhiều hơn so với phân tử của parafin ($n = 10 \div 36$). Ngoài ra các phân tử của serezin có những mạch nguyên tử cacbon nhiều nhánh khác với những mạch ít nhánh của parafin

Serezin được sản xuất ra bằng cách làm sạch quặng sáp mỏ (ozokerít), nó là sản phẩm của sự chuyển hoá tự nhiên dầu mỏ trong điều kiện có không khí. Để lấy ra được ozokerít người ta đun lớp đất mỏ đã được khai thác với nước sôi trong lò, ozokerít nóng chảy ra và nổi lên trên bề mặt. Phương pháp này đơn giản nên chỉ thu được 50% còn lại ozokerít nằm ở trong cặn bã. Phương pháp tốt hơn là chiết ozokerít bằng etxăng. Để thu được serezin người ta làm sạch ozokerít bằng axit sunfuric hoặc bằng chất hấp phụ. Khi đó màu nâu sẫm của sản phẩm ban đầu ozokerít sẽ chuyển sang màu da cam hoặc màu vàng nhạt.

So với parafin thì serezin có nhiệt độ nóng chảy cao hơn ($65-80^\circ\text{C}$) và bền hơn đối với sự ôxy hoá. Ngoài ra điện trở suất của serezin lớn hơn một ít và tgđ nhỏ hơn so với của parafin. Mặc dù có đắt hơn parafin song người ta vẫn dùng nó để thay cho parafin trong việc tẩm tụ điện giấy và tụ điện mica.

3) Parafin tổng hợp và serezin tổng hợp

Chúng là những hydrocacbon cao phân tử được thu nhận như là sản phẩm phụ trong sản xuất etxăng và dầu tổng hợp. Những tính chất cách điện của các chất này gần giống với tính chất của parafin và serezin tự nhiên, nhưng có nhiệt độ nóng chảy cao hơn, khoảng từ 100 đến 130°C . Do vậy có thể nâng cao hiệu suất làm việc của tụ điện.

4) Galovac

Galovac là sản phẩm khi clo hoá một loại hydrocacbon thơm - naftalin ($C_{10}H_8$). Để thu được galovac người ta cho clo đi qua naftalin nóng chảy dưới tác dụng của áp suất với sự tham gia của chất xúc tác. Galovac là một điện môi tinh thể cực tính có màu vàng nhạt và màu xanh; có hằng số điện môi khá cao so với sáp. Vì vậy, khi dùng galovac để tẩm cho các tụ điện giấy thì có thể tăng điện dung của tụ lên 25-30% so với tụ cùng loại mà tẩm bằng sáp không cực tính. Khác với tính chất của sáp galovac không bị ôxy hoá khi được đốt nóng và không cháy.

Galovac có một số nhược điểm sau: ở nhiệt độ trên $+40^\circ\text{C}$ thì tgđ tăng lên rõ rệt và lớn hơn nhiều so với serezin, ở nhiệt độ bình thường nó có $\rho = 10^{13} - 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$. Tỷ trọng của galovac khoảng $1,5 \text{G/cm}^3$. Galovac là chất độc, hơi của nó gây

tác hại đến nôm mạc và gây ra bệnh ngoài da. Vì vậy trong các phòng làm việc tiếp xúc với galovac cần phải có thông gió tốt và hạn chế sử dụng trong sản xuất thiết bị điện.

5) Vazelin

Vazelin là chất gần giống với các chất sáp. Ở nhiệt độ bình thường, đây là chất nửa lỏng dùng để tẩm tụ điện giấy. Vazelin là một hỗn hợp của những hydrôcacbon rắn vazelin lỏng mà thu được từ dầu mỏ.

Vazelin cách điện có những tính chất như sau: điện trở suất ρ_v không thấp hơn $5 \cdot 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ ở 20° và không dưới $5 \cdot 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ ở 100°C ; ở tần số 1KHz, tg δ ứng với các nhiệt độ trên sẽ có giá trị không quá 0,0002 và 0,002; ở tần số 50Hz và nhiệt độ 20°C thì Eđt không nhỏ hơn 20KV/mm, ở 60°C độ nhớt không nhỏ hơn $28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{giây}$.

7.4.1.6. Sơn và các hợp chất cách điện

Trong kỹ thuật cách điện, sơn và các hợp chất cách điện có tầm quan trọng rất lớn, chúng ở dạng lỏng trong quá trình chế tạo cách điện nhưng sau đó chúng đông rắn lại, khi dùng thì ở trạng thái rắn. Vì vậy mà sơn và hợp chất cách điện được xếp vào loại vật liệu cách điện rắn.

Sơn là những dung dịch keo của nhựa, của bitum, dầu khô và các chất tương tự. Các chất này được gọi là nền sơn và hoà tan trong dung môi dễ bay hơi. Khi sơn được sấy khô dung môi bị bay hơi hết, còn nền sơn sẽ chuyển sang trạng thái rắn và tạo thành màng sơn.

Hợp chất khác với sơn ở chỗ trong thành phần của nó không có dung môi. Hợp chất cách điện gồm có các loại nhựa bitum, sáp, dầu v.v... khác nhau, nếu ban đầu ở trạng thái rắn thì trước khi dùng ta phải đun nóng đến nhiệt độ cần thiết để thu được chất có độ nhớt thấp thích hợp.

Theo cách sử dụng sơn cách điện có thể chia thành ba nhóm chính: sơn tẩm, sơn phủ và sơn dán.

* **Sơn tẩm** dùng để tẩm những chất cách điện xốp và đặc biệt là chất cách điện ở dạng xơ (giấy, bìa, sợi, vải, cách điện của dây quấn máy điện và thiết bị điện). Sau khi tẩm các lỗ xốp trong chất cách điện không còn chứa khí nữa, sau khi đã được lấp kín bằng sơn khô có độ bền điện và độ dẫn nhiệt cao hơn nhiều. Vì thế khi được tẩm chất cách điện có điện áp đánh thủng cao hơn, độ dẫn nhiệt cao hơn, tính háo nước và tính thấm ẩm giảm đi và tính chất cơ học tốt hơn. Sau khi được tẩm chất cách điện xơ hữu cơ ít bị ảnh hưởng oxy hoá của không khí. Vì vậy độ bền nhiệt sẽ tăng lên và cải thiện căn bản nhiều tính chất quan trọng của vật liệu hay sản phẩm cách điện.

* **Sơn phủ** dùng để tạo ra trên bề mặt của vật liệu được quét sơn một lớp màng nhẵn bóng, chịu ẩm và bền cơ học. Người ta dùng loại sơn này để quét lên chất cách điện rắn xốp đã được tẩm sơ bộ nhằm cải thiện đặc tính cách điện đó, làm tăng điện áp phóng điện và điện trở bề mặt, tăng cường bảo vệ chất cách điện chống lại tác dụng của hơi ẩm, của các chất hoà tan hoặc có tính hoá học, chống lại sự bám bụi bẩn cũng như làm đẹp mặt ngoài của sản phẩm. Có một số loại sơn phủ (êmay) không dùng để quét lên chất cách điện rắn mà lại để quét trực tiếp lên kim loại nhằm tạo ra trên bề mặt của nó lớp cách điện (cách điện dây êmay, của lá tônsilic, của máy điện và thiết bị điện).

* **Men màu** cũng được xếp vào loại sơn phủ, đó là những loại sơn được cho thêm sắc tố vào thành phần của chúng. Sắc tố này là loại bột mịn vô cơ nó làm cho sơn có một màu sắc nhất định và độ bền cơ học, độ dẫn nhiệt và độ bám dính được cải thiện hơn.

* **Sơn bán dẫn** là một loại men đặc biệt trong đó chất sắc tố là cacbon (bồ hóng); màng của loại sơn này có điện trở suất mặt thấp (từ 10^4 đến $10^{10} \Omega$) được sử dụng trong việc chế tạo máy điện có điện áp làm việc cao cùng với băng amiăng có chất sắt nhằm đạt được sự phân bố điện trường cần thiết tại phần bên trong và phần ngoài rãnh của dây quấn.

* **Sơn dán** dùng để dán các vật liệu lại với nhau (dán mica thành băng hay micamít) hoặc để gắn vật liệu cách điện vào kim loại. Ngoài những tính chất cách điện cao, tính hút ẩm ít và các đặc tính cần thiết khác đối với sơn, sơn dán cần phải có lực bám dính cao.

Các hợp chất cách điện cũng được phân thành hai nhóm chính là **hợp chất tẩm** có công dụng tương tự như sơn tẩm và **hợp chất làm đầy** dùng để lấp đầy các lỗ trống tương đối lớn nằm ở giữa các chi tiết khác nhau trong thiết bị điện và còn được dùng để tạo ra một lớp phủ khá dày trên các chi tiết, các mối nối hoặc cụm chi tiết kỹ thuật điện nào đó. Các hợp chất làm đầy trong các trường hợp khác nhau đều với mục đích là bảo vệ chất cách điện chống ẩm và chống lại tác dụng của các chất có hoạt tính hoá học, tăng cường điện áp phóng điện và cải thiện sự toả nhiệt, truyền nhiệt v.v...

Thành phần của một loại sơn hoặc một hợp chất nào đó quyết định tính chất kỹ thuật sử dụng của nó. Vì vậy khi biết được thành phần của sơn có thể suy đoán được tính chất và đưa ra phương án lựa chọn để thoả mãn yêu cầu cụ thể.

1) Sơn

Tuỳ theo chế độ sấy mà người ta chia sơn thành hai loại: **sơn sấy nóng** là loại sơn ở nhiệt độ thấp rất lâu khô nên phải sấy ở nhiệt độ cao (thường cao hơn 100°C) và **sơn sấy nguội** - loại này khô nhanh khi ở trong môi trường không khí có nhiệt độ bình thường.

Sau khi sấy khô, loại sơn có nền là chất nhiệt dẻo không cần phải nung kết thêm ở nhiệt độ cao, ngược lại sơn có nền là chất nhiệt cứng phải nung kết ở nhiệt độ cao để thu được màng sơn chất lượng tốt hơn. Sau đây chúng ta sẽ khảo sát một số loại sơn cách điện quan trọng thường dùng trong kỹ thuật điện.

* **Sơn bakêlít:** Loại sơn này là dung dịch bakêlít hoà tan trong rượu. Đây là loại sơn tẩm và sơn dán, màng sơn của nó bền về cơ học nhưng kém dẻo và có khuynh hướng hoá già do nhiệt rõ rệt. Nó được dùng rộng rãi trong việc sản xuất hêtinắc và tectolít trong việc chế tạo chất cách điện của các thiết bị điện cao áp.

* **Sơn gliptan:** Đây là dung dịch nhựa gliptan trong hỗn hợp rượu, hydrôcacbon lỏng và các dung môi khác, nó là loại sơn nhiệt cứng có khả năng bám dính rất chặt, được dùng để dán micamít v.v..., màng của nó dẻo hơn màng sơn bakêlít, nhưng độ chịu ẩm thấp hơn.

* **Sơn silic hữu cơ:** Là loại sơn đòi hỏi được sấy khô ở nhiệt độ cao và tạo thành màng sơn chịu nhiệt và ẩm cao. Không nên dùng loại sơn này trong máy điện có vành góp mà thông gió theo chu trình kín vì nó sẽ làm cho chổi than chóng mòn và làm rối loạn quá trình đổi chiều.

* **Sơn policlovinyl:** Là loại sơn rất bền đối với xăng, dầu và các chất có hoạt tính hoá học, nó được dùng làm sơn phủ để bảo vệ cách điện khi làm việc trong điều kiện không khí có chứa hơi axit.

* **Sơn polistirol:** Loại sơn này tạo ra màng có đặc tính cách điện cao và ít hút ẩm, được dùng trong sản xuất các thiết bị tần số cao.

* **Sơn cánh kiến:** Là dung dịch cánh kiến hoà tan trong rượu, nó được dùng làm sơn dán trong công nghệ sản xuất micamít cũng như trong công việc lắp ráp, sửa chữa thiết bị điện. Sơn cánh kiến có thể dùng sấy nguội, nhưng để có màng sơn tốt hơn thì phải nung kết ở nhiệt độ cao.

* **Sơn xenlulô:** Những loại sơn này là dung dịch ete xenlulô, màng sơn có tính nhiệt dẻo. Trong các loại sơn xenlulô thì sơn nitroxenlulô có công dụng lớn nhất. Màng sơn nitro bền về cơ học, đặc biệt là bóng, có sức chịu đựng cao đối với tác dụng của không khí, hơi ẩm, dầu v.v... Sơn nitro bám không chặt vào kim loại, vì vậy trước khi quét sơn nitro lên kim loại thường phải sơ bộ quét lên lớp sơn lót có khả năng bám chắc vào kim loại nhưng kém bền đối với tác dụng của không khí, ánh sáng và hơi ẩm (như sơn gliptan hoặc sơn dầu), sau đó mới quét lớp sơn nitro. Nhưng thường lớp sơn nền đòi hỏi phải sấy nóng mà sơn nitro không chịu đựng nổi, cho nên người ta tiến hành sấy khô sơn nền để nung kết lớp lót trước khi quét sơn nitro.

Riêng trong kỹ thuật điện người ta dùng sơn nitro để tẩm vỏ bọc dây dẫn bằng sợi bông dùng trên ô tô và máy bay (mặt ngoài của lớp cách điện bằng cao su) để giữ cho cao su khỏi bị ảnh hưởng của ôzôn, dầu và xăng.

* **Sơn dầu:** Nền của các loại sơn dầu là dầu khô mà chủ yếu là dầu gai và dầu trấu. Ngoài chúng ra sơn dầu còn chứa chất làm khô để đẩy mạnh quá trình sấy khô và dung môi dễ bay hơi, để làm giảm độ nhớt của sơn. Trong một số trường hợp người ta dùng sơn dầu không có dung môi, vì bản thân nền sơn đã là chất lỏng, song các loại sơn này có độ nhớt cao nên việc sử dụng ít thuận lợi.

Người ta dùng hydrôcacbon làm dung môi cho sơn dầu (xăng, dầu hỏa, đôi khi kèm hỗn hợp hydrôcacbon thơm). Tốc độ sấy khô của sơn dầu phụ thuộc rất nhiều vào lượng chứa chất làm khô. Với hàm lượng chất làm khô cao có thể thu được sơn sấy nguội là loại sơn khô khá nhanh ở nhiệt độ bình thường. Tuy nhiên, khi tăng hàm lượng chất làm khô trong sơn dầu sẽ làm cho màng sơn khi chịu tác dụng lâu dài của nhiệt độ cao bị hoá già nhiệt khá nhanh (màng sơn trở nên giòn và ở bên trong xuất hiện những vết nứt và sẽ bị bong ra khỏi lớp độn lót). Vì vậy người ta chế tạo ra sơn dầu cách điện chất lượng cao với hàm lượng chất làm khô nhỏ, do đó các loại sơn này cần được sấy nóng.

* **Sơn màu sáng** không chứa bitum: Loại sơn này dùng để chế tạo vải sơn và giấy sơn, đồng thời cũng dùng để tẩm dây quấn máy điện và thiết bị điện, để tẩm dây quấn máy biến áp làm việc trong điều kiện ngâm trong dầu mỏ nóng. Vì loại sơn này là sơn nhiệt cứng, khi màng sơn này đã cứng lại thì chịu được dầu tốt. Tuy nhiên nó kém chịu ẩm hơn sơn dầu bitum màu đen.

* **Sơn bitum đen:** Vì có bitum trong thành phần của loại sơn này nên đã làm cho sơn lỏng cũng như màng sơn có màu đen. So với sơn dầu thì rẻ tiền hơn và tạo ra được màng sơn ít hao nước hơn, có tính cách điện cao hơn và ít bị hoá già nhưng lại kém dẻo và kém chịu đựng tác dụng của dung môi. Màng của sơn bitum thực tế không chịu được dầu và dễ hoà tan trong hydrôcacbon nhẹ, đặc biệt là hydrôcacbon thơm. Khi bị đốt nóng thì màng sơn có khuynh hướng hoá dẻo.

* **Sơn thuần bitum:** Đây là dung dịch chỉ gồm các loại bitum trong dung môi hữu cơ và là loại sơn sấy nguội. Các loại sơn này không dùng vào mục đích cách điện bởi vì màng sơn của chúng có những nhược điểm lớn như: ít dẻo, kém chịu nhiệt và kém bền đối với dung môi. Người ta sử dụng các loại sơn này để làm lớp sơn phủ chống ăn mòn cho các vật bằng kim loại khác nhau trong điều kiện không đòi hỏi màng sơn có tính dẻo.

* **Sơn dầu bitum:** Sơn dầu bitum được dùng rất rộng rãi trong kỹ thuật cách điện. Trong nền của loại sơn này ngoài bitum ra còn chứa cả dầu khô nữa. Loại sơn này mang tính chất trung gian giữa sơn thuần bitum và sơn dầu thuần túy. Nhờ có mặt của dầu khô nên màng của loại sơn này dễ uốn hơn, ít chịu ảnh hưởng của dung môi và ít bị hoá dẻo khi đốt nóng so với màng sơn thuần bitum.

Hydrôcacbon thơm (benzen, toluen v.v...) cũng như dầu thông là những dung môi tốt nhất đối với sơn dầu bitum. Vì chất thơm (benzen) rất độc đối với cơ

thể con người nên người ta hay dùng hỗn hợp các dung môi đó với xăng. Khi sử dụng loại bitum tương đối dễ chảy thì có thể dùng dung môi hoàn toàn không chứa hydrôcacbon thơm, nhưng đối với loại sơn có bitum khó chảy và khó hoà tan thì nhất thiết phải cho chất thơm vào thành phần của dung môi.

* **Sơn dầu nhựa:** Đây là loại sơn dầu có cho thêm nhựa thiên nhiên hoặc tổng hợp vào. Lấy sơn dầu gliptan làm ví dụ và đem so sánh nó với sơn dầu thuần túy thì thấy rằng nó có độ dẻo cao hơn, độ chịu nóng cao hơn và bám dính chắc hơn, còn so với sơn gliptan thì nó ít hút ẩm hơn. Người ta sử dụng rộng rãi các loại sơn này trong một số trường hợp sau đây:

- Để tẩm dây quấn của máy biến áp dầu nhằm nâng cao tính chịu dầu và độ bền cơ học.
- Để tẩm dây quấn khi phải chịu tác dụng của hơi axit và clo.
- Để tẩm vật liệu cách điện có chứa nhựa phênolfomandehyt nhằm giảm khả năng hình thành vết xước.

Trong bảng 7.5 trình bày một số tính chất của một số loại sơn cách điện được dùng rộng rãi trong sản xuất máy điện và thiết bị điện. Ngoài các loại sơn này người ta còn dùng nhiều loại sơn gốc nhựa tổng hợp khác.

2) Hợp chất cách điện

Hợp chất cách điện là hỗn hợp các loại vật liệu cách điện khác nhau ví dụ: nhựa bitum, xenlulô, xerezin, v.v... Khi nung nóng ở nhiệt độ cao thì chúng chuyển sang trạng thái lỏng và khi để nguội thì sẽ đông lại. Hiện nay có một số loại hỗn hợp cách điện có điểm đông đặc ở nhiệt độ trong phòng (do sự trùng hợp gây nên các chất làm đông). Để tạo ra các tính chất cần thiết (tính dẫn nhiệt, tính chất cách điện cao) người ta thường cho thêm vào hỗn hợp các chất phụ như cát, thạch anh, bột tan v.v... Những tính chất và công dụng của hỗn hợp cách điện do thành phần hóa học của chúng quyết định. Do vậy nếu biết thành phần của hợp chất thì có thể dự đoán được các tính chất và khả năng ứng dụng của hỗn hợp cách điện.

Theo công dụng thì hỗn hợp cách điện được chia thành hai loại: loại dùng để tẩm và loại dùng để ngâm. Loại thứ hai dùng để lấp đầy các khoảng trống giữa các chi tiết khác nhau. Nếu dùng hỗn hợp cách điện để lấp đầy các kẽ hở không khí ở giữa các cuộn dây của thiết bị điện và kim loại sẽ cải thiện được điều kiện thoát nhiệt, nhờ vậy mà công suất của thiết bị được tăng thêm.

Bảng 7.5. Tính chất của một số loại sơn cách điện

Đặc tính	Số hiệu (ký hiệu đã quy ước) của sơn					
	447	ỐT - 99	ỐT - 95	ГФ - 95	ГФ - 95 ГС	K - 47
Đặc tính chung của sơn	Sơn dầu - bitum màu đen dùng để tẩm và được sấy nóng.	Sơn dầu - bitum màu đen dùng để quét và được sấy thường	Sơn dầu-bitum màu đen dùng để dán , màng sơn giữ được độ dẻo lâu	Sơn dầu - gliptan trong suốt dùng để tẩm	Men màu xám được nhuộm sơn dầu-gliptan	Sơn -silic hữu cơ trong suốt dùng để tẩm
Phạm vi sử dụng chủ yếu	Tẩm dây quấn máy điện và thiết bị điện	Phủ lên dây quấn đã được tẩm	Dán băng mica màu đen	Tẩm dây quấn máy biến áp ngâm dầu.	Lớp phủ ngoài chịu được dầu của dây quấn máy điện và thiết bị điện.	Tẩm dây quấn của máy làm việc trong điều kiện nhiệt độ và độ ẩm cao.
Thời gian khô sơn, không quá	6h ở 105°C	3h ở 20°C	-	2h ở 105°C	3h ở 105°C	1h ở 200°C
Độ dẻo nóng của màng sơn không dưới	24h ở 105°C	1h ở 105°C	144h ở 105°C	120h ở 105°C	10h ở 105°C	300h ở 200°C
Độ thấm nước của màng sơn sau 24h, %, không quá	1	1	0,6	5	5	-
Độ bền điện của màng sơn, kV/mm, không ít hơn	55	50	60	55	30	50
a) trong điều kiện bình thường	25	20	25	30	-	25 (ở 200°C)
b) ở nhiệt độ 90°C	22	12	20	20	10	-
c) sau khi ngâm 24h trong nước ở 20°C.						

Hợp chất cách điện cáp có một ý nghĩa lớn trong kỹ thuật cáp. Chúng gồm có:

a) Hợp chất tẩm (chất tẩm cáp) dùng để tẩm cách điện giấy cáp, được chế tạo từ dầu mỡ và thường cho thêm dầu thông hoặc nhựa gốc tổng hợp vào để tăng độ nhớt.

b) Hợp chất rót (chất rót vào cáp) được dùng để rót vào các hộp nối, các hộp phân nhánh và phần đầu cáp. Rót hợp chất cách điện vào phần đầu cáp là nhằm tránh thấm ẩm vào cách điện của cáp và tăng điện áp đánh thủng giữa các lõi cáp đã được tách riêng cũng như giữa các lõi cáp với vỏ của hộp nối. Vỏ nối được dùng để giữ chỗ nối khỏi bị hư hỏng do tác động cơ học. Chất đổ vào cáp gồm có bitum hoặc hỗn hợp dầu mỡ và nhựa thông hay êpôcxì v.v...

Ngoài những hợp chất nhiệt dẻo, hiện nay người ta còn sử dụng rộng rãi hợp chất nhiệt cứng, sau khi đã cho vào sản phẩm chúng rắn lại vì được nung nóng. Hợp chất này dùng để tẩm và tráng lên các chi tiết và các đầu nối khác nhau. Việc rót tráng cải thiện đáng kể tính chất điện của vật liệu cách điện đã được tráng, giữ cho nó khỏi bị ẩm và hư hỏng về cơ học v.v... Tuy nhiên việc đổ hợp chất cách điện gây trở ngại cho việc sửa chữa các chi tiết khi bị đánh thủng hay hư hỏng khác.

Một hợp chất quan trọng nữa là hợp chất polieste gốc là nhựa polieste không bão hoà cùng với chất làm loãng "mạch" là styrol, metylmetacrylat và các mônome không bão hoà khác, chất xúc tác làm rắn là peoxýt hữu cơ. Thông thường hợp chất polieste co ngót khá nhiều khi đóng rắn (khoảng 6%), kém hơn êpôcxì.

7.4.1.7. Mànng dẻo

Mànng dẻo là một trong các sản phẩm làm bằng polime hữu cơ có độ bền cơ cao được sản xuất thành từng cuộn và được dùng làm chất cách điện cho máy điện, dây cáp, dây quần, làm điện môi của tụ điện và nhiều trường hợp khác.

Có thể sản xuất mànng dẻo bằng các polime đường thẳng có khối lượng phân tử lớn. Các phương pháp chủ yếu để sản xuất mànng này là: rót dung dịch polime tràn lên mặt kim loại phẳng và rót polime nóng chảy tràn lên mặt phẳng được làm nguội. Để nâng cao độ dẻo của mànng ta có hai cách:

Cho thêm chất tăng dẻo vào vật liệu mànng trước khi tạo hình;

Kéo giãn mànng ở nhiệt độ cao hơn một ít so với nhiệt độ hoá dẻo của vật liệu chế tạo ra mànng; khi đó các phân tử đường thẳng của vật liệu sẽ được định hướng theo chiều kéo tạo ra khả năng thêm độ dẻo cũng như tăng độ bền kéo của mànng theo chiều kéo đó.

Sau đây, sẽ trình bày một số loại mànng dẻo cùng các tính chất của chúng:

Mànng làm bằng etexenlulô rất phổ biến trong kỹ thuật và đời sống: phim ảnh, vật liệu dùng để gói ... Mànng dẻo được làm bằng triaxetat xenlulô dùng trong kỹ

thuật cách điện, chúng có chiều dày là 0,025; 0,04 và 0,07 mm. Giới hạn độ bền kéo loại này là 900KG/cm² và độ dẫn khi đứt không nhỏ hơn 12%, hằng số điện môi $\epsilon = 3,6$, $\text{tg}\delta = 0,007$, độ hút ẩm 6%. Khi chiều dày là 0,04 mm thì điện áp đánh thủng không nhỏ hơn 3,5 kV, còn khi chiều dày là 0,07 mm không nhỏ hơn 5,5 kV. Loại màng này kém bền đối với tác dụng của ôzôn. Nhiệt độ làm việc cho phép lâu dài của nó là 120⁰C (cấp chịu nhiệt E).

Màng dẻo tổng hợp cực tính polietilentereftalat: có chiều dày từ 0,04 mm đến 0,35 mm. Loại màng dẻo này có đặc tính cơ và cách điện tốt, bền vững về hoá học và về nhiệt, nó có độ bền chịu văng quang điện (ôzôn) trội hơn so với các loại màng triaxetat, poliêtilen, polistirol ... Các đặc tính của nó như sau: tỷ trọng 1,3 - 1,40 G/m³, giới hạn bền kéo 1500-3000 kG/cm²; độ giãn dài tương đối khi đứt (50÷100)%; $\rho = 10^{17} \div 10^{18} \Omega\text{cm}$; $\epsilon = 3,3$; $\text{tg}\delta = 0,002$ (ở tần số 50Hz); khoảng nhiệt độ làm việc từ -60⁰C đến +150⁰C.

Màng polivinyllorít có giới hạn bền kéo trong khoảng 600÷800 KG/cm²; độ hút ẩm nhỏ nhưng độ bền chịu nhiệt không cao.

Màng poli amit có giới hạn bền kéo tới 1500 kG/cm² với độ giãn dài tương đối khi đứt 150-400%.

Màng policacbonat: có tỷ trọng 1,26 G/cm³, giới hạn bền kéo 550÷900 kG/cm², độ giãn dài tương đối khi đứt 85-110%, $\rho = 10^{16} \div 10^{17} \Omega.\text{cm}$, $\epsilon = 2,9$, $\text{tg}\delta = 0,0015$ (ở tần số 50Hz), $E_{đt} = 60-90 \text{ kV/mm}$ (với chiều dày của màng là 0,1 mm).

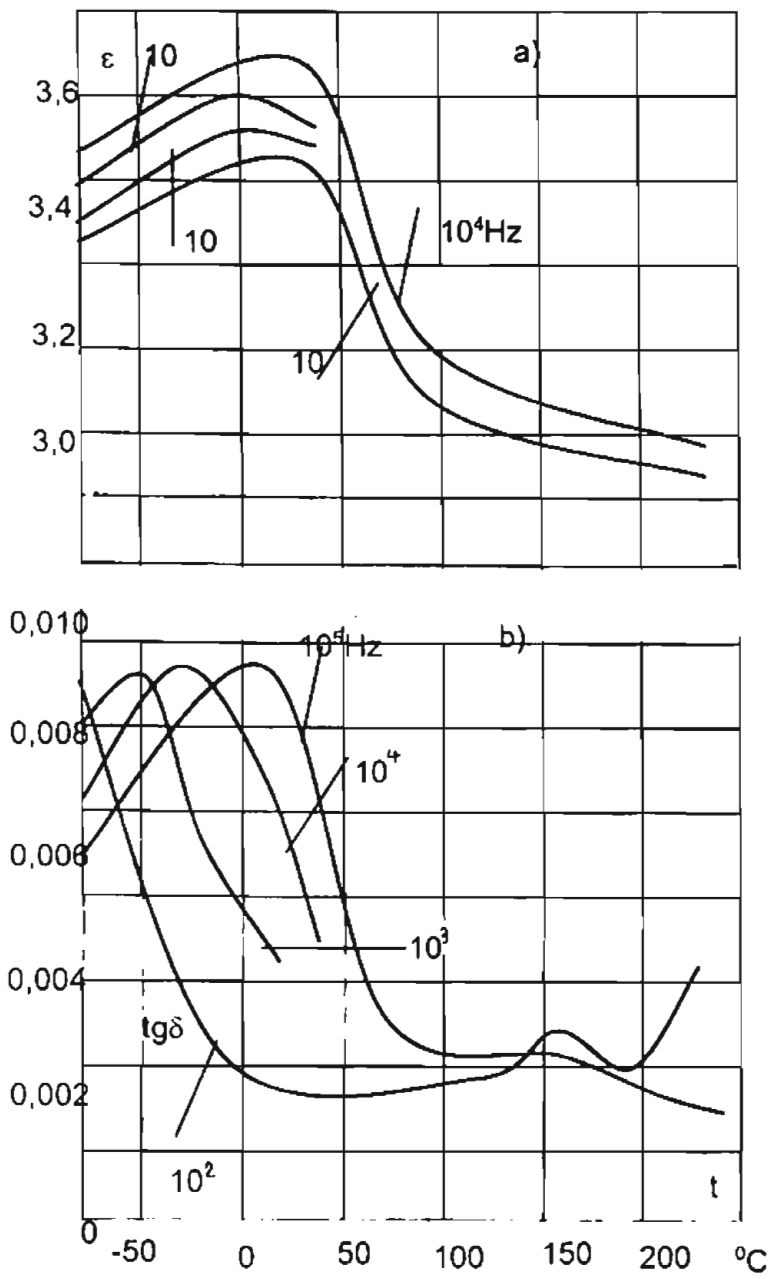
Màng poliimít (capton) có độ bền nhiệt cao nhất, nhiệt độ làm việc lâu dài là 230⁰C và ngắn hạn là 400⁰C, tỷ trọng 1,42 G/cm³. Quan hệ của ϵ và $\text{tg}\delta$ vào nhiệt độ được biểu diễn ở hình 7-10, còn đặc tính cơ học của nó với nhiệt độ cho ở hình 7-11.

Trong số các loại màng không cực tính thì các loại màng bằng các chất poliêtilen, polipropilen, polistirol, politetrafloêtilen có giá trị lớn trong cách điện.

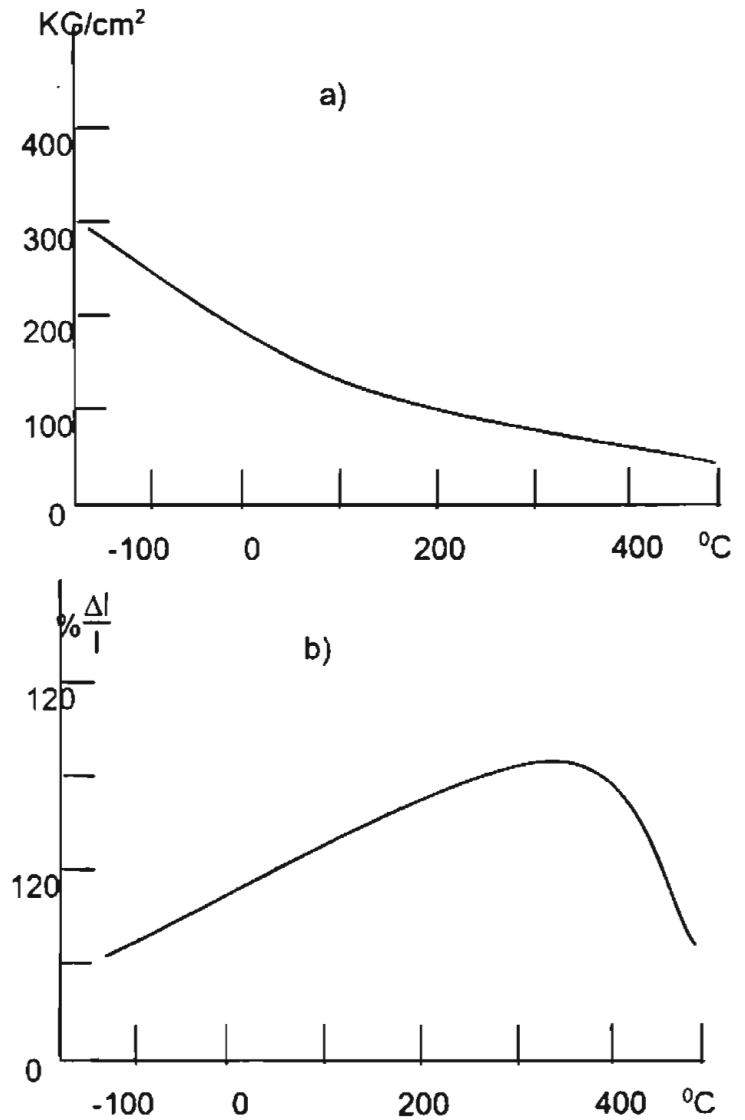
Màng cách điện bằng chất polistirol được sản xuất theo phương pháp định hướng cơ khí và không dùng đến chất tăng dẻo, với chiều dày 0,02 mm; độ bền kéo không nhỏ hơn 500 kG/cm² và độ bền điện 100-150 KV/mm. Tuy nhiên độ bền nhiệt của nó lại thấp.

Màng politetrafloêtilen có độ bền nhiệt cấp c, độ bền điện cao, độ hút ẩm nhỏ.

Màng bằng chất stiroléc được dùng trong việc sản xuất một số loại cáp cao tần. Còn có loại màng đặc biệt làm bằng policacbonat có triển vọng đối với việc sản xuất cáp điện lực điện áp siêu cao.



Hình 7-10. Quan hệ ϵ và $\text{tg}\delta$ với nhiệt độ ở các tần số khác nhau của màng poliimit.



Hình 7.11. Sự biến thiên của giới hạn bền kéo (a) và độ giãn dài tương đối khi đứt (b) của màng poliimit.

7.4.1.8. Vật liệu xơ

Vật liệu xơ được cấu tạo bằng các phân tử nhỏ và dài gọi là xơ, nó được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện: gỗ, giấy, cactông, vải, sợi v.v... Vật liệu xơ có những ưu điểm sau đây: rẻ tiền, độ bền cơ và độ dẻo khá cao, sản xuất thuận tiện. Song chúng cũng có nhược điểm là độ bền điện và độ dẫn nhiệt không cao, độ hút ẩm lớn hơn so với các vật liệu đặc có cùng thành phần hóa học. Những tính chất của vật liệu xơ có thể được cải thiện khi đã được tẩm, nên người ta dùng làm vật liệu cách điện.

Các vật liệu xơ khác nhau có những đặc tính rất khác nhau tùy theo thành phần hóa học của chất tạo xơ. Phần lớn các loại xơ được sản xuất trong thực tế là những vật liệu gốc hữu cơ, gồm các vật liệu gốc thực vật như: gỗ, bông, giấy v.v...,

các vật liệu gốc động vật như: tơ và len, xơ nhân tạo thu được bằng cách chế biến hoá học các nguyên liệu xơ thiên nhiên (xenlulô) và sau cùng là xơ tổng hợp được sản xuất ra từ các polime tổng hợp.

Vật liệu xơ xenlulô có độ hút ẩm lớn, độ bền nhiệt không cao (cấp Y khi chưa được tẩm và cấp A sau khi tẩm). Trong trường hợp đòi hỏi chất cách điện làm việc ở nhiệt độ cao thì người ta dùng vật liệu xơ vô cơ trên cơ sở mica và sợi thuỷ tinh.

1. Gỗ: Gỗ có giá rẻ, dễ gia công nên nó là vật liệu cách điện đầu tiên được sử dụng trong kỹ thuật điện. Gỗ có đặc tính cơ tương đối tốt, độ bền kéo (dọc theo xơ) trong phạm vi 700-1300 kG/cm²; khối lượng biến động trong khoảng từ 0,5 đến 0,7-0,8 G/cm³, rất ít khi đạt tới 1,0G/cm³. Thường thì gỗ nặng có độ bền cao hơn gỗ nhẹ.

Gỗ không được dùng rộng rãi trong kỹ thuật điện vì có những nhược điểm sau:

* Tính chất hút ẩm cao làm cho tính chất cách điện của gỗ giảm đi nhiều khi bị hút ẩm, mặt khác các chi tiết làm bằng gỗ ẩm khi đã khô lại dễ bị cong vênh và nứt.

* Không xác định được tiêu chuẩn cho các tính chất của gỗ ngay cả với gỗ cùng loại, vì tính chất của gỗ lệ thuộc vào nơi trồng, tuổi và các yếu tố khác. Tính chất của mẫu gỗ không thuần nhất do chiều xẻ gỗ, các mẫu và các khuyết tật khác.

* Độ bền điện kém và có thể cháy được.

Trong kỹ thuật điện gỗ được dùng để chế tạo: tay cầm các bộ truyền động trong dao cách ly và máy cắt dầu, cán cầu dao điện, giá đỡ, các chi tiết chêm giữ chặt, chêm rãnh của máy điện, cột gỗ đường dây tải điện v.v...

2. Giấy và các tông

Giấy và cáctông là những vật liệu hình tấm hoặc quấn lại thành cuộn có cấu tạo bằng xơ ngắn, thành phần chủ yếu là xenlulô. Người ta thường dùng gỗ xenlulô rẻ tiền để sản xuất giấy. Trong khi sản xuất giấy cần tách các tạp chất ra khỏi gỗ, bằng cách nghiền vụn gỗ ngâm trong dung dịch hóa học, sau đó rửa sạch xenlulô đã nấu để tách tạp chất ra và giữ lại xenlulô tinh khiết. Bột xenlulô chứa trong nước sau khi được gia công cơ khí, được rót trải ra thành một lớp trên mặt lưới chuyển động liên tục trên máy làm giấy. Nước thoát ra qua các mắt lưới, còn lớp bột giấy được ép chặt lại và sấy khô khi đi qua các trục cán, cuối cùng thu được giấy thành cuộn. Chúng ta sẽ xem xét một số loại giấy có công dụng lớn đối với kỹ thuật điện.

* **Giấy cáp:** Giấy cáp được dùng làm cách điện của cáp điện lực, có các ký hiệu sau: K-080; K-120; K-170; KM-120; KB-030; KB-045; KB-080; KB-120; KB-170; KB-240; KBY-015; ..., KBY-120; KBM-080; ..., KBM-240. Trong ký hiệu: K- thuộc về cáp; M- nhiều lớp; B- điện áp cao; Y - được ép chặt; còn các số là định mức chiều dày.

Giấy cáp không được ép có khối lượng riêng từ 0,76 đến 0,87 G/cm³, còn các giấy ép thì đạt tới 1,09-1,10 G/cm³. Các giấy ép có hằng số điện môi cao hơn những loại giấy không ép: ϵ của các loại giấy khi được tẩm bằng dầu mỏ có trị số 4,3 (đối với giấy ép) và 3,5 (đối với giấy không ép). Trị số tg δ của giấy (ở tần số 50Hz và nhiệt độ 100°C) không được lớn hơn các số liệu sau đây:

Đối với giấy khô: KB và KBY là: 0,0025-0,0027, KBM - 0,0023-0,0024.

Đối với giấy có tẩm dầu: KB và KBY - 0,0037, KBM - 0,0030 - 0,0032.

Vì chất cách điện của cáp có tẩm chất nhớt bị hoá già nên loại cáp này chỉ làm việc lâu dài trong điện trường có cường độ thấp: 3-4kV/m. Cáp loại này chỉ dùng với điện áp không vượt quá 35kV. Với điện áp cao hơn người ta sử dụng cáp dầu và cáp nén khí, cường độ điện trường làm việc trong các loại cáp này có thể lấy bằng 8÷10 kV/mm.

* **Giấy cáp điện thoại:** Loại giấy này được chế tạo với chiều dày 0,05 mm và có các màu khác nhau, dùng để làm chất cách điện cáp điện thoại và chất đệm trong việc sản xuất mi ca.

* **Giấy tụ điện:** Loại giấy này khi đã được tẩm làm điện môi cho tụ điện giấy, có hai loại giấy làm tụ điện: KOH - là loại giấy làm tụ điện thông thường và silicon là loại giấy làm tụ động lực. Khối lượng riêng của giấy tụ I là 8÷10G/cm³, giấy tụ II là: 1,17÷1,25 G/cm³. Chiều dày định mức tính bằng micron, nhãn loại I: 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 22 và 30, của giấy nhãn loại II: 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 22 và 30. Giấy làm tụ điện được sản xuất thành từng cuộn có chiều rộng từ 12 đến 750mm.

Những đặc tính của giấy làm tụ điện có chiều dày 15 μ m cho ở bảng 7.6.

Bảng 7.6. Một số đặc tính của giấy làm tụ điện

Các đặc tính	Loại và nhãn hiệu giấy				
	KOH-I	KOH-II	Silicon - 0,8	Silicon - 1	Silicon -2
Điện áp đánh thủng của giấy khô, V không nhỏ hơn	430	450	420	460	490
tg δ của giấy khô, không quá:					
ở 60°C	0,0016	0,0018	0,0009	0,0012	0,0015
ở 100°C	0,0028	0,0035	0,0010	0,0015	0,0020
Số lượng điểm có tạp chất dẫn điện trên 1m ² không quá	100	130	10	15	30

Giấy có khối lượng cao được dùng trong các tụ điện làm việc dưới điện áp một chiều vì trong trường hợp này không những nó có trị số độ bền điện ngắn hạn

và dài hạn cao mà còn có lợi về cả điện dung C nữa. Loại giấy kém chắc chắn có tgđ nhỏ và độ bền điện dài hạn cao hơn khi làm việc dưới điện áp xoay chiều, vì vậy nó được dùng trong các tụ điện làm việc dưới điện áp xoay chiều.

Khi tính đến hiện tượng hoá già của giấy tẩm dưới tác dụng lâu dài của điện trường, cường độ điện trường làm việc trong tụ điện giấy có tẩm bằng chất lỏng thường lấy bằng 25-35kV/mm với điện áp một chiều và lấy 12-15 kV/mm với điện áp xoay chiều tần số 50Hz.

* **Giấy bằng mica.** Loại giấy này được dùng làm nền trong sản xuất băng mica cách điện, nó được chế tạo bằng sợi dài thành từng cuộn rộng 450 hoặc 900 mm. Chiều dày của giấy là $20 \pm 2\mu\text{m}$ và trọng lượng một mét vuông giấy bằng 17 ± 3 gam. Khi đem nhúng vào sơn thì độ bền cơ của loại giấy này giảm xuống một ít, nó rất xốp nên không khí và hơi ẩm của dung môi có thể đi qua giấy một cách dễ dàng. Điều đó rất cần thiết cho việc dán và sấy khô liên tục băng mica.

* **Cáctông cách điện.** Có hai loại cáctông được sử dụng: loại để ngoài không khí cứng và đàn hồi, dùng cho làm cách điện ở trong không khí (lót vào rãnh của máy điện, các lõi cuộn dây, các vòng đệm v.v...) và loại dùng trong dầu có cấu trúc xốp và mềm hơn, được dùng chủ yếu trong dầu máy biến áp. Cáctông dùng trong dầu có tính tẩm dầu tốt và ở dạng được tẩm có độ bền điện cao.

Còn có loại cáctông cách điện mỏng được sản xuất ra thành cuộn, đôi khi sản xuất thành tấm. Cuộn giấy cáctông có chiều dày đến 3mm.

* **Phíp:** Người ta cho giấy mỏng đi qua dung dịch clorua kẽm (ZnCl_2) nóng rồi đem quấn vào một tang quay bằng thép để có được chiều dày cần thiết; sau đó cắt lớp giấy ra khỏi tang quay, đem rửa cẩn thận bằng nước và ép thu được sản phẩm gọi là phíp. Việc đem rửa phíp là cần thiết để thải hết clorua kẽm, nếu để lại làm cho tính chất cách điện của phíp xấu đi. Thực tế hàm lượng ZnCl_2 còn lại không quá 0,1-0,2% thì phíp có $\rho \geq 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$; $E_{đt} \geq 1\text{kV/mm}$. Phíp được sản xuất ra thành lá hay tấm dày từ 0,1 đến 25mm và có thể dạng ống với các đường kính khác nhau.

Màu của phíp có thể màu đen, nâu, đỏ ... là do màu của giấy dùng để sản xuất ra phíp. Tính chất cơ của phíp khá tốt: $\sigma_{kéo} = 550 \div 750 \text{ kG/cm}^2$; $\sigma_{nén} = 1500 - 2000 \text{ kG/cm}^2$; $\sigma_{kéo} = 800 \div 1000 \text{ KG/cm}^2$; ứng suất dai va đập vào khoảng 20-30 kG.cm/cm^2 . Phíp dễ gia công: cưa, cắt, bào, tiện ren vít được, với chiều dày tới 6-8mm thì đập được. Ngâm phíp vào nước nóng nó sẽ mềm đến mức có thể định hình được. Tỷ trọng của phíp 1-1,5 G/cm^3 , tỷ trọng của phíp càng cao thì đặc tính cơ và tính cách điện của nó càng cao.

Nhược điểm của phíp là độ háo nước cao, phải tới 50-60%. Khi độ ẩm môi trường xung quanh cao thì các chi tiết bằng phíp dễ bị biến dạng. Khi phíp đã bị

thấm ẩm, lượng clorua kẽm còn lại trong phíp sẽ tạo ra điện dẫn điện phân lớn. Trên các vật có mang điện thế dương trong điện áp một chiều khi tiếp xúc với các chi tiết bằng phíp sẽ có các ion clo từ $ZnCl_2$ tách ra dẫn đến hiện tượng ăn mòn vật dẫn. Có thể giảm độ háo nước của phíp, có thể tẩm phíp bằng dầu máy biến áp, parafin v.v...

Dưới tác dụng của hồ quang điện phíp bị phân huỷ và sinh ra lượng khí lớn có khả năng dập tắt hồ quang. Vì vậy nó được dùng để chế tạo các chống sét ống. Hiện nay người ta thường dùng polimetylmetacrilát (thủy tinh hữu cơ) thay cho phíp để làm vật liệu dập hồ quang trong các chống sét ống.

Hiện nay giấy làm bằng hỗn hợp của xenlulô với xơ polietilen có ϵ , tg δ và độ háo nước nhỏ hơn nhưng độ bền cơ lớn hơn so với giấy bằng xenlulô. Loại giấy hỗn hợp này được dùng nhiều trong cách điện của cáp điện áp cao.

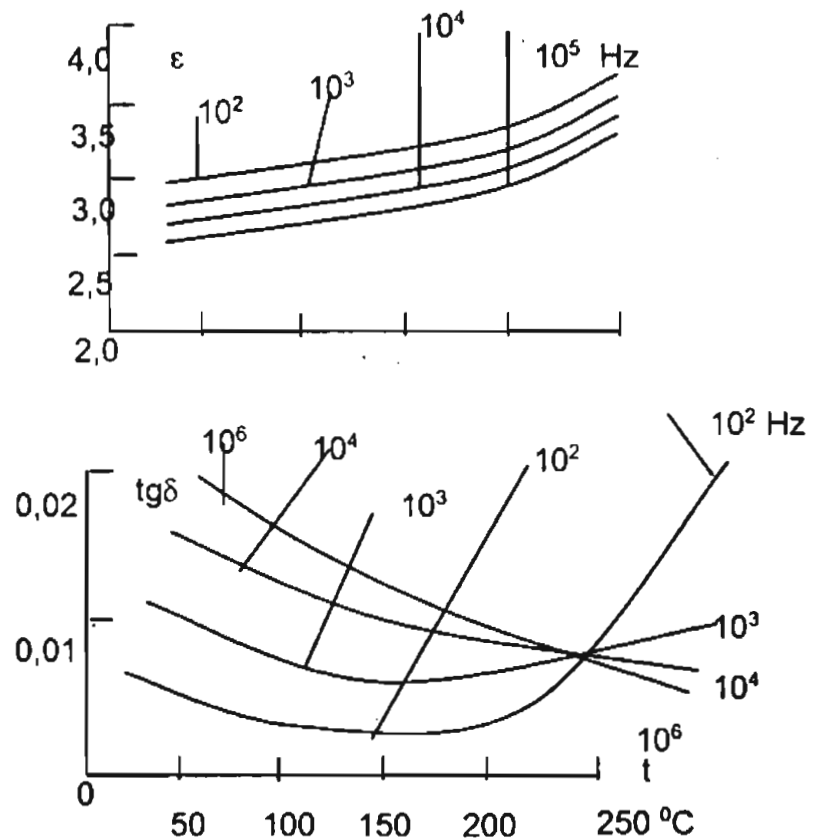
* *Giấy bằng xenlulô đã được axetyl hoá*, tức là chuyển một phần thành phần axetyl xenlulô, có ϵ , tg δ và độ háo nước nhỏ hơn và có tính chịu nhiệt cao. Giấy làm bằng xenlulô đã được xianoctyl hoá có tính chịu nhiệt cao hơn. Loại giấy này được dùng làm cách điện của cáp, máy biến áp và dùng để sản xuất hêtinắc v.v...

* *Giấy "nomec"* được sản xuất bằng xơ poliamic chịu nhiệt loại thơm, là một loại vật liệu có rất nhiều triển vọng dùng làm chất cách điện cho máy điện, cáp và dây dẫn điện hoặc làm điện môi của tụ điện. Loại giấy này có chiều dày từ 0,05 đến 0,75 mm và có độ bền điện khoảng 35kV/mm, khi đốt nóng tới 200°C cũng biến đổi ít.

Quan hệ của ϵ và tg δ giấy "nomec" với nhiệt độ và tần số được trình bày ở hình 7-12.

3. Vật liệu dệt

Người ta dùng những phương pháp gia công: kéo sợi và dệt các nguyên vật liệu có xơ dài để sản xuất ra vải dệt. Vải khác giấy ở chỗ có kết cấu đã hoàn toàn được xác định do sự đan sợi, trong giấy thì các xơ được sắp lại với nhau một cách lộn xộn không theo quy luật. Trong cùng các điều kiện như nhau thì vật liệu dệt có độ bền cơ cao hơn giấy và giấy tẩm, nhất là khi bị uốn, bị mài mòn và khi bị ẩm, độ bền không bị giảm quá nhiều, nhưng vật liệu dệt chưa tẩm hay đã được tẩm lại đất tiền hơn và độ bền điện nhỏ hơn.



Hình 7-12. ϵ và tg δ của giấy "nomec" phụ thuộc vào t và tần số f .

Trong kỹ thuật cách điện người ta dùng sợi tết để làm cách điện cho dây dẫn và dây cáp mềm bằng phương pháp quấn và tết. Vải và băng được dùng để bảo vệ phần cách điện chủ yếu của máy điện và thiết bị điện chống lại các tác dụng có từ phía ngoài vào. Vải còn được dùng vào việc sản xuất vải sợi cách điện và chất dẻo nhiều lớp loại tectolit, ống lồng cách điện trong máy biến áp cao áp ...

* **Vải và băng bằng sợi bông:** Trong kỹ thuật điện người ta dùng loại vải được dệt theo kiểu đơn giản nhất như vải phin uốn (sifon) dày 0,15 mm, vải mịn (bàtít) dày 0,12 mm, vải cứng (biaz) dày 0,40 mm. Ngoài ra trong sửa chữa máy điện người ta dùng băng dệt sợi bông có viền mép: băng nhám dệt chéo: dày 0,45 mm; băng mỏng: dày 0,12mm và băng mịn: dày 0,12 mm. Các loại băng khác nhau có chiều rộng từ 10 đến 68 mm. Ứng lực kéo đứt của băng có chiều ngang 20mm không được nhỏ hơn các trị số sau đây: loại băng nhám - 26KG, loại băng mỏng - 19KG và loại băng mịn - 9,5KG, độ giãn dài khi đứt của băng nhám không nhỏ hơn 9%, của băng mỏng -5% và băng mịn -4%.

* **Lụa tơ tằm tự nhiên:** Người ta kéo tơ từ kén của những con tằm được nuôi bằng lá dâu. Lụa cách điện có chiều dày 0,07-0,08 mm, vì vậy có khả năng tạo ra lớp màng mỏng. Lụa cách điện tơ tằm đẹp, bền hơn vải bông, song đắt tiền hơn.

* **Lụa nhân tạo:** Loại tơ nhân tạo chính là tơ visco và tơ axetat thu được bằng cách chế biến các estexenlulô. Bề ngoài cả hai loại tơ nói trên đều giống tơ tự nhiên, nhưng sợi của chúng lại to như sợi bông. Tơ visco không có gì ưu việt hơn xơ bông về đặc tính cách điện, nhưng tơ axetat thì trội hơn sợi bông và cả tơ tự nhiên nữa.

* **Vật liệu bằng xơ tổng hợp:** Các vật liệu làm bằng xơ tổng hợp có các loại sau đây: polietilentetraftalat (lapsan, terilen, terin, đacron v.v...), poliamít (capron, đideron, nilon, amít ...), polietilen, polistirol, polivinylclorit (clorin) và politetrafloetylen.

Xơ tổng hợp có độ bền nhiệt, độ háo nước, các đặc tính cơ và các đặc tính cách điện khác nhau là do bản chất hoá học và công nghệ chế tạo ra xơ.

Trong bảng 7.7 nêu ra các đặc tính cơ của xơ hữu cơ.

Bảng 7.7. Các đặc tính cơ của xơ hữu cơ

Tên loại xơ	Độ bền kéo đứt, KG/cm ²	Độ giãn dài tương đối khi đứt %
Tơ axetal	30	25
Xơ polivinylclorit	40	-
Tơ tự nhiên	35	20
Xơ bông	45	8
Nitron	45	25
Capron và nilon	55-60	20-25
Xơ polietilenteraftalat	85	-

Hiện nay, trong các loại xơ tổng hợp có sử dụng capron vào kỹ thuật cách điện nhiều nhất. Sử dụng capron thay cho lụa tự nhiên và sợi bông đem lại hiệu quả kinh tế cao vì rẻ tiền và tính chất cách điện tốt. Loại xơ nitron là polime của acrinityl có độ bền cơ, độ đàn hồi và độ chịu nhiệt cao (nhiệt độ hoá dẻo của nó trên 235°C).

4. Vải sơn cách điện

Các vật liệu dệt chưa tẩm có độ bền điện không cao, khi tẩm vải bằng sơn thì màng sơn bịt kín các lỗ hổng và làm tăng độ bền điện lên rất nhiều, độ chịu ẩm và độ bền cơ của vải sơn cách điện tăng cao.

Người ta dùng vải sơn rất rộng rãi để làm chất cách điện trong máy điện và thiết bị điện, trong sản phẩm cáp, trong các cuộn dây điện, dùng làm vật liệu để gói bảo quản và để làm lớp đệm v.v... Loại vải thường dùng nhiều nhất để sản xuất vải sơn cách điện là vải bằng sợi bông hoặc vải dệt mỏng bằng tơ, loại thứ nhất gọi là vải sơn cách điện, loại thứ hai gọi là lụa sơn cách điện.

Tuỳ theo loại sơn tẩm mà người ta có các vải sơn cách điện có màu khác nhau: màu sáng hay màu vàng và màu đen. Lụa cách điện đắt tiền hơn vải sơn cách điện nhưng lại mỏng hơn nên có thể tạo vật cách điện có kích thước nhỏ và có độ bền điện cao hơn. Gần đây vải sơn cách điện có nền vải làm bằng xơ tổng hợp cũng được dùng nhiều ví dụ như capron.

Độ bền điện của vải sơn màu sáng: loại vải bằng sợi bông có trị số khoảng 35-50kV/mm, loại bằng tơ: 55-90 kV/mm. Khối lượng riêng của vải màu vàng cũng như màu đen gần bằng $1,1\text{G/cm}^3$, lụa sơn cách điện $0,9\div 1,0\text{ G/cm}^3$.

Với những đặc tính chung của sơn dầu bitum, vải sơn cách điện màu đen có đặc tính cách điện tốt hơn màu vàng, ví dụ: $E_{đt} = 50\text{-}60\text{kV/mm}$. Vải sơn cách điện màu đen ít hấp nước nhưng khả năng chịu tác dụng của dung môi hữu cơ thấp hơn vải sơn màu vàng. Thực tế vải sơn cách điện màu đen không chịu được dầu, vì vậy nó không dùng làm cách điện ngâm trong dầu, trong xăng, nó chỉ làm chất cách điện cho máy điện, cho các loại sản phẩm cáp đặc biệt và trong các trường hợp nếu chất cách điện không phải chịu tác dụng của dung môi hữu cơ. Vải sơn cách điện thường được sản xuất ở dạng cuộn rộng từ 700 đến 1000mm, chiều dày của vải là $0,15\div 0,24\text{ mm}$, của lụa cách điện từ 0,08 đến 0,15 mm.

Khi tẩm giấy bằng sơn để thu được giấy sơn cách điện có thể dùng thay cho vải sơn sẽ rẻ hơn nhưng độ bền cơ nhỏ và độ dẫn dài khi đứt nhỏ. Gần đây có khuynh hướng thay thế vải sơn và giấy sơn cách điện bằng vật liệu cách điện dẻo đó là màng dẻo.

7.4.1.9. Chất dẻo

Chất dẻo là loại vật liệu được dùng rộng rãi trong kỹ thuật cũng như trong đời sống. Đặc điểm của chất dẻo là dưới tác dụng của sức ép từ bên ngoài vào nó sẽ nhận được hình dáng đã được định trước của khuôn ép để chế tạo ra sản phẩm. Trong kỹ thuật điện người ta dùng rộng rãi chất dẻo để làm vật liệu cách điện cũng như để làm vật liệu kết cấu thuần túy.

Phần nhiều chất dẻo gồm có hai thành phần cơ bản: chất kết dính và chất độn.

* **Chất kết dính** là một hợp chất hữu cơ, thường là hợp chất cao phân tử có khả năng biến dạng dưới dạng dẻo, dưới tác dụng của áp suất bên ngoài. Trong trường hợp đặc biệt người ta còn dùng cả chất kết dính vô cơ nữa (dùng thủy tinh trong mica, xi măng trong xi măng amiăng).

* **Chất độn** dính kết chặt chẽ với chất kết dính, nó có thể ở dạng bột, dạng sợi, dạng tấm. Chất độn làm giảm một cách đáng kể giá tiền của chất dẻo đồng thời có thể làm cho đặc tính cơ của nó tốt hơn. Vì có thêm chất độn nên tính hút ẩm và tính cách điện thường bị giảm đi, vì vậy khi muốn chất dẻo có tính cách điện cao thì không nên dùng chất độn.

Đôi khi người ta cho thêm chất tăng dẻo vào thành phần chất dẻo để tăng độ dẻo và giảm độ giòn của vật liệu, thêm bột màu để cho chất dẻo có màu sắc nhất định và thêm các chất phụ gia khác.

Chất kết dính quyết định về cơ bản những đặc điểm của công nghệ chế tạo sản phẩm bằng chất dẻo. Tùy theo loại chất kết dính mà người ta chia thành: chất dẻo ép nóng và chất dẻo ép nguội. Đa số các chất dẻo có chất kết dính hữu cơ đòi hỏi phải ép nóng, các chất dẻo ấy lại chia thành chất nhiệt dẻo và chất nhiệt cứng.

Các chất dẻo trên cơ sở của nhựa polivinyl và nhựa poliamic, các estexenlulô ... thuộc về loại nhiệt dẻo, còn các chất dẻo nhiệt cứng là các chất dựa trên cơ sở nhựa fenol fomalitêhit, nhựa cacbamat và các loại nhựa cứng khác.

Đặc tính của các sản phẩm ép phụ thuộc vào thành phần của chất dẻo và chế độ ép. Ví dụ, khi dập nén bột ép K21-22 (nhựa crozofomaldehyt có trộn chất độn) dưới áp suất trong khuôn ép 250-300 kG/cm², nhiệt độ của khuôn ép 155-160°C giữ trong hình thời gian 0,5-1 phút tính cho mỗi milimét chiều dày của sản phẩm, thì sản phẩm ép ra có đặc tính sau: khối lượng riêng 1,35-1,40 G/cm³; $\sigma_{kéo} \geq 300$ kG/cm²; $\sigma_{nén} \geq 1500$ kG/cm²; có độ bền nhiệt không thấp hơn 100°C; độ hút nước sau 24 giờ không quá 0,25%, $\rho > 5 \cdot 10^{12}$ Ω.cm; tgδ ≤ 0,09.

Sản phẩm bằng nhựa polistirolo có đặc tính cách điện cao và độ hút ẩm nhỏ, nhưng lại có nhiệt độ hoá dẻo thấp.

Chất dẻo bằng polivinylclorít (không có chất độn) gọi tên là vinoplast được sản xuất ra thành từng tấm với chiều dày từ $0,3 \div 1,0$ mm. Ngoài ra còn chế tạo ra các ống, các thanh hay các sản phẩm định hình khác. Các tấm vinoplast có giới hạn bền kéo không nhỏ hơn 500 kG/cm^2 ; độ giãn dài tương đối khi đứt từ 10 đến 50%; ứng suất dai va đập không nhỏ hơn 120 KG.cm/cm^2 . Nó có độ hút ẩm thấp và độ bền hóa học cao đối với dung môi và các chất có hoạt tính hoá học. Đặc tính cách điện vinoplast là: $\rho_v = 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$; $\rho_s = 10^{14} \Omega$; $\epsilon = 3,2 \div 4,0$; $\text{tg}\delta = 0,01 \div 0,05$; $E_{th} = 15 \div 35 \text{ KV/mm}$.

Chất dẻo nhiều lớp:

1. **Hêtinác:** Được sản xuất ra bằng cách ép nóng giấy đã được tẩm bakêlít. Người ta chọn loại giấy dùng để tẩm có tính bền và chịu nhiệt để sản xuất ra hêtinác. Phương pháp tẩm giấy phổ biến nhất là tẩm bằng sơn, tức là dung dịch bakêlít trong rượu, sau đó đem sấy khô. Giấy đã tẩm được cắt ra thành tờ theo khuôn khổ quy định xếp lại thành chồng ứng với chiều dày cần thiết và được đặt vào giữa các tấm bằng thép của máy ép thủy lực có bộ phận gia nhiệt để nung nóng khi ép áp lực. Bakêlít trong vật liệu nóng chảy sẽ lấp kín các lỗ rỗng giữa các xơ giấy và giữa từng tờ giấy riêng biệt, đồng thời bakêlít được thiêu kết hoá cứng và làm cho các lớp giấy thêm vững chắc. Áp lực khi ép tạo ra áp suất $100\text{-}200 \text{ KG/cm}^2$, nhiệt độ khi ép $160\text{-}165^\circ\text{C}$ duy trì trong thời gian từ 2 đến 5 phút. Hêtinác thu được có khối lượng riêng từ 1,25 đến $1,4 \text{ G/cm}^3$ độ bền điện vào khoảng $20\text{-}25 \text{ KV/mm}$; $\epsilon = 5\text{-}6$.

Hêtinác được sử dụng trong việc chế tạo các thiết bị và dụng cụ điện cao áp và thấp áp, nó cũng được dùng trong kỹ thuật thông tin.

2. **Téctôlít:** Các tấm này cũng tương tự như hêtinác nhưng được chế tạo bằng vải tẩm chứ không phải bằng giấy tẩm. Téctôlít thủy tinh là loại téctôlít đặc biệt được sản xuất ra trên cơ sở vải thủy tinh. Nó có độ bền nhiệt, sức chịu ẩm, độ bền cơ và đặc tính cách điện rất cao.

Người ta còn chế tạo ra các ống, các thanh, các sản phẩm định hình có hình dáng phức tạp khác bằng téctôlít, nhất là buồng dập hồ quang trong các máy cắt. Téctôlít còn dùng làm vật liệu kết cấu, chế tạo bộ truyền động bánh răng, các ổ trục v.v...

Trong thời gian ngắn gần đây, đã chế tạo ra được nhiều loại chất dẻo nhiều lớp có đặc tính cách điện, độ bền cơ và độ chịu nhiệt cao. Chất kết dính dùng trong các chất dẻo ấy là nhựa polieste, êpôxi, nhựa poliimít, nhựa silic hữu cơ và các loại nhựa khác. Thành phẩm tạo thành là tổ hợp cách điện compozít các đặc tính cách điện và độ bền cơ rất cao, chịu được ẩm ... ứng dụng nhiều trong các thiết bị điện cao áp.

Những đặc tính của hêtinắc, tectôlít và téctôlít thuỷ tinh được trình bày trong bảng 7.8.

Bảng 7.8. Các đặc tính của một số chất dẻo nhiều lớp

Các đặc tính	Hêtinắc		Téctôlít	Téctôlít thuỷ tinh
	A	B	B	-
Giới hạn bền kéo theo dọc lá, KG/cm ² , không nhỏ hơn	800	1000	650	900
Giới hạn bền uốn theo chiều thẳng góc với lớp cách điện KG/cm ² , không nhỏ hơn	1000	1300	1200	1100
Ứng suất dai va đập theo chiều thẳng góc với lớp cách điện, KG.cm/cm ² không dưới	13	20	25	50
Độ bền nhiệt, °C, không thấp hơn	150	150	125	185
Điện trở suất khối $\rho_V(\Omega.cm)$, không nhỏ hơn	10^{11}	10^{10}	10^9	10^{10}

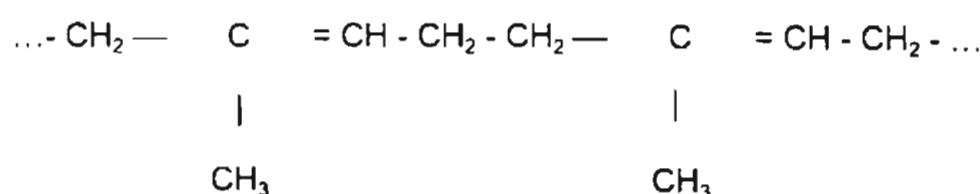
7.4.10. Chất đàn hồi

Những vật liệu trên cơ sở của cao su và những chất có đặc tính gần giống cao su gọi là chất đàn hồi có ý nghĩa lớn trong nhiều kỹ thuật khác nhau và trong đời sống. Cao su có một số tính chất quan trọng sau đây: tính đàn hồi cao, tính ít thấm ẩm và ít thấm khí.

1. Cao su thiên nhiên

Cao su thiên nhiên lấy được từ nhựa cây cao su ở dạng lơ lửng của các phần tử rất nhỏ có hình mạch vòng (gọi là vi cầu) trong nước; những vi cầu ấy bên trong là cao su thiên nhiên và bao bên ngoài là một màng mỏng bằng chất protit và các axit béo. Khi làm đông tụ mũ cao su và thải hết tạp chất tách riêng ra được cao su.

Về thành phần hóa học thì cao su thiên nhiên là hydrôcacbon trùng hợp có thành phần là $(C_5H_8)_n$ và cấu tạo của nó được đặc trưng bằng sự có mặt của liên kết kép:



Khi nóng lên tới nhiệt độ 50°C thì cao su trở thành dẻo và dính, còn khi ở nhiệt độ thấp thì giòn. Cao su hoà tan được trong hydrôcacbon và trong

cacbondisunfua. Dung dịch cao su trong dầu xăng thường gọi là keo cao su, có thể dùng vào việc dán cao su tự nhiên với cao su đã lưu hoá một cách chắc chắn.

Tính đàn hồi của cao su gắn liền với hình dáng chữ chi và dạng "bản lề" của các chuỗi xích trong các phân tử của nó, khi cao su chịu tác dụng của lực kéo thì các chuỗi xích trong phân tử của nó có dạng gần giống mạch thẳng. Sau khi bỏ lực kéo ra, cao su lại có những đặc tính của vật thể định hình cũ.

Người ta không dùng cao su nguyên chất vào việc sản xuất vật liệu cách điện vì nó không chịu được nhiệt độ cao và nhiệt độ thấp cũng như tác dụng của dung môi. Để khắc phục được các nhược điểm này người ta tiến hành lưu hoá cao su, tức là nung nóng lên khi cho thêm lưu huỳnh vào cao su. Trong khi lưu hóa, các liên kết kép của những phân tử hình chuỗi xích bị đứt cục bộ và các chuỗi xích nhỏ được nối qua lại với các nguyên tử - S- để tạo thành cấu trúc không gian.

2. Cao su lưu hoá

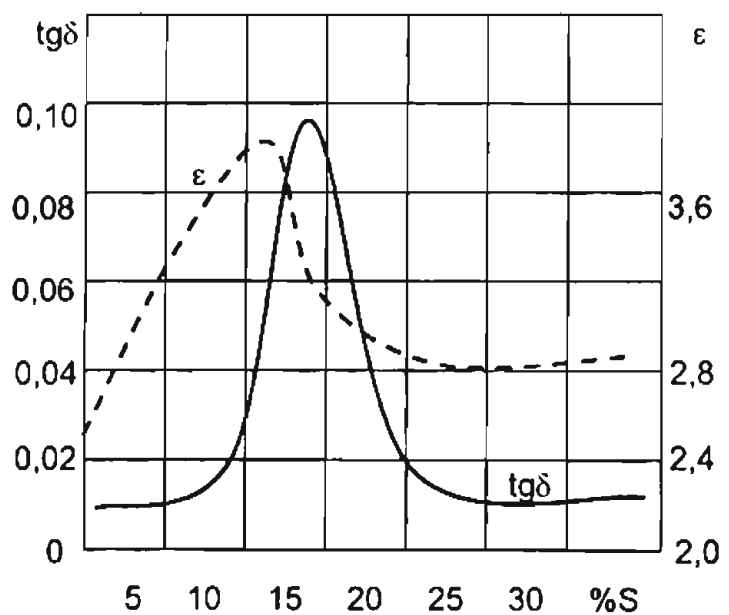
Sau khi lưu hoá với lưu huỳnh làm cho tính chịu nhiệt, chịu lạnh của cao su tốt hơn, làm tăng độ bền cơ và độ bền với dung môi. Tùy theo lượng lưu huỳnh cho thêm vào cao su mà ta được các sản phẩm khác nhau.

- Nếu cho từ 1 ÷ 3% lưu huỳnh thì thu được cao su dẻo có khả năng chịu kéo và tính đàn hồi hãỵ còn rất cao.
- Nếu pha thêm từ 30 ÷ 35% lưu huỳnh thì thu được cao su rắn (thường gọi là êbônít) chịu được tải trọng va đập lớn.

Các loại cao su kỹ thuật khác nhau có độ giãn dài tương đối khi đứt khoảng 100÷500%, còn êbônít chỉ từ 2÷6%.

Trong khi sản xuất cao su lưu hoá và êbônít, ngoài cao su tự nhiên và lưu huỳnh, người ta còn cho vào thành phần của hợp chất cao su những chất độn khác nhau (đá phấn, hoạt thạch .v.v...) làm thay đổi cơ bản tính chất của cao su, ngoài ra còn cho thêm chất nhuộm màu, chất xúc tác để làm nhanh quá trình lưu hoá ...

Cao su được dùng rộng rãi trong công nghiệp điện để làm chất cách điện cho các dây dẫn trong thiết bị điện, dùng để lắp ráp, dây



Hình 7-13. ϵ và $tg\delta$ của cao su lưu huỳnh hoá phụ thuộc vào hàm lượng lưu huỳnh.

cáp mềm, chế tạo ra găng, ủng, thảm cách điện và các ống cách điện.

Khi dùng cao su làm vật liệu cách điện cần chú ý đến các nhược điểm sau đây: độ bền nhiệt thấp, ít chịu được tác dụng của dầu mỡ, nó bị phồng rộp lên khi ngâm trong dầu mỡ, không chịu được các chất benzen, xăng, ..., kém bền đối với tác dụng của ánh sáng nhất là tia tử ngoại làm cho cao su bị hoá già nhanh, cao su bị hoá già nhanh khi chịu tác động của ôzôn. Lưu huỳnh tự do còn sót lại trong cao su có thể gây tác hại cho vật liệu bằng đồng (Cu) nhất là khi nhiệt độ cao, chúng tạo thành sunfua đồng. Vì vậy không cho phép đặt trực tiếp cách điện bằng cao su lên lõi bằng đồng, cần phải có một lớp lót (thiếc hoặc kim loại khác). Cao su có thể đặt trực tiếp lên lõi bằng nhôm mà không cần lót.

Trên thực tế cao su tinh khiết là chất không cực tính có $\rho = 10^{16} \Omega.cm$, $\epsilon = 2,1$, $tg\delta = 0,002$. Sau khi lưu hoá với lưu huỳnh các đặc tính ϵ và $tg\delta$ sẽ thay đổi tùy theo tỷ lệ hàm lượng của lưu huỳnh (hình 7-13).

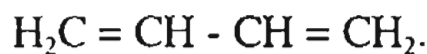
Cao su cách điện thường có $\rho_v = 10^{15} \Omega.cm$; $\epsilon = 3 \div 7$; $tg\delta = 0,02 \div 0,10$; $E_{đi} = 20 \div 30 \text{ KV/mm}$.

Êbômít để làm cách điện được sản xuất thành các tấm, ống hay thanh. Nó có thể gia công cơ khí dễ dàng, được dùng làm sản phẩm khác nhau, dùng làm bình ắc quy v.v...

3. Cao su tổng hợp

Người ta dùng rượu cồn, dầu mỡ và khí thiên nhiên làm nguyên liệu để sản xuất ra cao su tổng hợp thay thế cho cao su thiên nhiên và ứng dụng trong công nghiệp sản xuất cáp điện, thiết bị điện v.v...

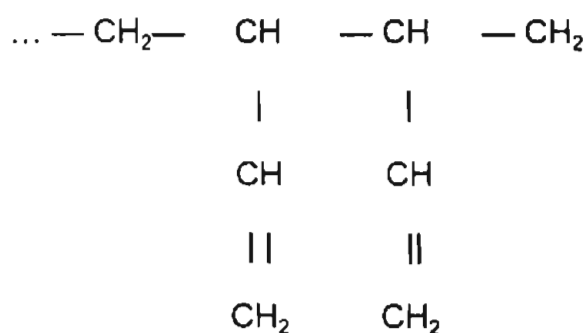
a) Cao su butadien: Là loại cao su tổng hợp phổ biến nhất, loại cao su này thu được khi trùng hợp hydrocacbon loại butadien ở thể khí. Phân tử butadien (divinyl) gồm có hai nhóm divinyl:



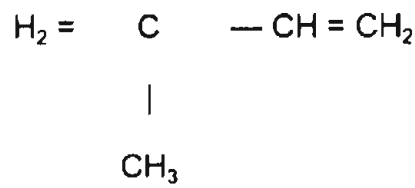
Khi trùng hợp có sự tham gia của chất xúc tác (natri kim loại) butadien chuyển hoá thành cao su butadien, chuỗi xích trong phân tử của nó có dạng:



hoặc là:



Như thế thì thành phần của cao su butadien hoàn toàn giống cao su thiên nhiên, như là chất trùng hợp của hydrocacbon loại izopren (metyldivinyl):

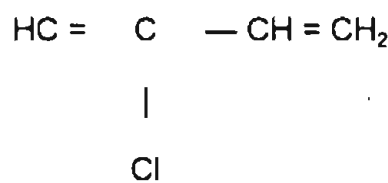


Người ta thường hay dùng cao su butadien để thay thế cao su thiên nhiên hoặc là hợp chất của nó để sản xuất cao su dẻo cũng như sản xuất êbonít. Muốn dùng cao su butadien vào mục đích cách điện phải rửa sạch chất xúc tác còn dư lại (natri) vì chất này sẽ làm giảm đặc tính cách điện của cao su.

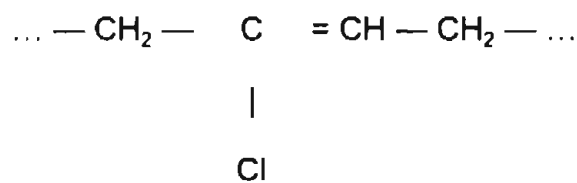
b) Escapon: Khi nung nóng tới 200-300°C (không cho thêm chất lưu hóa) các liên kết kép bị đứt cục bộ do đó, cao su butadien được trùng hợp bổ xung và chuyển thành escapon là chất có đặc tính cơ gần giống êbonít nhưng có độ bền nhiệt cao hơn và ít chịu được tác dụng của axit và các dung môi hữu cơ. Thời gian trùng hợp càng tăng thì vật liệu thu được càng cứng.

Escapon có đặc tính cách điện cao: $\rho_v = 10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$; $\rho_s = 10^{16} \Omega$; $\epsilon = 2,7 \div 3,0$; $\text{tg}\delta = 5 \cdot 10^{-4}$; điều đó được giải thích là do bản chất không cực tính của polime không gian có thành phần toàn là hydrocacbon. Escapon có thể dùng làm điện môi cao tần. Trên cơ sở của escapon người ta còn sản xuất ra được nhiều vật liệu mới như sơn, hợp chất cách điện v.v...

c) Cao su cloropren. Trùng hợp cloropren:

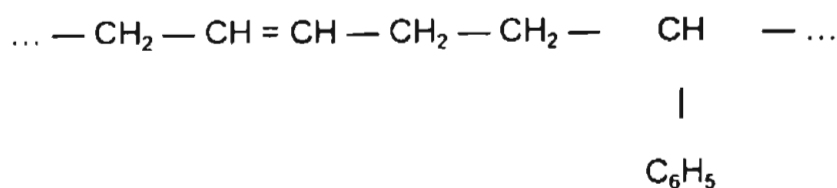


để tạo ra loại cao su cloropren với cấu tạo phân tử như sau:

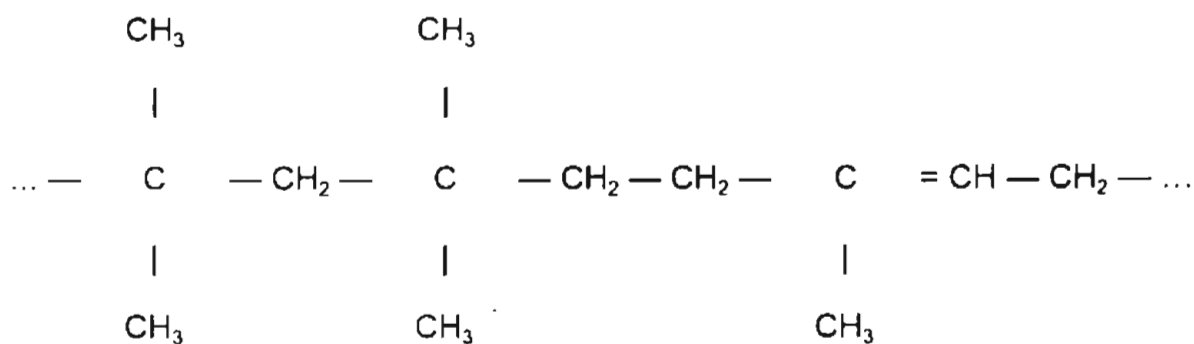


Loại cao su này cực tính, tuy có đặc tính cách điện thấp, nhưng lại rất bền đối với tác dụng của dầu và xăng, của ôzôn và các chất ôxy hoá khác, vì thế có thể dùng nó để làm vỏ bảo vệ cho các sản phẩm cáp, làm tấm đệm chịu được dầu v.v... So với cao su tự nhiên thì loại cao su này bền hơn về sự hoá già nhiệt và ít thấm khí.

d) Cao su butadien - stirol: Khi trùng hợp chung butadien với stirol thu được cao su butadien - stirol. Loại cao su này có đặc tính cách điện gần giống như cao su tự nhiên. Nó có tính chịu nhiệt, tính chịu dầu và chịu xăng cao. Cấu tạo phân tử của cao su butadien - stirol như sau:

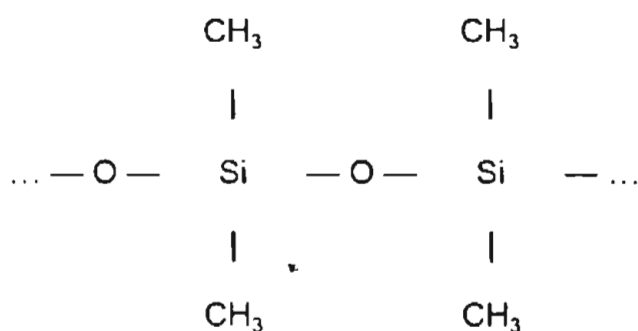


d) Cao su butyl: Người ta sản xuất ra loại cao su này bằng cách đồng trùng hợp izobutilen $\text{H}_2\text{C} = \text{C}(\text{CH}_3)_2$ cùng với một lượng nhỏ izopren hoặc butadien. Cao su butyl có cấu tạo phân tử như sau:



Số liên kết kép trong cao su butyl ít hơn nhiều so với cao su thiên nhiên hoặc các loại cao su tổng hợp đã nói ở trên. Đây là nguyên nhân làm cho cao su butyl có độ bền nhiệt khá cao và cao su trên cơ sở butyl có tính chịu ôxy, ôzôn và axit cao. Độ thấm khí của nó nhỏ hơn cao su thiên nhiên 10 ÷ 20 lần, có độ đàn hồi khá thấp, nhưng ở nhiệt độ -60°C nó vẫn đàn hồi và đây là đặc tính chịu lạnh tốt của cao su butyl. Nhược điểm của loại cao su này là không chịu được dầu mỡ, nó bị phồng rộp lên hay tan một phần khi ngâm vào dầu mỡ.

e) Cao su silic hữu cơ: Loại cao su này có dãy chuỗi xích polixiloxan làm cơ sở cho cấu tạo phân tử. Người ta sản xuất ra cao su polimetylxiloxan mang ký hiệu CKT:



Trong phân tử của nó không có liên kết kép, vì vậy khó lưu hóa cao su CKT nên khi chế tạo ra phải đưa phụ gia đặc biệt (peroxít hữu cơ) vào thành phần của hợp chất. Cao su CKT có độ bền nhiệt cao (khoảng $+250^\circ\text{C}$) và chịu lạnh tốt (ở -70°C đến -100°C vẫn giữ được tính dẻo), các đặc tính cách điện tốt, nhưng nó lại có đặc tính cơ thấp, kém bền đối với tác dụng của dung môi và rất đắt tiền.

Người ta dùng phương pháp ép để chế tạo ra các sản phẩm bằng các loại cao su khác nhau. Việc gắn lớp cách điện và lớp vỏ bảo vệ bằng hợp chất cao su lên sản phẩm cáp thường được thực hiện trên máy đúc ép (máy ép trực vít) tương tự như máy ép trực vít để gắn chất cách điện nhiệt dẻo.

Có thể đem lưu hóa các sản phẩm cáp đã được cách điện hoặc lọc bằng hợp chất cao su. Phương pháp tiên tiến hơn là tiến hành lưu hoá trên máy lưu hoá liên hợp liên tục, ở đây dây dẫn hoặc cáp sau khi ra khỏi máy ép trục vít được cho trực tiếp đi qua một thiết bị nung nóng dài vài chục mét và hợp chất cao su được lưu hoá ở trong đó.

f) Chất đàn hồi giống như cao su

Trong kỹ thuật cách điện người ta còn sử dụng có kết quả tốt một số polime để làm chất dẻo giống như cao su. Các polime này là những chất nhiệt dẻo và không thể lưu hoá được. Ví dụ có lại vì nhiệt nên các bộ phận ở liền nhau trên lớp mặt ngoài của thủy tinh có khuynh hướng nở ra, trong khi đó lớp bên trong như polivinylclorít có thêm chất dẻo được dùng rộng rãi làm chất cách điện cho các sản phẩm cáp khi không cần phải có tgđ nhỏ và độ bền nhiệt cao, nó có độ giãn dài khi đứt khá tốt vào khoảng 100-300%.

Các polime không cực tính được dùng trong cách điện cáp cao tần thì phải có tgđ rất nhỏ.

Người ta thường cho thêm poliizobutilen vào polietilen để tăng thêm tính đàn hồi. Chất được gọi là "hỗn hợp dùng cho cáp" gồm có 90% polietilen và 10% poliizobutilen có giới hạn bền kéo không nhỏ hơn 65KG/cm² và độ giãn dài tương đối khi đứt lớn hơn 300%, độ chịu lạnh không quá -50^oC, ε không quá 2,5; tgđ ở tần số 1MHz không quá 0,0005.

Cũng có thể dùng politetrafloetilen để sản xuất ra chất cách điện đàn hồi dùng cho tần số cao mà lại có độ bền nhiệt cao và tgđ nhỏ. Politrifloetilen cũng có một số công dụng khi dùng làm chất đàn hồi có tính nhiệt dẻo.

7.4.2. Điện môi vô cơ

Điện môi vô cơ là loại vật liệu quan trọng trong kỹ thuật điện và vô tuyến điện. Đa số các điện môi vô cơ có những đặc tính tốt như: tính chịu nhiệt cao, không hút ẩm, độ bền cơ cao và ổn định, chịu được tác dụng của bức xạ năng lượng và là vật liệu rẻ tiền... Trừ một số chất còn hầu hết các vật liệu vô cơ có kết cấu ion trong liên kết, có thể là đơn tinh thể hay đa tinh thể. Đối với vật liệu vô cơ, có thể tạo cho nó một số tính chất theo yêu cầu kỹ thuật bằng cách thay đổi thành phần và quá trình công nghệ gia công.

Để nghiên cứu đặc điểm và tính chất của vật liệu vô cơ, chúng ta có thể chia ra thành các nhóm sau đây:

- 1) Thủy tinh.
- 2) Vật liệu cách điện bằng gốm, sứ.
- 3) Mi ca và các vật liệu trên cơ sở của mica.

- 4) Amian và vật liệu chứa amian
- 5) Vật liệu xét-nhét điện, áp điện và electret.
- 6) Cách điện ôxít và cách điện florua ...

7.4.2.1. Thủy tinh

Thủy tinh là những chất vô cơ không định hình và là hệ phức tạp của nhiều loại ôxít khác nhau. Trong thành phần của thủy tinh ngoài những ôxít tạo thành thủy tinh (SiO_2 , B_2O_3) còn có các loại ôxít khác như: Na_2O , K_2O , CaO , BaO , PbO , ZnO , Al_2O_3 v.v... Thủy tinh silicát có thành phần chủ yếu là SiO_2 .

1. Những đặc tính của thủy tinh

Các đặc tính của thủy tinh biến đổi trong phạm vi rộng, chúng phụ thuộc vào thành phần cấu tạo và chế độ nhiệt luyện hay công nghệ gia công thủy tinh.

Khối lượng của thủy tinh biến động trong khoảng từ 2 đến $8,1 \text{ G/cm}^3$. Thủy tinh nặng là những thủy tinh có hàm lượng chì cao (pha lê, thủy tinh flin). Những loại thủy tinh silicát thông thường có khối lượng riêng gần bằng $2,5 \text{ G/cm}^3$.

Độ bền nén của thủy tinh lớn hơn nhiều so với độ bền kéo: $\sigma_{\text{nén}} = 6000 \div 21.000 \text{ kG/cm}^2$; $\sigma_{\text{kéo}} = 100 \div 300 \text{ kG/cm}^2$. Trong điều kiện bình thường thì thủy tinh rất giòn, dễ bị vỡ khi chịu tải trọng động.

Cũng như các chất không định hình khác, thủy tinh có nhiệt độ nóng chảy không ổn định. Nhiệt độ hóa dẻo của các loại thủy tinh nằm trong phạm vi từ 400 đến 1600°C , trị số lớn là ứng với loại thạch anh (thành phần cấu tạo 100% SiO_2). Khi ta cho thêm các chất phụ khác vào SiO_2 , nhất là ôxít kim loại kiềm thì nhiệt độ hoá dẻo của thủy tinh bị giảm đi rất nhiều. Hệ số giãn nở dài của thủy tinh (α_L) có thành phần cấu tạo khác nhau sẽ biến đổi từ $0,55 \cdot 10^{-6} \text{ (độ}^{-1}\text{)}$ đến khoảng $15 \cdot 10^{-6} \text{ (độ}^{-1}\text{)}$. Trị số α_L rất quan trọng khi đánh giá độ bền của thủy tinh đối với xung nhiệt, đồng thời có ý nghĩa quan trọng trong việc gắn và hàn những thủy tinh khác loại với nhau hoặc với kim loại hay vật liệu khác.

Thủy tinh thông thường không có màu tức là trong suốt. Nếu ta cho một số chất phụ vào thành phần của thủy tinh thì nó có màu sắc nhất định: CaO - màu xanh, Cr_2O_3 - màu xanh lá cây, MnO_2 - màu tím và nâu, UO_3 - màu vàng ..., tính chất này được ứng dụng rộng rãi khi sản xuất thủy tinh màu, men trắng, men nâu. Hệ số khúc xạ của thủy tinh biến động từ 1,47 đến 1,96 (trị số cao là hệ số khúc xạ của phalê).

Trên thực tế thủy tinh silicát chịu được tác dụng của các axit chỉ trừ axit HF, nhưng lại kém bền đối với chất kiềm. Loại thủy tinh đặc biệt chứa nhiều B_2O_3 và Al_2O_3 chịu được hơi natri. Tính chất này rất cần cho dụng cụ thấp sáng bằng điện.

Ở nhiệt độ bình thường các loại thủy tinh khác nhau có $\rho_v = 10^8 \div 10^{17} \Omega.cm$, $\epsilon = 3,8 \div 16,2$; $tg\delta = 0,0002 \div 0,01$. Thủy tinh thạch anh ở $20^\circ C$ có $\epsilon = 3,8$; $tg\delta = 0,0002$. Khi ở $200^\circ C$ ρ_v của nó vẫn bằng $10^{17} \Omega.cm$. So với thủy tinh thạch anh thì thủy tinh kỹ thuật thông thường có đặc tính cách điện kém hơn. Các ôxít kim loại kiềm cho thêm vào thủy tinh sẽ làm cho trị số ρ_v và ρ_s giảm xuống nhiều và $tg\delta$ tăng lên rất nhiều.

Điện dẫn bề mặt phụ thuộc nhiều vào tình trạng bề mặt của thủy tinh, nó tăng lên khi mặt ngoài của thủy tinh bị nhiễm bẩn. Khi độ ẩm của môi trường xung quanh tăng lên thì điện dẫn mặt ngoài cũng tăng, nhất là đối với các loại thủy tinh có tính hoà tan ở ngoài mặt. Khi độ ẩm tương đối 70% và điều kiện mặt ngoài không được sạch, thủy tinh thạch anh cũng như thủy tinh kiềm có ρ_s vào khoảng $10^8 \Omega$, sau khi làm sạch bằng cách đun sôi trong nước cất thì ở độ ẩm 70% ρ_s của thủy tinh kiềm tăng lên tới $10^{11} \Omega$, còn của thủy tinh thạch anh tăng lên $10^{13} \Omega$.

Cường độ điện trường đánh thủng của thủy tinh ít phụ thuộc vào thành phần cấu tạo, nó phụ thuộc chủ yếu vào lượng bọt khí ở trong thủy tinh. Thủy tinh có độ bền điện rất lớn, khi điện áp một chiều trong điện trường đồng nhất có thể đạt tới 50 KV/mm. Trong điện trường không đồng nhất do có hiệu ứng mép nên thủy tinh bị đánh thủng với cường độ điện trường cách điện thấp hơn nhiều. Khi ở tần số cao có thể xảy ra đánh thủng do điện - nhiệt.

Khi làm nguội vật liệu đã được nấu chảy ta thu được thủy tinh. Nếu ta cho chất nóng chảy nguội từ từ khi xác suất chuyển sang trạng thái kết tinh tăng lên. Nếu làm nguội nhanh, làm cho các phân tử không kịp tạo thành mạng tinh thể, chúng cố định tại những vị trí ngẫu nhiên không cho hoàn thành các chuyển vị phân tử, tạo nên thủy tinh vô định hình.

Vì thủy tinh nóng có tính dẻo nên dễ gia công theo phương pháp thổi (bóng đèn, dụng cụ hoá nghiệm), vuốt dài ra (thủy tinh tấm, ống thủy tinh ...), ép, đổ khuôn, v.v... các bộ phận bằng thủy tinh được nung nóng có thể hàn nối với nhau hoặc gắn vào những chi tiết làm bằng các vật liệu khác (kim loại, gốm).

Sản phẩm thủy tinh được chế tạo ra cần đem ủ lại để khử ứng suất cơ học đã hình thành trong thủy tinh khi nó được làm nguội nhanh hoặc nguội không đều. Khi đem ủ phải nung nóng sản phẩm đến nhiệt độ khá cao nào đó (nhiệt độ ủ) và sau đó cho nguội dần dần. Thủy tinh ở trạng thái nguội chỉ có thể gia công cơ khí bằng cách: cắt, khoan, mài và đánh bóng. Muốn khoan thủy tinh phải dùng những dụng cụ bằng hợp kim siêu cứng hoặc mũi khoan bằng đồng thau có sử dụng bột đá mài. Ta có thể mạ kim loại lên thủy tinh bằng phương pháp thăng hoa trong chân không, phương pháp mạ phun kim loại hay dùng phương pháp hoá học làm kết tủa trên mặt ngoài của thủy tinh.

2. Các loại thủy tinh

Tùy theo công dụng của thủy tinh trong kỹ thuật điện mà người ta có thể phân thành các loại sau:

a) Thủy tinh tụ điện được sử dụng làm điện môi cho các tụ điện dùng trong các bộ lọc cao thế, trong các máy phát xung, trong các mạch dao động của thiết bị cao tần. Đối với loại thủy tinh này thì ϵ càng cao và tg δ càng nhỏ thì càng tốt.

b) Thủy tinh định vị dùng để chế tạo ra các chi tiết định vị: thủy tinh cách điện (điện thoại, ăng ten, đỡ, xuyên, chuỗi,...).

c) Thủy tinh bóng đèn dùng làm bóng và chân đèn thấp sáng và làm nhiều loại ống điện tử khác nhau. Yêu cầu đối với loại này phải có tính liên kết chặt chẽ tới mức tối đa với kim loại (vonfram, môlipden v.v...). Tính chất này có liên quan tới việc lựa chọn giá trị cần thiết của hệ số nhiệt nở dài.

d) Men thủy tinh là một loại thủy tinh đục và dễ nóng chảy, dùng để phủ lên mặt ngoài của nhiều loại sản phẩm khác nhau.

d) Thủy tinh có chất dẻo. Đây là những chất dẻo được ép nóng bằng thủy tinh và bột mica, gọi là thủy tinh mica.

e) Xơ thủy tinh là thủy tinh được kéo thành sợi nhỏ dài và mềm dùng để sản xuất ra vật liệu dệt, làm nền cho vật liệu cách điện compozit và dùng vào các mục đích khác nhau.

Xét theo thành phần hoá học thì thủy tinh silicat dùng cho kỹ thuật có thể chia thành ba nhóm:

* **Thủy tinh kiềm không có ôxít nặng** hoặc chỉ chứa rất ít các loại ôxít ấy. Nhóm này gồm có thủy tinh làm cửa kính, chai lọ và những loại tương tự khác.

* **Thủy tinh kiềm có hàm lượng ôxít nặng cao.** Nhóm này gồm có: thủy tinh flin (chứa PbO) và thủy tinh crôm (chứa BaO) được dùng làm kính quang học và thủy tinh cách điện. Các loại thủy tinh này, nhất là thủy tinh crôm có độ điện dẫn và tg δ nhỏ.

* Thủy tinh vô kiềm (thủy tinh thạch anh thuần khiết và kể cả loại thủy tinh có hàm lượng ôxít kiềm rất nhỏ). Loại thủy tinh này được dùng vào mục đích quang học, cách điện và nhiều mục đích đặc biệt khác nữa.

3. Men thủy tinh

Loại thủy tinh được quét thành một lớp mỏng lên mặt ngoài của các vật bằng kim loại và các chất khác để chống ăn mòn, tạo màu sắc và cải thiện được mỹ quan bề ngoài và tạo ra mặt phản xạ ... được gọi là men thủy tinh. Men được sản xuất ra bằng cách nấu chảy những thành phần đã được nghiền nhỏ, rót chất đã nấu chảy

thành tia nhỏ vào nước lạnh .và đem nghiền hỗn hợp ấy thành bột mịn trong các máy nghiền bi. Đôi khi người ta còn thêm một lượng nhỏ đất sét và các chất khác vào hỗn hợp trước khi nghiền.

Muốn tráng men lên bất kỳ một vật nào thì rắc bột men lên vật ấy rồi đem nung nóng trong lò tới một độ thích hợp, men sẽ nóng chảy ra và bao quanh vật thành lớp thuỷ tinh bền vững.

Men màu nâu dùng để tráng lên các điện trở được sản xuất bằng các nguyên liệu sau: mônoxít chì PbO - 27%; axit boríc H_3BO_3 - 70%; biôxít mangan MnO_2 - 3%. Nhiệt độ hoá dẻo của men này vào khoảng $600^\circ C$. Khi chịu tác dụng lâu dài của nước thì nó trắng ra và bị hoà tan một phần. Để tăng tính chịu nước và tính chịu nhiệt của men người ta cho thêm cát thạch anh vào chất liệu, đồng thời làm tăng nhiệt độ nóng chảy của men.

Lĩnh vực sử dụng chính của men thuỷ tinh dùng làm vật liệu cách điện là tráng lên các điện trở. Điện trở ấy là một cuộn dây (bằng hợp kim nicroôm hoặc constantan) quấn quanh lõi sứ, rồi được tráng men. Lớp men nóng chảy phủ trên cuộn dây và tạo ra cách điện giữa các vòng dây với nhau và với các vật xung quanh đồng thời giữ cho cuộn dây khỏi bị ẩm, không bị nhiễm bẩn và khi làm việc ở nhiệt độ cao không bị ôxy hoá bởi ôxy của không khí.

Ngoài ra trong công nghệ chế tạo thiết bị điện người ta còn dùng men thuỷ tinh để chế tạo ra một lớp cách điện phủ lên kim loại vừa bền vừa chịu được nóng và cũng được dùng trong các đầu ra của các dụng cụ chân không bằng kim loại. Gần đây men thuỷ tinh còn được dùng làm điện môi trong một số loại tụ điện.

4. Xơ thuỷ tinh

Thuỷ tinh dày là một vật liệu giòn, nhưng thuỷ tinh mỏng có độ dẻo cao hơn. Xơ bằng thuỷ tinh có đường kính $4\div 7\ \mu m$, có độ dẻo khá tốt, có thể gia công theo phương pháp dệt vải. Xơ thuỷ tinh được sản xuất theo phương pháp cho vật liệu thuỷ tinh nóng chảy từ từ qua các lỗ của lưới đường kính chừng 1 mm, khi ra khỏi lỗ sợi được quấn vào một tang quay nhanh (vào khoảng 2000 vòng /phút). Trong khi sợi chưa kịp nguội hẳn và rắn lại thì đã bị kéo thành xơ mảnh. Các sợi tập hợp thành bó sợi có thấm chất bôi trơn nên các xơ của các bó không bị rối và dính vào nhau và dính vào tang quay.

Người ta dùng sợi thuỷ tinh để dệt thành vải, băng và ống mềm bằng thuỷ tinh, cũng có thể sử dụng các sợi đó để cách điện cho dây dẫn dùng làm dây quấn. Vải và băng dệt bằng xơ thuỷ tinh dùng để cách điện thường dây từ 0,025 đến 0,28 mm. Có thể dùng vải thuỷ tinh tẩm sơn chịu nóng thu được tectolít thuỷ tinh chịu nhiệt.

Loại xơ thủy tinh ngắn được dùng làm chất độn trong bột ép và cũng có thể làm "compozít" tạo thành các chi tiết cách điện có độ bền cơ và nhiệt cao.

Những ưu điểm của cách điện bằng xơ thủy tinh so với xơ hữu cơ là: có độ bền nhiệt cao, độ bền cơ cao, độ hút ẩm khá nhỏ và có các đặc tính cách điện tốt. Do vậy, có thể dùng cách điện bằng sợi thủy tinh vào trong các trường hợp vận hành nặng nề nhất (độ ẩm cao, nhiệt độ cao v.v...).

Nhược điểm của sợi thủy tinh là: độ đàn hồi nhỏ (khoảng 2% khi kéo đứt), mềm hơn sợi hữu cơ và kém bền khi bị mài mòn, vì vậy cách điện tương đối dễ bị hư hỏng khi bị va chạm vào các mép sắc cạnh của các rãnh máy điện.

5. Ống dẫn ánh sáng

Một ứng dụng độc đáo của sợi thủy tinh là việc chế tạo ra ống dẫn ánh sáng được áp dụng làm cáp quang trong lĩnh vực vô tuyến điện. Đó là những dải tết được bện bằng nhiều sợi có lõi và vỏ ngoài bằng thủy tinh có thành phần và cấu tạo khác nhau và hệ số khúc xạ của chúng cũng khác nhau. Khi tia sáng từ một môi trường có mật độ quang học lớn hơn (lõi) chiếu vào mặt phân cách với môi trường (vỏ ngoài) là nơi có mật độ quang học nhỏ hơn dưới một góc lớn hơn góc giới hạn thì tia sáng ấy được phản xạ toàn phần ở bên trong và qua nhiều lần phản xạ như vậy nó đi dọc theo sợi mà không đi ra không gian xung quanh. Như vậy toàn bộ ảnh của đối tượng được chiếu sáng sẽ chuyển theo ống dẫn ánh sáng được uốn khúc tùy ý dưới dạng một hình chập do nhiều điểm sáng riêng biệt tạo nên, mỗi một điểm ấy ứng với một sợi thủy tinh.

Đường kính của sợi thủy tinh hai lớp được chọn bằng 20-30 μ m; người ta đặt vài chục ngàn sợi thủy tinh như thế vào trong một ống dẫn ánh sáng đường kính chừng 5-6mm. Muốn cho ảnh không bị biến dạng khi chuyển theo ống dẫn ánh sáng ta cần cố định các sợi riêng biệt trong mặt cắt ở đầu thu hình vào của ống dẫn ánh sáng theo một trật tự giống như sự sắp xếp các sợi trong mặt cắt ở đầu chuyển hình ra.

6. Xital

Đây là một loại vật liệu mới có nhiều triển vọng. Xital giữ vị trí trung gian giữa thủy tinh thông thường và gốm nên còn có tên gọi là gốm thủy tinh. Xital khác với thủy tinh ở chỗ nó không trong suốt, nhưng nó có những đặc tính cách điện và cơ rất tốt.

Quá trình chế tạo các sản phẩm bằng xital gồm có một số động tác, trước tiên dùng một loại vật liệu thủy tinh có thành phần đã được chọn theo yêu cầu cụ thể để sản xuất ra sản phẩm theo phương pháp thông thường. Sau đó, các sản phẩm được đi qua nhiệt luyện hai cấp, ở cấp thứ nhất, trong nhiệt độ 500-700 $^{\circ}$ C tạo ra mầm kết tinh, còn ở cấp thứ hai trong nhiệt độ 900-1100 $^{\circ}$ C là lúc phát triển của pha kết tinh.

Ở cấp nhiệt luyện thứ hai hàm lượng pha kết tinh trong vật liệu đạt tới 95%, các tinh thể phát triển tốt nhất có kích thước từ 0,05 đến 1 μ m. Độ co khi kết tinh đạt tới 1-2%. Những chất kích thích kết tinh được dùng là: TiO₂, FeS, các florua và photphat của kim loại kiềm thổ. Thành phần cấu tạo của loại xital có chứa TiO₂ vào khoảng như sau: SiO₂ : 40-56%; B₂O₃: 18-30%; MgO: 5-14%; TiO₂: 9-17%.

Những đặc tính điển hình của xital: khối lượng riêng 2,3-3,0 G/cm³, nhiệt độ hoá dẻo: 1000-1450^oC; $\sigma_{uốn}$ = 1500-2600 kG/cm²; nhiệt dẫn suất 0,016-0,040 W/cm.độ; ρ_v = 10¹⁰-10¹³ Ω .cm, ϵ = 6-7; tg δ = 0,01 ở tần số 1MHz.

7.4.2.2. Vật liệu cách điện bằng gốm, sứ

Vật liệu gốm là những vật liệu vô cơ có thể dùng để sản xuất ra những sản phẩm có hình dáng bất kỳ, sau đó được đưa vào nung ở nhiệt độ cao; do được nung nên trong chất gốm diễn ra những quá trình hoá, lý phức tạp làm cho thành phẩm sau khi nung có được những tính chất cần thiết.

Trước đây, người ta chế tạo vật liệu gốm trên cơ sở dùng đất sét hỗn hợp với nước thành một chất dẻo có khả năng tạo hình và sau khi nung có độ bền cơ học rất cao. Về sau xuất hiện nhiều loại vật liệu nhiều loại vật liệu gốm khác chỉ có một lượng rất nhỏ hoặc hoàn toàn không có đất sét trong thành phần của chúng. Vật liệu gốm có thể rất khác nhau về tính chất và phạm vi sử dụng. Trong kỹ thuật điện người ta dùng vật liệu gốm để làm vật liệu bán dẫn, vật liệu từ tính và vật liệu cách điện.

Nếu ta chọn được thành phần cấu tạo và quá trình công nghệ chế tạo thích hợp thì thành phần gốm cách điện có độ bền cơ học cao, góc tổn hao điện môi nhỏ, hằng số điện môi rất cao, chịu được nhiệt độ cao và còn có những tính chất quý khác. So với vật liệu cách điện hữu cơ thì gốm thường có độ bền hoá già vì điện và nhiệt tốt hơn nhiều, chúng không bị biến dạng khi chịu tải trọng cơ trong thời gian dài. Đây là một đặc điểm tốt hơn chất dẻo hay các vật liệu hữu cơ khác.

Kỹ thuật mạ kim loại lên đồ gốm đảm bảo cho ta có thể gắn chặt đồ gốm với kim loại theo cách hàn cứng và hàn mềm. Khả năng này có giá trị đặc biệt trong việc chế tạo ra những kết cấu cần được bịt kín.

1. Sứ cách điện

Người ta dùng những loại đất sét đặc biệt là cao lanh. Loại đất trắng tinh khiết có chất lượng cao, cũng như các loại đất sét dẻo chịu lửa khác, cùng với khoáng thạch anh (SiO₂) và fenspat để chế tạo ra sứ cách điện.

Thực chất của quá trình công nghệ chế tạo sứ là lọc sạch tạp chất ra khỏi tất cả các thành phần hợp thành của sứ, nghiền ra và nhào kỹ với nước thành một chất đồng nhất. Để tạo ra sản phẩm có cấu hình cần thiết ta áp dụng phương pháp gia công: đùn ép qua áp lực, tiện mặt ngoài, ép hay đổ vào khuôn thạch cao ... Sau khi

tạo hình song đem sấy khô để loại hết lượng nước thừa ra, sau đó là tráng men và nung. Đây là những nguyên công rất quan trọng trong việc chế tạo ra được những sản phẩm sứ chất lượng cao.

Chất được tráng thành một lớp mỏng lên bề mặt các đồ sứ được gọi là men. Trong khi nung men nóng chảy và bao lấy mặt ngoài của sứ thành một lớp sáng bóng. Cần phải dùng men trắng vì bản thân sứ là một chất xốp và trong khi nung bề mặt của nó trở nên mờ và gồ ghề. Lớp men bao ở mặt ngoài của sứ ngăn không cho hơi ẩm thấm vào trong các lỗ xốp đó làm giảm được độ háo nước của sứ, nhờ vậy sứ cách điện chịu được nước và có thể làm việc ở ngoài trời, chịu được mưa và các chất lắng khác trong khí quyển. Ngoài ra men còn làm tăng thêm vẻ đẹp bề ngoài của sứ và làm cho mặt ngoài của sứ có màu sắc của màu men. Bề mặt của sứ tráng men rất nhẵn nên bụi và các chất bẩn khác ít bám vào, khi mưa sẽ được rửa sạch bề mặt sứ. Ngoài ra men còn giảm được độ rò điện theo bề mặt và tăng điện áp phóng điện bề mặt của sứ. Việc tráng men còn loại bỏ được các vết nứt nhỏ trên bề mặt sứ là những đầu mối phá huỷ sứ khi chịu tải trọng cơ học. Do đó, tráng men làm tăng thêm một cách đáng kể độ bền cơ học cho sản phẩm sứ cách điện.

Thành phần cấu tạo của men sứ gần giống với thuỷ tinh. Men cần có nhiệt độ hoá dẻo thấp hơn nhiệt độ nung sứ một ít để trong thời gian nung nó kịp chảy hoàn toàn và để làm tốt hiện tượng hoá thuỷ tinh của bề mặt sứ. Men cần phải bám thật chặt vào mặt ngoài của sứ và phải có cùng hệ số giãn nở nhiệt dài như sứ. Nếu như men có hệ số giãn nở nhiệt dài quá nhỏ và chênh lệch nhiều so với sứ thì khi nhiệt độ thay đổi đột ngột sẽ sinh ra các vết nứt nhỏ là vết rạn làm cho men có thể bị bong ra khỏi sứ và ẩm sẽ ngấm vào sứ làm cho tính chất cách điện sứ giảm đi.

Muốn tráng men ta nhúng sứ đã chế tạo xong vào bình trong đó có trộn bột men mịn trong thời gian ngắn hay tráng bằng phương pháp lăn. Muốn cho men không dính vào những chỗ đã định trước trên bề mặt của sứ thì trước khi nhúng toàn bộ sứ vào men thì phải bôi lên những chỗ ấy dung dịch parafin và dầu hoả đã được đun nóng. Người ta còn sử dụng phương pháp tưới hoặc phun để tráng men cho những sứ cách điện có kích thước lớn và nặng. Sau khi đã tráng men sản phẩm được phơi khô và đem vào lò nung.

Nung là một nguyên công rất cơ bản để làm cho sứ có được độ bền cơ học cao, chịu được nước và có các đặc tính cách điện tốt. Trong khi nung đất sét thay đổi cấu trúc tinh thể và mất nước kết tinh có trong thành phần của đất sét, fenspát là một thành phần hợp thành dễ nóng chảy nhất của sứ - nó nóng chảy ngay tại nhiệt độ nung sứ tạo thành một chất như thuỷ tinh lấp kín các lỗ trống ở giữa các hạt đất sét và thạch anh đã được nóng lên sẽ liên kết chặt chẽ các hạt đó lại với nhau. Như vậy có thể coi sứ như thuỷ tinh có thêm chất độn tinh thể làm cho độ giòn của thuỷ tinh bị giảm đi.

Thời gian nung của sứ cách điện kéo dài từ 20 đến 70 giờ tùy theo kích thước chiều dày của sứ. Giai đoạn nung ở nhiệt độ cao nhất (đối với sứ định vị là 1300-1350°C, đối với sứ cao áp 1330-1410°C), thật ra chỉ chiếm một thời gian ngắn, nhưng cả quá trình nung lại dài như vậy là vì cần phải để sản phẩm không bị hỏng vì hơi nước và khí thoát ra quá mạnh. Sau đó cũng phải để sản phẩm nguội dần trong thời gian dài để tránh sự xuất hiện ứng suất nhiệt và các vết nứt trước khi lấy ra khỏi lò.

Đồ sứ đem nung được xếp vào lò nung đốt bằng dầu mazút, bằng khí gaz hay than trong các hộp bằng samốt (hộp bao nung sứ làm bằng vật liệu chịu lửa và nhiệt độ cao) để giữ cho sản phẩm không bị ảnh hưởng trực tiếp của ngọn lửa và giữ cho sản phẩm không bị bắn vì muội than. Nhiệt độ hoá dẻo của đất sét làm bao nung (samốt) không được thấp hơn 1700°C. Bề mặt ở đáy hộp gá trên đó đặt sứ để đem nung cần phải không bắt men, nếu không sứ sẽ dính vào đáy hộp gá.

Lò nung có hai kiểu: kiểu lò nung gián đoạn và lò nung hầm tunel liên tục. Lò đường hầm tunel có khả năng làm việc liên tục cho hiệu suất cao hơn. Ở giữa lò có nhiệt độ cao nhất, nhiệt độ giảm dần theo hướng từ vùng trung tâm đến đầu và cuối lò. Trong các nhà máy sứ người ta sử dụng lò hầm tunel có chiều dài trên 100m.

Trong lúc nung, kích thước của các sản phẩm được nung bị giảm đi nhiều vì các thành phần hợp thành sứ bị mất nước và kết cấu của sứ được lèn chặt lại. Đó là hiện tượng co ngót. Độ co ngót toàn phần của sứ rất lớn, có thể đạt tới 20%. Độ co theo chiều thẳng đứng thường lớn hơn theo chiều nằm ngang. Do có hiện tượng co ngót này nên khi tạo hình cho sứ cách điện phải làm theo kích thước lớn hơn để cuối cùng nhận được thành phẩm gần đúng với yêu cầu (dung sai về kích thước phải tính từ 2 đến 5%).

Những tính chất cơ bản của sứ đã nung: Khối lượng riêng vào khoảng 2,3-2,5 G/cm³; hệ số dẫn nở nhiệt dài vào khoảng (3-4,5.10⁻⁶ (độ)⁻¹) - trị số này nhỏ hơn hệ số dẫn nở nhiệt dài của thép (11.10⁻⁶ độ⁻¹) và của xi măng (14.10⁻⁶ độ⁻¹), cần phải cân nhắc đến độ chênh lệch này khi đặt cột thép cho sứ và khi gắn ti sứ. Giới hạn bền nén rất lớn từ 4000 đến 6000 kG/cm² và sản phẩm mỏng có giới hạn bền nén lớn hơn loại dày. Giới hạn bền kéo của sứ có tráng men là 300-500 kG/cm² còn sứ không tráng men chỉ khoảng 200-300 kG/cm² và giới hạn bền uốn rất nhỏ chỉ là 80-100 kG/cm². Sứ kém giòn hơn thuỷ tinh (ứng suất dai va đập của sứ 1,8-2,2 Kg.cm/cm²) nhưng cả hai loại đều bị vỡ khi va chạm. Sứ rất bền đối với nhiều phản ứng hoá học, vì vậy nó được dùng rộng rãi để chế tạo các dụng cụ hoá nghiệm như cốc, chén nung ...

Ở nhiệt độ bình thường đặc tính cách điện của sứ khá cao: độ bền điện 10-30 kV/mm; $\rho = 10^{14} \div 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$; $\epsilon = 6 \div 7$; $\text{tg}\delta = 0,015 \div 0,02$. Song ở nhiệt độ cao đặc

tính cách điện của sứ kém đi nhiều vì pha thủy tinh do các loại khoáng fenspát có chứa một lượng natri và kali rất lớn tạo ra loại thủy tinh kiềm.

2. Giới thiệu một số cách điện bằng sứ

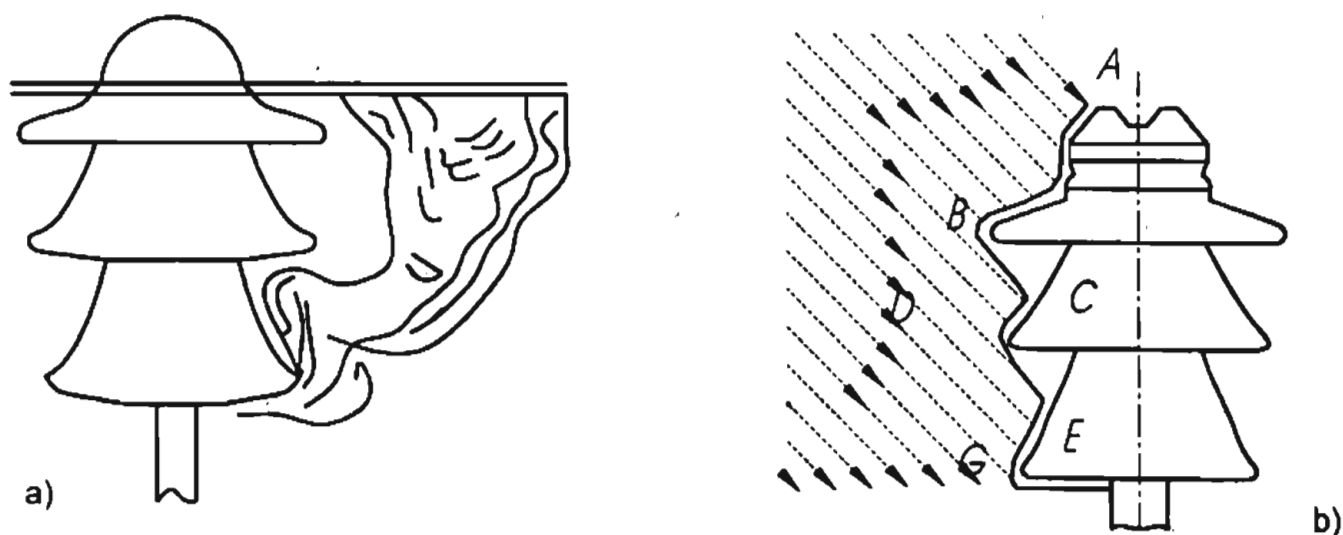
Vật liệu cách điện bằng sứ rất đa dạng ta có thể phân thành: sứ đường dây gồm có sứ treo dùng cho điện áp cao hơn 35kV, sứ đỡ dùng cho điện áp thấp hơn; sứ trong các trạm điện là các loại sứ đỡ và sứ xuyên; sứ dùng cho các thiết bị là các loại sứ tham gia vào kết cấu của các thiết bị như máy biến áp, máy cắt dầu, dao cách ly, chống sét van, sứ định vị như là các sứ puli, những linh kiện ở đui đèn, trong công tắc, cầu chì, cầu dao, phích cắm, sứ thông tin v.v...

Hình dáng và kích thước của sứ cách điện có thể rất khác nhau. Tuy nhiên, ta nên tránh không dùng những đồ bằng sứ có thành quá dày bởi vì nung một lớp dày thì không thể đồng đều được và sứ có chiều dày lớn thì độ bền điện và cơ giảm đi. Trong trường hợp cần thiết thì người ta chế tạo sứ cách điện bằng cách lấy một số chi tiết mỏng hơn ghép lại với nhau bằng cách tráng men rồi tiếp đó đem nung, khi nung men nóng chảy sẽ gắn chặt các bề mặt cần được liên kết lại với nhau. Dùng ximăng pooclăng, matit glitô-glixerin và bằng cách đổ chì hoặc một kim loại dễ uốn chảy nào khác cũng có thể liên kết các chi tiết bằng sứ lại với nhau. Khi sử dụng chỉ cần phải sơ bộ nung trước các chi tiết sẽ được liên kết lại với nhau để tránh làm nứt sứ.

Cần phải tránh sự thay đổi đột ngột chiều dày lớp sứ vì nếu để như thế thì dễ xuất hiện những vết nứt tại nơi thay đổi ấy do sự không đồng đều về ứng suất nhiệt gây ra. Các góc cạnh của sứ cần làm càng tròn bao nhiêu càng tốt bấy nhiêu.

Khi thiết kế sứ cách điện cần phải hết sức chú ý đến đặc điểm độ bền chịu nén có trị số lớn hơn rất nhiều độ bền kéo hoặc độ bền uốn. Vì vậy những sứ nào chịu tác dụng của tải trọng cơ lớn thường được bố trí cho làm việc ở trạng thái chịu nén.

Đặc tính điện quan trọng nhất của sứ cách điện điện áp cao là trị số điện áp



**Hình 7-14. Đường phóng điện khi thử nghiệm phóng điện:
khi khô (a) và khi ướt (b).**

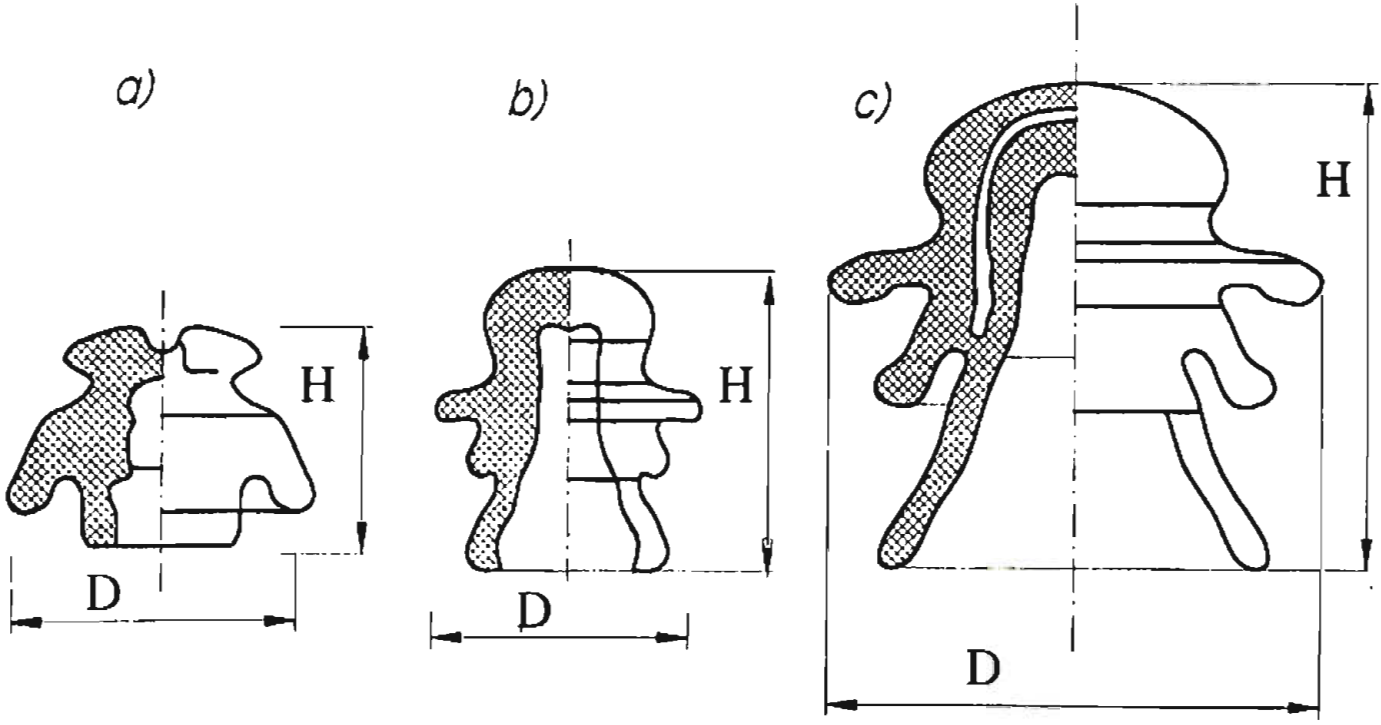
phóng điện giữa hai điện cực. Do sứ cách điện thường có chiều dày lớn và cường độ cách điện của sứ cao nên khó có thể xảy ra phóng điện chọc thủng sứ mà thường diễn ra phóng điện trên bề mặt của sứ. Cần phân biệt hai loại điện áp phóng điện bề mặt sứ: điện áp phóng điện khô và điện áp phóng điện ướt khi thử nghiệm sứ. Điện áp phóng điện khô là trị số điện áp phóng điện mà ta thu được khi thử nghiệm sứ trong điều kiện bình thường (xem hình 7-14,a), điện áp phóng điện ướt là trị số điện áp phóng điện mà ta thu được khi thử nghiệm sứ dưới mưa nhân tạo với cường độ từ 4,5 đến 5,5 mm/phút, mưa rơi theo góc 45° so với mặt phẳng ngang của sứ (hình 7-14,b). Ở 20°C, ρ của nước phải nằm trong giới hạn từ $9 \cdot 10^3$ đến $11 \cdot 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$. Do có một phần rất lớn bề mặt sứ bị ướt khi mưa nên điện áp phóng điện ướt bao giờ cũng nhỏ hơn điện áp phóng điện khô khi thí nghiệm cho một loại sứ (khoảng 30-40%).

Điện áp đánh thủng của sứ tất nhiên là phải lớn hơn điện áp phóng điện khô. Người ta xác định điện áp đánh thủng khi nhúng sứ được đem thử nghiệm vào trong dầu cách điện. Khi thử nghiệm sứ treo người ta xác định điện áp đánh thủng cho từng bát sứ một, còn điện áp phóng điện khô thì được xác định cho cả toàn bộ chuỗi sứ.

a) Sứ cách điện đường dây

Trong việc chọn cách điện của đường dây trên không thường xuất phát từ các yêu cầu sau đây:

* Cách điện của đường dây phải chịu được tác dụng của đa số các loại quá điện áp nội bộ, trừ một vài loại có biên độ quá lớn nhưng xác suất xuất hiện bé. Đối với các đường dây điện áp khác nhau, dựa theo kết quả tính toán và thực



Hình 7-15. Sứ đường dây kiểu đứng:
 a) sứ UC-10 ; b) sứ UD-10 ; c) sứ UD-20 .

nghiệm đã quy định được trị số quá điện áp nội bộ tính toán và trên cơ sở đó tiến hành chọn cách điện của đường dây.

* Đối với yêu cầu của quá điện áp khí quyển, phải giải quyết sao cho hợp lý về kinh tế kỹ thuật. Ở các đường dây 110kV trở lên yêu cầu này dễ dàng thoả mãn vì cách điện đường dây khi chọn theo yêu cầu của quá điện áp nội bộ đã có được mức cấp điện xung kích cao, chỉ cần có các biện pháp bảo vệ chống sét tương đối đơn giản là đủ đảm bảo cho đường dây có mức chịu sét cao. Ngược lại, với đường dây có điện áp từ 35kV trở xuống, để thoả mãn yêu cầu của quá điện áp khí quyển cách điện phải tăng rất cao, như vậy sẽ rất tốn kém. Bởi vậy, cách điện đường dây chỉ cần chọn tới mức cần thiết hợp lý kết hợp với một số biện pháp khác để hạn chế sự cố do sét gây ra như: cải thiện nối đất cột điện, dùng cuộn dập hồ quang v.v...

Cách điện đường dây gồm thành phần điện môi (sứ, thuỷ tinh ...) bộ phận kim loại (làm mũ và chân) và vật liệu gắn giữa điện môi với bộ phận kim loại.

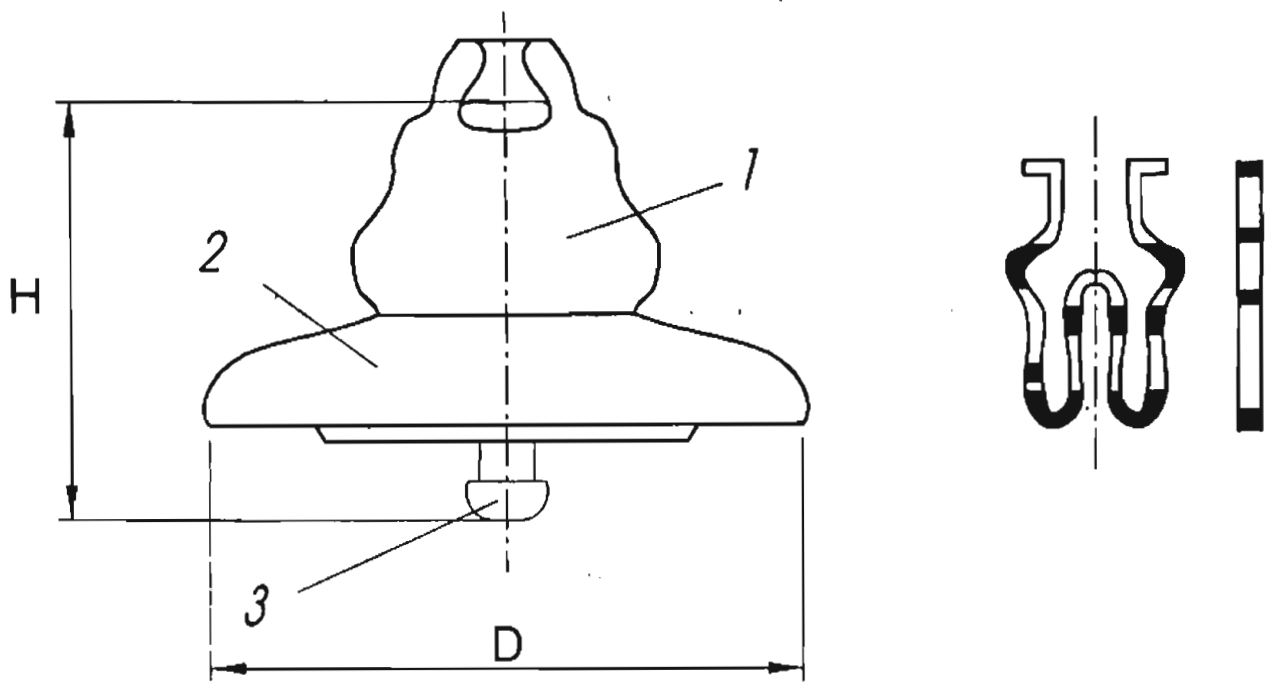
Đường dây điện áp từ 35kV trở xuống thường dùng loại cách điện có chân sắt, đây là loại cách điện đỡ vì dây dẫn được đặt trên cách điện. Chân sắt vịn vào ngang mức cổ cách điện để cho mômen uốn do lực căng của dây dẫn tác dụng lên nó bé nhất.

Trên hình 7-15 trình bày cấu tạo của cách điện đỡ bằng thuỷ tinh và sứ.

Bảng 7.9. Kích thước và đặc tính của loại cách điện có chân sắt

Loại cách điện	Kích thước		Độ bền cơ giới đảm bảo khi uốn, kg	Điện áp phóng điện			
	H mm	D mm		Tần số 50 Kv		Xung kích +1,5/40, Kv max	
				Khô	Ướt	Ở 2 μ s	50%
IIIC-6	94	126	1400	50	28	109	83
IIIC-6 (thuỷ tinh)	91	126	1800	50	28	-	-
IIIC-6	108	100	1300	52	30	108	75
IIIC-10	110	147	1400	60	34	130	101
IIIC-10(thuỷ tinh)	110	150	1800	60	36	-	-
III-10	125	112	1900	62,5	38	117	90
III - 20	190	185	3500	68	64	170	132
III - 35	270	250	6000	129	95	270	179

Sứ treo được dùng trên đường dây tải điện có điện áp đạt tới mức cao nhất. Người ta nối liên tiếp nhiều sứ treo riêng biệt thành từng chuỗi và treo ngay dây dẫn vào đấy. Vì vậy sứ treo khác với sứ đứng ở chỗ nó bảo đảm treo trên dây dẫn theo kiểu mềm, có nghĩa là điểm treo có thể xô dịch một chút. Trên hình 7-16. cho kết quả cấu tạo điện treo.



Hình 7-16. Sứ treo. Bên phải là bộ chốt:

1- mũ sứ; 2- sứ cách điện; 3- lõi bằng kim loại.

Mũ sứ và thanh kim loại được chế tạo bằng gang mềm và gắn vào điện môi bằng xi măng pooc lăng mác 400-500 pha một nửa cát. Việc ghép các đĩa thành chuỗi được tiến hành bằng cách cho thanh kim loại của đĩa này khớp với mũ của đĩa khác và dùng chốt hãm. Chuỗi sứ treo thường dùng để đỡ dây dẫn tại các cột và để kéo dây tại các cột néo. Tùy theo độ bền cơ học đòi hỏi phải có ở trạng thái đỡ cũng như kéo căng, cách điện đường dây có thể là chuỗi sứ đơn, chuỗi sứ kép, chuỗi sứ chập "ba"... ngoài ra còn phải căn cứ vào tải trọng cơ học để lựa chọn nhãn hiệu của sứ treo. Trên bảng 7.10 cho kích thước và đặc tính của các loại sứ treo.

Bảng 7.10. Kích thước và đặc tính của loại cách điện treo

Loại cách điện	Kích thước		Trọng lượng, kg	Tải trọng thí nghiệm 1 giờ, T	Độ bền cơ giới đảm bảo T	Cường độ phóng điện chọc thủng, kV	Điện áp phóng điện tần số 50, kV	
	H mm	D mm					Khô	Ướt
Π - 4,5	170	270	6,0	4,5	7,0	110	75	40
Π - 4,5	120	255	4,0	4,5	9,0	135	75	40
Π - 8,5	240	320	12,3	8,5	11,0	125		
ΠС - 8,5	160	270	5,5	8,5	15,0	135		
Π - 11	215	350	1,2	11	14,5	125		
ΠС - 11	170	270	6,9	11	18,0	135		
ΠС - 16	190	320	9,0	16	25,0	150		
ΠС - 4,5*	130	255	3,9	4,5	7,0	87	62	40

Số lượng bát sứ trong một chuỗi sứ được xác định theo điện áp làm việc của đường dây tải điện. Ví dụ, đường dây 110 kV chuỗi sứ có 7 bát, đường dây 220 kV có 12-13 bát. Bảng 7.11 cho kết quả chọn cách điện ở các cột trung gian của các đường dây có điện áp từ 35kV trở lên dùng cột sắt hoặc bê tông.

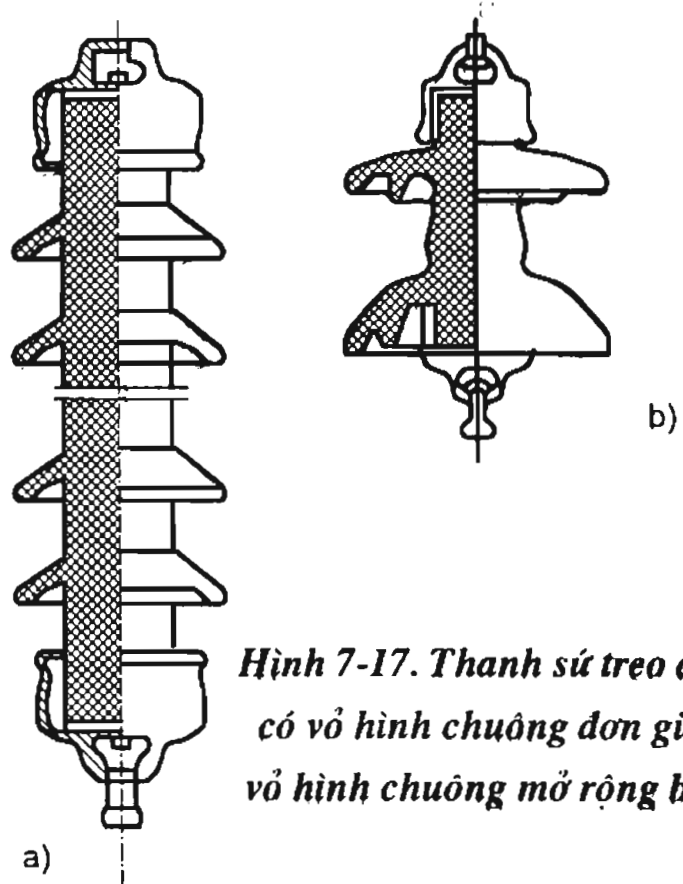
Bảng 7.11. Tính toán chọn cách điện đường dây có điện áp từ 35 kV trở lên

Điện áp định mức của đường dây, kV	35	110	150	220	330
Trị số quá điện áp nội bộ tính toán, kV	77	204	260	381	510
Số bội quá điện áp nội bộ (trị số tính toán)	3,8	3,2	3	3	2,7
Số lượng đĩa sứ trong chuỗi (sứ II-4,5)**	3	7	9	13	16
Điện áp phóng điện ướt của chuỗi sứ, kV	110	256	330	475	585
Điện áp phóng điện xung kích bé nhất ($U_{50\%}$) của chuỗi sứ, kV_{max}	380	660	840	1140	1440
Khoảng cách không khí chọn theo sự phối hợp cách điện với chuỗi sứ, cm.	45	115	150	210	255

Trong thời gian gần đây, do sản xuất ra được những vật liệu gốm mới có độ bền cơ nhất là độ bền kéo đứt cao, người ta chế tạo ra loại sứ thanh cho đường dây tải điện cao áp ngoài trời (hình 7-17). Loại sứ này có một thanh liên bằng sứ trên đó có mũ sứ được gắn bằng xi măng. Nếu dùng ở điện áp 110kV thì thanh có chiều dài 1235 mm. (Ngày nay đã chế tạo ra thanh cách điện compozít có độ bền chịu kéo rất cao, các thanh này được bao bọc bởi lớp cao su silicon và các tán cũng bằng cao su silicon để chống tia tử ngoại mặt trời, đồng thời làm cho điện áp phóng điện cao. Thanh cách điện compozít có thể dùng cho đường dây cao áp 110, 220 kV có kết cấu đơn giản, gọn và nhẹ hơn nhiều so với sứ và thủy tinh).

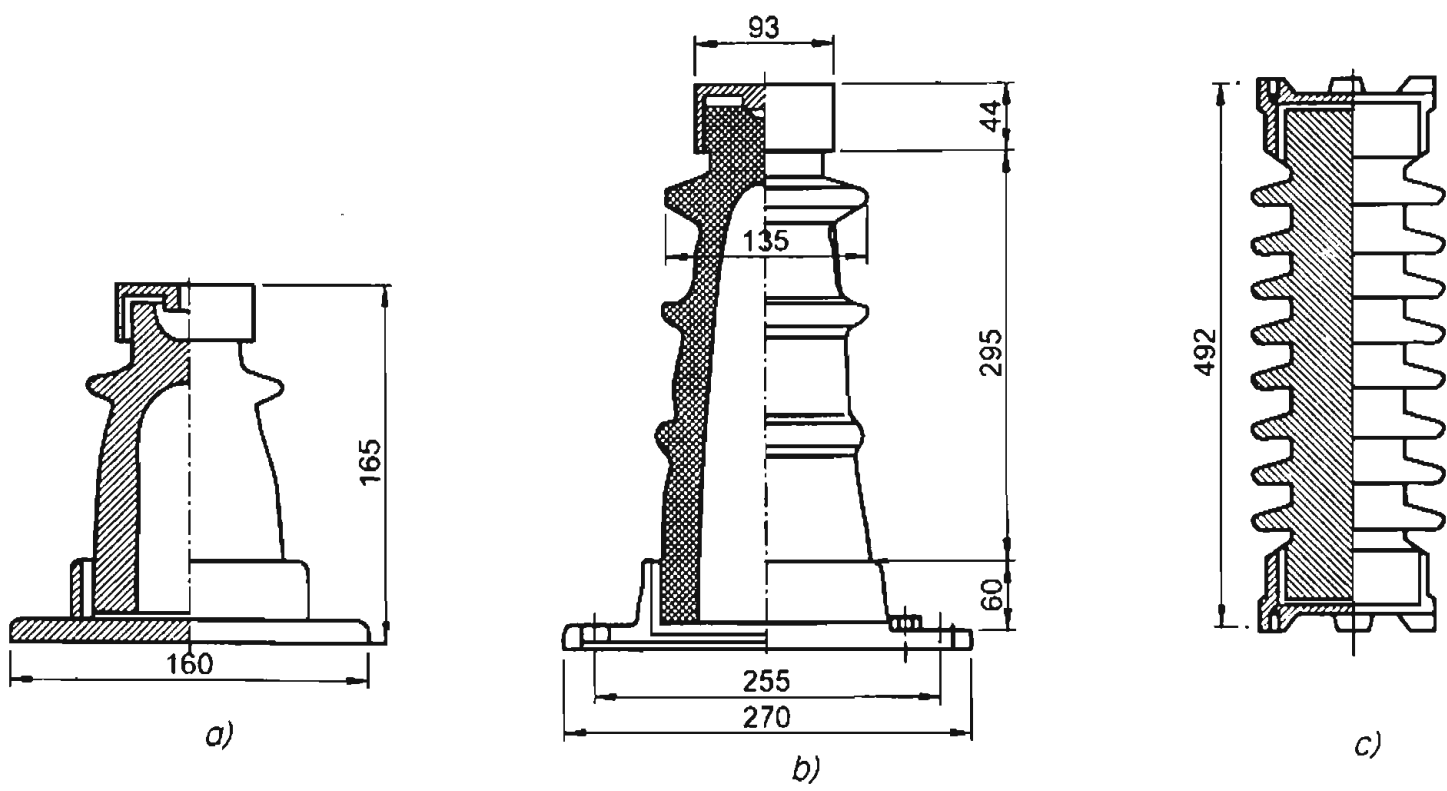
b) Sứ cách điện dùng trong trạm biến áp và nhà máy điện

* Cách điện đỡ: Cách điện đỡ gồm kiểu thanh và kiểu có chân sắt. Cách điện kiểu thanh dùng trong nhà điện áp 3kV-10kV-35kV. Thường là loại sứ đỡ bên trong



Hình 7-17. Thanh sứ treo đường dây có vỏ hình chuông đơn giản (a) và vỏ hình chuông mở rộng bề mặt (b).

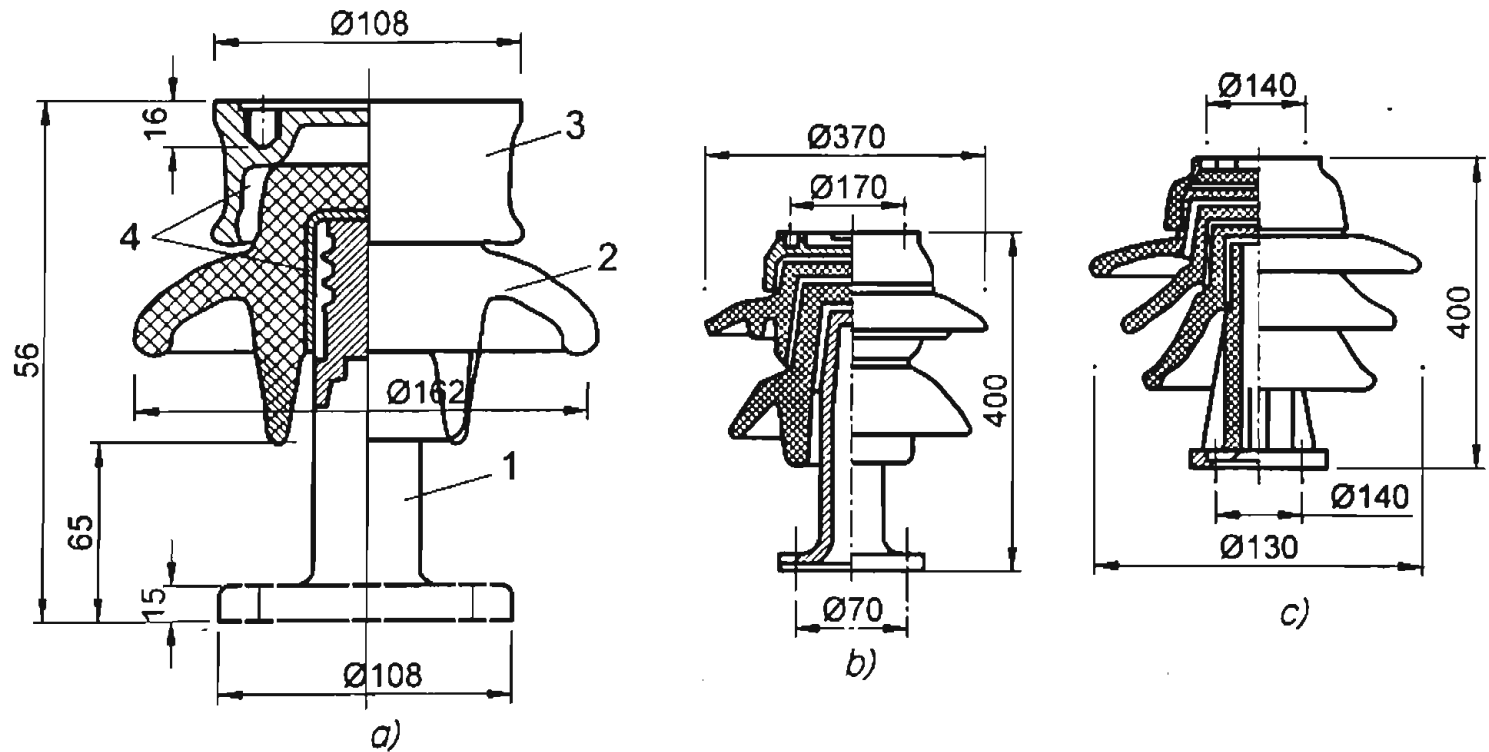
rõng theo kết cấu đơn giản nhất (hình 7-18). Đế và mũ gang được gắn với thân sứ bằng xi măng. Ở Liên Xô cũ loại này có ký hiệu OA, Oб, OB, OД, trong đó các chữ A, б, B, Д biểu thị độ bền chịu uốn đảm bảo 375 kg, 750kg, 1250 kg và 2000kg.



Hình 7-18. Cách điện đỡ kiểu thanh: a) Điện áp 6kV (OA-6); b) Điện áp 35kV dùng trong nhà; c) Điện áp 35kV dùng ngoài trời (CO-35).

Loại dùng ngoài trời được chế tạo tới điện áp 35kV (hình 7-18,c). Khi cần dùng ở cấp điện áp cao hơn sẽ phải ghép nối bởi nhiều phần tử điện áp thấp.

Cách điện đỡ có chân sắt. Loại này thường đặt ngoài trời, có kết cấu tương tự với loại có chân sắt của đường dây, chỉ khác ở chỗ là chúng có đai kim loại ở đầu



Hình 7-19. Cách điện kiểu đỡ có chân sắt.
a) Điện áp 10kV; b) ШТ - 35; c) ИШД - 35.

sứ để bắt dây dẫn. Trên hình 7-19 cho cấu tạo và kích thước các loại sứ cách điện có chân sắt 10 và 35 kV, khi dùng ở điện áp 110kV sẽ ghép nối 3 phần tử 35kV và ở 150 kV sẽ ghép 5 phần tử (loại ШТ).

Các đặc tính của cách điện đỡ có chân sắt cho ở bảng 7.12.

Bảng 7.12. Các đặc tính của cách điện đỡ có chân sắt

Loại cách điện đỡ	Điện áp định mức, kV	Kích thước (mm)		Độ bền cơ giới đảm bảo chịu uốn/kg	Điện áp phóng điện tần số 50, kV		Điện áp phóng điện xung kích, kVmax	
		Độ cao	Đường kính bé nhất		Khô	Ướt	50%	Tại 2 μ S
OA - 3	3	135	73	375	43	-	62	88
OA - 6	6	165	86	375	50	-	75	100
Oδ - 6	6	185	106	750	55	-	82	108
OB - 10	10	225	130	1250	63	-	105	145
Oд - 10	10	235	150	2000	66	-	112	145
иЩд - 10	10	210	250	2000	70	34	125	160
ЩТ - 10	35	400	370	1250	140	85	205	270
иЩд - 35	35	400	430	2000	150	88	230	320
3 ЩТ- 35	110	2100	370	300	330	240	575	910
4 иЩд- 35	150	1600	430	325	500	250	760	1180
5 иЩд -35	220	2000	430	250	610	460	903	1500

* **Loại cách điện xuyên bằng sứ (sứ xuyên).** Sứ xuyên có công dụng lớn và được dùng để luồn dây dẫn có điện áp cao đi xuyên qua tường, sàn nhà, xuyên qua các vách ngăn khác nhau và sứ đầu ra của máy biến áp ...

Trên hình 7-20 trình bày cấu tạo của loại sứ xuyên, lõi dẫn điện bằng đồng đi xuyên qua ruột sứ và hai đầu lõi ấy có tiện ren từ trước để làm hai cọc đầu dây dẫn hoặc thanh góp dẫn tới sứ xuyên.

Đối với loại bên trong có không khí thì thanh dẫn được bọc lớp giấy bakêlít dày 3÷5 mm với mục đích nâng cao điện áp phát sinh vầng quang của thanh dẫn, vì khi có vầng quang lớp không khí bên trong bị ôxy hoá sẽ làm tăng suất dẫn điện dung mặt và xúc tiến quá trình phóng điện theo bề mặt sứ (mặt ngoài).

Trong tính toán cách điện xuyên có dầu phải xác định được chiều dài và bán kính của vỏ sứ, của điện cực phụ, độ dày khe hở dầu và của các lớp giấy cuốn điện cực. Chiều dài của vỏ sứ xác định theo điều kiện phóng điện tần số công nghiệp và xung kích. Phần vỏ sứ đặt ngoài không khí thường chọn theo các số liệu sau đây:

Điện trường phóng điện khô tần số công nghiệp: $4,3 \div 3,3$ kV/cm.

Điện trường phóng điện ướt tần số công nghiệp: $2,6 \div 2,3$ kV/cm.

Điện trường phóng điện xung kích cực tính dương. Trị số bé nhất (50%): $7 \div 5,6$ kVmax/cm.

Phần vỏ sứ ngâm trong dầu được chọn theo tiêu chuẩn điện trường phóng điện tần số công nghiệp khoảng $6,5 \div 7$ kV/cm.

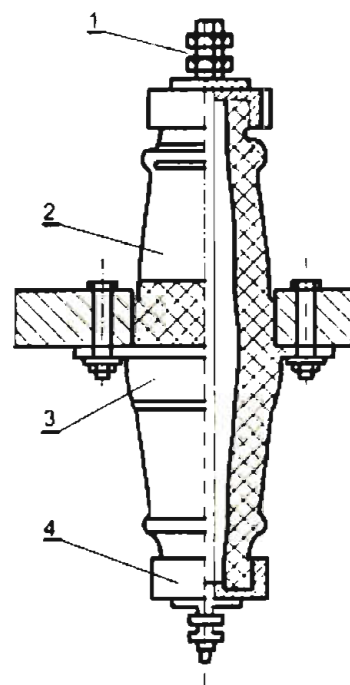
Sứ định vị: Loại này gồm các puli sứ, các chi tiết của ổ cắm và phích cắm, đui đèn, cầu chì bằng sứ v.v... Các loại sản phẩm này được sản xuất hàng loạt trong các nhà máy theo phương pháp dùng khuôn nén để ép vật liệu gốm tương đối khô. So với sứ cách điện cao áp thì loại sứ này có chất lượng kém hơn rất nhiều.

Cần phải rất thận trọng trong lúc vận chuyển và lắp ráp sứ cách điện. Dùng giẻ mềm và khô lau sạch sứ trước khi lắp ráp, nếu có chất bẩn hoặc sơn bám vào thì ta dùng xăng rửa sạch cẩn thận, đôi khi cần phải dùng đến giấy ráp mịn để đánh nhưng sau khi làm sạch cần bôi vazolin kỹ thuật lên nơi đã cạo.

Sứ cách điện trong thông tin liên lạc. Loại sứ cách điện này được dùng vào việc đặt các đường dây điện báo và điện thoại, cũng như dùng để mắc dây dẫn hạ áp trên cột, trên tường v.v... So với sứ đứng thì nó có kích thước nhỏ hơn nhiều và yêu cầu về chất lượng cũng kém chặt chẽ hơn. Đó là loại sứ A18 thường dùng cho lắp đặt đường dây điện thoại trước dây (hiện nay ít dùng sứ này).

3. Điện môi bằng gốm

Như ta đã thấy, sứ được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện, trong những thiết bị và đường dây có điện áp cao và dòng điện lớn. Tuy nhiên, sứ có những nhược điểm là góc tổn hao điện môi khá lớn, tổn hao điện môi lại tăng nhanh ở nhiệt độ cao gây trở ngại cho việc dùng sứ làm chất cách điện ở tần số cao cũng như ở nhiệt độ cao.



Hình 7-20. Sứ xuyên dùng để trang bị ở trong trạm.

1- lõi dẫn dòng điện; 2- thân sứ;
3- mặt bích; 4- mũ chụp bằng đồng thau.

Sự phát triển của kỹ thuật truyền tin, của công nghiệp điện trong chân không và nhiệt điện đòi hỏi cần phải có những vật liệu gốm mới với đặc tính cao hơn của sứ. Gốm cao tần hoàn toàn khác hẳn với sứ về thành phần cấu tạo. Sau đây chúng ta xét tới một số vật liệu tiêu biểu có tầm quan trọng trong thực tế.

a) Sứ cao tần và sự cải tiến tiếp theo của nó là sứ siêu cao tần, là một loại vật liệu mà gốc vẫn là sứ cách điện nhưng trong đó có thêm những chất phụ gia khác nhau như ôxít bari BaO_+ . Tang góc tổn hao điện môi (ở nhiệt độ bình thường và tần số vô tuyến điện) của sứ cao tần vào khoảng 0,003, còn của sứ siêu cao tần thì nhỏ hơn 0,001. Sứ siêu cao tần có độ bền cơ học (độ bền uốn 1500-2000 kG/cm²; độ bền kéo đứt 450-600 kG/cm²; độ bền nén 6000-8000 kG/cm²) lớn hơn sứ thông thường rất nhiều.

b) Aluminoxít gồm có ôxít nhôm Al_2O_3 là chủ yếu. Công nghệ chế tạo vật liệu này phức tạp và đòi hỏi phải nung ở nhiệt độ rất cao (tới 1750°C) nhưng lại có tính chịu nóng cao (nhiệt độ làm việc đạt tới 1600°C), trị số điện trở suất ρ cao, tg δ nhỏ; rất bền về cơ học ($\sigma_{kéo} = 1000-1500$ kG/cm²; $\sigma_{nén} = 11.000 \div 20.000$ kG/cm²; ứng suất dai va đập 5-7 KG.cm/cm²). Hằng số điện môi $\epsilon = 10$ và nhiệt dẫn suất của aluminoxít lớn hơn của sứ cách điện vào khoảng 10-20 lần.

Ở Mỹ và một số nước sản xuất ra vật liệu lucalóc "bằng cách ép ở nhiệt độ trong phòng các hạt bột mịn" Al_2O_3 chịu được tần số cao, sau đó đem nung kết ở nhiệt độ rất cao, thu được vật liệu có cấu trúc rất chặt và độ trong suốt đáng kể đối với ánh sáng. Nhiệt độ làm việc cao nhất của lucalóc khoảng 2.000°C.

c) Steatit là một loại gốm được sản xuất ra trên cơ sở khoáng hoạt thạch $3MgO.4SiO_2.2H_2O$. Như vậy gốm thông thường chủ yếu silicat nhôm, còn gốm steatit chủ yếu lại là silicat magiê. Hoạt thạch là loại chất khoáng dễ nghiền nhỏ nên trong sản xuất gốm steatit bằng cách nung vật liệu có bột hoạt thạch cùng với một số chất phụ gia khác. Steatit loại đặc biệt dành riêng để làm chất cách điện cao tần có tang góc tổn hao điện môi rất nhỏ ($\approx 2.10^{-4}$) và đặc tính cơ tốt ($\sigma_{kéo} = 400-500$ kG/cm²; $\sigma_{uốn} = 1200-1600$ kG/cm²; $\sigma_{nén} = 6000 \div 8000$ kG/cm²). Một ưu điểm nữa của steatit là độ co ngót nhỏ khi nung. Điều đó cho phép ta thu được sản phẩm có kích thước khá chính xác. Đáng chú ý thêm là steatit không cần thiết phải tráng men vì nó có cấu trúc chặt chẽ và có thể mài bóng. Steatit được dùng rộng rãi làm vật liệu cách điện định vị trong các thiết bị vô tuyến điện.

d) Gốm dùng làm tụ điện. Là loại vật liệu có hằng số điện môi lớn, được dùng làm điện môi trong các tụ điện khá gọn, kích thước nhỏ. Thành phần cấu tạo chính của phần lớn các vật liệu này là rutin (titan ôxít, bột titan trắng) TiO_2 .

đ) Rutin. Là một chất kết tinh có hằng số điện môi theo hướng trục kết tinh chính rất cao: $\epsilon = 173$. Do các tinh thể rutin sắp xếp lộn xộn trong không gian và do

tồn tại các chất phụ gia khác nên vật liệu gốm trên cơ sở rutin có hằng số điện môi nhỏ hơn trị số đã nêu trên; hằng số điện môi của phần lớn các điện môi rắn được sử dụng trong thực tế có trị số vào khoảng từ 55 đến 160. Người ta còn sản xuất ra những vật liệu có hằng số điện môi thấp hơn: $\epsilon = 10 \div 15$ nhưng lại ít phụ thuộc vào nhiệt độ.

e) Gốm xétnhét. Là một nhóm vật liệu đặc biệt có hằng số điện môi khá cao nhưng lại biến đổi nhiều khi nhiệt độ thay đổi. Xétnhét còn có nhiều đặc tính quan trọng (tính không đường thẳng (phi tuyến) của điện dung, nghĩa là hằng số điện môi biến đổi tùy thuộc theo trị số điện áp đặt vào v.v...).

Những đặc điểm ấy cho ta có thể sử dụng các vật liệu này vào trong nhiều loại thiết bị kỹ thuật điện và vô tuyến điện. Một chất có ý nghĩa lớn trong nhóm vật liệu này là titanat bari $BaO.TiO_2$. Có thể làm thay đổi các đặc tính của titanat bari và nhất là làm cho điểm Quyri dời chỗ sang phạm vi nhiệt độ cao hơn cũng như dịch xuống nhiệt độ thấp hơn bằng cách cho thêm một số vật liệu khác vào titanat bari.

Trước khi đem nung đồ gốm làm bằng các vật liệu khác nhau cũng được tạo hình theo những phương pháp rất gần giống với những phương pháp tạo hình cho đồ sứ.

Một phương pháp tiên tiến mới trong việc sản xuất ra sản phẩm có kích thước chính xác và có thể cơ khí hoá rộng rãi là phương pháp đúc rót nóng nguyên liệu gốm ở dạng bột với chất dính kết tạm thời (ví dụ parafin), chất dính kết này sẽ bị thải ra ngoài trong thời gian nung.

Tùy theo công dụng, người ta sản xuất ra các loại vật liệu gốm sau đây:

A- Vật liệu gốm cao tần dùng cho tụ điện.

B - Vật liệu gốm thấp tần dùng cho tụ điện.

C - Vật liệu gốm cao tần dùng làm các linh kiện định vị và các linh kiện khác dùng trong kỹ thuật radio.

Tùy theo nhiệt độ có thể sử dụng được của vật liệu gốm, ta lại chia nhỏ chúng ra thành các bậc sau đây:

Bậc thứ nhất: từ -60 đến $+85^{\circ}C$.

Bậc thứ hai: từ -60 đến $125^{\circ}C$.

Bậc thứ ba: từ -60 đến $155^{\circ}C$.

Bậc thứ tư: từ -60 đến $+300^{\circ}C$.

Ký hiệu quy ước của vật liệu phải gồm có các từ "vật liệu gốm", các ký hiệu về cấp, về nhóm, bậc của vật liệu và số hiệu tiêu chuẩn. Không quy định tiêu chuẩn về dạng vật liệu để chế tạo ra một loại gốm bất kỳ nào.

4. Hợp chất hoá học chịu nóng cao

Chúng ta cần chú ý đến một hợp chất có tên gọi là "gốm không oxy hoá". Trong loại này có các nitrua, sunfua, cacbua khác nhau, đó là những hợp chất của nhiều nguyên tố khác nhau với nitơ, lưu huỳnh và cacbon, ngoài ra còn một số là chất bán dẫn (SiC). Các hợp chất bonitrua (NB), silicnitrua (N_3Si_3), nhôm nitrua (NAI) là những điện môi có thể dùng làm vật liệu cách điện có tính chịu nóng cao. Người ta điều chế ra boritrua (borazon) bằng cách cho amôniac NH_3 tác dụng với B_2O_3 hoặc với BCl_3 . Nó có thể làm việc ở nhiệt độ rất cao nhưng phải trong môi trường trung tính hoặc môi trường khử, nếu để ngoài không khí thì ở nhiệt độ $800^\circ C$ nó đã bị oxy hoá rồi, nước sôi và axit yếu làm phân huỷ bonitrua và tạo ra H_3BO_3 và NH_3 . Nhiệt độ nóng chảy của bonitrua cao hơn $3000^\circ C$.

Ngay trong nhiệt độ cao bonitrua vẫn có đặc tính cách điện cao. Nhiệt dẫn suất của bonitrua ở nhiệt độ $1000^\circ C$ là $0,12 \div 0,24$ w/cm.độ, cao hơn nhiệt dẫn suất bất kỳ một loại điện môi nào khác.

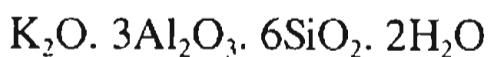
7.4.2.3 Mica và các vật liệu trên cơ sở của mica

Mica là vật liệu cách điện vô cơ có những tính năng đặc biệt quý như: độ bền điện và độ bền cơ cao, tính chịu nhiệt và chịu ẩm tốt, khá dẻo khi có độ dày mỏng nên được dùng làm chất cách điện ở vị trí quan trọng. Ví dụ, như cách điện của các máy điện cao áp công suất lớn (trong đó có máy phát điện tuabin và tuabin nước cỡ lớn, động cơ điện dùng trong tàu điện, tàu thuỷ ...) và dùng làm điện môi trong một số loại tụ điện.

Mica trong thiên nhiên có dạng tinh thể, đặc điểm đặc trưng của nó là có thể tách ra thành từng bản mỏng một cách dễ dàng theo chiều song song giữa các bề mặt thớ.

Xét theo thành phần hóa học thì mica là những loại nhôm silicat ngậm nước. Mica có 3 loại muscôvít, flogopít và biotít.

Thành phần của mica muscôvít có:



Mica flogopít có cấu tạo:



Ngoài ra, trong các loại mica còn có các hợp chất của sắt, natri, canxi, v.v...

Mica biotít màu đen, dễ gãy vụn và không bền, không có tính chất cách điện nên ta không xét đến.

Mica muscovít thường không màu hoặc có màu đỏ nhạt, xanh nhạt và các màu sắc khác, flogopít thường có màu sẫm hơn giống như màu hổ phách, màu vàng

anh, màu nâu, màu đen tuyền, tuy nhiên đôi khi ta cũng gặp loại flogopít có màu sáng hơn.

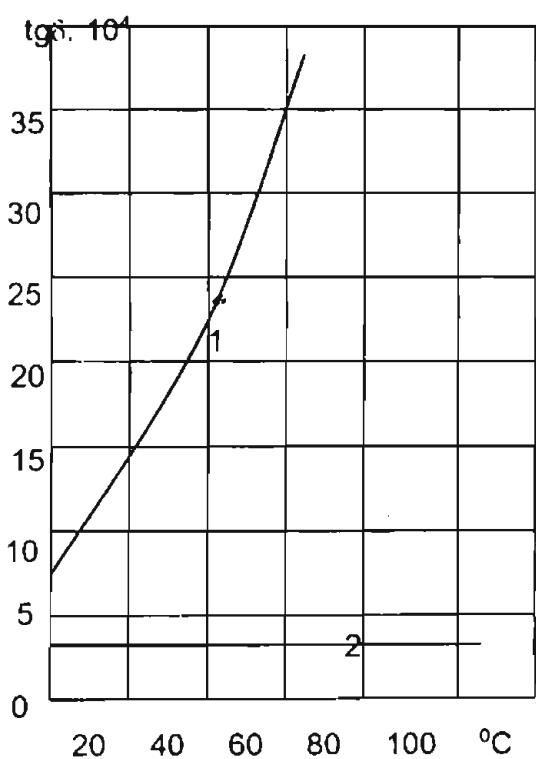
Đặc tính cách điện muscovít tốt hơn và cao hơn so với flogopít, ngoài ra nó có độ bền cơ cao hơn, rắn hơn, dễ uốn và co giãn hơn flogopít. Các trị số về khối lượng riêng, ρ , tg δ của muscovít và flogopít cho ở trong bảng 7.13.

Bảng 7.13. Đặc tính của mica

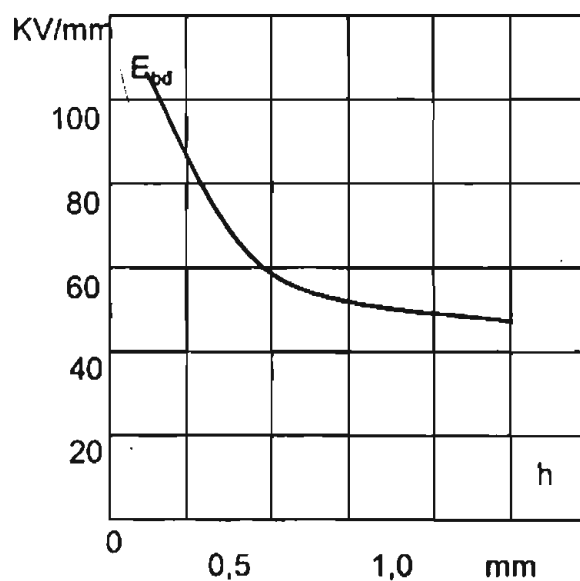
Loại mica	Khối lượng riêng, G/cm ³	ρ Ω .cm	tg δ . 10 ⁴ ở tần số		
			50Hz	1 KHz	1 MHz
Muscovít	2,80-2,90	10 ¹⁴ - 10 ¹⁶	150	25	3
Flogopít	2,65-2,80	10 ¹³ - 10 ¹⁴	500	150	15

Trên hình 7-21 và 7-22 cho ta quan hệ của tg δ vào nhiệt độ và độ bền điện vào chiều dày của tấm muscovít.

Các đặc tính điện đã nêu ở trên của mica được xác định trong trường hợp điện trường có chiều vuông góc với mặt thớ. Theo chiều dọc với mặt thớ thì đặc tính cách điện của mica thấp hơn rất nhiều: ρ chỉ vào khoảng 10⁹ Ω .cm; tg δ \approx 0,1.



Hình 7-21. Tg δ của mica muscovit phụ thuộc vào nhiệt độ ở tần số 50Hz (1) và 2MHz (2).



Hình 7-22. Độ bền điện (trong trường không đồng nhất) của mica muscovit phụ thuộc vào chiều dày.

Muscovít chịu mài mòn tốt hơn flogopít. Điều đó có giá trị quan trọng đối với micamít dùng cho vành góp, loại micamít được chế tạo bằng muscovít này bị chổi than của máy điện làm mòn hơn là chất đồng dùng làm vành góp. Do đó nếu

bề mặt của vành góp làm không được trơn thì khi vận hành máy điện thịnh thoảng phải "đánh nhẵn vành góp". Loại micamít bằng flogopít dùng cho vành góp cũng bị mài mòn ở một mức như đồng, vì thế khi dùng nó không đòi hỏi phải đánh nhẵn vành góp.

Phần lớn các loại mica được dùng trong kỹ thuật điện vẫn giữ được đặc tính điện và đặc tính cơ khá tốt khi đốt nóng lên tới vài trăm độ, vì thế mica được xếp vào loại cách điện cấp C - là cấp chịu nóng cao. Khi đạt tới nhiệt độ khá cao nào đó thì nước ở trong thành phần cấu tạo của mica bắt đầu thoát ra, lúc này mica không còn trong suốt nữa, chiều dày của nó tăng lên, đặc tính cơ và điện kém đi. Mica chỉ bị nấu chảy ra khi ở nhiệt độ 1250-1300°C.

Nhiệt độ bắt đầu khử nước và làm sút kém nhiều các đặc tính của các loại mica khác nhau giao động trong phạm vi rất rộng. Đối với muscovít thường vào khoảng 500-600°C, còn với flogopít vào khoảng 800-900°C. Tuy nhiên, một vài loại flogopít biến thể có hàm lượng nước cao, có đặc điểm là độ cứng thấp và đặc tính cách điện khá thấp, ngay ở nhiệt độ chỉ là 150-250°C đặc tính của nó đã giảm rõ rệt, loại mica này chỉ có thể dùng vào những công việc ít quan trọng.

Mica được khai thác sẽ chọn lọc nguyên liệu sơ tuyển bằng thủ công, dùng dao tách ra thành những lá và cắt những khuyết tật trên mép của nó và lại được tách ra thành những lá mỏng hơn. Những lá mica mỏng đã bóc ra có thể dùng để làm micamít.

Người ta quy ước cỡ của lá mica được xác định bằng diện tích của hình chữ nhật lớn nhất có thể nội tiếp được trong chu vi của lá mica.

Cỡ	50	40	30	20	15	10	6	4	4M.	0,5
Diện tích hình chữ nhật	>50	40-50	30-40	20-30	15-20	10-15	6÷4	4-5	4-6	0,5-4

Người ta phân loại mica đã được bóc ra thành bốn nhóm theo chiều dày của chúng:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Nhóm I} \dots 0,01 \div 0,02 \text{ mm} \\ \text{Nhóm II} \dots 0,02 \div 0,03 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{Đối với các cỡ từ 50 đến 6.}$$

Nhóm III ... 0,005 ÷ 0,035 mm (Đối với cỡ 4).

Nhóm IV 0,005 ÷ 0,045 mm (Đối với cỡ 4M và 0,5).

Mica bóc ra còn được chia thành loại theo số lượng và chất khoáng lẫn và các chất bán, theo độ nhẵn của bề mặt và có xét tới hình dáng của lá mica. Cần phải thử nghiệm phóng điện đánh thủng mica không được nhỏ hơn trị số trong bảng 7.14.

Bảng 7.14. Điện áp đánh thủng của mica thuộc nhóm I và II (kV)

Nhóm xác định theo chiều dày	Mica muscovit		Mica flogopit	
	Trị số trung bình	Trị số cực tiểu	Trị số trung bình	Trị số cực tiểu
I	2,2	1,4	1,8	1,0
II	4,0	1,9	3,2	1,7

Ngoài mica bóc ở dạng micamít là loại được sử dụng rộng rãi làm chất cách điện trong máy điện, trong công nghiệp điện và công nghiệp radio còn dùng mica ở dạng lá được dập khuôn theo hình chữ nhật trong các tụ điện, các chi tiết định hình dập theo khuôn dùng cho đèn điện tử và đèn thấp sáng, các vòng đệm dập bằng mica trong các loại khí cụ khác nhau v.v...

Mica dùng cho tụ điện là loại muscovit có chất lượng cao nhất được sản xuất thành những tấm dài từ 4 đến 60 mm và rộng từ 4 đến 50 mm, chiều dày tiêu chuẩn của các tấm đó là 20-25; 25-35; 35-45 và 45-55 μm . Trị số tg δ của mica đó không được quá $3,3 \cdot 10^{-4}$ ở tần số 1MHz; ϵ không nhỏ hơn 6. Các loại mica dùng cho tụ điện lọc, tụ tần số thấp, tụ cao tần và tụ bảo vệ ... có các đặc tính thấp hơn so với loại kể trên.

1. Micamít

Micamít là loại vật liệu được sản xuất thành từng tấm hoặc từng cuộn do những cánh mica mỏng dán lại với nhau bằng sơn dán hoặc bằng nhựa khô, đôi khi còn dùng thêm lớp nền bằng xơ giấy hoặc xơ bông để dán những cánh mica lên một mặt hoặc cả hai mặt của nó. Nếu bằng xơ có tác dụng tăng độ bền kéo đứt của vật liệu và giữ cho các cánh mica khó bị tách ra khi vật liệu chịu uốn. Micamít có thể áp dụng làm cách điện cho vành góp, dùng để lót đệm, để tạo hình, băng mica cách điện cho thiết bị điện và cáp điện ...

Vì micamít có một lượng lớn là mica (không nhỏ hơn 50% tính theo trọng lượng) nên micamít có độ bền nhiệt rất cao và thuộc cấp chịu nhiệt B ngay cả khi sử dụng chất kết dính thông thường và nền bằng chất hữu cơ. Khi dùng những chất kết dính đặc biệt và nền bằng chất vô cơ ta thu được vật liệu có cấp chịu nhiệt là F và H, còn micamít chịu nóng (không chứa chất hữu cơ) được xếp vào cấp chịu nhiệt C - là mica tinh chất.

a) *Mica dùng cho vành góp.* Người ta dùng loại micamít này ở dạng dập bằng khuôn hoặc được cắt trên các máy cắt phôi, chúng được đặt xen kẽ vào giữa

các phiến đồng của vành góp trong máy điện để làm cách điện giữa các phiến ấy. Micamít dùng cho vành góp được chế tạo bằng mica flogopít là loại dễ mòn hơn, có cỡ từ 6 đến 0,5; các chất dính kết được dùng là nhựa cánh kiến, nhựa gliptan và các loại nhựa khác, so với các loại micamít khác thì nó có hàm lượng chất kết dính ít nhất (không quá 4%), rất khít (khối lượng riêng là 2,4-2,6 G/cm³), khi bị va chạm thì phát ra tiếng kêu leng keng đặc biệt của nó.

Nhờ có hàm lượng chất dính kết nhỏ và lực nén lớn trong thời gian ép nên loại micamít này có đặc tính cơ tốt, đặc biệt là nó rất ít bị co lại khi làm việc dưới áp suất lớn và nhiệt độ cao, điều này đảm bảo cho vành góp làm việc lâu dài trong thời gian vận hành.

Những tấm micamít dùng cho vành góp được sản xuất ra có kích thước không bé hơn (215 ± 10mm) x (465 ± 20mm) và có chiều dày từ 0,40 đến 1,50 mm. Khi sản xuất phải đảm bảo sao cho các lá mica của micamít không bị trượt lên nhau và chất kết dính của nó không bị chảy ra khi ở nhiệt độ 160°C và áp suất 600kG/cm². Khi nhiệt độ là 20°C và áp suất tăng tới 600 kG/cm² thì độ co ngót theo chiều dày của micamít không quá 9%÷10%; độ co ngót của micamít ở áp suất 600kG/cm² và nhiệt độ 160°C không quá 2%.

b) Micamít dùng để lót. Người ta dùng loại micamít này để làm những tấm lót cách điện theo nhiều dạng khác nhau và dùng làm vòng đệm (long đen) ... Mica gốc là muscovít, flogopít hoặc hỗn hợp cả hai thứ đó có cỡ từ 6 đến 0,5, chất kết dính được dùng là nhựa cánh kiến, nhựa gliptan hoặc nhựa silic hữu cơ. Hàm lượng mica chiếm từ 80 đến 97%.

Micamít dùng cho vành góp và dùng để lót là loại micamít cứng. Loại này rất cứng ở nhiệt độ thường cũng như nhiệt độ cao (khoảng 100°C). Người ta dùng chúng để làm các tấm lót cách điện phẳng và không bị uốn.

c) Micamít dùng để tạo hình. Ở nhiệt độ bình thường loại micamít này cũng cứng, nhưng khi được đốt nóng lại có thể dập theo một hình dáng nào đấy mà nó vẫn giữ nguyên hình khi đã nguội. Người ta dùng loại micamít này để chế tạo ra những vòng đệm của vành góp, mặt bích, khung của cuộn dây, ống và các sản phẩm định hình khác. Những lá micamít dùng để tạo hình được chế tạo với chiều dày từ 0,1 đến 0,5 mm, hàm lượng mica từ 80 đến 95%, chất kết dính là nhựa gliptan, nhựa cánh kiến hay nhựa silic hữu cơ với hàm lượng từ 5 đến 20%.

d) Micafôn. Là một loại đặc biệt của micamít dùng để tạo hình, có một mặt là lớp đệm bằng giấy, bằng vải thuỷ tinh hoặc bằng mạng thuỷ tinh và được dùng để chế tạo ra lớp cách điện cứng của lõi dây quấn trong các máy điện cao áp, là nơi đòi hỏi có ứng lực lớn trong khi quấn dây.

Có thể dùng flogopít hoặc muscovít để chế tạo ra micafôn, chất kết dính thường dùng là sơn gliptan, sơn cánh kiến, sơn polieste hoặc sơn silic hữu cơ.

Những cuộn hoặc lá mica fôn được sản xuất ra với chiều dày từ 0,15 đến 0,30 mm. Lượng mica chứa trong mica fôn không dưới 45-50%. Độ bền điện trung bình của mica fôn làm bằng flogopít không nhỏ hơn 13kV/mm, còn loại làm bằng muscovít thì từ 15-16 kV/mm trở lên.

d) Micamít mềm. Loại micamít này có thể uống được ở nhiệt độ bình thường. Nó dùng làm chất cách điện trong nhiều bộ phận khác nhau của máy điện và thiết bị điện (các tấm lót uốn được, các đoạn dây, lớp cách điện trong rãnh). Nguyên vật liệu dùng để sản xuất ra micamít mềm là muscovít hoặc glogopít và sơn dầu bitum không có chất làm khô, sơn dầu gliptan hoặc sơn silic hữu cơ, các lá mica có chiều dày từ 0,15 đến 0,50 mm. Ngoài ra người ta còn sản xuất ra loại micamít mềm được dán giấy cả hai mặt. Lượng mica chứa trong micamít mềm không có nền lót phải đạt từ 75 đến 90%, còn loại micamít có dán giấy cả hai mặt không được dưới 50%.

e) Băng mica. Là một biến thể của mica mềm, cả hai mặt của nó đều được đệm bằng loại giấy chuyên dùng, người ta chỉ dán một lớp mica cỡ 30 đến 6 cùng với khoảng một phần ba nữa là các cạnh mica nhỏ. Chiều dày định mức của băng mica là 0,13 và 0,17 mm, có thể sản xuất ra những cuộn có bề rộng không nhỏ hơn 400 mm, rồi đưa vào máy chuyên dụng để cắt thành cuộn băng nhỏ rộng từ 12 đến 35 mm.

Băng mica làm bằng muscovít và sơn dầu bitum đen, bằng flogopít và sơn dầu - gliptan màu và bằng flogopít + sơn màu. Độ bền điện trung bình không thấp hơn 18-20 kV/mm đối với mica muscovít (loại I), còn không thấp hơn 14-16 kV/mm đối với flogopít (loại II).

Băng mica màu chịu nóng tốt hơn nên được dùng nhiều nhất để làm cách điện cho dây quấn rôto của máy phát điện tuabin hơi. Người ta còn sử dụng cả loại băng mica điện bằng lụa mỏng hoặc bằng vải thuỷ tinh. Tất cả các loại băng mica đều là loại sản phẩm rất thiết yếu, chúng tạo nên lớp cách điện chủ yếu cho dây quấn của nhiều loại máy điện kể cả máy phát nhiệt điện có điện áp cao.

Để cho băng mica giữ được độ mềm tới khi đem ra dùng ta nên bảo quản nó trong bao bì được bịt kín, trong môi trường đã bão hoà hơi nước của dung môi dùng cho loại sơn tương ứng với loại sơn của băng mica. Trong trường hợp băng mica quá khô cần phải cho nó thấm hơi của dung môi.

Trong quy mô sản xuất nhỏ các băng *mica* và *mica fôn* cũng như các loại micamít khác đều dán bằng tay, các cánh mica được rải càng đều càng tốt và dùng bút lông rộng bản để quét sơn lên nền lót và lên tường lớp mica một.

Để sản xuất ra micamít có nhiều lớp (dùng cho vành góp, dùng để đệm ...), người ta dùng phương pháp dán cơ khí hoá trên các máy hình tháp: người ta đổ từng

phần mica đã được cân, vừa đủ số lượng cần thiết để tạo thành lớp vào phần trên của tháp có chiều cao vài mét, những cánh mica rơi xuống đáy lò được rải khá đều đặn, còn về chất kết dính thì hoặc là cũng theo phương pháp như trên đó những hạt nhựa khô rất nhỏ xen kẽ giữa từng hai lớp mica một, hoặc là ta tẩm những phiến bằng mica đã được đổ vào như trên bằng chất kết dính tới một chiều dày cần thiết.

Trong các dụng cụ nung nóng bằng điện và trong các trường hợp khác khi cách điện bằng micamít phải làm việc tới nhiệt độ vài trăm độ thì người ta dùng micamít chịu nhiệt là loại micamít không chứa các chất hữu cơ. Những lá micamít loại này dày khoảng 0,3-1,0 mm được chế tạo bằng một loại biến thể chịu nhiệt của mica flogopít, chất kết dính sử dụng vào đây là dung dịch amoni (amofos), micamít được nhiệt luyện theo một phương pháp riêng trong quá trình chế tạo. Người ta còn sản xuất một loại micamít chịu nhiệt khác trong đó thuỷ tinh để nóng chảy được dùng làm chất kết dính.

2. Sludinít

Vì những việc khai thác mica, tách lọc mica, kết dính chất cách điện bằng micamít tốn rất nhiều công lao động, hơn nữa chất thải khi sản xuất micanít khá nhiều nên cần thiết phải nghiên cứu sử dụng mica vụn, mica bột hoặc chất thải có chứa mica để làm chất cách điện đồng thời cũng cần nghiên cứu việc cơ khí hoá, tự động hoá quá trình sản xuất micanít lá hay băng.

Trong sản xuất sơ đồ chế biến mica như sau: nung nóng mica vụn đến khoảng 800°C rồi đem ngâm vào dung dịch xút, sau đó xử lý bằng axit sunfuric hoặc axit clohydric loãng. Làm như vậy mica sẽ trương phồng lên và cùng với nước tạo thành chất nhờn như dầu, đem chất ấy cho vào máy làm giấy để sản xuất ra giấy mica, có thể cho thêm chất kết dính vào thành phần của loại giấy này.

Người ta cũng dùng những phương pháp dán, ép, xử lý giấy mica có chất dính kết đã làm ở trên, đôi khi còn dùng thêm chất đệm nữa để tạo ra các lá vật liệu bằng sludinít dùng cho vành góp, dùng để lót và để tạo hình, làm vật liệu mềm, làm băng dài bằng sludinít v.v... Trong nhiều trường hợp, chúng được dùng thay cho vật liệu bằng mica tự nhiên tương ứng như micanít, băng mica, micasôn ...

Vật liệu bằng sludinít có đặc tính gần giống như vật liệu bằng mica và còn ưu việt hơn ở chỗ toàn bộ bề mặt của lá vật liệu chỗ nào cũng có những tính chất giống nhau, chiều dày lá đồng đều, khi dùng chất kết dính (bằng nhựa êpôcxi, nhựa silic hữu cơ) và chất đệm (bằng xơ thuỷ tinh) làm cho vật liệu nói trên có thể có độ bền cơ và tính chịu nóng khá cao. Nhưng đồng thời vật liệu sludinít cũng có nhược điểm là tính chịu ẩm và độ giãn dài khi đứt nhỏ hơn vật liệu micanít. Vì vậy áp dụng chất cách điện bằng mica sludinít thay cho cách điện bằng micanít tuy có đem lại hiệu quả kinh tế cao nhưng đòi hỏi phải quan tâm và chú ý đầy đủ cấu trúc của chất cách điện trong quá trình vận hành thiết bị.

3. Mica làm bằng các hạt vụn

Người ta dùng mica vụn rửa sạch và nghiền thành vảy nhỏ và lợi dụng khả năng dính liền lại với nhau của các tinh thể mica vừa mới được tách ra để biến phối mà ta thu được từng lá. Việc sử dụng các chất kết dính có thể tăng độ bền cơ và độ bền điện của mica làm bằng các hạt vụn. Để sản xuất ra loại mica này ta có thể sử dụng các chất thải của mica muscovit và flogopit để làm chất cách điện mà phương pháp khác không sử dụng được. Ở Liên Xô cũ sản xuất vật liệu này có tên gọi là sludoplast gần giống như mica làm bằng các hạt vụn.

Cũng bằng phương pháp này người ta chế tạo ra vật liệu chịu được hồ quang điện, đúc ép định hình bằng khuôn ra các chi tiết cách điện cần thiết cho các thiết bị điện.

4. Mica tổng hợp

Chúng ta có khả năng sản xuất ra mica tổng hợp bằng cách làm nóng chảy đá phiến có thành phần hoá học đã lựa chọn trong lò có nhiệt độ cao, tiếp đó làm kết tinh chất nóng chảy trong điều kiện nguội từ từ. Khi lựa chọn một cách thích hợp thành phần của đá phiến ta sẽ thu được mica tổng hợp có chứa flo là chất chịu được nóng cao hơn flogopit tự nhiên.

a) Thuỷ tinh mica. Thuỷ tinh mica là một trong số các điện môi có chất lượng cao. Nó chịu được nhiệt độ cao, có độ bền cơ lớn, nhất là độ bền uốn và đập, chịu được phóng điện hồ quang, có tgδ nhỏ (nhỏ hơn 4-5 lần so với tgδ của sứ cách điện), có thể gia công bằng cơ khí được. Tuy nhiên quá trình công nghệ sản xuất mica thuỷ tinh tốn nhiều công lao động, đòi hỏi phải có lò điện công suất lớn, máy ép thuỷ lực và khuôn ép bằng thép không gỉ.

Trong công nghiệp radiô, thuỷ tinh mica được dùng để chế tạo đế của các đèn công suất lớn, giá đỡ tụ điện không khí, lõi cuộn cảm, tấm cách điện của chuyển mạch và các chi tiết khác. Nó cũng dùng trong các thiết bị chân không có dòng điện mạnh trong đó cần sử dụng đến khả năng ép những phần kim loại vào thuỷ tinh mica.

Quy trình công nghệ sản xuất thuỷ tinh mica được chia thành hai nguyên công: sản xuất bột ép và ép thành thuỷ tinh mica. Bột ép là một hỗn hợp gồm 60% mica vụn và 40% thuỷ tinh có chứa BaO để nóng chảy. Trong quá trình nung nóng bột ép ở nhiệt độ khoảng 600°C các cấu tử thuỷ tinh mica gồm có thuỷ tinh và mica phản ứng hoá học với nhau và tạo thành hệ mới có những đặc tính mới. Người ta cho sản phẩm được ép xong nguội từ từ trong lò ủ để khử ứng suất trong.

Thuỷ tinh mica được sản xuất thành tấm, thanh, hoặc sản phẩm định hình.

Các đặc tính của thuỷ tinh mica: khối lượng riêng 2,6-3,0 G/cm³, nhiệt độ làm việc cho phép 300-350°C, giới hạn bền kéo 300-700 kG/cm²; $\sigma_{\text{hòn}} = 1000-4000$

kG/cm^2 ; $\sigma_{\text{min}}=700\div 1400 \text{ kG/cm}^2$; ứng suất dai va đập $2-5 \text{ kG.cm/cm}^2$; $\alpha_e = (8-9)10^{-16}(\text{độ}^{-1})$; $\rho_v=10^{12} \div 10^{14} \Omega.\text{cm}$; $\rho_s = 10^{10} \div 10^{12} \Omega$; $\epsilon = 6\div 8,5$; $\text{TK}\epsilon = 3.10^{-4} (\text{độ}^{-1})$; $\text{tg}\delta$ (ở 1MHz) là $0,003\div 0,01$. Độ bền điện (ở 50Hz) là $10 - 20 \text{ kV/mm}$.

Mica thủy tinh chịu được ẩm, nhưng kém biến đổi với tác dụng của các axit clohydric và nitric cũng như đối với chất kiềm. Khi thủy tinh mica bị rỗ có khả năng hút ẩm làm cho phẩm chất cách điện bị giảm đi. Người ta còn sản xuất ra thủy tinh mica bằng flogopit tổng hợp có chứa flo và dùng chất kết dính là loại thủy tinh khó nóng chảy hơn loại dùng cho thủy tinh mica chế tạo bằng mica thiên nhiên. Ở nhiệt độ cao loại thủy tinh này có độ bền điện và nhiệt cao.

7.4.2.4. Amiăng và vật liệu có amiăng

a) Amiăng: Là tên gọi của một nhóm vật liệu khoáng chất có cấu trúc xơ, phổ biến nhất là crizotin. Amiăng này là sự biến dạng xơ của khoáng chất crizotin (loại đá xenpentinit): $3\text{MgO}.2\text{SiO}_2.2\text{H}_2\text{O}$.

Amiăng nằm thành lớp trong nham thạch, mỗi lớp có nhiều bó song song với nhau. Trong việc khai thác amiăng người ta dùng phương pháp thủ công để chọn ra loại xơ dài nhất, dùng búa đập cho nó rời ra khỏi đá để tránh làm hỏng và làm vụn xơ, amiăng xơ ngắn lấy bằng phương pháp cơ giới. Amiăng có xơ càng dài càng đắt tiền vì amiăng xơ dài hiếm thấy hơn loại xơ ngắn.

Giới hạn bền kéo của xơ amiăng là $300-400 \text{ kG/cm}^2$, song các trị số ấy chỉ có được khi xơ amiăng chịu lực kéo thuần túy. Lực uốn hoặc các dạng gia công cơ (làm tơi xơ, kéo sợi) đều làm cho độ bền của nó bị giảm nhiều. Amiăng rất háo nước, độ háo nước của nó sẽ giảm khi được tẩm bitum, nhựa, v.v... Loại amiăng crizotin thông thường hòa tan được trong axit ngay cả trong axit yếu, nhưng cũng có một vài loại amiăng tương đối hiếm thì lại có độ chịu axit cao.

Tính cách điện của amiăng tương đối không cao, vì vậy nó không được dùng vào cách điện cao áp và cao tần. Điện trở suất khối của amiăng là $10^{10} \div 10^{12} \Omega.\text{cm}$. Trong amiăng thường gặp những tạp chất khác nhau, nhất là hợp chất của sắt. Sắt đã được liên kết hoá học với các chất chủ yếu của tinh thể amiăng có ảnh hưởng một phần đến tính chất điện của amiăng nhưng nếu tạp chất chứa nhiều hạt magnetit Fe_3O_4 bán dẫn điện tách rời nhau thì rất có hại. Trong việc chế biến amiăng phần Fe_3O_4 có thể lấy riêng ra bằng cách phân ly từ tính, người ta còn dùng phương pháp rửa bằng axit để loại bỏ magnetit ra khỏi loại amiăng chịu được axit.

Amiăng được sử dụng rộng rãi trong nhiều ngành kỹ thuật khác nhau. Với mục đích dùng amiăng làm cách điện người ta chế tạo ra các loại sơn, băng, vải, giấy, bìa và các sản phẩm khác. So với các loại vật liệu dệt và giấy làm bằng xơ hữu cơ thì chúng tương đối thô, cứng và dày hơn. Để cải thiện đặc tính cơ của các sản

phẩm dệt bằng amiăng người ta thường cho thêm xơ bông vào xơ amiăng nhưng với một lượng hạn chế để không làm giảm tính chịu nhiệt. Cách điện "amiăng denta" của dây dẫn dùng để làm dây quấn gồm có xơ amiăng đã được gắn vào dây dẫn bằng sơn và được tẩm bitum. Xơ amiăng tham gia vào thành phần của nhiều chất dẻo với tư cách là chất độn, các chất dẻo ấy có độ bền cơ học và độ chịu nhiệt cao hơn so với các chất có cùng một mối liên kết như vậy nhưng lại dùng chất độn hữu cơ (ví dụ, bột gỗ).

b) Ximăng amiăng. Ximăng amiăng được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện. Nó là một chất dẻo được ép nguội, thành phần của nó thuần những chất vô cơ trong đó chất độn là xơ amiăng, còn chất kết dính là ximăng. Quá trình sản xuất ra ximăng amiăng như sau: trộn xơ amiăng đã được làm cho tơi ra với ximăng và nước, sau đó đem ép, dưới tác dụng của nước ximăng cứng lại và liên kết chặt chẽ các xơ amiăng.

Ximăng amiăng được sản xuất ra thành tấm, ống và các sản phẩm theo hình mẫu. Nó có đặc tính cơ không cao lắm song chịu được nhiệt độ cao, chống được tác dụng của tia lửa điện và hồ quang điện, vì vậy người ta dùng nó để làm bảng phân phối và tấm chắn ngăn cách các buồng dập hồ quang. Ximăng amiăng dùng làm vật liệu chế tạo tấm chắn và bảng phân phối thay thế cho các điện môi bằng chất khoáng thiên nhiên. Vì ximăng amiăng tương đối hao nước và có đặc tính cách điện không cao nên khi dùng làm chất cách điện cần phải tẩm.

Tấm amiăng do nhà máy sản xuất ra có loại chưa được gia công, có loại đã được gia công bề mặt với kích thước tiêu chuẩn của tấm: 1200x700 và 1200x800 mm² có chiều dày từ 4 đến 40 mm. Ứng suất dai va đập của nó không dưới 4-8kG.cm/cm². Những tấm không tẩm có độ hút nước từ 15 đến 25%, độ bền điện (sau khi sấy tới mức trọng lượng không thay đổi nữa) không thấp hơn 1,5kV/mm.

Sau khi gia công cơ khí như: khoan, phay, ... người ta đem tẩm các tấm ximăng amiăng và các sản phẩm bằng dầu lanh, bitum. Trước khi tẩm phải sấy khô sản phẩm ở nhiệt độ không thấp hơn 150°C. Trong trường hợp dùng dầu lanh để tẩm ta ngâm sản phẩm trong dầu đã được đun nóng và chỉ nhấc ra khỏi dầu sau khi đã nguội, rồi sau đó lại nung nóng ở nhiệt độ 105°C và cho không khí đi qua để thiêu kết dầu. Còn quá trình tẩm bằng bitum như sau: giữ sản phẩm bằng ximăng amiăng trong bitum nóng chảy (nhiệt độ không thấp hơn 200°C, thời gian giữ nhiệt 1-2 giờ ứng với 1mm chiều dày sản phẩm), sau đó lấy sản phẩm ra và để cho bitum còn dư chảy xuống hết.

Hiện nay người ta còn ứng dụng quá trình tạo ra huyền phù để sản xuất ximăng amiăng với mục đích loại bỏ thao tác công nghệ tẩm các tấm ximăng amiăng và các sản phẩm khác, mặt khác lại đảm bảo sự phân bố đều lượng chất tẩm

trong toàn bộ chiều dày của tấm. Thực chất của phương pháp này là cho bitum dạng huyền phù vào hỗn hợp amiăng và ximăng cùng với nước. Khi đem ép liền sau đó sẽ thu được ngay ximăng amiăng có chứa bitum.

Người ta sử dụng băng làm bằng amiăng có chứa rất nhiều magnetit cùng với sơn bán dẫn trong máy điện cao thế như là vật liệu bán dẫn để giảm bớt độ không đồng đều của điện trường tại phần ngoài rãnh của dây quấn stato.

7.4.2.5. *Vật liệu xét-nhét điện, áp điện và eléctrét*

Vật liệu xét-nhét điện là loại vật liệu có sự phân cực rất đặc biệt, có đặc điểm sau:

* So với các vật liệu khác, vật liệu xét-nhét có hằng số điện môi lớn và sự phân cực rất lớn.

* Điện tích quan hệ với điện áp tác dụng có dạng đường cong của từ trễ và hằng số điện môi phụ thuộc vào cường độ điện trường (xem chương III).

* Sự phân cực trong vật liệu xét-nhét phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ. Các tính chất xét-nhét chỉ có trong một phạm vi nhiệt độ nhất định, khi vượt quá nhiệt độ tới hạn nào đó thì tính chất xét-nhét sẽ bị mất đi.

Dưới đây ta đi xét một số đặc tính của loại vật liệu này.

1. Muối xét-nhét điện

Muối xét-nhét là loại vật liệu có thành phần muối kép của natri kali và axít vinic ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Tinh thể của nó có dạng khối lăng trụ đáy có mười cạnh.

Muối xét-nhét có tính chất không đẳng hướng, nghĩa là tính chất xét-nhét của nó chỉ có dọc theo trục tinh thể mà thôi, còn dọc theo các trục khác tính chất của muối xét-nhét hầu như không khác so với các loại vật liệu có kết cấu tinh thể như nó.

Hằng số điện môi của muối xét-nhét dọc theo trục tinh thể biến đổi và phụ thuộc vào cường độ điện trường, có thể đạt tới 10.000. Quan hệ của hằng số điện môi với nhiệt độ có hai điểm cực đại, nghĩa là có hai điểm Quyri: -15°C và $+22,5^\circ\text{C}$ và tính chất xét-nhét chỉ xuất hiện trong phạm vi nhiệt độ ấy ($-15^\circ\text{C} \div 22,5^\circ\text{C}$), ngoài phạm vi nhiệt độ này không phát hiện các tính chất xét-nhét.

Muối xét-nhét có độ bền cơ không cao, nó hoà tan một phần trong nước. Do tính chất không đẳng hướng nên chỉ có thể gia công (cắt) muối xét-nhét theo một mặt phẳng nào đó và cũng do điểm Quyri thấp nên phạm vi ứng dụng của nó bị hạn chế.

2. Vật liệu gốm xét-nhét (xem phần sứ và gốm đã nêu ở trên)

Loại vật liệu gốm titanat bari (BaTiO_3) là loại vật liệu có tính chất xét-nhét. Titanat bari có thành phần của bioxyt titan (TiO_2) và cacbonát (BaCO_3) ở 1400°C .

Khi đó cacbonat bari sẽ phân hoá thành BaO và khí CO₂ bay ra và BaO kết hợp với TiO₂ thành titanat bari (BaTiO₃). Titanat bari là loại điện môi đẳng hướng, nghĩa là tính chất xét-nhét xuất hiện theo mọi phương của tinh thể như nhau. Điện môi này có độ bền cơ cao có thể chịu nén đến 2000 KG/cm², không bị tác dụng của độ ẩm và tính chất của nó cũng không thay đổi sau khi ngâm vào trong nước.

Ở nhiệt độ cao thì ion titan (Ti⁴⁺) ở giữa các ion ôxy (O⁻) nên kết cấu tinh thể đối xứng hoàn toàn, phân tử không cực tính và có mômen điện bằng không. Nhưng khi ở nhiệt độ thấp (so với điểm Quyri) kết cấu tinh thể trở nên không đối xứng nên phân tử titanat bari có mômen điện - là chất cực tính.

Do tác dụng tương hỗ giữa các điện tích của các mạng tinh thể gần nhau nên các ion titan cũng chuyển theo một phương nào đó, do vậy hình thành các vùng phân cực tự phát. Các mômen điện của các vùng phân cực tự nhiên (\vec{M}_i) có chiều khác nhau nên khi không có điện trường bên ngoài tác động tổng các mômen các vùng có trị số bằng không ($\sum_{i=1}^N \vec{M}_i = 0$).

Sau khi có điện trường bên ngoài tác động các mômen của các vùng phân cực tự nhiên có sự sắp xếp lại theo chiều của điện trường nên $\sum_{i=1}^N \vec{M}_i \neq 0$.

Nếu tinh thể titanat bari đã phân cực bị tác dụng một lực cơ học ép dọc theo phương của trục phân cực thì kích thước của tinh thể dọc theo trục ấy sẽ giảm và kích thước của mặt phẳng vuông góc với trục ấy sẽ tăng. Nhưng vì có phân cực tự phát phụ thuộc vào kích thước dọc theo trục ấy nên các điện tích giảm do đó, trên lớp kép có một số điện tích tự do, trên bề mặt vật liệu có hiệu điện thế bằng:

$$U = \frac{Q}{C}$$

Trong đó: Q - điện tích tự do khi có biến dạng cơ học; C - điện dung của tinh thể.

Nối hai cực trên mặt vật liệu qua một điện trở thì thấy có dòng điện, như vậy là cơ năng đã được chuyển thành điện năng.

Cũng như vậy, khi tinh thể bị lực kéo thì sự phân cực tự phát theo phương kéo sẽ tăng, do đó mật độ điện tích bề mặt sẽ tăng và trên bề mặt cũng xuất hiện một hiệu điện thế có cùng trị số song ngược dấu với trường hợp nén.

Nếu ta cho tác dụng lên tinh thể titanat bari đã phân cực một thế hiệu thì sẽ có phân cực cảm ứng bên trong tinh thể. Cũng tùy theo dấu của thế hiệu và phương của của phân-cực cảm ứng mà phân cực tổng sẽ lớn hơn hay bé so với phân cực tự phát. Nhưng vì kích thước của tinh thể phụ thuộc vào sự phân cực, cho nên đồng

thời với sự biến thiên của sự phân cực mà kích thước của tinh thể có thể thay đổi. Khi sự phân cực tăng thì tinh thể bị kéo dài ra và sự phân cực giảm thì tinh thể sẽ co lại, như vậy điện năng đưa vào tinh thể đã được chuyển thành năng lượng dự trữ do sự biến dạng đàn hồi của tinh thể. Đây là hiệu ứng áp điện. Như vậy vật liệu xét-nhét cũng là vật liệu áp điện.

Vật liệu có hiệu ứng áp điện được đặc trưng bởi hệ số liên hệ giữa số điện tích khi áp điện và lực tác dụng:

$$Q = d.F.$$
$$\frac{Q}{S} = d\frac{F}{S} = q = d.p.$$

Trong đó: Q - điện tích; d - moduyn áp điện; F- lực tác động; S - diện tích bề mặt; q- điện tích xuất hiện trên một đơn vị diện tích.

Các tính chất của titanat bari: Hằng số điện môi và tgδ phụ thuộc vào tần số như ở hình 7-23. Như vậy, tổn hao điện môi của BaTiO₃ có trị số lớn khi ở tần số cao, do vậy làm cho phạm vi sử dụng của nó bị giới hạn. Titanat bari có cường độ điện trường cách điện thấp hơn so với các loại gốm khác (hình 7-24).

Hiện nay ngoài titanat bari còn có nhiều loại vật liệu xét-nhét có điểm Quyri rất cao và rất thấp, có kết cấu tinh thể khác nhau: Ví dụ, titanat cadmium CdTiO₃ có điểm Quyri -210⁰C và metaniobat chì PbNb₂O₆ có điểm Quyri - 570⁰C. Nếu ta thay đổi thành phần của vật liệu gốm cũng sẽ thu được các loại xét-nhét có tính chất khác nhau.

Trong kỹ thuật điện vật liệu xét-nhét được dùng trong các lĩnh vực quan trọng sau đây:

Chế tạo các tụ điện có kích thước bé nhưng điện dung lớn.

Chế tạo các máy biến đổi áp điện.

Dùng trong kỹ thuật máy tính để làm các bộ nhớ.

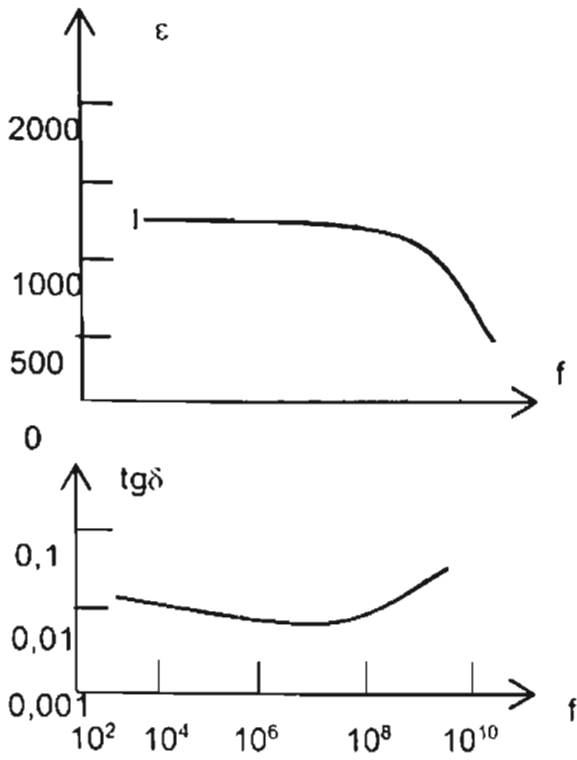
Dùng trong bộ điều chế và thiết bị điều khiển khác ...

Nhưng khi sử dụng vật liệu xét-nhét cần chú ý là nó bị biến già theo thời gian, tính chất phân cực không đường thẳng của vật liệu rất nhạy cảm với sự biến đổi nhiệt độ môi trường.

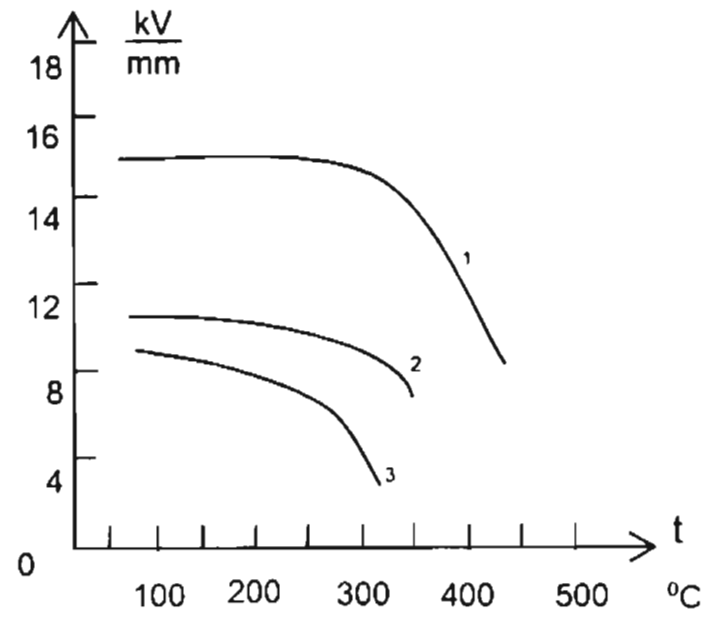
3. Thạch anh áp điện. Loại vật liệu này được dùng trong kỹ thuật vô tuyến điện để làm ổn định tần số và chuẩn tần số.

Tinh thể thạch anh có ba trục chính x, y, z trong hệ tọa độ vuông góc không gian:

Trục X là trục điện đi qua các đỉnh của tiết diện tinh thể có hình lục giác, có 3 trục X (xem hình 7-25).



Hình 7-23. Quan hệ ϵ và $tg\delta$ của $BaTiO_3$ với tần số trong điện trường yếu.



Hình 7-24. Quan hệ của cường độ điện trường cách điện của vật liệu gốm với nhiệt độ:

- 1-Vật liệu gốm $MgOAl_2O_3$;
- 2-Titanat cadmium;
- 3-Vật liệu gốm gốc Titanat.

Trục Y là trục cơ thẳng góc với cạnh tiết diện ngang của tinh thể.

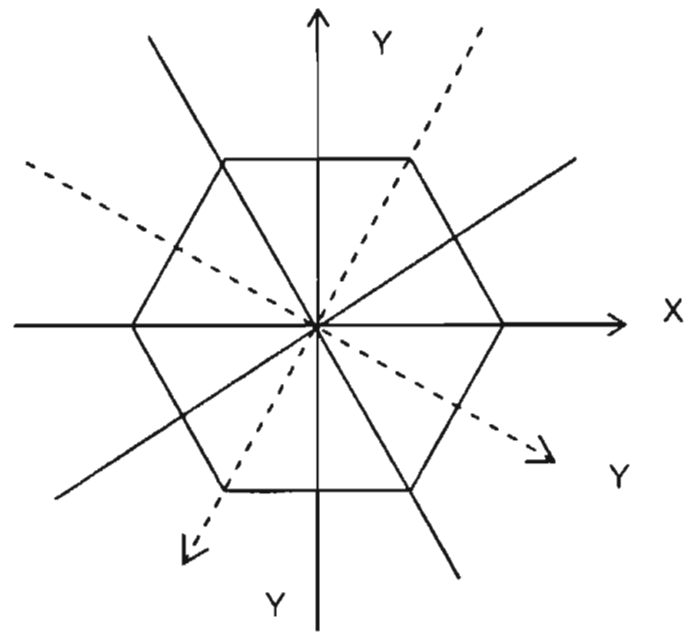
Trục Z là trục quang đi qua hai đỉnh của tinh thể.

Đối với các tấm thạch anh có các điện tích trên các mặt đối nhau thì không cần phải có sự phân cực trước.

Khi lực tác dụng thay đổi (nén hay kéo) thì điện tích trên bề mặt thay đổi. Trên bề mặt của tấm thạch anh có đặt các cực thực hiện bằng mạ phun trong chân không.

Các tấm thạch anh có cực và có các giá kẹp là bộ cộng hưởng thạch anh, nó có hệ số nhiệt độ của tần số cộng hưởng (trong một phạm vi tần số đã cho).

Trước khi cho tấm thạch anh làm việc cần phải cho nó chịu tác dụng hoá già nhân tạo ở nhiệt độ cao, như thế thì sự biến thiên tần số của bộ cộng hưởng thạch anh sẽ không quá 10^{-6} .



Hình 7-25. Các trục chính của tinh thể thạch anh.

4. Êlectret

Là loại vật liệu sau khi được phân cực sẽ giữ được trạng thái điện hoá trong thời gian dài (tương tự như nam châm vĩnh cửu). Tính chất điện hoá lâu dài thường thấy trong các điện môi hữu cơ nhưng cũng thấy ở rất nhiều loại vật liệu gồm êlectret và các êlectret đơn tinh thể (lưu huỳnh).

Mật độ điện tích mặt êlectret trong khoảng $10^{-8} \div 10^{-10}$ culong/cm² và sự phân cực đủ có thể là $10^{-8} \div 10^{-5}$ culông/cm².

Trong êlectret có các loại điện tích liên kết và tự do khác nhau, hiệu số của chúng tạo nên điện tích bề mặt và tùy theo số lượng của chúng mà dấu của nó trên bề mặt êlectret thay đổi theo thời gian.

Mặt khác cũng phải chú ý là áp suất và độ ẩm của không khí có ảnh hưởng nhiều đến bề mặt êlectret đã điện hoá.

Điện trở trong các hệ thống êlectret rất lớn ($10^7 - 10^8 \Omega$) nên trị số dòng điện trong mạch không phụ thuộc vào phụ tải bên ngoài, do đó chúng ta sẽ có một máy phát điện xoay chiều.

Êlectret được dùng để chế tạo ra microphôn do các chấn động cơ, do độ bức xạ, do áp suất khí quyển và độ ẩm, đây là các dụng cụ đo không cần dùng nguồn điện.

7.4.2.6. Cách điện ôxít và cách điện florua

Một số kim loại khi bị ôxy hoá có thể tạo ra trên bề mặt của chúng một lớp ôxít có tính cách điện. Để phán đoán xem có thể tạo ra được một lớp ôxít dày đặc trên bề mặt kim loại nào đó thì người ta căn cứ vào giá trị của hệ số thể tích của sự ôxy hoá, tức là tỷ số giữa khối lượng ôxít trên khối lượng kim loại tham gia vào ôxít ấy:

$$K = \frac{M \cdot \rho_M}{nA\rho_0}$$

Trong đó: M - khối lượng phân tử của ôxít; ρ_M - khối lượng riêng của kim loại; n- số nguyên tử kim loại gia công vào phân tử ôxít; A - khối lượng nguyên tử kim loại; ρ_0 - khối lượng riêng của ôxít.

Nếu $K > 1$, lớp ôxít được tạo ra bao kín lấy kim loại, nếu như $K < 1$ thì không thu được một lớp bao kín như vậy.

Ví dụ: đối với nhôm, trong điều kiện bình thường luôn luôn có một lớp màng ôxít Al_2O_3 rất mỏng bao phủ, chúng ta có $A = 26,97$; $\rho_M = 2,7$ g/cm³; $M = 101,9$; $n = 2$; $\rho_0 = 3,2$ g/cm³ và công thức trên cho $K = 1,6$. Trong khi đó đối với đồng hoặc sắt chẳng hạn thì $K < 1$ nên không thể tạo ra những lớp ôxít dày đặc trên các kim loại ấy.

Chất cách điện bằng ôxít như lớp ôxít trên mặt nhôm thường được ứng dụng trong thực tế, ở đây điều đáng quan tâm không phải là lớp ôxít tự nhiên rất mỏng mà là lớp ôxít thu được bằng phương pháp điều chế đặc biệt, nó dày hơn và có độ điện áp chọc thủng khá cao đối với mục tiêu sử dụng.

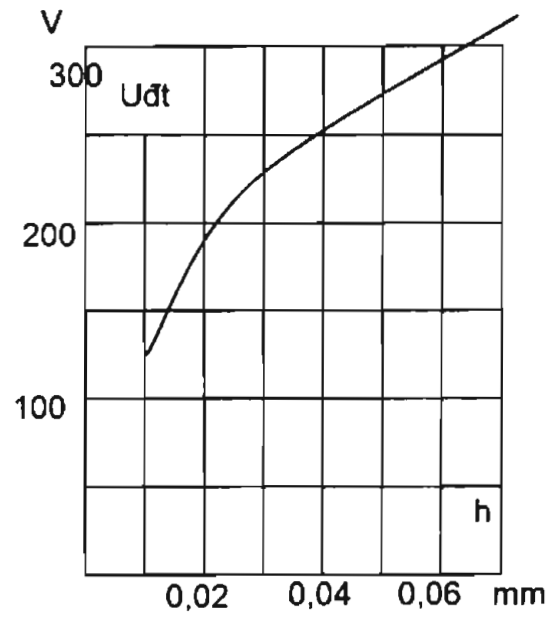
Điện áp chọc thủng của lớp ôxít cách điện trên mặt nhôm phụ thuộc vào chiều dày của lớp được trình bày trên hình 7-26.

Trên thực tế người ta thu được lớp cách điện ôxít của nhôm bằng cách gia công điện hoá "anốt" kim loại ấy. Nếu một trong hai điện cực nhúng vào bình điện phân được làm bằng nhôm và đặt điện áp một chiều vào hai điện cực ấy sao cho điện cực nhôm trở thành anốt và tại đó có ôxy thoát ra trong lúc điện phân thì cường độ dòng điện đi qua bình điện phân sẽ giảm nhanh và trên bề mặt của điện cực nhôm được nhúng trong bình sẽ hình thành một màng ôxít ngày càng dày.

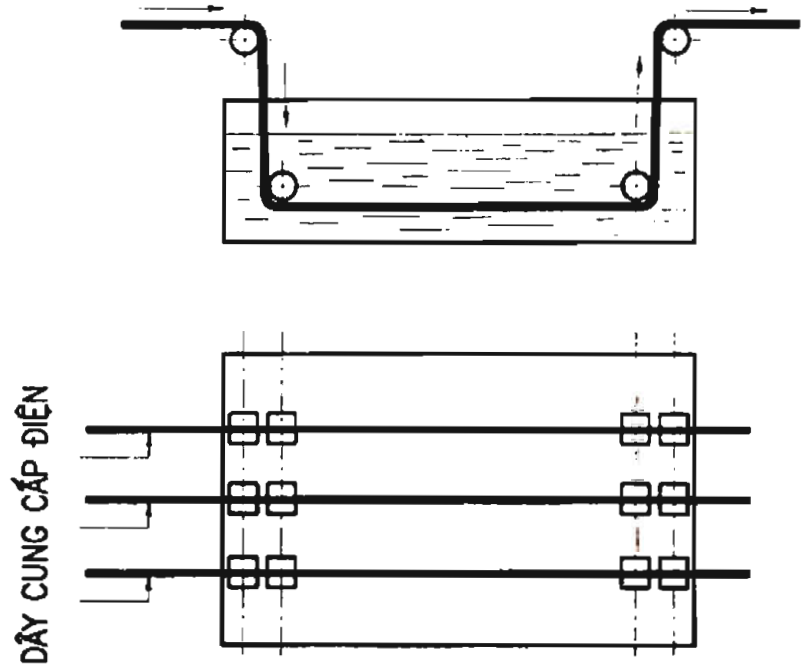
Trong những điều kiện nhất định có thể dùng điện áp xoay chiều để phủ màng ôxít lên nhôm, trong đó cả hai điện cực (hoặc nhiều điện cực trong trường hợp dùng điện áp nhiều pha) đều được chế tạo bằng nhôm.

Theo lĩnh vực sử dụng chủ yếu, theo tính chất lý học và phương pháp công nghệ để thu được màng ôxít trên nhôm ta có thể chia chúng thành hai loại khác hẳn nhau.

* Màng ôxít thuộc **loại thứ nhất** có thể được dùng vào chỗ tiếp xúc với chất điện phân lỏng ở trong tụ điện ôxít thông thường và cả trong bộ phóng điện và bộ nắn điện điện phân, cũng như ở chỗ tiếp xúc với chất bán dẫn rắn hoặc với lớp kim loại. Màng ôxít thuộc loại thứ nhất thực tế là một màng dày đặc



Hình 7-26. Điện áp đánh thủng của màng cách điện ôxít nhôm vào chiều dày của màng.



Hình 7-27. Bọc lớp cách điện ôxít lên dây dẫn nhôm.

có khối lượng riêng cao (khoảng $3,2\text{g/cm}^3$) và mỏng không quá $1\mu\text{m}$. Người ta thu được nó bằng cách ôxy điện hoá nhôm trong chất điện phân yếu không hoà tan được màng ôxít, quá trình làm ra màng ôxít như vậy thường được gọi là sự tạo màng.

* Màng ôxít thuộc *loại thứ hai* chỉ được sử dụng làm chất cách điện cho dây dẫn bằng nhôm làm việc trong trạng thái khô (trong không khí hay khi tiếp xúc với các vật liệu cách điện rắn khác) như trong các thiết bị điện, trong máy biến áp, trong các máy móc chủ yếu là ở dạng chất cách điện bằng ôxít cho dây dẫn và băng bằng nhôm. Màng ôxít thuộc loại 2 khá xốp, điều đó thể hiện ngay ở khối lượng riêng của nó vào khoảng $2,5\text{g/cm}^3$; nhỏ hơn tỷ trọng của nhôm loại một một cách đáng kể. Màng loại hai dày hơn màng loại một nhiều. Người ta thường thu được bằng cách ôxy hoá điện nhôm trong chất điện phân mạnh hoà tan được màng ôxít, ví dụ như trong dung dịch nước với axit sunfuric, cronic, oxalic, fotforic, quá trình ấy được gọi là sự xử lý anốt. Màng loại hai có thể dùng để phủ ngoài không chỉ làm nhiệm vụ cách điện mà còn làm nhiệm vụ chống ăn mòn cũng như nhiệm vụ trang trí nữa.

Sơ đồ của quá trình xử lý anốt dây dẫn nhôm liên tục được trình bày ở hình 7-27. Cho ba sợi dây nhôm chạy qua một bể có chứa chất điện phân, mặt ngoài của chúng đã được làm sạch thật kỹ từ trước, đặt điện áp ba pha 220V lên ba dây đó. Bằng cách thay đổi chế độ ôxy hoá (thay đổi tốc độ chuyển động của dây dẫn, nghĩa là thay đổi thời gian lưu lại ở trong bể chứa chất điện phân và các điều kiện khác) có thể điều chỉnh được chiều dày của lớp cách điện ôxít.

Độ chịu nóng của lớp cách điện ôxít nhôm thuộc vào cấp C. Nhiệt độ nóng chảy của Al_2O_3 rất cao (khoảng 2050°C) vì thế có thể tăng nhiệt của dây dẫn nhôm đã được ôxy hoá tới nhiệt độ nóng chảy của nhôm vẫn không làm hỏng lớp cách điện ôxít.

Các cuộn dây được chế tạo bằng nhôm đã ôxy hoá có khả năng vận hành ở nhiệt độ làm việc cao. Khả năng tải được dòng điện có mật độ lớn của dây dẫn với độ dày nhỏ của lớp cách điện bằng ôxít cho phép bù đắp lại rất nhiều sự tăng thêm điện trở suất của nhôm so với đồng khi dùng nhôm thay cho đồng. Trong nhiều trường hợp việc chế tạo các cuộn dây không phải bằng dây dẫn tròn mà bằng băng rộng của nhôm được xử lý anốt và sau đó mới quấn vào lõi đem lại nhiều ưu điểm lớn, cho ta khả năng tự động hoá quá trình sản xuất, cải thiện được điều kiện làm nguội.

Nhược điểm của lớp cách điện bằng ôxít nhôm được tạo ra theo phương pháp trên là kém dẻo và rất háo nước. Trong trường hợp đó, khi không đòi hỏi lớp cách điện bằng ôxít phải có độ chịu nóng đặc biệt cao thì đôi khi người ta phủ sơn lên nó.

Cách điện bằng ôxít nhôm (loại thứ nhất) được dùng nhiều trong các loại tụ điện điện phân bằng nhôm cho điện dung cao vì hằng số điện môi của màng ôxít nhôm cao: $\epsilon = 10$. Tụ điện tantali là loại tụ điện phân mới có nhiều triển vọng, hằng số điện môi ϵ của ôxít tantali Ta_2O_5 vào khoảng 27 nghĩa là cao hơn 2,7 lần so với ôxít nhôm.

Để thu được lớp cách điện bằng ôxít trên bề mặt của các hợp kim có điện trở cao như nicrom, constantan có thể sử dụng sự ôxy hoá nhiệt. Có thể tạo ra màng ôxít khá dẻo và bền trên mặt ngoài của constantan bằng cách nung dây dẫn tới $900^\circ C$ trong thời gian ngắn (không quá 3 giây), tiếp theo sau đó để nguội trong không khí. Muốn thế người ta sử dụng một thiết bị khá đơn giản, trên thiết bị đó trong khi dây dẫn bằng constantan chuyển từ cuộn này để quấn sang cuộn khác thì đi qua hai con lăn bằng kim loại, có các đường dây dẫn điện từ nguồn tới. Bằng cách điều chỉnh tốc độ chuyển động của dây dẫn và trị số điện áp giữa hai con lăn cũng như điều chỉnh khoảng cách hai con lăn ấy, ta có thể lựa chọn chế độ thích hợp đối với sự ôxy hoá dây dẫn có đường kính cho trước.

Sự ôxy hoá không phải là một phương pháp duy nhất để có thể tạo ra được một lớp cách điện trên mặt ngoài của kim loại dẫn điện, mà các lớp cách điện ấy chính lại là hợp chất hoá học của kim loại đó. Ví dụ, màng cách điện trên mặt ngoài của nhôm và đồng có thể được tạo ra khi cho flo tác dụng lên kim loại trong nhiệt độ cao. Làm như thế sẽ thu được một màng nhôm florua AlF_3 trên mặt nhôm, còn trên mặt đồng thu được CuF_2 . Cũng có thể gắn một lớp florua cách điện lên mặt nhôm bằng cách cho khí hydrôflorua HF tác dụng lên nhôm. Lớp cách điện này chịu nóng cao hơn lớp cách điện florua của đồng: nó không biến chất khi nung tới $550^\circ C$ trong không khí, còn lại florua đồng thì khi nung quá $250^\circ C$ trong không khí sẽ gây phản ứng với ôxy tạo thành ôxít đồng CuO . Mặt khác florua đồng còn kém chịu ẩm. Cách điện florua cũng có thể tạo ra trên bề mặt các kim loại khác, đặc biệt là trên niken, magie và crôm. Tuy nhiên, cách điện bằng florua vẫn chưa được phổ biến rộng rãi trên thực tế.

PHẦN THỨ BA

VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN VÀ CÁP ĐIỆN, VẬT LIỆU BÁN DẪN, VẬT LIỆU TỪ

Chương VIII

VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN VÀ CÁP ĐIỆN

8.1. VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN

8.1.1. Phân loại và các tính chất cơ bản của vật liệu dẫn điện

Vật liệu dẫn điện có thể là những vật rắn, lỏng và trong những điều kiện nhất định có thể là khí.

Vật liệu dẫn điện ở thể rắn là các kim loại và các hợp kim. Vật dẫn kim loại chia ra thành hai loại: loại có điện dẫn cao và loại có điện trở cao. Kim loại có điện dẫn cao dùng làm dây dẫn điện, cáp điện, dây quấn máy biến áp, máy điện v.v... Các kim loại và hợp kim có điện cao dùng trong các dụng cụ đốt nóng bằng điện, đèn thấp sáng, biến trở và điện trở mẫu v.v...

Các kim loại nóng chảy và dung dịch điện phân thuộc loại vật dẫn ở thể lỏng. Vì các kim loại thường nóng chảy ở nhiệt độ cao, trừ thủy ngân có nhiệt độ nóng chảy ở -39°C , do đó ở nhiệt độ bình thường chỉ có thủy ngân là kim loại lỏng được sử dụng trong thực tế kỹ thuật.

Cơ cấu của sự dẫn điện trong các kim loại rắn và lỏng là do các điện tử tự do chuyển động, do vậy các vật liệu này có điện dẫn điện tử hay còn gọi là vật dẫn loại một.

Vật dẫn loại hai hay là các chất điện phân là các dung dịch của axit, bazơ và muối. Cơ cấu của sự dẫn điện loại này là do sự chuyển dịch của các phân tử mang

điện (ion) dưới tác dụng của điện trường, do đó thành phần dung dịch sẽ bị thay đổi dần dần và trên các điện cực sẽ xuất hiện các sản phẩm điện phân. Các tinh thể ion ở trạng thái lỏng cũng thuộc vật dẫn loại hai.

Tất cả các chất khí và hơi, kể cả hơi kim loại, nếu cường độ điện trường ngoài thấp sẽ không phải là vật dẫn (cách điện). Nhưng nếu cách điện điện trường vượt quá một giá trị giới hạn nào đó đủ gây ion hoá quang và ion hoá va chạm thì chất khí đó trở thành vật dẫn có điện dẫn ion và điện tử. Khi bị ion hoá mạnh sẽ có số điện tử và ion dương bằng nhau sinh ra trong một đơn vị thể tích là môi trường dẫn điện đặc biệt gọi là plazma.

Khi nghiên cứu đặc tính dẫn điện của vật liệu chúng ta cần quan tâm tới các tính chất cơ bản sau:

- Điện dẫn suất hay điện trở suất của vật liệu ($\gamma = \frac{1}{\rho}$);
- Hệ số nhiệt của điện trở suất;
- Nhiệt dẫn suất;
- Hiệu điện thế tiếp xúc và sức nhiệt điện động;
- Giới hạn bền khi kéo và độ giãn dài tương đối khi đứt.

1) Điện dẫn suất và điện trở suất

Cũng giống như chương II, khi tính dòng điện đi trong điện môi thì cường độ dòng điện trong vật dẫn có thể viết dưới dạng:

$$I = n_0 \cdot q_c \cdot S \cdot v_{tb} \quad (8-1)$$

Trong đó: n_0 - là mật độ điện tử tự do của vật dẫn; q_c - điện tích của điện tử; S - tiết diện của dây dẫn; v_{tb} - tốc độ chuyển động trung bình của điện tử dưới tác dụng của điện trường E .

Nếu ta gọi K là độ linh hoạt của các điện tử ($K = \frac{v}{E}$) thì ta có biểu thức của định luật Ôm như sau:

$$I = n_0 \cdot q_c \cdot S \cdot K \cdot E \quad (8-2)$$

$$j = n_0 \cdot q_c \cdot K \cdot E ; \quad j = \gamma \cdot E \quad (8-3)$$

Trị số nghịch đảo của điện dẫn suất γ gọi là điện trở suất ρ , nếu vật dẫn có tiết diện không đổi là S và độ dài l thì:

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l} \quad (8-4)$$

Đơn vị của điện trở suất là: $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Trong hệ SI điện trở suất có thứ nguyên là $\Omega \cdot \text{m}$.

Quan hệ giữa các đại lượng này như sau:

$$1 \Omega.m = 10^6 . \Omega.mm^2/m = 10^6 \mu\Omega m.$$

$$1 \Omega mm^2/m = 1 \mu.\Omega.w.$$

Điện trở suất của vật dẫn kim loại biến đổi trong khoảng tương đối rộng từ 0,016 (bạc) đến khoảng 10 $\Omega . mm^2/m$ (hợp kim sắt - crôm - nhôm). Trong bảng 8.1 đưa ra trị số điện trở suất và các đặc tính vật lý của các kim loại chủ yếu dùng trong kỹ thuật điện.

2) Hệ số nhiệt của điện trở suất

Bảng 8.1. Các đặc tính vật lý chủ yếu của kim loại (ở 20°C) được dùng trong kỹ thuật điện

Kim loại	Khối lượng riêng g/cm ³	Nhiệt độ nóng chảy, °C	Nhiệt dung riêng, j/ (kg. độ)	Nhiệt dẫn riêng W/ (m.độ)	Hệ số nhiệt độ giãn nở dài, $\alpha_1 . 10^6, \text{độ}^{-1}$	Điện trở suất, $\Omega.mm^2/m$	Hệ số nhiệt độ điện trở suất, độ^{-1}	Công thoát điện tử, eV
Đồng	8,9	1083	385	390	16,5	0,0172	0,0043	4,35
Nhôm	2,7	657	922	209	24	0,028	0,0042	4,3
Vonfram	19,3	3380	138	168	4,4	0,055	0,0046	4,5
Molipđen	10,2	2620	264	151	5,1	0,057	0,0046	4,2
Tantan	16,6	2977	142	54	6,5	0,135	0,0038	4,1
Niobi	8,6	2415	272	50	7,2	0,18	0,003	3,96
Titan	4,5	1725	577	15	8,1	0,42	0,0044	4,09
Ziriconi	6,5	1815	276	17	5,4	0,41	0,0045	3,84
Reni	21	3145	138	71	4,7	0,21	0,0032	4,8
Vàng	19,3	1063	126	293	14,2	0,024	0,0038	4,8
Bạc	10,5	961	234	415	19,3	0,016	0,004	4,45
Platin	21,4	1770	134	71	9	0,105	0,0039	5,3
Paladi	12	1555	213	71	11,9	0,11	0,0038	4,82
Sắt	7,8	1535	452	73	11	0,098	0,006	4,5
Niken	8,9	1455	444	95	13	0,073	0,0065	5
Coban	8,7	1492	435	79	12,5	0,062	0,006	-
Chì	11,4	327	130	35	29	0,21	0,0037	-
Thiếc	7,3	232	226	65	23	0,12	0,0044	4,4
Kẽm	7,1	420	390	111	31	0,059	0,004	4,4
Cadmi	8,6	321	230	93	30	0,076	0,0042	-
Indi	7,3	157	243	25	24,8	0,09	0,0047	-
Gali	5,9	29,8	381	-	18,3	0,56	-	-
Thủy ngân	13,6	-39	138	10	61	0,958	0,0009	4,5

Điện trở suất của kim loại phụ thuộc vào nhiệt độ. Trên hình 8-1 vẽ đường cong biến đổi điện trở suất của đồng theo nhiệt độ. Trong khoảng nhiệt độ hẹp quan hệ giữa ρ với nhiệt độ gần như đường thẳng, giá trị điện trở suất ở cuối đoạn nhiệt độ Δt có thể được tính theo công thức:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha_\rho \cdot \Delta t) \quad (8-5)$$

Ở đây: ρ_t - điện trở suất của vật liệu đo ở nhiệt độ t° ;

ρ_0 - điện trở suất ở nhiệt độ ban đầu;

α_ρ - hệ số nhiệt của điện trở suất.

Hệ số nhiệt của điện trở suất nói lên sự thay đổi điện trở suất của vật liệu khi nhiệt độ thay đổi:

$$TK_\rho = \alpha_\rho = \frac{\rho_t - \rho_0}{\rho_0 \cdot \Delta t} \quad (\text{độ}^{-1}) \quad (8-6)$$

Biểu thức vi phân đối với α_ρ ở nhiệt độ t có dạng:

$$\alpha_{\rho,t} = \frac{1}{\rho_t} \cdot \frac{d\rho}{dt} \quad (\text{độ}^{-1}) \quad (8-7)$$

Trị số α_ρ của các kim loại tinh khiết ở trạng thái rắn gần bằng nhau (xem bảng 8.1) và có thể lấy gần đúng bằng:

$$\alpha_\rho \approx \frac{1}{273} \approx 0,004 \text{ độ}^{-1} \text{ trừ các}$$

nguyên tố thuộc loại sắt từ như: sắt, niken, coban và crôm.

3) Sự biến đổi điện trở suất khi biến dạng

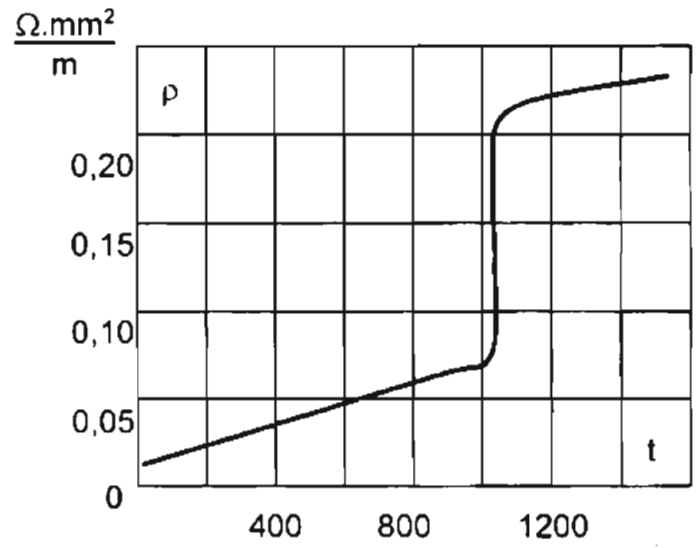
Đối với kim loại bị kéo hay bị nén, điện trở suất của nó có thể tính gần đúng như sau:

$$\rho_L = \rho (1 \pm \varphi \sigma) \quad (8-8)$$

Với: σ - ứng suất cơ ở tiết diện mẫu; φ - hệ số ứng suất cơ. Dấu cộng (+) trong biểu thức (8-8) ứng với biến dạng kéo, còn dấu trừ (-) là khi nén.

Sự biến đổi điện trở suất khi biến dạng đàn hồi là do sự biến đổi biên độ dao động của các mạng nút tinh thể, khi kéo - biên độ tăng, khi nén - biên độ giảm.

Sự tăng biên độ dao động của nút mạng tinh thể làm giảm đi độ linh động của các hạt mang điện và điện dẫn suất giảm xuống, điện trở suất tăng lên. Việc giảm biên độ dẫn đến kết quả ngược lại: điện dẫn suất tăng và điện trở suất sẽ giảm.



Hình 8-1. Quan hệ giữa điện trở suất ρ với nhiệt độ của đồng (nhiệt độ nóng chảy của đồng 1083°C).

Biến dạng dẻo cũng thường làm tăng điện trở suất kim loại vì nó làm xô lệch mạng tinh thể. Khi kết tinh lại bằng nhiệt luyện điện trở suất sẽ giảm trở lại trị số ban đầu.

4) **Nhiệt dẫn suất:** Nhiệt dẫn suất của kim loại dẫn điện có quan hệ với điện dẫn suất của kim loại đó. Theo định luật thực nghiệm Videman Frantx giữa nhiệt dẫn suất của điện trở suất có quan hệ với nhau theo công thức:

$$\frac{\lambda_n}{\gamma} = aT \quad (8-9)$$

Hệ số a đối với đa số kim loại giống nhau:

$$a = 3\left(\frac{k}{e}\right)^2 = 2,23 \cdot 10^{-8} \quad (8-10)$$

nếu $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ j/độ và $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ culon.

Giá trị thực nghiệm của hằng số a đối với các kim loại khác nhau ở nhiệt độ bình thường với điện dẫn suất tính bằng S/m, còn nhiệt dẫn suất - W/độ.m cho ở bảng 8.2

Bảng 8.2. Hằng số Videman Frantx của một số kim loại

Kim loại	$a \cdot 10^8 \text{ w}^2/\text{độ}^2$	Kim loại	$a \cdot 10^8 \text{ w}^2/\text{độ}^2$
Nhôm	2,1	Chì	2,5
Đồng	2,25	Thiếc	2,5
Bạc	2,35	Platin	2,6
Kẽm	2,45	Sắt	2,9

5) **Sức nhiệt động.** Khi cho hai kim loại khác nhau tiếp xúc thì giữa chúng phát sinh hiệu điện thế. Nguyên nhân sinh ra hiệu điện thế tiếp xúc là do công thoát điện tử của kim loại khác nhau (xem bảng 8.1), đồng thời do số điện tử tự do khác nhau, do đó áp lực khi điện tử ở kim loại khác nhau có thể không giống nhau. Theo thuyết điện tử, hiệu điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại A và B bằng:

$$U_{AB} = U_B - U_A + \frac{KT}{e} \cdot \ln \frac{n_{OA}}{n_{OB}} \quad (8-11)$$

Ở đây: U_A và U_B - điện thế tiếp xúc của kim loại A và B;

n_{OA} và n_{OB} - mật độ điện tử trong kim loại A và B.

Hiệu điện thế tiếp xúc giữa các cặp kim loại giao động trong phạm vi từ vài phần mười đến vài von, nếu nhiệt độ của cặp bằng nhau, tổng hiệu điện thế trong mạch kín bằng không. Nhưng khi một phần tử của cặp có nhiệt độ T_1 còn phần kia là T_2 (hình 8-2) thì trong trường hợp này sẽ phát sinh sức nhiệt điện động (s.n.đ.đ).

$$U = U_{AB} + U_{BA} = U_B - U_A + \frac{KT_1}{e} \cdot \ln \frac{n_{OA}}{n_{OB}} + U_A - U_B + \frac{KT_2}{e} \cdot \ln \frac{n_{OB}}{n_{OA}}; \quad (8-12)$$

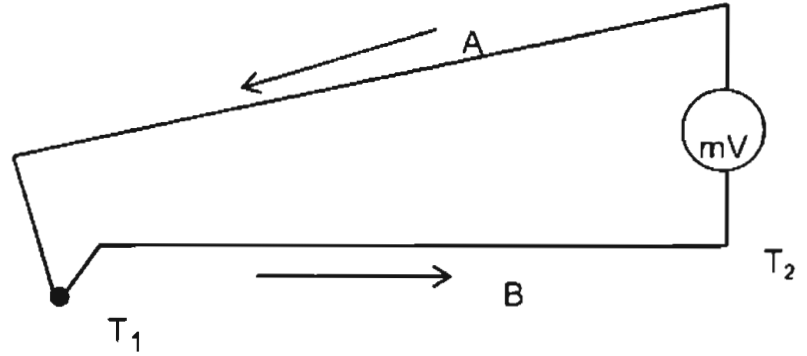
Từ đó ta có:

$$U = \frac{K}{e} (T_1 - T_2) \ln \frac{n_{OA}}{n_{OB}} = A(T_1 - T_2) \quad (8-13)$$

Biểu thức nhận được (8-13) chứng tỏ s.n.d.d là hàm số của hiệu nhiệt độ.

Người ta dùng hai dây dẫn có s.n.d.d lớn và có quan hệ tuyến tính với nhiệt độ, để đo nhiệt độ (cặp nhiệt ngẫu). Trong các dụng cụ đo và điện trở mẫu nên sử dụng những kim loại và hợp kim có

s.n.d.d nhỏ đối với đồng để không gây ra sai số khi đo. Có những cặp nhiệt ngẫu đôi dấu sdd trong quá trình đốt.



Hình 8-2. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo cặp nhiệt.

6) Hệ số nhiệt giãn nở dài của vật dẫn kim loại.

Hệ số giãn nở nhiệt theo chiều dài của vật dẫn kim loại:

$$\alpha_L = TK_L = \frac{1}{L_1} \cdot \frac{dL}{dT} \quad (\text{độ}^{-1}) \quad (8-14)$$

Trong kỹ thuật cần phải chú ý đến hệ số α_L không chỉ trong việc gắn kim loại với vật liệu gốm, thủy tinh ... mà còn cần thiết để tính toán hệ số nhiệt độ của vật dẫn nữa:

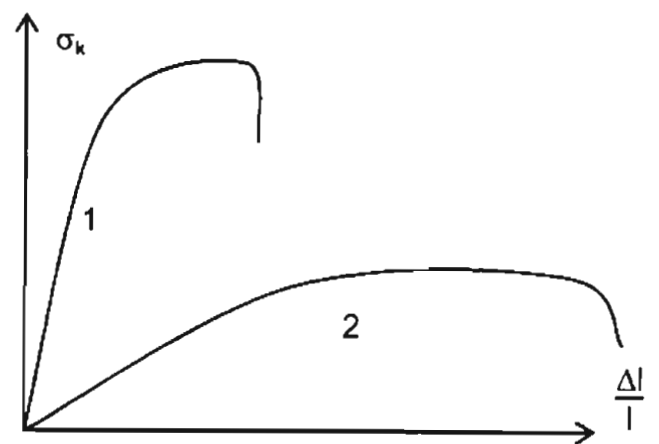
$$\alpha_K = \alpha_p - \alpha_L \quad (8-15)$$

Giữa các trị số của hệ số giãn nở dài theo nhiệt độ và nhiệt độ nóng chảy của kim loại có quan hệ với nhau theo quy luật nhất định. Kim loại có giá trị α_L cao nóng chảy ở nhiệt độ thấp, còn kim loại có hệ số α_L nhỏ sẽ khó nóng chảy (xem bảng 8.1).

Các đặc tính vật lý khác của vật dẫn như: nhiệt dung riêng, mật độ, nhiệt độ nóng chảy v.v... (bảng 8.1) đã rất quen thuộc và không cần giải thích gì thêm.

7) Tính chất cơ học của vật dẫn

Thông thường đặc tính cơ được đặc trưng bằng giới hạn bền kéo và độ dẫn dài tương đối khi đứt $\Delta l/l$.



Hình 8-3. Quan hệ giữa ứng suất cơ khi kéo dây dẫn với độ giãn dài tương đối. 1-dây sản xuất bằng cách kéo nguội; 2-dây đã được ủ.

Trên hình 8-3 trình bày hai đường cong của dây dẫn làm bằng vật dẫn bị kéo: đường thứ nhất ứng với dây sản xuất bằng cách kéo nguội, còn đường thứ hai ứng với dây đã được ủ. Ảnh hưởng của việc ủ dây làm giảm giới hạn bền kéo 1,5÷2 lần và tăng độ dẫn dài tương đối khi đứt lên 15-20 lần.

8.1.2. Vật liệu có điện dẫn cao

Vật liệu có điện dẫn cao được sử dụng rộng rãi nhất trong kỹ thuật điện đó là đồng và nhôm.

1) Đồng (Cu)

Những ưu điểm của đồng khiến nó được sử dụng rộng rãi làm vật dẫn là:

- Điện trở suất nhỏ (trong tất cả các kim loại chỉ có bạc có điện trở suất nhỏ hơn đồng một ít);

- Độ bền cơ tương đối cao;

- Trong đa số trường hợp đồng có tính chất chống ăn mòn tốt (đồng bị oxy hoá tương đối chậm so với sắt ngay cả khi có độ ẩm cao; đồng chỉ bị oxy hoá mạnh ở nhiệt độ cao (xem hình 8-4)).

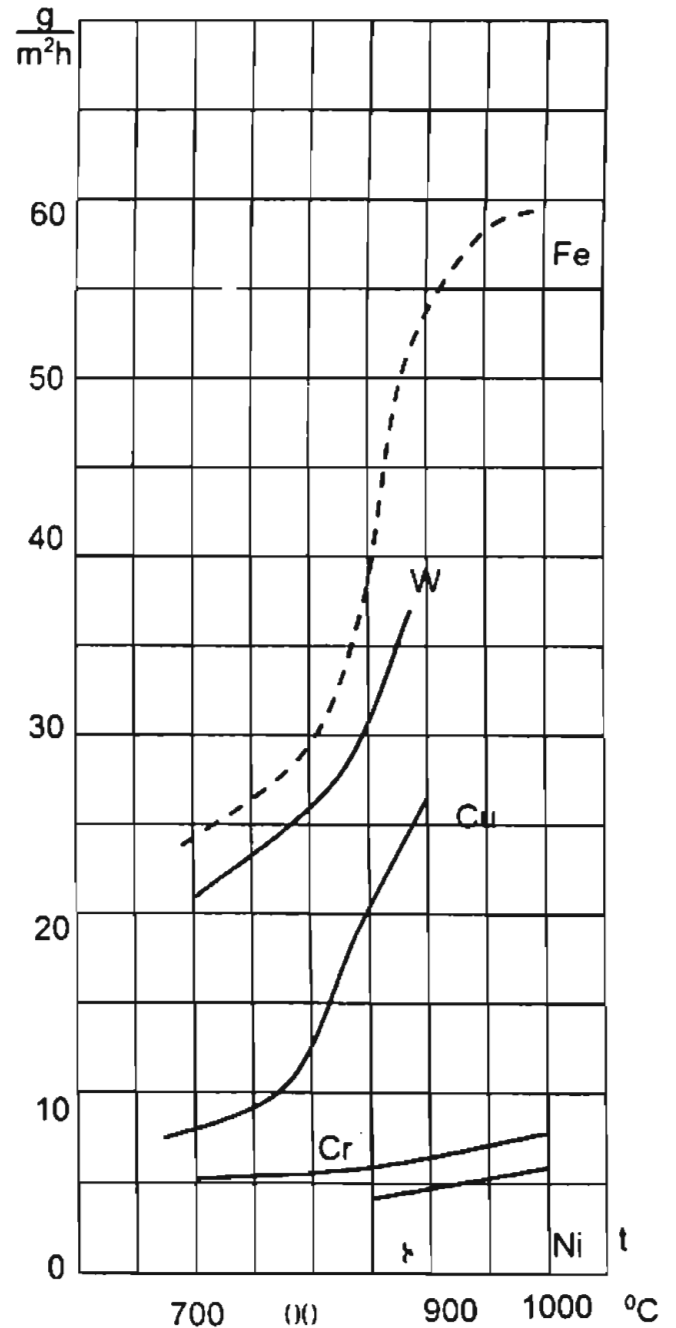
Khả năng gia công tốt, đồng cán được thành tấm, thanh, kéo thành sợi, độ nhỏ của dây có thể đạt tới vài phần nghìn milimét.

Hàn và gắn tương đối dễ dàng.

Đồng thu được bằng phương pháp phổ biến nhất là điều chế từ quặng sunfit trong thiên nhiên. Sau một loạt quá trình luyện quặng sản phẩm cần dùng trong kỹ thuật điện cần phải qua quá trình làm sạch bằng điện phân.

Sau khi điện phân, những phiến đồng bám vào catốt được đem nấu lại thành những thỏi, khối lượng 80-90 kg, những thỏi đồng này sẽ được cán hay kéo thành sản phẩm có tiết diện cần thiết.

Khi chế tạo dây dẫn, thỏi đồng lúc đầu được cán nóng thành dây đường kính 6,5 - 7,2 mm, sau đó dây được rửa sạch



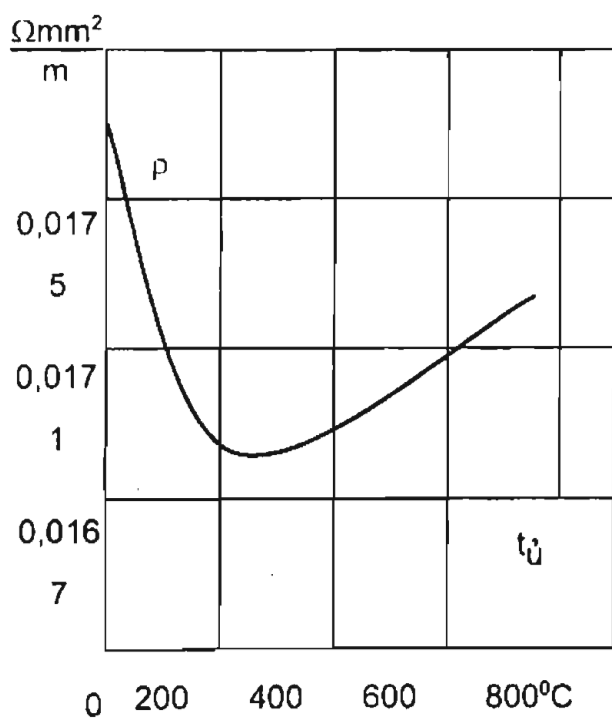
Hình 8-4. Quan hệ giữa tốc độ oxy hoá với nhiệt độ của sắt, vonfram, đồng, crôm, niken (trong không khí).

trong dung dịch axit sunfuric loãng để khử đồng ôxít CuO_2 sinh ra trên bề mặt khi đốt nóng đồng, cuối cùng kéo nguội thành sợi có đường kính cần thiết đến 0,03-0,02 mm.

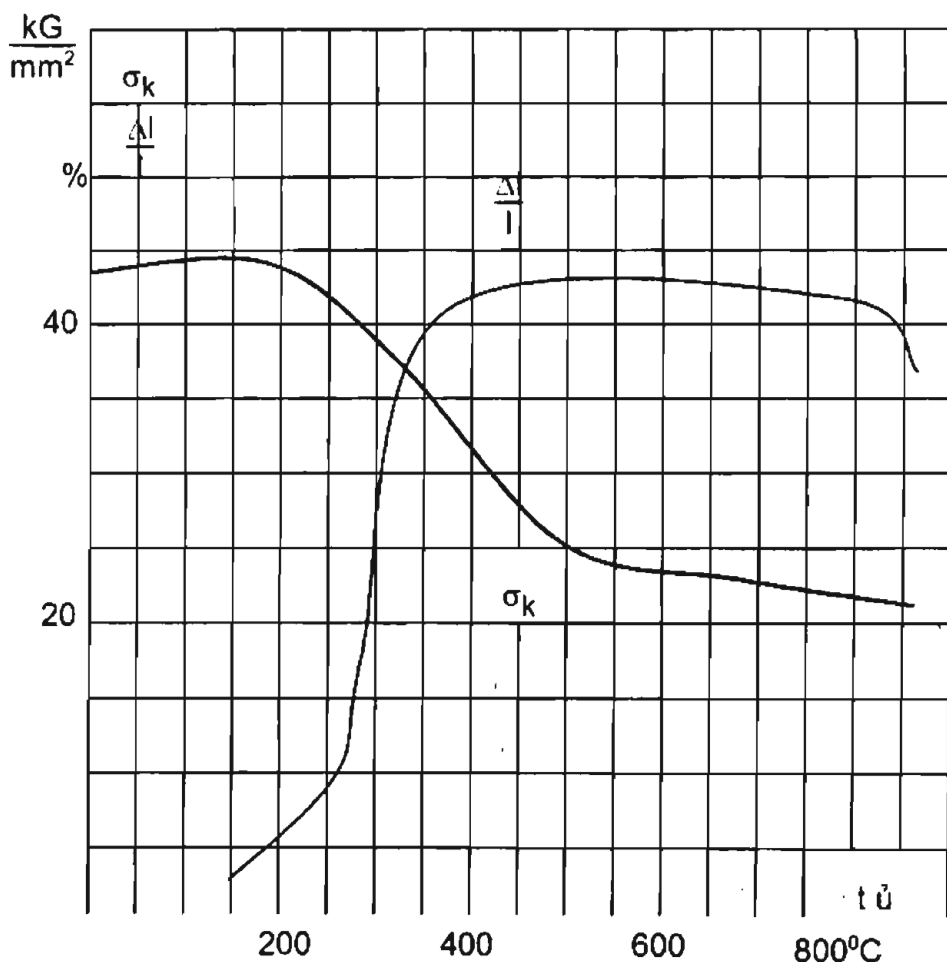
a) Các nhãn hiệu của đồng: Các loại đồng sản xuất ở Liên Xô cũ dùng làm vật dẫn điện có nhãn hiệu M1 và MO. Các nhãn hiệu này xác định thành phần tạp chất trong đồng. Ví dụ đồng M1 có 99,90% Cu, còn các tạp chất khác là 0,10%. Lượng ôxy không được quá 0,08%. Ôxy trong đồng sẽ làm cho tính chất cơ học của đồng kém đi. Đồng MO - 99,95% có tính cơ học tốt hơn, trong thành phần của nó không quá 0,05% tạp chất, trong đó ôxy không quá 0,02%. Loại đồng này thu được bằng cách nấu đặc biệt. Đồng MO có thể sản xuất được dây mảnh.

Khi thực hiện gia công kéo nguội sẽ được đồng cứng (nhãn hiệu MT), do ảnh hưởng cứng nguội, đồng MT có giới hạn bền cao, độ giãn dài nhỏ khi kéo cũng như có độ cứng và độ đàn hồi khi uốn, dây đồng cứng có tính đàn hồi ở mức độ nhất định.

Nếu đồng được ủ, tức là được nung nóng đến vài trăm độ sau đó làm nguội sẽ



Hình 8-5. Quan hệ giữa điện trở suất của đồng với nhiệt độ ủ trong 1 giờ.



Hình 8-6. Quan hệ giữa $\sigma_{kéo}$, độ giãn dài tương đối khi đứt $\frac{\Delta l}{l}$ của đồng với nhiệt độ ủ trong 1 giờ.

được đồng mềm với nhãn hiệu MM, loại đồng này tương đối dẻo, có độ cứng nhỏ, độ bền không lớn nhưng độ đàn dài rất lớn khi đứt và điện dẫn suất cao hơn. Chú ý khi ủ đồng phải thực hiện trong những lò đặc biệt không có không khí để tránh oxy hoá. Ảnh hưởng của sự ủ đến điện trở suất của đồng vẽ trên hình 8-5. Sự thay đổi tính chất cơ học khi ủ (hình 8-6) lớn hơn so với sự biến đổi điện trở suất.

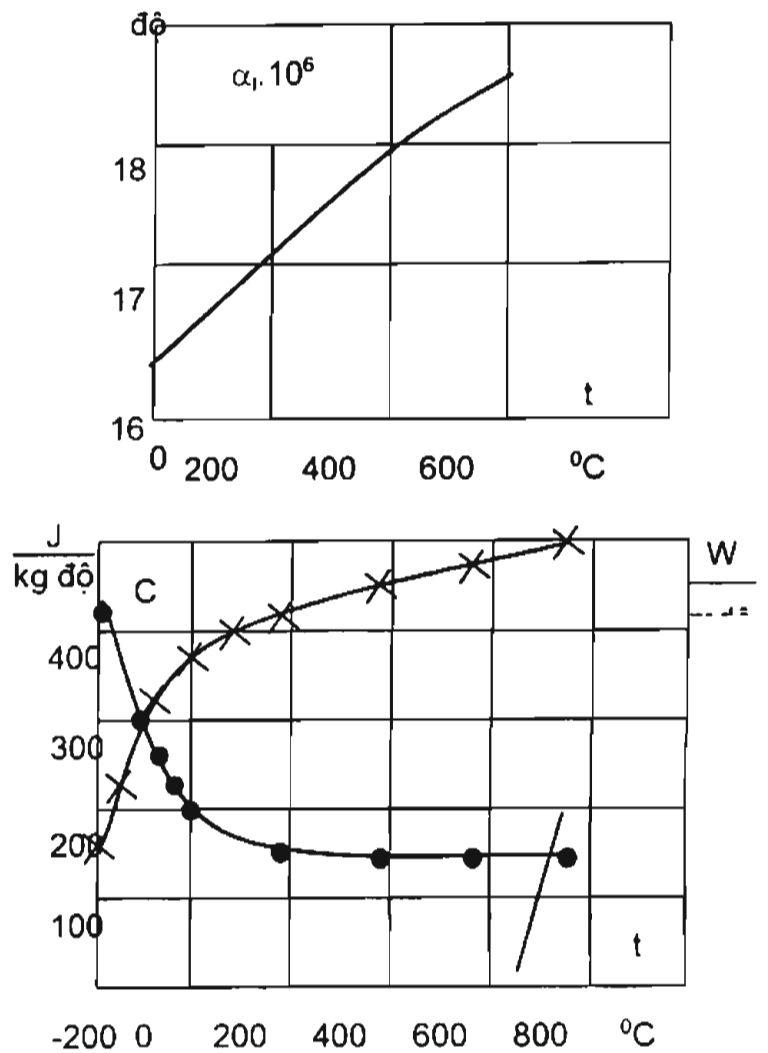
Đồng tiêu chuẩn là đồng ở trạng thái ủ, ở 20°C có điện dẫn suất $58\text{m}/\Omega.\text{mm}^2$, nghĩa là $\rho = 0,017241 \Omega.\text{mm}^2/\text{m}$. Người ta thường chọn số liệu này làm gốc để đánh giá điện dẫn suất của các kim loại và hợp kim khác.

b) Các tính chất của đồng.

Điện dẫn suất của đồng có một đặc điểm là rất nhạy cảm với tạp chất có trong đồng. Ví dụ, khi có 0,5% tạp chất Zn, Cd hoặc Ag, điện dẫn suất của nó giảm 5%, nếu tạp chất là Ni, Sn hay Al điện dẫn suất của đồng giảm 25-40%. Ảnh hưởng càng lớn khi có các tạp chất Be, As, Fe, Sn hay P, khi đó điện dẫn suất của nó giảm xuống hơn 55%.

Hệ số nhiệt điện trở suất của đồng cứng cũng như đồng mềm trên thực tế giống nhau. Các tính chất lý học khác của đồng đã được trình bày trong bảng 8.1, còn quan hệ với nhiệt độ của vài thông số khác được biểu diễn trên hình 8-7.

Tính chất cơ của dây dẫn bằng đồng cho trong bảng 8.3. Trong bảng này ta thấy ảnh hưởng rất mạnh của quá trình gia công đến tính chất cơ của vật liệu làm dây dẫn, cũng như ảnh hưởng của nhiệt luyện đến điện trở suất của kim loại.



Hình 8-7. Quan hệ giữa α_p , nhiệt dung riêng (c) và nhiệt dẫn suất của đồng với nhiệt độ.

Bảng 8.3. Tính chất của dây dẫn đồng và nhôm

Tính chất	Đơn vị đo	Đồng		Nhôm		Ghi chú
		MT	MM	AT	AM	
Giới hạn bền khi kéo, không nhỏ hơn	KG/mm ²	36 ÷ 39	26 ÷ 28	16 ÷ 17	8	Điện dẫn suất của nhôm tinh khiết có thể đạt tới 38m/Ω.mm ²
Độ giãn dài tương đối khi đứt, không nhỏ hơn	%	0,5 ÷ 2,5	18 ÷ 35	1,5 ÷ 2	10-18	
Điện trở suất, không nhỏ hơn	Ω.mm ² /m	0,0179 ÷ 0,0182	0,01754	0,0295	0,0295	

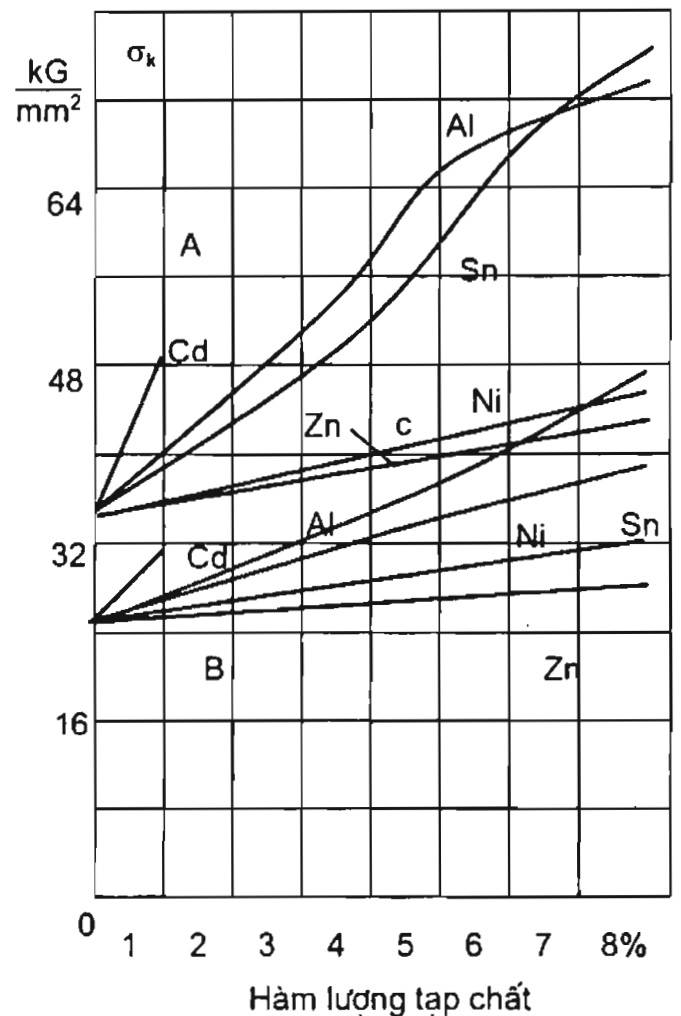
2) Hợp kim đồng

Trong một số trường hợp ngoài đồng tinh khiết còn sử dụng cả hợp kim đồng với một lượng nhỏ thiếc, silic, photpho, beri, crôm, magiê, cadmi v.v... làm vật dẫn. Những hợp kim này gọi là đồng thanh, với thành phần thích hợp nó có những tính chất cơ học tốt hơn đồng. Giới hạn bền kéo của đồng thanh đạt tới 80 ÷ 135 kG/mm² và cao hơn nữa. Điện trở suất của đồng thanh lớn hơn đồng tinh khiết. Đồng thanh sử dụng rộng rãi để chế tạo lò xo dẫn điện.

Cho chất phụ cadmi vào đồng người ta thu được kết quả rất khả quan, chất phụ này làm điện dẫn suất giảm đi một ít nhưng độ bền cơ và độ cứng tăng lên nhiều (xem hình 8-8). Giới hạn bền kéo của đồng thanh cadmi đạt 105 kg/mm². Đồng cadmi dùng ở những chỗ tiếp xúc, hiến góp có công dụng đặc biệt. Đồng thanh beri còn có độ bền cơ lớn hơn ($\sigma_{kéo} = 135 \text{ kg/mm}^2$).

Hợp kim đồng kẽm được gọi là đồng thau có độ giãn dài tương đối khá cao, độ bền kéo cao hơn so với đồng tinh khiết.

Điều đó khiến đồng thau có đặc tính công nghệ ưu việt hơn so với đồng tinh khiết



Hình 8-8. Ảnh hưởng của hàm lượng chất phụ đến $\sigma_{kéo}$ của hợp kim đồng ở trạng thái kéo nguội (A) và ủ (B).

khi gia công rèn, dập, kéo sợi mảnh v.v... Đồng thau dùng trong kỹ thuật điện để sản xuất ra mọi chi tiết dẫn điện. Điện trở suất của đồng thau cao hơn hẳn đồng thuần khiết.

Thành phần và tính chất một số hợp kim đồng sử dụng trong kỹ thuật điện cho ở bảng 8.4.

Bảng 8.4. Tính chất hợp kim đồng kỹ thuật

Hợp kim	Trạng thái	Điện dẫn % so với đồng	Giới hạn bền kéo, KG/mm ²	Độ giãn dài tương đối khi đứt, %.
Đồng thanh cadmi (0,9% Cd)	ủ	95	đến 31	50
	kéo nguội	83÷90	đến 73	4
Đồng thanh (0,8%Cd; 0,6% Sn)	ủ	55÷60	29	55
	kéo nguội	50÷55	đến 73	4
Đồng thanh (2,5% Al; 2% Sn)	ủ	15÷18	37	45
	kéo nguội	15÷18	đến 97	4
Đồng thanh photpho (7% Sn; 0,1%P)	ủ	10÷15	40	60
	kéo nguội	10÷15	105	3
Đồng thau (70% Cu; 30% Zn)	ủ	25	32÷35	60÷70
	kéo nguội	25	đến 88	5

3. Nhôm

Sau vật liệu đồng, nhôm là vật liệu quan trọng thứ hai được sử dụng trong kỹ thuật điện, nhôm có điện dẫn suất cao (nó chỉ thua bạc và đồng), trọng lượng riêng giảm và tính chất vật lý, hoá học cho ta khả năng dùng nó làm dây dẫn điện. Nhôm có cấu trúc tinh thể ba lập phương diện tâm và hình thù không thay đổi cho đến khi nguội ở nhiệt độ thường.

Nhôm có màu bạc trắng là kim loại tiêu biểu cho các kim loại nhẹ (nghĩa là kim loại có khối lượng nhỏ hơn 5G/cm³). Khối lượng riêng của nhôm đúc gần bằng 2,6 còn nhôm cán là 2,7g/cm³ và nhẹ hơn đồng 3,5 lần. Hệ số nhiệt độ giãn nở dài, nhiệt dung và nhiệt độ nóng chảy của nhôm đều lớn hơn đồng.

Do trị số nhiệt dung riêng và nhiệt lượng để nóng chảy cao nên muốn đốt nóng nhôm đến nhiệt độ nóng chảy và chuyển sang trạng thái nóng chảy cần phải tiêu hao năng lượng nhiệt lớn hơn so với đốt nóng và làm nóng chảy cùng một lượng đồng, mặc dù nhiệt độ nóng chảy của nhôm thấp hơn của đồng.

Nhôm kém đồng cả về độ bền cơ học cũng như các đặc tính điện với cùng một tiết diện và chiều dài thì điện trở dây nhôm lớn hơn đồng $\frac{0,028}{0,0172} = 1,63$ lần.

Do đó để dây nhôm có điện trở bằng dây đồng, dây nhôm phải có tiết diện lớn hơn dây đồng 1,63 lần, nghĩa là đường kính phải lớn hơn 1,3 lần. Vì thế khi nào bị hạn chế về kích thước thì việc dùng nhôm thay đồng sẽ gặp khó khăn.

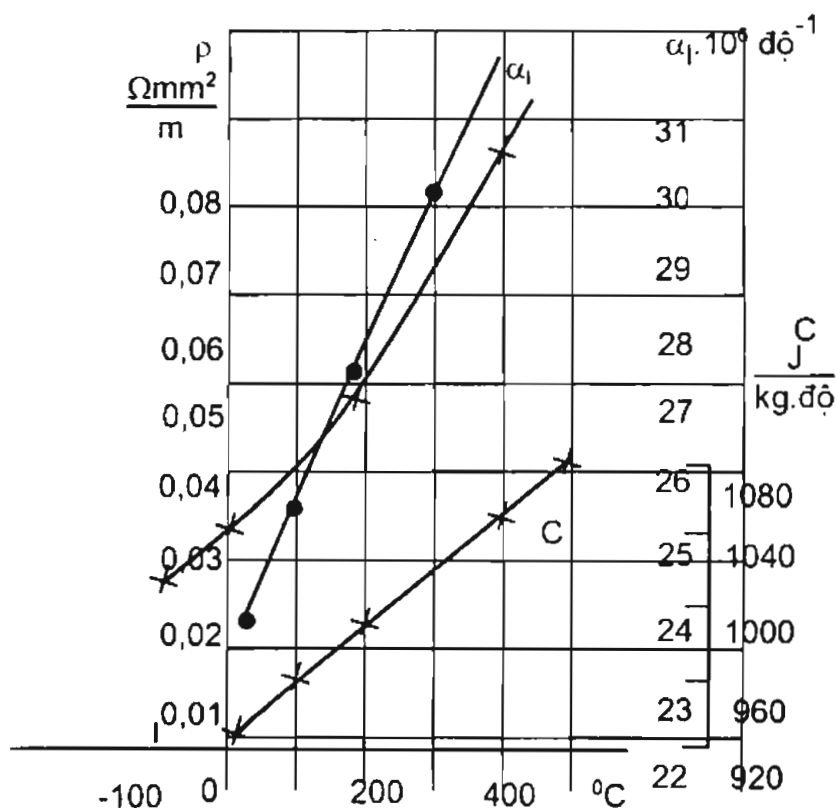
Nếu so sánh hai đoạn dây nhôm và đồng cùng độ dài và điện trở thì dây nhôm mặc dù to hơn nhưng vẫn nhẹ hơn dây đồng khoảng hai lần. Điều đó dẫn tới nguyên tắc kinh tế đơn giản là: để sản xuất các dây dẫn có cùng điện dẫn và chiều dài (nghĩa là với các điều kiện giống nhau, tổn hao trong chúng như nhau khi truyền tải điện năng) thì dùng nhôm lợi hơn trong trường hợp nếu một tấn nhôm đắt hơn một tấn đồng không quá 2 lần. Chính vì vậy, xuất phát từ lý do kinh tế nên nhôm thay thế đồng làm dây dẫn điện đường dây tải điện trên không và dùng sản xuất lõi dây cáp điện với số lượng rất lớn.

Các nhãn hiệu của nhôm: Nhôm sử dụng trong kỹ thuật điện có tạp chất trong thành phần không quá 0,5% được ký hiệu A1. Nhôm tinh khiết hơn với nhãn hiệu là ABOO (không quá 0,03% tạp chất) được sử dụng để sản xuất nhôm lá, các điện cực và vỏ tụ điện điện phân. Nhôm có độ tinh khiết cao hơn nữa là ABOOO có tạp chất không quá 0,004%.

Các tạp chất khác nhau ở trong nhôm sẽ làm giảm điện dẫn của nhôm ở mức độ khác nhau. Nếu thêm niken, silic, kẽm hay sắt vào nhôm khoảng 0,5% sẽ làm giảm điện dẫn của nhôm đã ủ không quá 2-3%. Một điều đáng chú ý là với cùng khối lượng, tác dụng của các tạp chất đồng, bạc và magiê làm giảm điện dẫn đến 5-10%. Điện dẫn của nhôm giảm rất nhiều nếu chất phụ là titan và mangan.

Công nghệ gia công như cán, kéo và ủ cũng tương tự như đối với đồng. Nhôm có thể cán thành lá rất mỏng đến 6-7 μm dùng làm cực bản trong các tụ điện giấy.

Tính chất của nhôm cứng và mềm cho ở bảng 8.3.



Hình 8-9. Quan hệ giữa điện trở suất (ρ), hệ số nhiệt độ giãn nở dài (α, l) và nhiệt dung (C) của nhôm với nhiệt độ.

Một vài tính chất lý học của nhôm có quan hệ với nhiệt độ được biểu diễn trên hình 8-9.

Khi nhôm bị ôxy hoá mạnh sẽ tạo nên màng ôxyt nhôm có điện trở lớn, lớp màng này bảo vệ cho nhôm khỏi bị tiếp tục ăn mòn nhưng tạo nên điện trở lớn ở chỗ tiếp xúc các dây nhôm và không thể hàn nhôm bằng phương pháp thông thường. Để hàn nhôm ta phải dùng thuốc hàn bột đặc biệt hay sử dụng mỏ hàn siêu âm.

Vấn đề ăn mòn điện hóa ở chỗ tiếp xúc với đồng và nhôm có ý nghĩa thực tiễn rất lớn. Nếu trong vùng tiếp xúc chịu tác dụng của hơi ẩm sẽ phát sinh cặp pin cục bộ có trị số s.d.đ khá cao và sẽ có dòng điện đi từ nhôm sang đồng, kết quả là dây dẫn nhôm có thể bị phá huỷ vì bị ăn mòn nhanh. Vì thế ở chỗ nối dây đồng với dây nhôm cần phải được bảo vệ chống ẩm cẩn thận.

Trong một số trường hợp dùng nhôm thay thế chì để làm vỏ cáp, ta phải sử dụng nhôm có độ tinh khiết đặc biệt cao: tạp chất trong nhôm không lớn hơn 0,01% (nhôm thông thường có tạp chất 0,5%). Nhôm tinh khiết như thế so với nhôm thông thường mềm và dẻo hơn: có độ cứng theo Brinel 14kg/mm^2 , giới hạn bền kéo $\sigma_{kéo} = 3,6 \div 4,8 \text{ kg/mm}^2$, độ giãn dài tương đối khi đứt 40-50% và có tính chống ăn mòn rất cao.

Khi sử dụng nhôm làm dây dẫn điện đường dây tải điện trên không với khoảng vượt giữa các cột lớn người ta dùng hợp kim nhôm có độ bền cơ cao hơn so với nhôm tinh khiết.

Hợp kim có ý nghĩa nhất là andrêi chứa: 0,3-0,5% Mg, 0,4÷0,7 %Si và 0,2 ÷ 0,3 % Fe còn lại là nhôm (Al). Sau khi gia công cơ khí đặc biệt andrêi có cơ tính cao (tôi cuộn dây, làm lạnh trong nước từ nhiệt độ 510-550°C, kéo sợi và duy trì ở nhiệt độ 150°C). Hỗn hợp Mg_2Si được tạo nên từ hợp kim andrêi có tính cơ cao: giới hạn bền khi kéo đứt $\sigma_{kéo} = 35\text{kg/mm}^2$; độ giãn dài tương đối khi đứt 6,5%; hệ số nhiệt độ giãn nở dài $23 \cdot 10^{-6} \text{ độ}^{-1}$; điện trở suất $0,0317 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; hệ số nhiệt độ điện trở suất là $0,0036 \cdot \text{độ}^{-1}$ và có khối lượng riêng là $2,7\text{g/cm}^3$.

Như vậy hợp kim andrêi trên thực tế giữ được tính chất nhẹ của nhôm và điện trở suất cũng xấp xỉ với nhôm, đồng thời có độ bền cơ gần bằng với độ bền cơ của đồng kéo nguội. Hiện nay đã tìm được những hợp kim nhôm loại andrêi không cần tôi nóng.

Đường dây tải điện thường sử dụng loại nhôm lõi thép trong ruột là lõi thép xoắn lại, quấn bên ngoài là các dây nhôm. Loại dây này có độ bền cơ do lõi thép quyết định, còn tính dẫn điện do nhôm.

Đường kính ngoài của dây nhôm lõi thép lớn hơn so với đồng khi dùng làm đường dây tải điện trên không điện áp cao là ưu việt, vì giảm tổn thất điện năng do phát sinh phóng điện vầng quang xung quanh dây dẫn.

4. Sắt (thép)

Thép (sắt công nghiệp) là kim loại rẻ tiền và dễ kiếm nhất, nó có độ bền cơ cao, do đó được chú ý dùng làm vật dẫn. Nhưng ngay cả sắt tinh khiết cũng có điện trở suất lớn hơn nhiều so với đồng và nhôm (khoảng $0,1\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$), còn thép là sắt với tạp chất cacbon và một số chất khác còn có điện trở suất cao hơn nhiều.

Dòng điện xoay chiều trong thép sẽ gây nên hiệu ứng bề mặt đáng kể, vì vậy điện trở dây thép đối với dòng điện xoay chiều cao hơn điện trở đối với dòng điện một chiều. Ngoài ra dòng điện xoay chiều trong thép còn gây ra tổn thất từ trễ.

Để làm dây dẫn điện người ta thường dùng thép mềm có $0,10\div 0,15\%$ cacbon, giới hạn bền kéo $70\text{-}75\text{kg}/\text{mm}^2$; độ giãn dài tương đối khi đứt: $5\text{-}8\%$, điện dẫn suất nhỏ hơn đồng 6-7 lần. Vì thế thép dùng làm dây dẫn đường dây tải điện trên không với công suất tương đối nhỏ. Trong trường hợp này sử dụng thép có lợi vì khi trị số dòng điện nhỏ, tiết diện dây không xác định theo điện trở mà theo độ bền cơ của nó.

Thép cũng dùng làm vật liệu dẫn điện dưới dạng thanh dẫn, đường ray tải điện, đường sắt chạy điện, tàu điện ngầm v.v... Để làm lõi của dây nhôm, lõi thép dùng dây thép có độ bền đặc biệt với giới hạn bền kéo $120\text{-}150\text{kg}/\text{mm}^2$ và độ giãn dài tương đối $4\text{-}5\%$.

Nhược điểm của thép là khả năng chống ăn mòn kém: ngay cả ở nhiệt độ bình thường và đặc biệt khi độ ẩm cao thép sẽ bị gỉ nhanh, khi nhiệt độ cao, tốc độ ăn mòn tăng mạnh, vì vậy bề mặt dây thép cần được bảo vệ bằng lớp kim loại bền hơn. Thông thường dây thép được mạ bằng kẽm để bảo vệ cho thép khỏi bị gỉ.

Lưỡng kim: Trong nhiều trường hợp để giảm chi phí kim loại màu trong kết cấu vật dẫn có thể sử dụng vật lưỡng kim, đó là thép có bọc lớp đồng ở mặt ngoài, cả hai kim loại gắn chặt với nhau và liên tục suốt bề mặt tiếp xúc của chúng.

Để sản xuất lưỡng kim người ta sử dụng hai phương pháp. Trong phương pháp **nóng** người ta đặt thỏi thép vào khuôn rồi rót đồng nóng chảy vào, khe giữa thỏi thép và thành khuôn, sau đó làm lạnh sẽ có thỏi lưỡng kim rồi đem cán và kéo. Phương pháp **nguội** hay điện phân là phương pháp phủ đồng lên dây thép bằng điện phân, khi dây thép đi qua bể **điện phân** có dung dịch đồng sunfat. Phương pháp nguội đảm bảo lớp bao bọc đồng đều hơn nhưng tiêu phí điện năng lớn, ngoài ra phương pháp nguội tạo nên sức bám của đồng với thép không bền bằng phương pháp nóng.

Một điều cần chú ý là đặt đồng ở lớp ngoài còn thép ở trong chứ không phải ngược lại, vì với dòng điện xoay chiều dây lưỡng kim có điện dẫn cao hơn, mặt khác đồng bảo vệ thép ở bên trong khỏi bị ăn mòn do ôxy hoá.

Dây lưỡng kim có đường kính từ 1 đến 4 mm. Theo điều kiện kỹ thuật hàm lượng đồng không được nhỏ hơn 50% trọng lượng toàn bộ dây.

Giới hạn bền kéo phụ thuộc vào đường kính, không nhỏ hơn 55-70 KG/mm²; còn độ giãn dài tương đối khi đứt không quá 2%.

Dây lưỡng kim được dùng làm đường dây thông tin tải điện v.v..., thanh cái thiết bị phân phối, thanh trụ của cầu dao, các phần điện khác trong thiết bị phân phối chế tạo bằng vật liệu lưỡng kim.

8.1.3. Các kim loại khác, thuốc hàn và chất làm chảy

1) Vonfram

Vonfram là kim loại rắn, rất nặng, có màu xám và có nhiệt độ nóng chảy cao nhất trong các kim loại. Vonfram được chế từ các thành phần khác nhau, phổ biến nhất là vonframít (FeMnWO_4) và seclit (CaWO_4) qua các quá trình điều chế hoá học phức tạp. Sản phẩm trung gian là axit vonframít H_2WO_4 sau đó khử hydro ở nhiệt độ 900°C sẽ được vonfram dạng bột nhỏ. Bột này được nén thành thỏi ở áp suất đến 2000 at, sau đó tiếp tục qua điều chế phức tạp trong khí hydro để tránh ôxy hoá rồi rèn và kéo thành sợi đường kính đến 0,01 mm hay cán thành tấm v.v...

Vonfram có liên kết yếu giữa các tinh thể riêng biệt vì thế khi có cấu tạo hạt sản phẩm vonfram giòn và dễ gãy. Khi gia công cơ khí bằng phương pháp rèn và kéo vonfram có cấu trúc sợi thì khó bị gãy. Khi giảm chiều dày vonfram có tính dẻo, giới hạn bền kéo của dây vonfram tăng nhiều từ 50-60kg/mm² đối với đường kính 5mm cho đến 300-400kg/mm² đối với sợi mảnh và có độ giãn nở dài tương đối khi đứt gần 4%.

Do khó nóng chảy và có độ bền cơ lớn ở nhiệt độ cao, vonfram có thể làm việc ở nhiệt độ cao (hơn 2000°C) nhưng phải ở độ chân không hay trong khí trơ, vì khi đốt đến nhiệt độ vài trăm độ trong ôxy nó sẽ bị ôxy hoá mạnh. Với đặc điểm này người ta dùng von làm dây tóc bóng đèn sợi đốt.

Vonfram được dùng làm tiếp điểm. Ưu điểm của tiếp điểm vonfram là:

- Ổn định lúc làm việc.
- Độ mài mòn cơ nhỏ do vật liệu có độ cứng cao;
- Có khả năng chống tác dụng của hồ quang, không làm dính các tiếp điểm do khó nóng chảy;
- Độ ăn mòn bề mặt nhỏ, nghĩa là ăn mòn điện tạo thành những vết rỗ và gờ do bị làm nóng cục bộ và làm chảy kim loại.

Nhược điểm của vonfram khi làm vật liệu tiếp xúc:

- Khó gia công;
- Ở điều kiện khí quyển tạo thành màng ôxyt;
- Cần có áp lực tiếp xúc lớn để có trị số điện trở tiếp xúc nhỏ.

Đối với các tiếp điểm có công suất cắt lớn dùng kim loại gốm. Người ta ép phối từ bột vonfram dưới áp lực lớn, thiêu kết trong khí hydro để có độ bền tốt nhưng lại xốp, sau đó thấm bạc hay đồng nóng chảy để tăng điện dẫn.

2) Mólípden

Mólípden là kim loại, nhìn bề ngoài và công nghệ chế tạo cũng gần giống như vonfram. Mólípden dùng nhiều trong kỹ thuật chân không ở nhiệt độ thấp hơn so với vonfram. Các chi tiết nung bằng mólípden phải làm việc trong chân không hay trong môi trường khử.

Các đặc tính cơ bản của mólípden cho trong bảng 8.1. Độ bền cơ của mólípden phụ thuộc rất nhiều vào phương pháp gia công cơ khí vật liệu, hình dáng sản phẩm, đường kính trục hay dây và phụ thuộc vào sự nhiệt luyện. Giới hạn bền kéo có thể từ 35 đến 250 kg/mm², còn độ giãn dài tương đối khi đứt từ 2 đến 55%.

Trong công nghiệp mólípden dùng nhiều nhất là loại M4 - mólípden tinh khiết và MK là mólípden có pha kiềm silic. Mólípden MK có độ bền cơ cao ở nhiệt độ cao. Mólípden được dùng làm tiếp điểm điện. Để phân biệt mólípden với vonfram thì dựa vào khối lượng riêng: mólípden có khối lượng riêng nhỏ hơn gần hai lần so với vonfram. Ngoài ra còn có phương pháp đơn giản là đốt dây cần thử trong ngọn lửa đèn cồn, nếu có khói trắng bốc lên thì đó là mólípden. Hiện tượng này được giải thích là sự ôxy hoá mólípden bắt đầu ở nhiệt độ gần 400°C và xảy ra mạnh ở 600-700°C.

3. Vàng. Vàng là kim loại có màu sáng chói, có tính dẻo cao, giới hạn bền kéo 15KG/mm², độ giãn nở dài tương đối khi đứt là 40%. Trong kỹ thuật điện vàng được dùng như vật liệu tiếp xúc để làm lớp mạ chống ăn mòn, điện cực của tế bào quang điện và các công việc khác. Do vàng là vật liệu quý hiếm, đắt tiền nên trong kỹ thuật chỉ sử dụng khi cần thiết.

4. Bạc. Bạc là kim loại có màu trắng không bị ôxy hoá ở điều kiện nhiệt độ bình thường. Bạc có trị số điện trở suất nhỏ nhất trong các kim loại.

Giới hạn bền kéo của dây bạc gần bằng 20kg/mm², độ giãn dài tương đối khi đứt khoảng 50%. Bạc dùng để sản xuất các tiếp điểm có dòng điện nhỏ. Bạc cũng dùng làm cực bản trong sản xuất tụ gốm, tụ mica ...

Nhược điểm của bạc là khi môi trường xung quanh ẩm cao cũng như nhiệt độ cao, bạc có khuynh hướng chui vào bên trong điện môi mà nó được gắn vào. Độ bền hoá học của bạc thấp hơn so với một số kim loại khác.

5. Bạch kim (platin)

Bạch kim là kim loại không kết hợp với oxy và rất bền vững đối với thuốc thử hoá học. Bạch kim rất dễ gia công cơ khí, kéo thành sợi mảnh và tấm mỏng. Giới hạn bền kéo sau khi ủ khoảng 15KG/mm^2 ; độ giãn dài tương đối khi đứt khoảng 30-35%.

Bạch kim dùng để sản xuất cặp nhiệt ở nhiệt độ làm việc đến 1600°C (trong cặp có hợp kim platinorodi) hình 8-10.

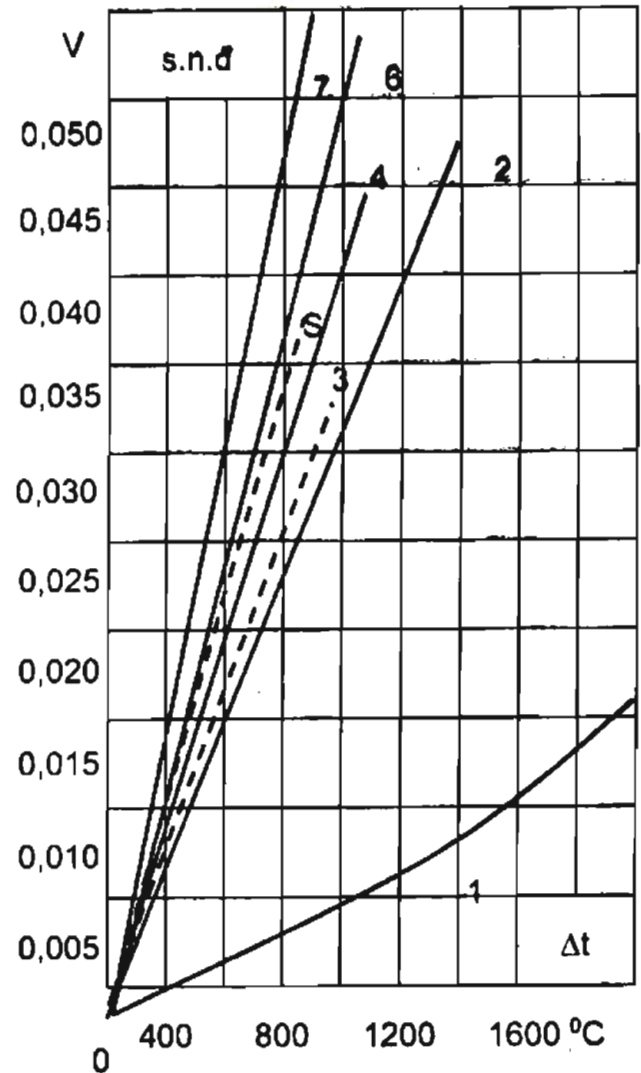
Sợi platin đặc biệt mảnh, đường kính gần $0,001\text{ mm}$, dùng để treo hệ thống động trong các đồng hồ điện và các dụng cụ đo có độ nhạy cao, được chế tạo bằng cách kéo nhiều lần dây lưỡng kim bạch kim - bạc, sau đó hoà tan lớp bạc trong axit nitric.

Do độ cứng thấp, platin tinh khiết ít khi dùng làm tiếp điểm, nhưng hợp kim của nó lại dùng nhiều để làm tiếp điểm; phổ biến nhất là platin - indi, nó không bị oxy hóa, có độ cứng cao, ít bị ăn mòn cơ học, cho phép đóng cắt với tần số lớn. Nhưng nhược điểm của nó là đắt tiền, do đó chỉ dùng trong trường hợp quan trọng.

6. Niken

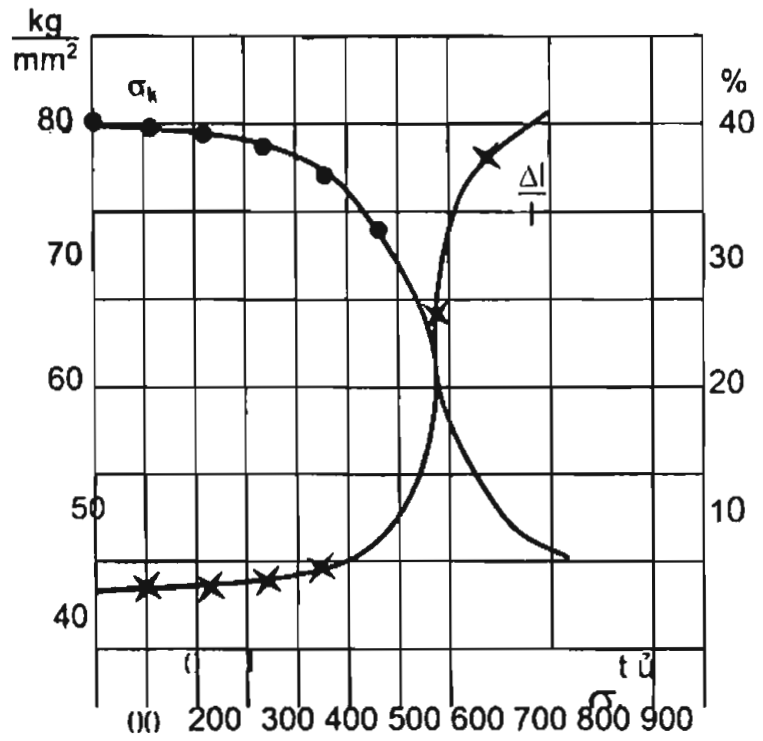
Niken là kim loại ánh bạc trắng có khối lượng riêng như đồng, được sử dụng nhiều trong kỹ thuật điện chân không vì nó dễ điều chế tinh khiết (99,99% Ni), hoặc đưa vào các hợp kim đặc biệt của nó với các chất phụ silic, mangan v.v...

Niken được điều chế từ hỗn hợp sunfua hay oxy của nó bằng phương pháp luyện kim và tinh thể điện phân. Niken dạng bột có độ tinh khiết cao, có thể điều chế bằng cách phân tích nhiệt niken cacbonat ở nhiệt độ khoảng 220°C .

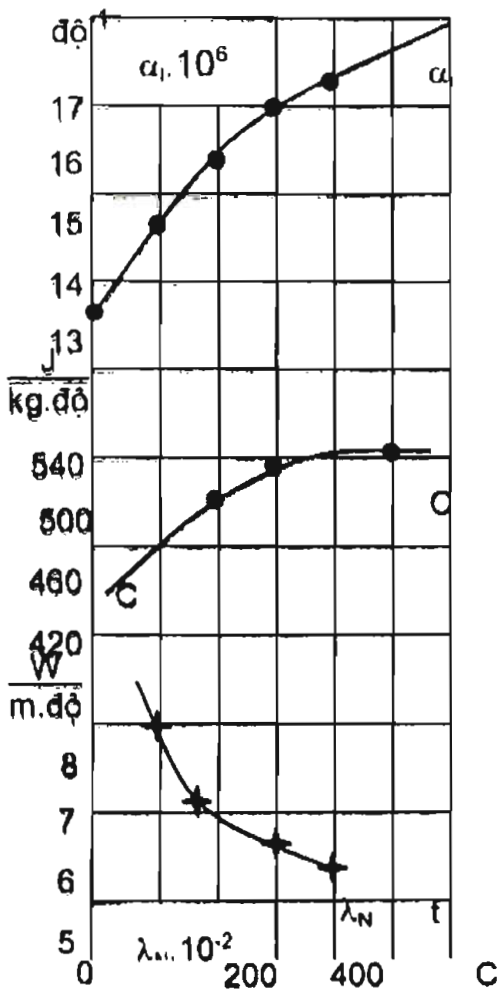


Hình 8-10. Quan hệ giữa sức nhiệt điện động với hiệu nhiệt độ các môi hàn nóng và lạnh của cặp nhiệt điện: hợp kim platinodi -platin (1); cromen-alumen (2); đồng-constantan (3); sắt-constantan (4); đồng-copen (5); sắt-copen (6); cromen-copen (7).

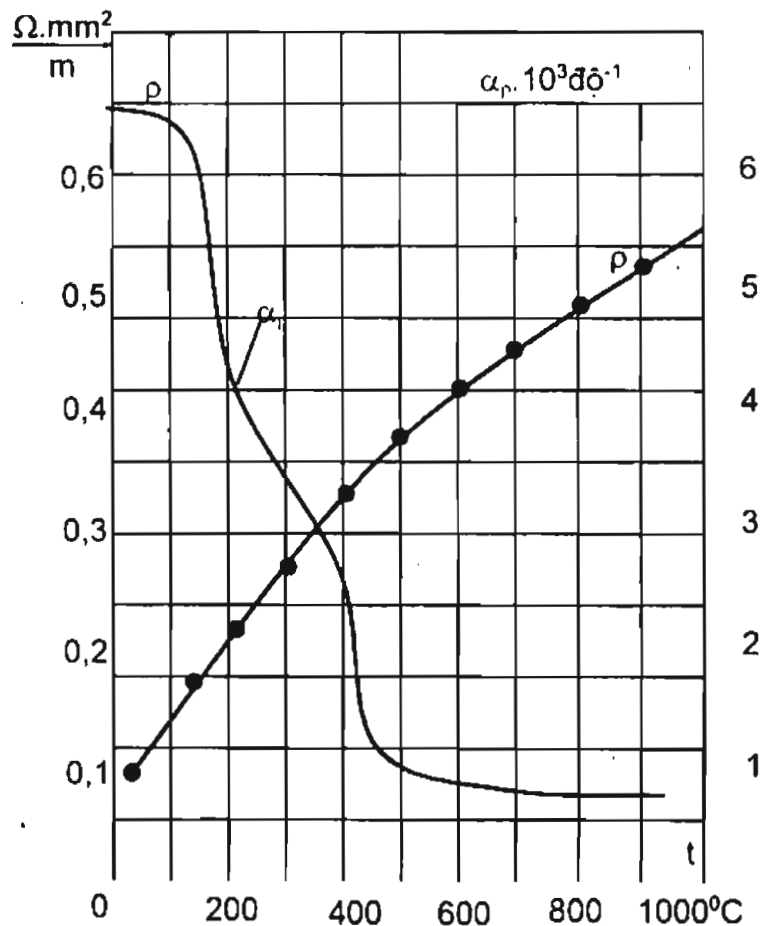
Niken được sản xuất ở các dạng sản phẩm: phiến, băng ống, thanh và dây với các ký hiệu khác nhau tùy theo mức độ tinh khiết của nó. Ưu điểm lớn của niken là sau khi ủ độ bền cơ tốt và độ dẫn dài tương đối cao ($\sigma_{k\max} = 40-60 \text{ kg/cm}^2$; $\frac{\Delta l}{l} \approx 35-50\%$). Quan hệ giữa tính chất cơ của niken ở 20°C với nhiệt độ nhiệt luyện cho ở hình 8-11. Niken dễ gia công bằng các phương pháp cơ ngay ở trạng thái nguội, rèn, đập, cán, rèn khuôn, kéo sợi v.v... Có thể sản xuất các sản



Hình 8-11. Quan hệ giữa giới hạn bền kéo σ_k và độ giãn dài khi đứt ($\Delta l/l$) của dây niken với nhiệt độ ủ.



Hình 8-12. Quan hệ giữa hệ số nhiệt giãn nở dài (α), nhiệt dung riêng (c), nhiệt dẫn suất (λ_N) của niken với nhiệt độ.



Hình 8-13. Quan hệ giữa điện trở suất (ρ) và hệ số nhiệt độ điện trở suất (α_ρ) của niken với nhiệt độ.

phẩm bằng niken với kích thước khác nhau, kết cấu hình dạng phức tạp với độ chính xác đủ lớn.

Tính bền vững của niken đối với ôxy hoá chỉ rõ ở trên hình 8-4. Quan hệ giữa các đặc tính lý và điện với nhiệt độ cho ở hình 8-12 và hình 8-13. Không những được dùng trong kỹ thuật điện chân không, niken còn được dùng làm một thành phần trong hàng loạt các hợp kim dẫn điện và từ, cũng như làm lớp bọc bảo vệ và trang trí các sản phẩm bằng sắt. Đôi khi niken còn để sản xuất các chi tiết sưởi nóng.

7. Chì

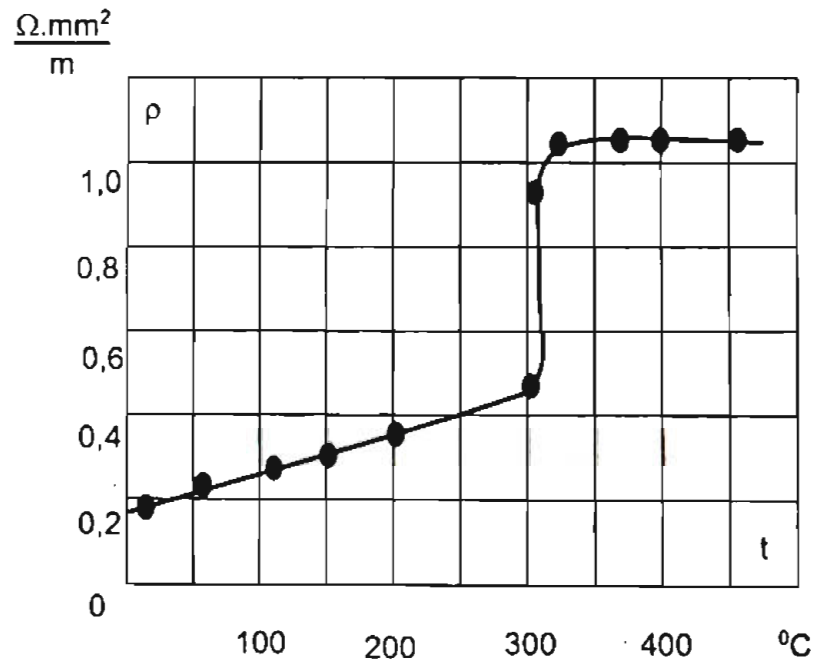
Chì là kim loại màu xám, trên vết mới cắt có ánh kim loại sáng nhưng nó sẽ mờ đi nhanh do ôxy hoá bề mặt. Chì có cấu tạo tinh thể kết tinh thô, nếu rửa sạch chì bằng axit nitơric tinh thể của nó có thể nhìn thấy bằng mắt thường. Chì là kim loại mềm, dẻo, độ bền cơ yếu, giới hạn độ bền kéo chỉ độ 1,6 kg/mm² với độ giãn dài tương đối khi đứt lớn hơn 55%. Chì không chịu được rung động cơ học.

Chì có điện trở suất cao. Quan hệ giữa ρ của chì với nhiệt độ biểu diễn trên hình 8-14. Chì có thể chuyển sang trạng thái siêu dẫn.

Ưu điểm của chì là có khả năng chống ăn mòn cao. Nó bền vững đối với tác dụng của nước, axit clohydric, axit sunfuaric và một số hoá chất khác. Tuy nhiên axit nitơric và axit axêtic, các chất hữu cơ mục nát, vôi và một vài hợp chất khác lại phá huỷ chì.

Chì và các hợp kim của nó thường dùng làm vỏ bọc bảo vệ cách điện của cáp để chống ẩm, ngoài ra còn dùng để sản xuất cầu chì (cầu chảy), phiến chì của ác quy chì v.v...

Chì được dùng làm vật liệu hấp thụ tia rơnghen. Trong kỹ thuật cáp điện người ta dùng chì nhãn hiệu C-2 và C-3 với tạp chất không quá 0,08% và 0,14%. Chì được sản xuất thành thỏi khối 50kg. Hợp kim chì với lượng nhỏ antimon, telur, cadmi, đồng, canxi và thiếc có cấu tạo hạt nhỏ, độ bền cơ và chịu rung tốt hơn,



Hình 8-14. Quan hệ $\rho = f(t)$ của chì.

nhưng tính chống ăn mòn của chúng kém chì tinh khiết một chút. Các hợp chất này cũng dùng trong kỹ thuật cáp điện.

Chì và các hợp chất của nó độc. Hiện nay vỏ chì của các sản phẩm cáp được thay thế bằng chất dẻo polivinylclorua và sẽ rẻ hơn.

8. Thiếc

Thiếc là kim loại màu bạc trắng có cấu tạo tinh thể rõ rệt. Thiếc mềm, dễ vuốt, có thể kéo thành lá mỏng. Giới hạn bền kéo của thiếc trắng dao động từ 1,6 đến 3,8 kg/mm².

Ngoài thiếc trắng kết tinh thành tinh thể tứ giác còn có thiếc ở dạng bột xám với khối lượng riêng là 5,6 g/cm³. Khi bị lạnh quá trên mặt thiếc trắng xuất hiện những vết xám, đó là thiếc xám được tách ra. Khi bị đốt nóng thiếc xám lại biến thành thiếc trắng. Nếu bị đốt nóng trên 160°C sẽ có biến dạng thứ ba là dạng hình thoi và thiếc trở nên giòn mà khi rơi có thể vỡ thành các mảnh nhỏ. Thiếc trắng có thể chuyển sang trạng thái siêu dẫn. Ở nhiệt độ bình thường thiếc không bị ôxy hoá trong không khí, không chịu tác dụng của nước nhưng bị tác dụng rất chậm với axit loãng.

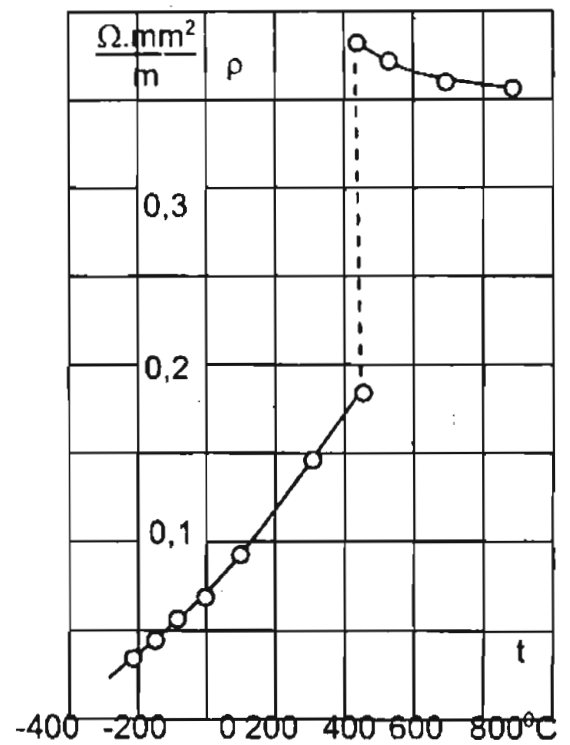
Thiếc được dùng làm lớp vỏ bọc bảo vệ kim loại (tráng thiếc) nó có trong thành phần của đồng thanh và các hợp kim dùng để hàn. Lá thiếc mỏng (6-8 μm) dùng để sản xuất các loại tụ điện thường có thêm một số chất phụ với gần 15% chì, 1% antimon để dễ cán và tăng cường độ bền cơ. Lá thiếc dày 20-40 μm dùng để làm cực bản trong các tụ điện bằng mica.

9. Kẽm

Kẽm là kim loại màu sáng được điều chế bằng phương pháp luyện kim và được làm sạch trong dung dịch điện phân. Kẽm sản xuất với độ tinh khiết cao không dưới 99,99% là kẽm và không quá 0,01% tạp chất là Pb, Fe, Cd, Cu.

Kẽm ở nhiệt độ bình thường rất giòn, khi bị đốt nóng đến 100°C nó trở nên dễ vuốt và dẻo, nếu tiếp tục đến 200°C nó lại trở nên giòn. Kẽm tinh khiết cao không có tính đa hình như thiếc.

Quan hệ giữa điện trở suất của kẽm với nhiệt độ biểu diễn trên hình 8-15.



Hình 8-15. Quan hệ $\rho = f(t)$ của kẽm.

Cần đặc biệt chú ý rằng ở trạng thái nóng chảy hệ số nhiệt điện trở suất của kẽm rất nhỏ, thậm chí có dấu âm. Kẽm cũng có thể chuyển sang trạng thái siêu dẫn. Kẽm được dùng làm lớp mạ bảo vệ, có thành phần trong đồng thau và điện cực pin. Ngoài ra nó còn được sử dụng trong tế bào quang điện, giấy kim loại, trong tụ điện kích thước nhỏ. Đưa lớp kim loại lên giấy bằng cách cho kẽm khuếch tán trong chân không ở nhiệt độ khoảng 600°C.

10. Cadmi

Cadmi là kim loại màu trắng bạc. Cadmi luôn có trong quặng kẽm và được điều chế như một sản phẩm phụ của kẽm, sau đó được tinh chế bằng điện phân. Cadmi sản xuất ra với độ tinh khiết đến 99,99% Cd, tạp chất chủ yếu trong nó là chì, kẽm, đồng và sắt.

Cadmi được dùng trong kỹ thuật điện chân không để sản xuất tế bào quang điện, nó có trong thành phần của nhiều loại thuốc hàn, đồng thanh, dùng trong sản xuất pin và dùng làm chất làm chậm trong lò phản ứng hạt nhân.

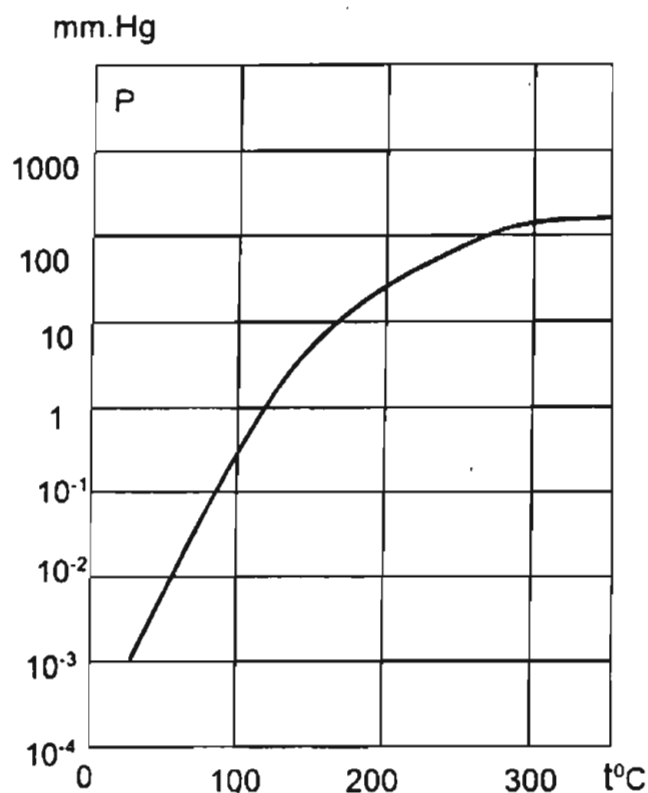
11. Thuỷ ngân

Thuỷ ngân là kim loại duy nhất ở trong trạng thái lỏng khi nhiệt độ bình thường. Thuỷ ngân được điều chế từ hợp chất sunfít xinôba đỏ (HgS) thường có ở trong thiên nhiên, bằng cách nhiệt phân trong không khí ở nhiệt độ 500°C, sau đó tinh chế nhiều lần và cuối cùng chưng cất trong chân không ở nhiệt độ 200°C.

Thuỷ ngân dễ bay hơi và có áp suất hơi lớn khi ở nhiệt độ bình thường (hình 8-16).

Hơi thuỷ ngân khác với các khí trơ khác và khí thường là nó có điện thế ion hoá thấp, đó là nguyên nhân để thuỷ ngân được sử dụng trong các dụng cụ phóng điện chứa khí.

Thuỷ ngân có tính bền hoá học, nó chỉ bị oxy hoá ở nhiệt độ gần nhiệt độ sôi, tác dụng yếu với hydro, axit cacbon, kiềm, các kim loại kiềm thổ, magiê, nhôm, kẽm, thiếc, chì, cadmi, platin, vàng, bạc hoà tan trong thuỷ ngân tạo thành hợp kim thuỷ ngân. Đồng và niken ít hoà tan trong thuỷ ngân. Vì vậy các dụng cụ có thuỷ ngân cần làm các phụ tùng kim loại bằng vonfram, sắt hay tantan, những kim loại



Hình 8-16. Quan hệ giữa áp suất hơi bão hoà của thuỷ ngân với nhiệt độ.

này không tan trong thủy ngân. Hiện tượng siêu dẫn được phát hiện đầu tiên ở thủy ngân.

Thủy ngân được dùng làm catot lỏng trong chỉnh lưu thủy ngân, trong đèn thủy ngân và trong các dụng cụ phóng điện chứa khí, trong các đèn chiếu sáng ban ngày. Thủy ngân cũng dùng làm tiếp điểm trong rơle, làm điện cực thủy ngân khi đo tính chất điện của các điện môi rắn trong nhiều trường hợp thí nghiệm. Song thủy ngân và hợp chất của nó rất độc, hơi thủy ngân cũng rất độc, do vậy khi sử dụng và sản xuất thiết bị cần lưu ý.

12. Chất hàn

Chất hàn là hợp kim đặc biệt dùng khi hàn. Hàn nhằm mục đích tạo chỗ nối có độ bền cơ hay để có độ kín, hoặc để có tiếp xúc điện với điện trở nhỏ. Khi hàn thì chất hàn và chỗ nối được đốt nóng. Vì chất hàn có nhiệt độ nóng chảy thấp hơn nhiều so với kim loại được nối nên nó nóng chảy khi kim loại được hàn vẫn còn rắn. Ở chỗ tiếp xúc giữa chất hàn nóng chảy với kim loại rắn xảy ra các quá trình vật lý khác nhau. Chất hàn dính vào kim loại, nó chảy ra và chui vào kẽ hở giữa các chi tiết được nối. Lúc này chất hàn khuếch tán vào kim loại được hàn và kim loại hoà tan trong chất hàn, kết quả tạo thành lớp trung gian, sau khi đông lại lớp này nối các chi tiết thành một vật thể liền.

Chất hàn chia thành hai nhóm: mềm và cứng. Chất hàn mềm có nhiệt độ nóng chảy đến 400°C . Chất hàn cứng có nhiệt độ nóng chảy trên 500°C .

Ngoài nhiệt độ nóng chảy, chất hàn còn khác nhau về độ bền cơ. Chất hàn mềm có giới hạn bền kéo không quá $5-7 \text{ kg/mm}^2$, trong khi đó chất hàn cứng đạt đến 50 kg/mm^2 .

Chất hàn được chọn theo kim loại được hàn, theo yêu cầu về độ bền cơ, độ chống ăn mòn và giá thành chất hàn. Khi hàn các bộ phận dẫn điện phải rất chú ý đến điện dẫn của chất hàn. Các chất hàn cứng và mềm được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau của kỹ thuật điện.

Chất hàn mềm là hợp kim chì - thiếc có từ 18% thiếc đến 90%, điện dẫn suất các chất hàn có trị số từ 9 đến 13% điện dẫn suất của đồng tinh khiết, còn hệ số giãn nở dài bằng $(26-27) \cdot 10^{-6} \text{ độ}^{-1}$

Cũng có chất hàn mềm có chất phụ là nhôm, bạc. Để chất hàn dễ nóng chảy hơn trong thành phần của nó có thêm chất bismút và cadmi, dùng để hàn ở nhiệt độ thấp. Độ bền cơ của chúng yếu, chất hàn bismút có độ giòn lớn.

Chất hàn cứng phổ biến nhất là đồng - kẽm và bạc. Các tính chất chung của chất hàn được trình bày trên bảng 8.5.

Bảng 8.5. Thành phần và tính chất một số chất hàn

Loại chất hàn	Nhãn hiệu	Các thành phần chính	Tính chất				Các vật liệu hàn được bằng chất hàn
			Khối lượng riêng, g/cm ³	Giới hạn bền kéo, kG/mm ²	Nhiệt độ nóng chảy, °C		
Chất hàn chì-thiếc	Từ ПОС-18 đến ПОС-90	Sn-từ 18 đến 90%. Sb-từ 0,15 đến 2,5% Pb-còn lại	7,6 - 10,2	2,8 - 4,3	190 - 277		Đồng, hợp kim của đồng, bạc, sắt mạ kẽm.
Chất hàn chì -thiếc - cadmi	Từ ПСОК-47 đến ПСОК-50	Sn-từ 47 đến 50% Pb-từ 32 đến 36% Cd-từ 17 đến 18%	-	-	145 - 180		Đồng, đồng hợp kim, bạc vẽ lên gốm bằng phương pháp đốt.
Chất hàn chì-bạc-thiếc-cadmi	ПСПК	Sn-30%, Pb-63% Cd-5%, Ag-2%	-	-	225		Như trên
Hợp kim Vuđơ	-	Sn-12,5%, Pb-25% Cd-11,5%, Bi-50%	-	-	60,5		Sử dụng trong trường hợp môi hàn cần nhiệt độ hàn đặc biệt thấp.
Chất hàn thiếc-cadmi-kẽm	-	Sn-40-55% Cd-20%, Zn-25% (Al-15%)	-	-	200 - 250		Nhôm và các hợp kim của nó.
Chất hàn đồng-kẽm	ПМД-36 ПМД-54	Cu-36-54% Zn-còn lại	7,7 - 8,3	~ 22	825 - 860		Đồng, đồng hợp kim, thép.
Chất hàn đồng-bạc-kẽm	Từ ПСП-25 đến ПСП-70	Cu-26-40% Ag-25-70% Zn-4-35%	8,9 - 9,8	28 - 35	720 - 765		Đồng và hợp kim của nó, bạc, platin, vonfram, thép.

13. Chất giúp chảy

Vật liệu phụ để mối hàn được đảo bảo gọi là chất giúp chảy, chúng cần phải: Hoà tan, khử ôxít và chất bẩn ở bề mặt kim loại được hàn;

- Bảo vệ bề mặt kim loại trong quá trình hàn, cũng như chất hàn nóng chảy khỏi bị ôxy hoá.

- Giảm lực căng mặt ngoài chất hàn nóng chảy;

- Cải thiện tính chảy và dính của chất hàn với bề mặt được nối.

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

a) Chất giúp chảy hoạt tính hay chất giúp chảy axit. Thành phần cơ bản của chúng là chất hoạt tính, đó là axítclohydric, các hợp chất florua và clorua của các kim loại v.v... Các chất giúp chảy này hoà tan mạnh lớp màng ôxít trên bề mặt kim loại, vì vậy đảm bảo dính bám tốt, do đó mối hàn có độ bền cơ cao. Nhược điểm của chất giúp chảy này là phần còn sót lại sau khi hàn sẽ gây ăn mòn mạch chất hoà tan và kim loại được hàn. Vì vậy nó chỉ được sử dụng trong trường hợp có khả năng rửa thật sạch và loại bỏ hoàn toàn phần còn sót lại của chất giúp chảy này.

b) Chất giúp chảy không có axit. Loại này có nhựa thông và những chất giúp chảy gốc nhựa thông cùng với những chất phụ không hoạt tính như côn, glyxêlin.

c) Chất giúp chảy hoạt hoá gồm các chất giúp chảy thành phần chủ yếu là nhựa thông và các chất hoạt hoá phụ - một lượng nhỏ axit nitơic hay axit photphoric anilin, axit xalixilic, axit nitơic điétital... nhờ hoạt tính cao chất giúp chảy hoạt hoá cho phép hàn sau khi khử hết dầu mỡ mà không cần khử ôxít.

d) Chất giúp chống gỉ. Thành phần chủ yếu của nó là axit photphoric, với các hợp chất hữu cơ và dung môi phụ khác nhau, cũng có các chất chống gỉ thành phần chủ yếu là các axit hữu cơ. Phần sót lại của các chất giúp chảy này không gây ăn mòn.

8.1.4. Các hợp kim có điện trở cao và hợp kim làm cặp nhiệt

1) Hợp kim điện trở cao

Các hợp kim điện trở cao dùng trong các dụng cụ đo điện, điện trở mẫu, biến trở và các dụng cụ đốt nóng bằng điện. Trong các dụng cụ này, yêu cầu vật dẫn phải có điện trở suất lớn và hệ số biến đổi của điện trở suất theo nhiệt độ phải nhỏ để đảm bảo sự ổn định của điện trở đối với sự biến đổi của nhiệt độ, tức là α_p càng nhỏ càng tốt. Hợp kim làm dụng cụ đốt nóng bằng điện cần chịu được nhiệt độ làm việc lâu dài trong không khí khoảng 1000°C.

Bảng 8.6. Thành phần và tính chất của các hợp kim điện trở cao

Tên hợp kim	Thành phần %						Tính chất						Ghi chú	
	Cu	Mn	Ni	Cr	Al	Fe	Khối lượng riêng g/cm ³	Điện trở suất $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	áp độ ¹	S.n. đ. đ với đồng, $\mu\text{V}/\text{độ}$	Nhiệt độ làm việc cho phép, °C	Giới hạn bền kéo kg/mm ²		Độ dẫn dài tương đối khi đứt, %
Manganin	86	12	2	-	-	-	8,1	0,42- 0,48	(5÷30).10 ⁻⁶	1-2	100- 200	45-60	15-30	
Constantan	60	-	40	-	-	-	8,9	0,48- 0,52	(5÷25).10 ⁻⁶	40-50	450- 500	40-50	20-40	
Hợp kim crom-niken: X ₁₅ H ₆₀ X ₂₀ H ₈₀	- -	1,5 1,5	55-61 75-78	15-18 20-23	- -	Còn lại Còn lại	8,2-8,3 8,4-8,5	1,0-1,2 1,2-1,1	(1÷2).10 ⁻⁴ (1÷2).10 ⁻⁴	- -	1000 1100	65-70	25-30	Hợp kim "nicrom"
Hợp kim crom-nhôm: X ₁₃ O ₄ X ₂₅ O ₅	- -	0,7 0,7	0,6 0,6	12-15 23-27	3,5-5,5 4,5-6,5	Còn lại Còn lại	7,1-7,5 6,9-7,3	1,2-1,35 1,3-1,5	(1÷2).10 ⁻⁴ 6,5.10 ⁻⁵	- -	850 1200	~70 ~80	~20 10-15	Hợp kim "fecran" và "croman"

Ngoài ra hợp kim phải chế tạo được dây dẫn mảnh, trong các dụng cụ đo điện, đường kính dây chỉ vài phần trăm milimét. Các hợp kim dùng trong các dụng cụ thông thường như biến trở, bếp điện, mỏ hàn v.v... cần phải rẻ tiền. Trong các hợp kim dùng vào các mục đích kinh tế trên thì phổ biến nhất là loại hợp kim gốc là đồng (Cu): mangamin và conxtantan, ngoài ra còn dùng hợp kim crôm - niken, sắt - crôm làm gốc với chất phụ là nhôm.

a) Mangamin: là hợp kim dùng phổ biến trong các dụng cụ đo điện và điện trở mẫu. Mangamin là hợp kim gốc đồng, thành phần và tính chất của nó trong bảng 8.6. Nó khác với các vật liệu khác là có màu vàng, mangamin kéo được thành sợi mảnh đường kính đến 0,02 mm và được sản xuất thành tấm mỏng 0,01-1 mm, rộng 10-300 mm.

Để có α_p nhỏ và điện trở với độ ổn định cao, mangamin cần nhiệt luyện đặc biệt: ủ ở nhiệt độ 350-550°C trong chân không, sau đó làm nguội chậm và giữ ở nhiệt độ trong phòng một thời gian dài. Quan hệ giữa ρ và α_p của mangamin với nhiệt độ cao trên hình vẽ 8-17.

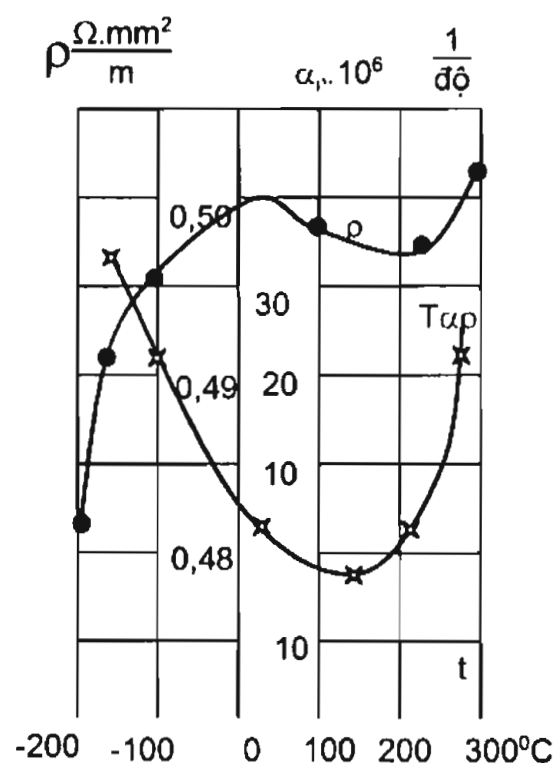
b) Conxtantan: Đây là hợp kim đồng - niken (xem bảng 8.6). Hàm lượng niken trong hợp kim Cu - Ni quyết định trị số ρ lớn nhất và α_p nhỏ nhất. Conxtantan có thể kéo thành sợi, cán thành tấm như mangamin. Trị số α_p của conxtantan gần bằng không và thường có trị số âm.

Conxtantan dùng để sản xuất dây biến trở và dụng cụ đốt nóng bằng điện có nhiệt độ làm việc không quá 400°C và 450°C. Khi đốt nóng đến nhiệt độ tương đối cao trên bề mặt conxtantan tạo lớp màng ôxít có tính cách điện.

Conxtantan trong cặp với đồng hay sắt cho sức nhiệt điện động lớn. Đó là nhược điểm của điện trở conxtantan trong các sơ đồ đo lường, bởi vì hiệu số nhiệt độ ở chỗ tiếp xúc các dây dẫn conxtantan với đồng tạo nên s.n.d.d có thể là nguyên nhân gây sai số, đặc biệt khi đo chỉ không ở các sơ đồ cầu và điện thế kế.

Conxtantan sử dụng thích hợp trong các cặp nhiệt điện để đo nhiệt độ không quá vài trăm độ.

b) Các hợp kim cromniken (nicrom): các hợp kim này dùng trong các dụng cụ đốt nóng bằng điện: thiết bị nung, lò điện, bếp điện, mỏ hàn v.v... Các hợp kim



Hình 8-17. Quan hệ ρ và α_p với nhiệt độ của mangamin.

nicrom được chế tạo thành sợi đường kính từ 0,02 mm trở lên, các tấm tiết diện 0,1x1,0 mm và cao hơn.

Tính chịu nhiệt cao của nicrom (xem bảng 8.6) giải thích tại sao hợp kim này chống ôxy hoá tốt ở nhiệt độ cao trong không khí.

Tất cả các kim loại (ngoài platin và một số khác không bị ôxy hoá) có khả năng hóa hợp với ôxy tạo thành ôxít tương ứng, tốc độ ôxy hoá khác nhau đối với các kim loại khác nhau, khi tăng nhiệt độ tốc độ ôxy hoá sẽ tăng. Tốc độ ôxy hoá được đánh giá theo tốc độ biến đổi trọng lượng kim loại theo lượng ôxy kim loại đã hấp thụ. Crom và niken có khả năng chống ôxy hoá tốt ngay ở nhiệt độ cao.

Tính chất của ôxít ảnh hưởng lớn đến tốc độ ôxy hoá kim loại. Nếu ôxít dễ bay hơi, nó bay khỏi bề mặt kim loại và không thể bảo vệ kim loại khỏi bị oxy hoá tiếp tục: ôxít vonfram và molipden dễ bay hơi, vì thế các kim loại này không thể làm việc ở trạng thái bị nóng khi tiếp xúc với ôxy. Nếu ôxít không bay hơi nó tạo thành lớp ôxít trên bề mặt kim loại.

Nhân tố chủ yếu giải thích độ bền của hợp kim niken crom ở nhiệt độ cao trong không khí là trị số hệ số nhiệt độ giãn nở dài của hợp kim và lớp màng ôxít của nó xấp xỉ nhau. Vì thế, lớp màng này không bị nứt và không bong khỏi dây khi bị đốt nóng và giãn nở. Nhưng trị số hệ số nhiệt độ giãn nở của hợp kim và ôxít niken, crom chỉ xấp xỉ chứ không bằng nhau, vì vậy khi nhiệt độ thay đổi nhiều vẫn có thể làm nứt lớp ôxít và nếu tiếp tục đốt nóng, ôxy có thể xâm nhập vào chỗ nứt và tiếp tục ôxy hoá hợp kim. Rõ ràng là khi có đóng cắt nhiều lần trong thời gian ngắn một dụng cụ đốt nóng điện làm bằng hợp kim crom niken nó chống đứt hơn khi đốt nóng liên tục.

Tuổi thọ các dây dẫn hợp kim chịu nóng phụ thuộc nhiều vào sự thay đổi đường kính theo chiều dài dây và sự đồng nhất thành phần của hợp kim. Những chỗ đường kính giảm, thành phần thay đổi làm giảm tuổi thọ của dụng cụ đốt nóng bằng điện. Để tăng tuổi thọ có thể xoắn thành lò xo và đặt nó trong môi trường trơ, rắn như đất sét, gạch chịu lửa để giữ khỏi bị tác dụng lực cơ học và ôxy khó xâm nhập.

c) Hợp kim crom - nhôm (fecral croman): là loại hợp kim rẻ tiền dùng trong thiết bị đốt nóng bằng điện công suất lớn và lò điện công nghiệp. So với hợp kim Cr - Ni, hợp kim này cứng và giòn hơn, nó khó kéo thành sợi và thành băng dài.

2) Hợp kim làm cặp nhiệt điện.

Để sản xuất cặp nhiệt điện ta dùng các hợp kim sau:

➤ Copen (56% Cu và 44% Ni).

- Alumen (95% Ni còn lại là Al, Si, và Mg).
- Crômen (90% Ni và 10% Cr).
- Platinrôđi (90% Pt và 10% Rh).

Trên hình 8-10 vẽ các đường cong quan hệ giữa s.n.d.d với hiệu nhiệt độ mỗi hàn nóng và lạnh của các cặp nhiệt điện thông dụng nhất.

Các cặp nhiệt điện được sử dụng để đo ở các nhiệt độ sau:

Platinrôđi - platin - đến 1600°C.

Đồng - conxtantan và đồng - copen - đến 350°C.

Sắt - conxtantan, sắt - copen và crômen - copen - đến 600°C.

Cromen - alumen - đến 900°C-1000°C.

Cùng một hiệu nhiệt độ thì cặp nhiệt crômen - copen cho sức nhiệt điện động lớn nhất. Chiều dương của s.n.d.d trên hình 8-10 là chiều mà ở đầu nguội - dòng điện đi từ vật liệu có tên gọi trước đến vật liệu có tên gọi sau (nghĩa là từ crômen đến copen, từ đồng đến conxtantan v.v...) còn ở mỗi hàn nóng thì ngược lại.

8.1.5. Than kỹ thuật điện

Chổi quét của máy điện, các điện cực đèn chiếu, điện cực các lò điện và các bể điện phân, cực dương của pin v.v... được sản xuất từ than. Bột than còn dùng trong ống nối để tạo điện trở biến đổi theo áp lực của âm thanh. Từ than có thể làm các điện trở có trị số cao, cần phóng điện cho mạng thông tin, người ta dùng than cả trong kỹ thuật điện chân không.

Bảng 8.7. Đặc tính điện cực than

Loại điện cực	Khối lượng riêng, g/cm ³	Hàm lượng tro, %	Giới hạn bền khi nén, kG/cm ²	Giới hạn bền khi kéo, kG/cm ²	Điện trở suất ρ , Ω .mm ² /m
Than	1,5	5÷12	230-410	70-110	50
Grafít hoá	2	0,03÷0,3	20-50	60-70	15

Nguyên liệu sản xuất sản phẩm than kỹ thuật điện có thể dùng bồ hóng, than chì hay than gầy tự nhiên.

Các thanh điện cực được chế tạo bằng cách nghiền nguyên liệu với chất kết dính là nhựa than đá hay đôi khi là thuỷ tinh lỏng ép qua miệng phun.

Người ta chế tạo sản phẩm có hình dạng phức tạp hơn bằng khuôn ép. Phôi than đi qua quá trình nung và chế độ nung sẽ quyết định dạng của cacbon trong sản phẩm. Ở nhiệt độ cao cacbon được chuyển sang dạng grafít, do đó quá trình này gọi là grafít hoá.

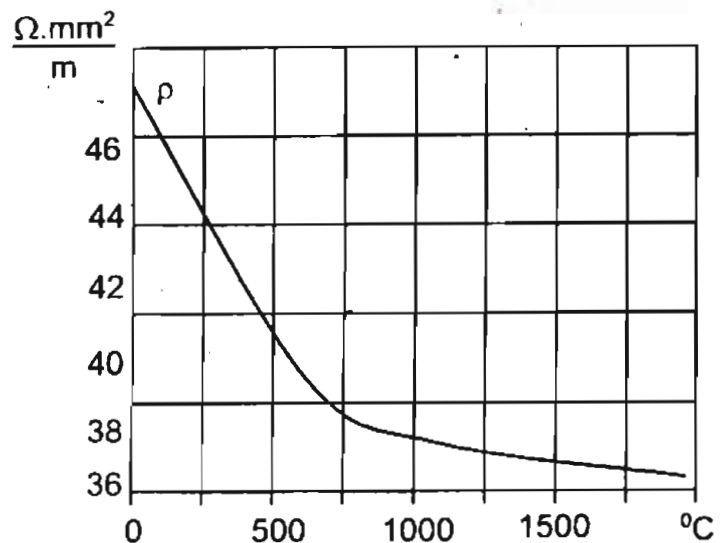
Chổi than điện loại thường của các máy điện được nung ở nhiệt độ khoảng 800°C, chổi điện grafit hoá nung đến 2200°C. Các điện cực than làm việc ở nhiệt độ cao được nung ở nhiệt độ rất cao đến 3000°C.

Điện cực than cũng như các sản phẩm bằng than khác có hệ số nhiệt độ điện trở suất âm (ρ giảm khi nhiệt độ tăng) xem hình 8-18.

Các chổi điện được dùng để tạo tiếp xúc trượt giữa phần tĩnh và phần quay của máy điện, nghĩa là đưa dòng điện vào hoặc ra phiến góp hay vành tiếp xúc.

Các chổi than sản xuất theo các cỡ khác nhau với thành phần và quá trình công nghệ khác nhau, chúng đặc trưng bởi giá trị điện trở suất, mật độ dòng điện cho phép, tốc độ dài trên vành góp, hệ số ma sát, độ cứng của chổi than v.v... Chổi than có chứa bột kim loại có điện trở đặc biệt nhỏ và điện áp rơi tiếp xúc giữa chổi và vành góp không đáng kể.

Các đặc tính quan trọng của chổi than với các ký hiệu khác nhau cho trên bảng 8.8. Than bột dùng trong ống, nơi sản xuất từ than gầy. Trị số điện trở của bột phụ thuộc vào độ lớn của hạt, chế độ nung và mật độ điền đầy bột.



Hình 8-18. Quan hệ giữa điện trở suất của điện cực than với nhiệt độ.

Bảng 8.8. Các đặc tính một số loại chổi than

Các đặc tính	Loại chổi than				
	T và YГ	I	Э I	M và MГ	БГ
Mật độ dòng điện cho phép, A/mm ²	6-8	7-11	9-11	10-20	20
Tốc độ cho phép, m/s	10-15	12-25	25-45	15-25	20
Điện trở suất Ω.mm ² /m	18-60	10-46	10-45	0,05-1,2	0,5-0,9

8.2. CÁP VÀ DÂY DẪN ĐIỆN

Trong công nghiệp, cáp và dây dẫn cơ bản dùng để truyền tải và phân phối điện năng, đồng thời dùng để đấu nối các máy điện, thiết bị điện với nhau. Mặt khác, cáp còn dùng để truyền tín hiệu với các tần số khác nhau. Cáp điện đã có lịch sử phát triển lâu dài, nó ra đời từ trước năm 1870. Năm 1870-1880 đường dây

truyền tải điện áp cao đầu tiên ra đời ở nước Anh, nó có nhiệm vụ truyền tải điện từ Pheralty tới London – 48km với điện áp 10kV. Hơn một thế kỷ nay, kỹ thuật cáp điện đã có mức phát triển cao và hoàn thiện, đáp ứng được nhu cầu thực tiễn của khoa học kỹ thuật công nghệ.

Thông thường cáp điện được tạo nên từ ba thành phần chính: phần dẫn, cách điện và bảo vệ. Song không phải đơn thuần ghép các phần lại với nhau sẽ tạo thành cáp. Cáp điện cần phải thoả mãn rất nhiều các yêu cầu kỹ thuật khác nhau như: tính chất dẫn điện, cách điện, độ bền cơ - lý - hoá, thời gian phục vụ, độ kín của lớp bảo vệ v.v... Do vậy khi sản xuất cáp cần phải lựa chọn vật liệu, tuân thủ nghiêm ngặt quy trình công nghệ, tính toán, thiết kế, thử nghiệm theo yêu cầu kỹ thuật tiêu chuẩn.

8.2.1. Cơ sở phân loại cáp

Công việc thiết kế chế tạo các loại cáp và dây dẫn bắt đầu từ việc phân tích yêu cầu nhiệm vụ kỹ thuật của chúng, từ đó có định hướng đúng về cấu trúc và lựa chọn vật liệu. Trong mối tương quan với điều đó chúng ta cần xem xét hệ thống phân loại cáp và dây dẫn.

1) Phân loại theo thành phần kết cấu

Như ta đã biết cấu trúc của cáp bao gồm: lõi dẫn, cách điện, màn chắn điện (êkran) và lớp bảo vệ. Nhiệm vụ của lõi dẫn là truyền dòng năng lượng điện và tín hiệu tin tức liên lạc. Còn nhiệm vụ của cách điện là tạo nên khoảng cách cách điện ổn định giữa lõi dẫn và bề mặt đất. Các lớp bảo vệ dùng để bảo vệ lõi dẫn và cách điện khỏi tác động cơ học, khí hậu và tác động hoá học. Màn chắn điện là để tạo nên cách điện bên trong điện từ trường hướng tâm hay là để bảo vệ cho tín hiệu điện truyền đi khỏi bị nhiễu từ bên ngoài.

Theo thành phần kết cấu, các chi tiết cáp có thể chia ra thành: dây dẫn không có cách điện (dây cáp trần) và dây dẫn có cách điện, dây cáp mềm và cáp điện.

- Dây cáp trần được tạo nên từ lõi dẫn, còn dây có cách điện tạo nên từ hai thành phần lõi dẫn và lớp cách điện. Trong hàng loạt các trường hợp dây dẫn cách điện cũng có màn chắn điện (êkran) hay lớp bảo vệ.

- Dây cáp mềm được tạo nên từ tổ hợp hai hay nhiều dây dẫn mềm có cách điện được bao bọc chung một lớp bảo vệ.

- Cáp điện tạo nên từ ba thành phần kết cấu: các lõi dẫn, cách điện và vỏ bọc bảo vệ. Chúng thường được trang bị thêm lớp bảo vệ ở dạng sợi dây dẫn hay băng thép, băng chì (cáp chì).

2) Phân loại theo vật liệu cách điện

Trong mối tương quan với phân loại cáp và dây dẫn theo vật liệu cách điện, tất cả các chi tiết cáp có thể chia thành:

- Dây trần, cáp điện và dây dẫn cách điện bằng giấy (tẩm hay không tẩm).
- Cáp điện, dây dẫn và dây cáp mềm cách điện bằng cao su và polime cách điện.

- Dây ê may.

- Dây dẫn và cáp cách điện bằng sợi và cách điện tổ hợp.

Sự phân loại này quan trọng khi xem xét vấn đề có liên quan tới công nghệ chế tạo cáp và dây dẫn để thành lập phân xưởng hay nhà máy chế tạo riêng.

3) Phân loại theo mục đích sử dụng

- Cáp và dây dẫn chia thành các nhóm sau:

- Cáp điện áp cao.

- Cáp điện áp thấp.

- Cáp radiô.

- Cáp thông tin liên lạc.

- Dây quấn.

a) Cáp và dây dẫn điện áp cao đặc trưng bởi giá trị điện áp làm việc lớn hơn 1000 V. Trong loại này có: cáp trần dùng để truyền tải điện trên các đường dây tải điện trên không; cáp điện lực dùng để truyền tải và phân phối điện năng; cáp cao áp dùng để đấu nối lắp ráp thiết bị điện cao áp.

b) Cáp và dây dẫn điện áp thấp dùng để phân phối điện năng trong mạch nhị thứ, để đấu nối trong sơ đồ, thiết bị, dụng cụ đo lường, để cung cấp điện và điều khiển hệ thống kiểm tra và tự động

c) Cáp và dây thông tin dùng để cho tất cả các dạng liên lạc (điện thoại, điện tín, radiô, tivi ...). Phụ thuộc vào miền tần số sử dụng chúng chia thành tần số thấp và tần số cao.

d) Cáp tần số radiô sử dụng để truyền tải và phân phối năng lượng với tần số lớn hơn 1 MHz.

d) Dây cuốn điện từ dùng để cuốn các cuộn dây MBA, máy điện, thiết bị điện, thiết bị đo lường ...

4) Phân loại theo lĩnh vực sử dụng

Tất cả các chi tiết cáp chia ra thành cáp, dây dẫn sử dụng chung và cáp chuyên dụng.

- Cáp và các chi tiết cáp sử dụng đại chúng dùng để cung cấp điện năng trong công nghiệp, trong giao thông, thông tin liên lạc xa gần và dùng cho xây dựng, nhà ở, văn hoá ...

- Cáp và dây dẫn chuyên dụng sử dụng trong kỹ thuật chuyên ngành riêng trong các điều kiện khí hậu khắc nghiệt. Trong nhóm này có các nhóm cơ bản sau:

- Cáp tàu thủy tàu biển.
- Cáp dùng trong kỹ thuật hàng không, vũ trụ.
- Cáp dùng trong công nghiệp dầu mỏ.
- Cáp dùng trong hầm mỏ.
- Cáp dùng cho thiết bị di chuyển: cần trục, cần cầu ...
- Cáp làm việc trong nước.

82.2. Vật liệu cáp điện

Một trong những giai đoạn cơ bản thiết kế cáp và dây dẫn là sự lựa chọn các vật liệu dùng làm lõi dẫn, cách điện, màn chắn điện và bảo vệ.

1) *Vật liệu dùng để làm lõi dẫn và màn chắn điện*

Trong kỹ thuật cáp sử dụng lõi dẫn bằng đồng, nhôm và thép, đồng thời dùng dây dẫn điện trở thấp và điện trở cao. Kích thước dây dẫn nằm trong giới hạn từ vài Micron đến 10mm.

Yêu cầu cơ bản đối với vật liệu dùng làm lõi dẫn cáp điện là: độ dẫn điện cao, đặc tính cơ cao, không bị ăn mòn, dễ chế tạo, kinh tế và không là nguyên tố hiếm.

Giá trị điện dẫn của các kim loại đóng vai trò nhất định khi chọn tiết diện lõi dẫn của cáp có dòng điện cao hay thấp. Đặc tính cơ học cao của vật liệu dẫn điện có khả năng làm việc các chi tiết cáp khi chịu lực uốn, lực quay, lực kéo và dao động tần số cao, còn độ chịu ăn mòn tức là tính bảo toàn tính năng của cáp dưới tác động của các nhân tố khí hậu và hoá học.

a) Đồng được sử dụng trong công nghiệp điện là đồng tinh chế, nó được phân loại trên cơ sở các tạp chất lẫn vào trong đồng tức là mức độ tinh khiết. Thường thường đồng dùng làm lõi dẫn của cáp có tỷ lệ đồng lớn hơn 99,9% ở hai dạng: đồng mềm (MM) và đồng cứng (MT).

b) Nhôm là vật liệu quan trọng thứ hai được sử dụng trong kỹ thuật điện, nhôm có điện dẫn suất cao (nó chỉ thua bạc và đồng), trọng lượng riêng nhỏ, tính chất vật lý, hoá học cao có khả năng làm dây dẫn điện. Nhược điểm của nhôm là có độ bền cơ bé, dễ bị ăn mòn khi ở dạng tinh khiết. Nhôm sử dụng làm dây dẫn điện phải có tỷ lệ lớn hơn 99,5% nhôm, sắt và silic nhỏ hơn 0,45%, đồng và kẽm nhỏ hơn 0,05%. Đôi khi nhôm được dùng thay thế cho chì để gia công các vỏ bảo vệ của cáp điện với yêu cầu phải thật mềm dẻo, bền không bị ăn mòn và đạt được tỷ lệ tạp chất nhỏ hơn 0,01%. Nhôm dùng trong kỹ thuật cáp có 3 loại: nhôm mềm (AM), nhôm cứng (AT) và nhôm nửa cứng – nửa mềm (AIIT).

c) *Thép dùng làm dây dẫn cáp phải có ít tạp chất, tỷ lệ phần trăm cacbon cần tăng hơn (0,10 - 0,15%).* Dây dẫn bằng thép có nhược điểm bị ăn mòn thông qua hiện tượng rỉ ngay ở nhiệt độ bình thường và đặc biệt trong môi trường ẩm thấp. Để tránh ăn mòn người ta thường phủ lên bề mặt thép một lớp bảo vệ cadmi. Thép có độ bền cơ cao gấp 2-2,5 lần so với đồng, do đó dây dẫn bằng thép có thể dùng ở những khoảng cột lớn – khoảng vượt sông rộng (1500-1900). Thép mềm có hàm lượng cacbon ít vì vậy nó có điện trở suất gấp 7-8 lần so với đồng.

Bảng 8.9. Các đặc tính cơ bản của vật liệu dẫn điện dùng trong cáp

Vật liệu	Tỷ trọng, g/cm ³	Mác dây dẫn	Miền đường kính	Điện trở suất, Ω.mm ² /m	Độ bền khi kéo đứt, kg/mm ²	Độ gia tăng khi đứt, %
Đồng	8,9	MM	0,03÷10,0	0,0180÷0,0177	39-36	1-2
		MT	0,03÷10,0	0,01724	20-21	15-35
Nhôm	2,9	AM	0,5÷10,0	0,0292	7,5	10-15
		АПТ	0,6÷10,0	0,0292	9,5	3-5
		AT	0,08÷10,0	0,0292	10-18	1,0
Thép	7,8	ΠCΠC	1,5÷6,0	0,138	65-37	10
		ΠCΠK	0,20÷0,5	0,138	170-250	-

d) *Hợp kim điện dẫn cao:* Để tăng độ bền lõi dẫn của cáp và dây dẫn thường dùng hợp kim từ đồng, chúng chia thành 3 nhóm: bôn, Itun, hợp kim hoá thấp.

Bron gọi là hợp kim đồng - thiếc có điện trở suất khoảng 0,1 Ω.mm²/m độ bền kéo đứt 40÷90 kg/mm².

Latun tạo nên từ hợp kim đồng - chì. Latun có chứa ít chì có điện dẫn cao ($\rho = 0,04\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$), độ bền cơ gần như đồng. Nếu nồng độ chì cao thì điện trở suất tăng lên: 0,07÷0,10 Ω.mm²/m.

Dây dẫn từ đồng và ít hợp chất khác: hợp kim này chủ yếu là đồng, các hợp chất khác không quá 1% (xrôm, thiếc, titan ...).

e) *Hợp kim có điện trở cao.* Manganin là hợp kim có Mangan (11÷13%), Niken (3,5÷5%) và đồng. Dây dẫn từ hợp kim này dùng trong công nghệ cáp với đường kính từ 0,03÷10,0 mm..

Konstantin là hợp kim Niken (39-41%) và đồng với ít mangan (0,4÷1,6%). Dây dẫn có đường kính từ 0,03÷5,0 mm.

Nikhơrôm là hợp kim Niken và xrôm chế tạo với đường kính 0,01÷10mm.

Dây dẫn bằng hỗn hợp 2-3 kim loại.

Thép bọc đồng dùng để sử dụng làm dây dẫn không bọc cách điện, sử dụng làm công tắc điện, dây dẫn radio. Vật liệu này có độ bền cơ cao thuận tiện cho việc chế tạo những chi tiết trong thiết bị điện.

Đối với cáp tần số radio có độ phát nhiệt lớn trên lớp đồng thường có phủ bạc, đó là dây dẫn thép - đồng - bạc. Bạc phủ bên ngoài sẽ hạn chế sự ôxy hoá kim loại.

Có thể dùng hỗn hợp đồng - bạc, đồng - niken làm vật dẫn phích cắm, chân cắm nhiều đầu.

2) Vật liệu cách điện.

Trong sản xuất cáp người ta thường sử dụng các loại vật liệu sau đây:

Vật liệu từ tự nhiên: giấy cách điện, vải, cao su, amiăng, cách kiến v.v...

Vật liệu nhân tạo mà nhận được bằng gia công hóa học polime:

1) Polivinylchlorit (PVC),

2) Polietilen, PE, XLPE ...

3) Polistirol.

4) Cao su nhân tạo: cao su butadien, êtilenpropilen cao su, cao su butil, cao su silicon ...

5) Politetrafloêtilen...

6) Sơn ê may các loại (VD: polivinylaxetat, poliurêtal, poliefir ...).

Vật liệu màng mỏng: giấy cáp và giấy telephone, triaxêtat, polistirol, lapcan, v.v...

Các loại vật liệu cách điện phải có các tính năng cách điện tốt: cường độ cách điện Edt cao, hằng số điện môi (ϵ) có trị số bé, tổn hao điện môi (tg δ) bé, điện trở suất (ρ) cao, chịu được môi trường nóng ẩm, độ bền cơ - lý - hoá cao, chịu nhiệt tốt v.v...

3) Vật liệu để bảo vệ cáp

Điểm đặc biệt của nhóm vật liệu cáp này là không có mức yêu cầu cao về các đặc tính điện. Trong hàng loạt các trường hợp cho khả năng chọn các vật liệu với tính chất cơ học cao và các tính chất khác không làm giảm đáng kể các tính năng cách điện.

Tất cả các vật liệu bảo vệ sử dụng trong công nghiệp cáp điện có thể chia ra thành: kim loại, cao su ống mềm, các chất dẻo, vật liệu sợi và màng mỏng, sơn và sơn tẩm.

a) Kim loại: Dùng để bảo vệ cáp và dây dẫn tạo nên lớp vỏ chống thấm và lớp bao bọc bên ngoài (bọc thép). Kim loại lớp vỏ chống thấm được làm từ chì, nhôm và thép, còn lớp bao bọc bên ngoài làm bằng băng thép và sợi.

Chì là kim loại nặng, nó có tính năng tốt là dễ gia công, uốn dẻo, độ chịu ăn mòn cao, song đắt tiền. Do vậy ngày nay trong công nghệ chế tạo cáp người ta thay chì bằng nhôm làm lớp bảo vệ cáp.

Thời gian gần đây người ta chế tạo lớp bảo vệ cáp bằng thép. Bên ngoài lớp thép có lớp chất dẻo chống ôxy hoá.

b) Hỗn hợp cao su ống mềm: dùng để lót thêm cho tăng tính chất cơ học và chống ẩm môi trường xâm nhập vào cáp.

c) Các chất dẻo màng mỏng: trong số các chất dẻo bảo vệ cáp và dây dẫn sử dụng polivinylchlorid, poliêtilen, poliamid và ftoloplast.

- Polivinylchlorid có các tính năng tốt cơ bản là gia công đơn giản, mềm dẻo, không cháy, chống các tia tử ngoại ánh sáng và không bị tác động của rất nhiều môi trường hoá học mạnh, chống lão hoá... Chú ý khi dùng polivinylchlorid tiếp xúc với poliêtilen làm cho tính năng cách điện của poliêtilen giảm, vì vậy nên dùng polivinylchlorid có gốc poliêphir sẽ loại trừ được nhược điểm này.

- Poliêtilen ưu việt ở các đặc điểm sau: trọng lượng riêng nhỏ, không thấm ẩm, không bị lão hoá trong tự nhiên.

- Poliamid có độ bền cơ cao, với công nghệ sản xuất cao sẽ tạo ra các lớp mỏng từ 0,05÷0,15 mm. Nhược điểm của loại nhựa này là có độ chống ẩm nhỏ và độ dẻo cao hơn so với các chất dẻo khác.

- Ftoloplast hay cao su silicon có độ bền nhiệt cao, độ bền cơ cao, chế tạo màng mỏng dày 0,075÷0,20 mm.

Các chất dẻo trên cắt thành băng cuốn quanh lớp bảo vệ kim loại để chống ăn mòn kim loại, tăng thêm phần bảo vệ cho cáp.

d) Vật liệu sợi, sơn và sơn tẩm compaund: các vật liệu sợi sử dụng làm lớp bảo vệ cáp và dây dẫn, lót đệm cho lớp bọc kim loại để bảo toàn lớp kim loại khỏi tác động cơ học khi quấn băng kim loại và lắp đặt cáp. Các sợi được tẩm phủ sơn tạo nên một lớp bảo vệ tốt. Lớp bọc bảo vệ cáp có thể dùng bằng giấy cáp, băng cáp, sợi chỉ bông tự nhiên và sợi triaxêtat hay caprôn băng hoặc sợi amiăng.

8.2.3. Cáp điện cao áp

1) Phân loại và cấu trúc cơ bản cáp cao áp

Cáp điện dùng để truyền tải và phân phối điện năng. Dựa trên điện áp làm việc của cáp, người ta phân ra thành các loại sau: cáp dùng cho điện áp 1÷10 kV, 20÷35 kV, 110÷500 kV.

- Theo cách điện có thể chia cáp thành ba nhóm cơ bản sau: cáp có cách điện bằng giấy tẩm dầu (cáp tẩm dầu), cáp cách điện bằng chất dẻo polime và cáp cao su cách điện.

- Theo số lượng lõi dẫn cáp điện lực chia thành: cáp một, hai, ba hay là bốn lõi dẫn. Lõi dẫn làm bằng đồng hay nhôm có dạng hình tròn, cánh quạt hay dáy cánh quạt.

- Theo điều kiện lắp đặt mà được xác định bằng lớp bao bảo vệ, cáp điện có thể chia thành: cáp đặt trong nhà, trong hầm cáp hay kênh cáp, không có tác động cơ học bên ngoài, cáp này có thể không có đai thép bảo vệ.

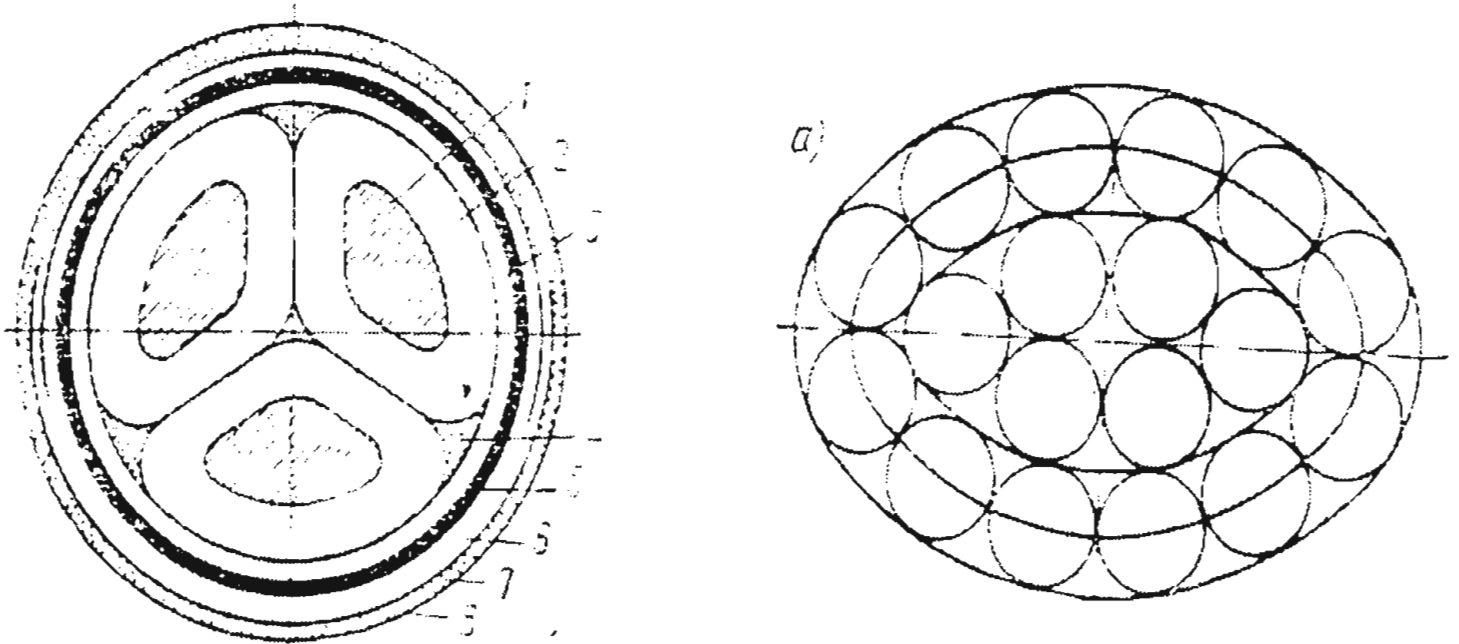
- Cáp đặt trong đất không có lực kéo đáng kể.
- Cáp đặt trong đất có lực kéo căng lớn.
- Cáp đặt trong nước.

2) Cáp cách điện bằng giấy tẩm dầu

Dựa theo cấu trúc các loại cáp này chia thành:

- Cáp tẩm dầu và đai cách điện (1-10) kV.
- Cáp tẩm dầu, các pha có màng chắn riêng (20-35) kV.
- Cáp đổ dầu (110-500) kV.
- Cáp cách điện bằng khí nén (35-220) kV.

a) **Cáp tẩm dầu với đai cách điện:** Loại cáp này làm việc ở các cấp điện áp 1, 3, 6 và 10KV không có màn chắn dọc theo cách điện, lõi dẫn hình dải uạt cho phép giảm kích thước, trọng lượng và giá thành cáp (hình vẽ 8-19).



Hình 8-19. Tiết diện cáp hình dải quạt.

Cách điện pha là băng giấy cáp rộng $10 \div 30$ mm, dày $20 \div 120 \mu\text{k}$ cuốn quanh dây dẫn sao cho khoảng cách giữa các mép giấy khoảng $1,5 \div 3,5$ mm để khi uốn cáp băng giấy không bị hư hỏng. Như vậy khe dầu giữa các mép băng là điểm cách điện yếu nên khi cuốn cần chú ý không để cho khe dầu của các lớp trùng lên nhau.

Khi cuốn xong cách điện pha được sấy trong chân không ở nhiệt độ 120-135°C để khử ẩm và sau đó được tẩm dầu cũng trong chân không.

b) Cáp tẩm dầu các pha có màn chắn riêng. Các cáp loại này dùng ở điện áp (20-35) kV với mục đích tăng độ bền điện người ta sử dụng màn chắn các pha riêng với cường độ điện trường hướng tâm của cách điện. Có hai phương pháp giải quyết kết cấu: chế tạo cáp với lớp chì bảo vệ các pha riêng hay các pha bảo vệ bằng băng đồng nằm chung trong lớp bảo vệ bằng chì hay nhôm.

Loại cáp bọc nhôm này có kích thước và trọng lượng riêng nhỏ hơn so với bọc chì, có tính mềm dẻo hơn, lượng dầu tẩm ít hơn, sự trao đổi nhiệt tốt hơn.

c) Cáp đổ dầu: Cáp đổ dầu dùng ở điện áp cao (110 kV trở lên) thường chỉ có một lõi. Trong loại cáp này, dầu có áp suất cao chảy dọc theo đường cáp để lấp kín các bọt khí được hình thành trong thời gian của các chu trình nhiệt. Tăng áp suất dầu còn có mục đích tăng khả năng cách điện của dầu và giảm kích thước cáp.

Đa số các loại cáp đổ dầu hiện nay đều có áp suất từ 3÷5 at nên cách điện điện trường xoay chiều có thể đạt tới 6÷8 kV/mm - gấp gần 3 lần so với loại cáp tẩm dầu 20-30kV. Nếu tăng áp suất lên 10÷15 at thì cách điện trường cho phép có thể tới 10÷15 kV/mm nhưng kết cấu rất phức tạp và phải tăng cường bằng các đai bảo vệ.

Hình thức phóng điện chủ yếu trong loại cáp đổ dầu là phóng điện do nhiệt, xảy ra khi nhiệt lượng sinh ra bởi tổn hao điện môi vượt quá nhiệt lượng tản ra ngoài môi trường. Vì vậy vật liệu dùng trong cáp phải có tổn hao điện môi bé, trong quá trình chế tạo cần đo nhiều lần trị số tgδ.

d) Cáp cách điện bằng khí nén. Theo trị số áp suất khí nén trong cáp chia ra thành: áp suất cao (12÷15) at, trung bình (3÷6) at và áp suất thấp (1,5÷2) at.

Thông thường cáp nén khí dùng loại khí agôt (nitơ), khí elagaz (SF₆) hoặc hỗn hợp 2 loại khí trên.

Về cấu trúc cáp có thể là 1 lõi hay 3 lõi. Nhược điểm của loại cáp chứa khí nén là điều kiện tản nhiệt xấu nên việc sử dụng cáp sẽ bị hạn chế. Hiện nay, cáp chứa khí nén được dùng nhiều ở điện áp 35 kV trên các tuyến dọc hoặc yêu cầu đặt cáp thẳng đứng.

3) Cáp cách điện bằng chất dẻo polime

Sử dụng cách điện polime sẽ đơn giản công nghệ chế tạo cáp điện, tiết kiệm được kim loại màu và cho phép xếp đặt cáp thành cuộn ở mức độ khác nhau.

Vật liệu thịnh hành nhất sử dụng làm cách điện là poliêtilen. Poliêtilen có nhược điểm là độ bền vàng quang kém vì vậy cáp đường dây trên không với loại cách điện này sẽ đưa đến sự giảm đáng kể độ bền điện. Ngoài ra poliêtilen nóng

chảy ở nhiệt độ 105-110°C dẫn đến sự phá huỷ cáp khi quá tải và ngắn mạch. Để khắc phục nhược điểm đó nên sử dụng loại poliêtilen có cấu trúc lưới, nó cho độ bền nhiệt cao hơn.

Ngoài poliêtilen để làm cách điện cáp người ta sử dụng polivinylclorid. Vật liệu này có độ bền điện, chống thấm ẩm lớn và không cháy, thường làm cách điện cáp có điện áp làm việc lớn hơn 10kV.

Cáp cách điện bằng polime sản xuất cho cáp điện từ 1÷3,5 kV với lõi dẫn và đồng có tiết diện từ 2,5 đến 150 mm². Lõi dẫn của cáp 10-20 và 35 kV chỉ chế tạo là hình tròn, còn điện áp 1÷6 kV cơ bản là hình quạt.

Cáp điện áp 1,6; 10 kV có thể chế tạo bằng cách điện polivinylclorid và poliêtilen, còn điện áp 20 và 35 kV chỉ cách điện bằng poliêtilen. Cáp 6kV có màng êkran dọc theo cách điện, cáp 10; 20 và 35 kV - êkran dọc theo loại dây dẫn và cách điện, khuyến khích dùng bán dẫn poliêtilen hay polivinylclorid. Dọc theo cách điện ngoài lớp bán dẫn polime còn đặt băng kim loại bảo vệ. Chiều dày lớp êkran bán dẫn là 1,5÷2 mm.

Để bảo vệ cáp khỏi ngấm ẩm và tác động cơ học, cáp có lớp bọc làm bằng polivinylclorid, dày 2÷2,6 mm (cáp 1÷6 kV có lớp bọc bảo vệ chung, cáp 10, 20, 35 kV lớp bọc đặt ở ngoài êkran lõi dẫn).

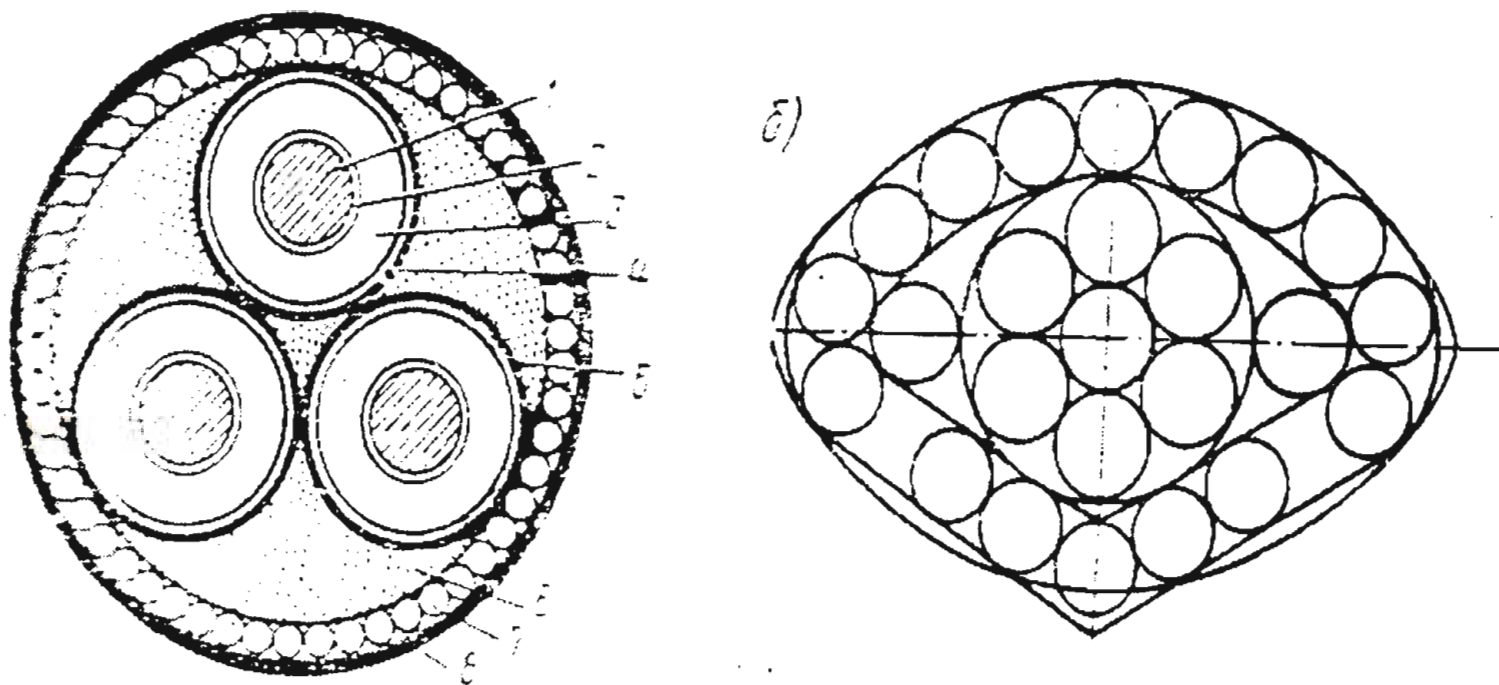
Ở một số nước trên thế giới, sản xuất cáp cách điện bằng polime dùng ở điện áp cấp 60; 70 và 110 kV. Cách điện cơ bản dùng loại poliêtilen cấu trúc lưới và có êkran là poliêtilen bán dẫn dày 16÷18 mm.

4) Cáp cách điện cao su:

Theo các tính năng về điện, cáp cao su kém hơn so với cáp cách điện bằng giấy tẩm và polime. Vì cao su có tính năng về điện và cơ kém, thời gian làm việc nhỏ, dễ bị lão hoá.

Cáp cao su thường lắp đặt cho cáp điện áp xoay chiều 1; 3 và 6 kV. Cáp có lõi dẫn bằng đồng hay nhôm với tiết diện từ 1 đến 500 mm². Lớp bảo vệ bên ngoài làm bằng chì, polivinylclorid hay bọc ống cao su mềm. Trong trường hợp cần thiết cáp có lớp áo bọc kín và lớp bảo vệ.

Cáp điện áp 1 kV có thể có một, hai, ba lõi dẫn; cáp điện 3; 6 và 10 kV chỉ sản xuất 1 lõi dẫn. Để tạo nên cáp cao su điện áp cao hơn cần sử dụng êkran bán dẫn dọc theo lõi và cách điện.



Hình 8-20. Tiết diện cáp hình tròn.

8.2.4. Thử nghiệm cáp và dây dẫn

1) Khái niệm thử nghiệm cáp và dây dẫn

Cáp điện cần phải thoả mãn rất nhiều các yêu cầu khác nhau về đặc tính cách điện, độ bền điện, độ bền cơ, đặc tính dẫn điện của lõi dẫn, thời gian phục vụ, độ kín của lớp kim loại bảo vệ v.v... Điều đó có thể thấy rõ trong các dạng thử nghiệm khác nhau của các loại cáp: thử độ bền cơ học, hoá học, xác định điện dẫn kim loại, đo điện quang, điện trở cách điện, góc tổn hao điện môi tgδ, điện áp đánh thủng xác định độ bền cách điện theo thời gian phục vụ v.v...

Thử nghiệm cáp và dây dẫn là giai đoạn kết thúc của quá trình công nghệ sản xuất. Người ta phân ra thành 2 loại thử nghiệm: thử nghiệm kiểm tra và thử nghiệm điển hình.

- Thử nghiệm kiểm tra cần phải thực hiện đối với tất cả các đoạn cáp, dây dẫn khi đưa vào vận hành. Các hạng mục thử nghiệm với mục đích kiểm tra xem có các khuyết tật ngẫu nhiên phát sinh trong quá trình sản xuất hay không. Giá trị điện áp thử nghiệm kiểm tra phải chọn để không làm giảm chất lượng và tuổi thọ cách điện.

- Thử nghiệm điển hình thực hiện trên các mẫu lựa chọn trong mỗi loại sản phẩm. Thí nghiệm này để đánh giá mức độ chất lượng sản phẩm. Khi thử nghiệm điển hình các mẫu cáp phải chịu nhiều yếu tố tác động tăng tốc hơn so với thử nghiệm kiểm tra. Thí nghiệm điển hình được tiến hành đối với các mẫu có công nghệ gia công mới, khi sử dụng vật liệu mới, kết cấu mới v.v...

Nghiên cứu từng phương pháp thử nghiệm cáp không thể tách rời với công việc nghiên cứu các quá trình lý - hoá xảy ra trong cách điện dưới tác động của điện

áp xoay chiều, một chiều và điện áp xung. Nghiên cứu các phương pháp thử nghiệm và đo các đặc tính cáp thông tin yêu cầu phải có kiến thức cơ bản về các quá trình vật lý truyền sóng theo dây dẫn. Vì vậy trong sản xuất và vận hành cần phải có các chuyên gia giỏi làm công tác thử nghiệm.

2) Xác định kích thước kết cấu, cá tính năng cơ - lý cơ bản của cáp điện

a) Lựa chọn mẫu và kiểm tra thành phần cấu tạo

Giai đoạn đầu của việc thử nghiệm cáp và dây dẫn là sự lựa chọn mẫu cùng với việc kiểm tra kích thước kết cấu, quan sát kỹ bằng mắt, đo đạc và cân đong các thành phần riêng của kết cấu.

Khi xem xét lõi dẫn cần kiểm tra tiết diện lõi, bước xoắn, số lượng và đường kính các sợi dây dẫn, độ bền mối hàn hay mối nối, không có rìa xòe vết xước, biên nhọn ở phần hình quạt và các khuyết tật khác.

Khi xem xét cách điện trong cáp cao su hay cáp nhựa hữu cơ phải kiểm tra sự đồng đều của cách điện, không được bóc tách cũng như không được chứa bọt khí và tách lớp. Đối với cáp cách điện bằng giấy tẩm dầu, cần kiểm tra số lượng, chiều dày, chiều rộng băng giấy và khe hở giữa các băng giấy, số lượng băng giấy có bị hư hỏng cơ học hay gấp khúc hay không. Ngoài ra cần xem dầu có ngấm đều không, có chứa nước và hơi nước không.

Khi xem xét lớp chì hay nhôm, ngoài việc kiểm tra kích thước hình học cần phải kiểm tra độ sạch, mức độ ôxy hoá hay các khuyết tật khác. Đối với lớp bảo vệ cần kiểm tra kích thước có đúng với kết cấu của cáp hay không, kiểm tra chất lượng vật liệu có vết rạn nứt hay không.

Đối với dây émay kiểm tra độ phẳng, lớp émay không có bọt khí, bụi bẩn v.v...

b) Xác định kích thước hình học

Xác định kích thước lõi dẫn, đo đường kính và chiều dày cách điện cùng các lớp bảo vệ kim loại của cáp điện.

Đo bước xoắn: có 2 phương pháp xác định bước xoắn: phương pháp đặt giấy và phương pháp tách sợi dây bên ngoài của mẫu.

c) Thử nghiệm sự uốn cong cáp và xác định độ uốn dẻo của cáp dùng trong trạm di động

Kiểm tra độ bền cơ học của cáp dùng cho các trạm tĩnh tiến hành bằng cách bẻ gấp cáp trên ống hình trụ đường kính nhất định lúc đầu theo một hướng, sau đó bẻ theo hướng ngược lại. Kết quả xem như đạt yêu cầu nếu không thấy sự phá huỷ lõi dẫn, cách điện, lớp bọc và lớp bảo vệ, sau khi bẻ và làm phẳng mẫu vẫn chịu được điện áp thí nghiệm.

Cáp cách điện bằng giấy tẩm bình thường sau khi uốn cần phải chịu được điện áp thí nghiệm xoay chiều tần số 50Hz trong 10 phút. Cáp có bọc 10 lớp giấy thì số lượng đứt ≤ 2 lớp.

Cáp điện áp (kV)	6	10	20	35
Điện áp TN (kV)	30	50	80	140

Thử nghiệm cáp và dây dẫn dùng cho di động tiến hành trên thiết bị thử nghiệm với tải kéo cố định và tốc độ di chuyển đi lại 0,33 m/giây.

d) Thử nghiệm điện và cơ học.

e) Thử nghiệm cơ lý của dây êmay.

Xác định tính đàn hồi của êmay cách điện trước và sau khi chịu tác động nhiệt độ cao. Thử xung nhiệt.

Xác định lực bám dính của sơn êmay.

Xác định độ bền cơ học mài mòn dây êmay.

f) Kiểm tra độ bền hoá học của sơn phủ đối với dung môi.

g) Xác định các tính năng hoá - lý.

h) Kiểm tra độ kín của lớp bảo vệ cáp.

3) Xác định điện trở lõi dẫn cáp điện

Điện trở lõi dẫn của cáp là đặc tính quan trọng, điện trở không được cao hơn giá trị tương ứng với tiết diện định mức của cáp.

Khi kiểm tra điện trở lõi dẫn thường đo bằng nguồn điện áp một chiều vì đây là phương pháp đơn giản nhất. Điện trở khi đo bằng điện áp xoay chiều lớn hơn so với khi đo ở điện áp một chiều.

Trong thực tế xác định điện trở bằng cầu đơn, cầu kép và cầu đơn - kép phối hợp. Cần phải lưu ý rằng trị số điện trở phụ thuộc vào nhiệt độ và các yếu tố khác. Khi so sánh cần đưa về trị số ở nhiệt độ 20°C.

$$R_t = \frac{[\rho_{20} + \Delta\rho(t - 20)]L}{S} \qquad R_{20} = \frac{\rho_{20} \cdot L}{S}$$

$$R_{20} = \frac{R_t}{L + \alpha(t - 20)}; \qquad \alpha = \frac{\Delta\rho}{\rho_{20}}$$

Yêu cầu của tiêu chuẩn đối với giá trị điện trở dây dẫn bằng đồng và nhôm cho ở bảng sau:

Bảng 8.10.

Vật liệu dây dẫn	Đường kính dây dẫn (mm)	Điện trở ở 20°C Ω.mm ² /km
Đồng mềm (MM)	Tất cả các đường kính	17,24
Đồng cứng (MT)	đến 0,99	18,0
	1,0 - 2,49	17,8
	>=2,5	17,7
Nhôm dẻo (AM)	Tất cả các đường kính	28,0
Nhôm cứng (AT) và nửa cứng - mềm (AMT)	Tất cả các đường kính	28,3

4) Xác định điện trở cách điện và điện dung cáp điện

Cáp một lõi hình dung như một tụ điện hình trụ, một cực là lõi dẫn điện, cực thứ hai là lớp bảo vệ bằng kim loại.

Điện trở cách điện R và điện dung của loại cáp này được tính bằng công thức sau:

$$R_{20} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{D}{d}; \quad c_{20} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_1}{\ln \frac{D}{d}}$$

Đo điện trở cách điện tiến hành trước và sau khi thử nghiệm cáp bằng điện áp cao. Khi thí nghiệm kiểm tra sản phẩm cáp điện trở cách điện được xác định sau 1 phút đặt điện áp.

Có 3 phương pháp xác định mức thấm ẩm cách điện:

Phương pháp I: Xác định điện trở cách điện sau 30 và 60 giây kể từ khi đặt điện áp, tức là R_{30} và R_{60} . Cách điện khô khi có giá trị $(R_{60} - R_{30}) / R_{30}$ lớn.

Phương pháp II: Xác định điện trở sau 15 giây (R_{15}) và điện trở cách điện R_{r0} - Tính $(R_{r0} - R_{15})/R_{r0}$ đặc trưng cho trạng thái cách điện.

Phương pháp III: Các kết quả đo dòng điện rò xây dựng đồ thị logarit dòng điện với trục thời gian nhận được đường thẳng. Nếu giảm chậm thì cách điện bị ngấm ẩm giảm nhanh cách điện bị nóng.

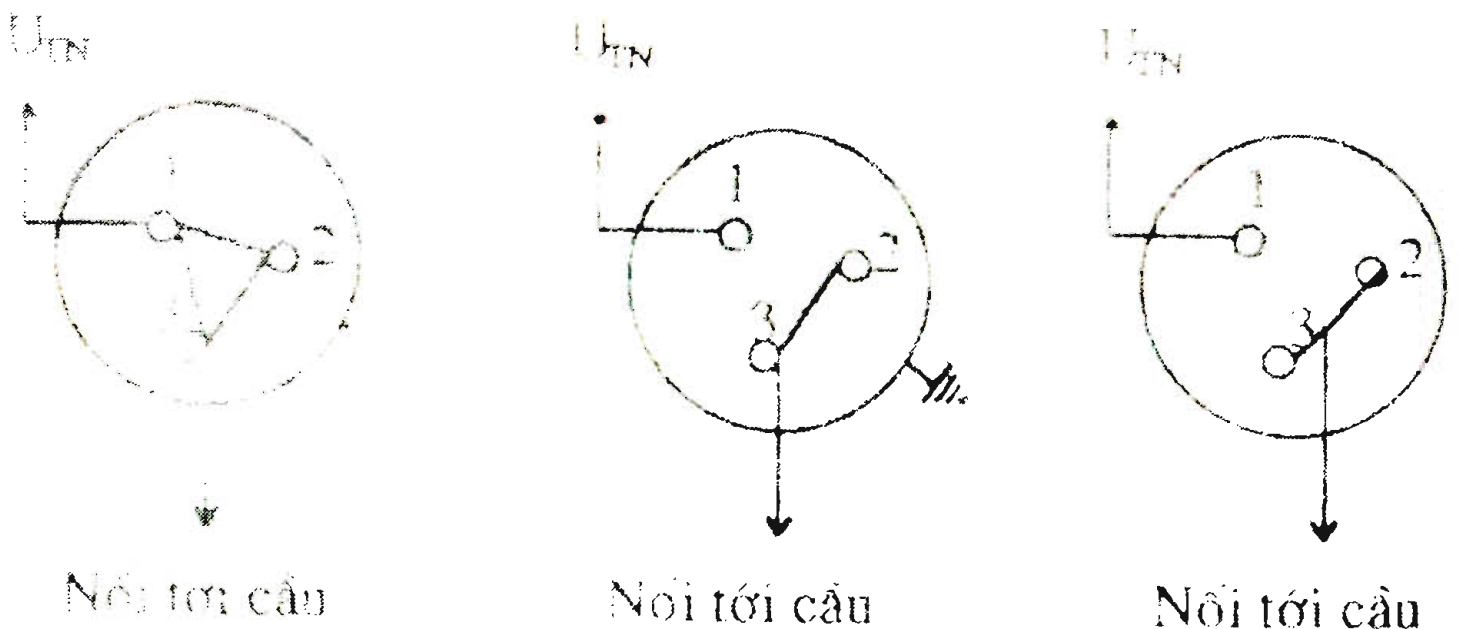
Bảng 8.11. Đo điện trở bằng Teraoommeter, Mêgômeter

STT	Tên loại cáp	Điện trở cực tiểu ở 20°C (MΩ/KM)
1	Cáp thông tin tần số cao Cáp thông tin tần số thấp	10.000
2	Cáp điện thoại phân phối	30
3	Cáp đo lường cách điện bằng cao su và Poliêtilen	50
4	Cáp điện lực bằng giấy tẩm: Điện áp 1 KV Điện áp 6 KV	50 100
5	Cáp tẩm ít cách điện 6-10KV	200
6	Cáp điện lực 1-3KV Cáp Poliêtilen Cáp cách điện PVC	100 5

5. Đo tổn hao điện môi tgδ

Thiết bị đo tổn hao điện môi là cầu Sering- cầu xoay chiều P525, P 5026 và cầu của Thụy Sĩ. Khi đo tổn hao điện môi tgδ cáp cao áp cần chú ý đến quy tắc an toàn vận hành thiết bị. Việc đo lường cần tiến hành với dòng điện xoay chiều tần số 50 Hz trên toàn bộ cáp hay trên mẫu cáp có chiều dài không nhỏ hơn 5 mét. Đo lường trong môi trường nhiệt độ $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ độ ẩm không lớn hơn 80%.

Đối với cáp 3 pha có 3 cách đấu nối thí nghiệm hình sau:



Hình 8-21. Cách nối cầu Sering.

Khi tiến hành thử nghiệm ở nhiệt độ $t^{\circ}\text{C}$ cần đưa về trị số $\text{tg}\delta$ ở nhiệt độ 20°C tính theo công thức sau:

$$\text{tg}\delta_{20} = \text{tg}\delta_t [1 - 0,02(20 - t)]$$

6. Thử nghiệm cáp bằng điện áp xoay chiều

Độ bền điện là đặc tính quan trọng nhất của cáp. Để xác định độ bền điện của cáp phải thử nghiệm bằng điện áp cao. Độ bền điện phụ thuộc vào tốc độ tăng điện áp, thời gian đặt điện áp, trị số điện áp dạng điện áp điện trường, nhiệt độ và các tác động khác.

Khi thử nghiệm cáp bằng điện áp cao, ta đưa điện áp thử nghiệm vào lõi dẫn, vỏ bọc kim loại nối với đất.

* Cáp 1 lõi thì: 1-0.

* Cáp 2 lõi 1 và 2 thì:

a) 1 - (2+0)

b) 2 - (1 + 0)

* Cáp 3 lõi 1, 2, 3 thì có:

a) 1 - (2 + 3 + 0)

b) 2 - (1 + 3 + 0)

c) 3 - (1+ 2 + 0)

Hoặc là:

a) (1 + 2) - (3 + 0)

b) (1 + 3) - (2+ 0)

* Cáp 4 lõi 1, 2, 3, 4 có cách đấu sau:

a) 1 - (2 + 3 + 4 + 0)

b) 2 - (1 + 3 + 4 + 0)

c) 3 - (1 + 2 + 4 + 0)

d) 3 - (1 + 2 + 3 + 0)

Hay là:

a) (1 + 2) - (3 + 4 + 0)

b) (1 + 4) - (2 + 3 + 0)

c) (1 + 2 + 3 + 4) - 0

Cáp không có vỏ bọc kim loại có cách đấu nối sau:

* Cáp 2 lõi 1, 2 : 1 - 2.

* Cấp 3 lõi 1, 2, 3:

a) 1 - (2 + 3)

b) 2 - (1 + 3)

* Cấp 4 lõi 1, 2, 3, 4:

a) (1 + 2) - (3 + 4)

b) (1 + 4) - (2 + 3)

* Cấp nhiều lõi: Tất cả số chẵn + đối với số lẻ.

Thiết bị thử nghiệm của trạm thử nghiệm phải đủ tiêu chuẩn:

- Nguồn điện áp xoay chiều phải đảm bảo điện áp hình Sin trên vật thử nghiệm.

- Khi thử nghiệm cáp có điện áp định mức tới 35kV thì điện áp thử nghiệm đo được không được sai lệch quá $\pm 1,5\% U_{TN}$, còn đối với cáp U_{DM} lớn hơn 35 kV thì độ sai lệch không lớn hơn $3\% U_{TN}$.

- Điều chỉnh điện áp cần phải tăng đều hay tăng theo từng cấp, khi tăng từng cấp giá trị của các cấp không được lớn hơn 5% điện áp thí nghiệm.

- Khi thử nghiệm điện áp chịu đựng lần đầu đặt điện áp không vượt quá 40% U_{TN} .

Để loại trừ hiện tượng phóng điện bề mặt và phóng điện theo cách điện ở đầu cáp cần phải lắp phễu cáp hay tách lõi dẫn một khoảng cách nhất định tùy theo điện áp thí nghiệm (bảng 8.12).

Bảng 8.12. Khoảng cách an toàn giữa lõi và vỏ cáp

U_{dm} , kV	U_{TN} , kV	Chiều dài phân tách, mm
6	16-18	200
10	25	350
20	50	700
35	88	1000

- Trị số điện áp và thời gian đặt điện áp thử nghiệm phải thực hiện theo tiêu chuẩn quy định cho mỗi loại cáp và cấp điện áp làm việc của cáp.

- Cần chú ý kỹ thuật an toàn khi thử nghiệm điện áp cao.

7. Thử nghiệm cáp bằng điện áp một chiều

Để giảm công suất MBA thí nghiệm và loại trừ ảnh hưởng của điện áp thí nghiệm tới cách điện người ta thử nghiệm cáp bằng điện áp cao một chiều, điện áp

một chiều nhận được bằng bộ chỉnh lưu điện áp xoay chiều, thường chỉnh lưu bằng đèn Kênotron, Selen hay bán dẫn.

Khi thử nghiệm cáp bằng điện áp một chiều ta thấy:

- Điện áp đánh thủng cách điện ít phụ thuộc vào thời gian, tác dụng của điện áp so với điện áp xoay chiều.

- Sự xung đột điện áp không làm giảm độ bền điện của cách điện .

- Trị số điện áp đánh thủng cách điện khi điện áp có cực tính âm bé hơn so với cực tính dương.

* Giá trị điện áp thí nghiệm đối với cáp cách điện bằng giấy tẩm dầu điện áp định mức 1-10 kV là $6 U_{dm}$, điện áp định mức 20-30kV là $5 U_{dm}$.

Tiêu chuẩn quy định giá trị điện áp thử nghiệm đối với:

- Cáp có điện áp $U_{dm} = 6 \text{ kV}$ thì $U_{TN} = 30 \div 50 \text{ kV}$.

- Cáp có điện áp $U_{dm} = 10 \text{ kV}$ thì $U_{TN} = 50 \div 70 \text{ kV}$.

- Cáp có điện áp $U_{dm} = 20 \text{ kV}$ thì $U_{TN} = 80 \div 100 \text{ kV}$.

- Cáp có điện áp $U_{dm} = 35 \text{ kV}$ thì $U_{TN} = 150 \div 175 \text{ kV}$.

- Cáp dầu $U_{dm} = 110 \text{ kV}$ thì $U_{TN} = 250 \text{ kV}$.

- Cáp dầu $U_{dm} = 220 \text{ kV}$ thì $U_{TN} = 400 \text{ kV}$.

* Thời gian đặt điện áp thí nghiệm kiểm tra với $U_{dm} = 6 \div 35 \text{ kV}$ là 5 phút đối với cáp dầu 110 - 220 kV 20 phút, đối với cáp dùng ở điện áp 1 chiều điện áp cao là 30 phút.

Cần chú ý rằng:

➤ Trước và sau khi thử nghiệm điện áp cao một chiều cần đo điện trở cách điện bằng Mêgômét: 1000-2500-5000 V.

➤ Trong suốt thời gian đặt điện áp cần quan sát trị số dòng điện rò, những phút cuối cùng của quá trình thử nghiệm tiến hành ghi chỉ số dòng điện rò đo được.

➤ Khi thử nghiệm cần tăng đều điện áp với tốc độ (1-2) kV/giây tới giá trị điện áp thí nghiệm và giữ điện áp không đổi. Cáp được tính là chịu đựng được điện áp thí nghiệm nếu không xảy ra phóng điện cách điện hay phóng điện bề mặt phễu cáp, cũng như không thấy hiện tượng tăng đột biến giá trị dòng điện rò.

Sau khi lắp đặt cáp cần thử nghiệm kiểm tra, cáp có điện áp làm việc tới 10 kV thì $I_{rò} < 300 \mu\text{A}$ và $I_{rò} < 800 \mu\text{A}$ đối với đường cáp điện áp 20-35 kV.

- Khi dòng điện rò tăng đáng kể trong quá trình thử nghiệm thì cần tăng thời gian thí nghiệm đến 10-20 phút. Nếu dòng điện cứ tiếp tục tăng thì sẽ dẫn đến phóng điện phá hủy cách điện.

- Khi thử nghiệm cáp dầu 110-220 KV dòng điện rò đo ở phút cuối không được tăng quá $150\mu\text{A}/\text{km}$ (đối với cáp 110 kV) và $220\mu\text{A}/\text{km}$ (đối với cáp 220 kV).

- Sự khác nhau về giá trị dòng điện rò của các pha không được vượt quá 50%.

- Khi thử nghiệm bằng điện áp một chiều điện áp cao cấp được nạp điện với năng lượng $CU^2/2$ (W), do vậy, sau khi thử nghiệm xong cần phải nối đất an toàn cáp thử nghiệm và các nguồn cấp ở bên cạnh.

8. Thử nghiệm cáp bằng điện áp xung

Các đường dây tải điện trên không thường phải chịu quá điện áp do sét gây nên, cáp và cách điện sẽ bị tác động điện áp cao trong thời gian rất ngắn. Điện áp tăng cao và giảm nhanh theo thời gian là điện áp xung. Tương đương với điện áp sét thực tế có quy định $T_{ds} = 1,5\ \mu\text{ giây} \pm 20\%$ và $T_{ds} = 40\mu\text{ giây} \pm 30\%$ ($T = 1,5/40$).

Khi thử nghiệm cáp cách điện bằng giấy tẩm điện áp xung ta có các quy luật sau đây:

- Điện áp đánh thủng giảm khi tăng số lần phóng điện xung. Chiều dày cách điện càng lớn thì xác suất phóng điện xung sẽ lớn hơn.
- Trị số điện áp phóng điện xung phụ thuộc vào cực tính của loại xung (dương hay là âm). Xung có cực tính âm điện áp đánh thủng giảm 10-15% so với xung có cực tính dương.
- Phóng điện xung kích làm nóng cáp và sẽ làm giảm sự liên kết của chất tẩm.
- Cường độ trường phóng điện xung kích trên lõi bằng $70\div 150\text{ kV}/\text{mm}$ còn điện trường cách điện trung bình là $50\div 80\text{ kV}/\text{mm}$.

Khi thử nghiệm điện áp xung cho một loại cáp trước tiên cần phải xác định điện áp phóng điện xung kích và yêu cầu về độ bền xung của cách điện cáp. Sau đó lần lượt đặt lên mẫu 10 xung cực tính âm, 10 xung cực tính dương và theo chu kỳ lặp lại thí nghiệm.

Điện áp xung kích cao áp được tạo nên bởi máy phát xung chuẩn, thiết bị bao gồm bộ phận điều khiển, MBA tăng áp, chỉnh lưu cao áp, các tụ điện cao áp, điện trở nạp và bảo vệ, các cầu phóng điện và bộ phận đo lường.

Để đáp ứng nhu cầu sản xuất, đảm bảo chất lượng và giữ uy tín với khách hàng, các cơ sở sản xuất cáp cần phải đầu tư trang thiết bị thử nghiệm hợp chuẩn, đào tạo đội ngũ cán bộ có trình độ cao trong sản xuất, phải có quy trình công nghệ tốt phù hợp và có nguyên tắc nghiêm ngặt trong sản xuất.

Chương IX

VẬT LIỆU BÁN DẪN

9.1. NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG VỀ BÁN DẪN

Bán dẫn là nhóm các loại vật chất có điện dẫn điện tử mà trị số điện trở suất của chúng ở nhiệt độ bình thường nằm trong khoảng giữa điện trở suất của vật dẫn và điện môi. Trong bảng 9.1 trình bày trị số điện trở suất của vật dẫn, bán dẫn và điện môi khi phân loại vật chất kỹ thuật điện.

Bảng 9.1. Điện trở suất của các loại vật liệu kỹ thuật điện ở 20°C, điện áp một chiều

Loại vật liệu	$\rho, \Omega.cm$	Số bậc trị số của ρ	Dấu α_p trong khoảng nhiệt độ rộng	Loại điện dẫn
Dẫn điện	$10^{-6} \div 10^{-3}$	3	Dương	Điện tử
Bán dẫn	$10^{-4} \div 10^{10}$	14	âm	Điện tử
Điện môi	$10^{9} \div 10^{10}$	9	âm	Điện tử và ion

Ở chương I chúng ta đã thấy điện dẫn của vật liệu bán dẫn phụ thuộc nhiều vào năng lượng tác động bên ngoài, cũng như các tạp chất khác nhau. Với một lượng tạp chất cực nhỏ trong chất bán dẫn cũng đã làm thay đổi điện dẫn của chất này. Mặt khác điện dẫn của chất bán dẫn có thể thay đổi bằng sự tác động của nhiệt độ, độ chiếu sáng, điện trường, lực cơ học v.v... Chính vì vậy tính chất điều khiển được điện dẫn là cơ sở của nguyên lý làm việc các nhiệt điện trở (termisto), quang điện trở, điện trở phi tuyến (varisto), điện trở cảm biến v.v...

Vì các chất bán dẫn có hai loại điện dẫn là điện dẫn "điện tử" (n) và điện dẫn "điện tử - lỗ" (p) cho nên ta có thể tạo ra các sản phẩm bán dẫn với tiếp giáp p-n.

Khi có tiếp giáp p-n trong bán dẫn sẽ xuất hiện lớp chắn gây ra hiệu ứng nắn điện đối với dòng điện xoay chiều. Nếu có hai lớp tiếp giáp ghép với nhau sẽ tạo ra được hệ thống điều khiển được là tranzito.

Khả năng sử dụng mặt tiếp giáp p-n là cơ sở để áp dụng chất bán dẫn trong kỹ thuật điện. Nó được dùng làm chỉnh lưu công suất lớn cũng như công suất nhỏ, khuếch đại và phát sóng.

Các hệ thống bán dẫn có thể dùng để biến đổi các dạng năng lượng khác thành năng lượng điện trở với hiệu suất tương đương, đôi khi cao hơn các loại biến đổi khác. "pin mặt trời" với hiệu suất khoảng 11% và kiểu máy phát nhiệt điện là những ví dụ về sự biến đổi bán dẫn.

Dùng các bán dẫn có thể làm lạnh môi trường xuống vài chục độ. Gần đây một phát minh mới có giá trị đặc biệt là lớp sáng tái hợp ở điện áp thấp một chiều của mặt tiếp giáp điện tử lỗ để tạo ra nguồn sáng tín hiệu.

Ngoài những ứng dụng cơ bản kể trên, bán dẫn còn dùng làm sợi nung nóng (thanh silic), dùng để kích thích điếm catốt trong đèn inhitron để đo cường độ từ trường (hiệu ứng Hall) nó có thể làm bộ chỉ báo phóng xạ v.v...

Vật liệu bán dẫn sử dụng trong thực tế có thể chia ra bán dẫn đơn giản, bán dẫn hợp chất hoá học và bán dẫn phức tạp (bán dẫn gốm). Hiện tại đã nghiên cứu bán dẫn từ trường và bán dẫn lỏng.

Tất cả có khoảng mười loại bán dẫn đơn giản trong bảng 9.2. Các chất gécmani, silic và sêlen có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong kỹ thuật hiện đại.

Bán dẫn hợp chất hoá học là hợp chất của các nguyên tố thuộc các nhóm khác nhau trong bảng tuần hoàn Mendêleev tương ứng với dạng tổng quát $A^{IV} B^{IV}$ (SiC) $A^{III} B^{V}$ (In Sb, GaAs) và một số chất có thành phần phức tạp.

Vật liệu bán dẫn nhiều pha gồm các vật liệu có pha bán dẫn hay dẫn từ các bit silic, grafit ... có liên kết kiểu gốm hoặc kiểu khác như tirit, silít, v.v...

Các dụng cụ chế tạo bằng vật liệu bán dẫn có ưu điểm:

- a) Thời gian làm việc lâu dài;
- b) Kích thước và trọng lượng nhỏ;
- c) Cấu trúc đơn giản và chắc chắn, độ bền cơ tốt (chịu đựng được chấn động rung và va đập).
- d) Chỉnh lưu bằng bán dẫn thay thế đèn điện tử, không cần máy biến áp đốt, công suất tiêu thụ ít và có quán tính nhỏ.
- e) Có thể sản xuất hàng loạt theo dây truyền tự động đem lại hiệu quả kinh tế cao.

9.2. ĐIỆN DẪN CỦA BÁN DẪN

9.2.1. Các bán dẫn thuần

Theo lý thuyết phân vùng năng lượng của vật chất, bề rộng vùng cấm của ách chất bán dẫn có trị số khoảng $1 \div 3$ eV. Trong bảng 9.2 đưa ra số liệu bề rộng vùng cấm của một số chất bán dẫn.

Bảng 9.2: Các nguyên tố bán dẫn và bề rộng vùng cấm

Nguyên tố	Thuộc nhóm (bảng tuần hoàn Mendêlêev)	Bề rộng vùng cấm, eV.
Bo	III	1,1
Silic	IV	1,12
Giécmani	IV	0,72
Phốt pho	V	1,5
Asen	V	1,2
Lưu huỳnh	VI	2,5
Sêlen	VI	1,7
Têlua	VI	0,36
lốt	VII	1,25

Theo sơ đồ năng lượng của bán dẫn, tương ứng với nhiệt T nào đó ở vùng dẫn đã có một vài điện tử chuyển qua và tạo nên vùng hoá trị một số lỗ trống. Vì với mỗi một sự chuyển dời điện tử trong bán dẫn đồng thời tạo ra hai hạt mang điện trái dấu, nên tổng số các hạt mang điện sẽ bằng hai lần số điện tử ở vùng dẫn:

$$n_{oi} = p_{oi}; \quad n_{oi} + p_{oi} = 2 n_{oi} \quad (9-1)$$

chỉ số i ở nồng độ điện tử và lỗ trống ký hiệu các hạt mang điện của bán dẫn thuần. Trong trường hợp này, điện dẫn suất bằng:

$$\gamma = e \cdot n_{oi} \cdot k_n + e p_{oi} \cdot k_p \quad (9-2)$$

Do có cả quá trình kích thích và kết hợp, ở một nhiệt độ xác định nồng độ các hạt mang điện sẽ được cân bằng. Nồng độ điện tử sẽ là:

$$n_{oi} = 2N_{td} e^{-\frac{\Delta w}{2KT}} \quad (9-3)$$

và nồng độ lỗ trống sẽ bằng:

$$p_{oi} = 2N_{lt} \cdot e^{+\frac{\Delta w}{2KT}} \quad (9-4)$$

Ở đây, ΔW -bề rộng vùng cấm của bán dẫn; N_{LD} , N_{HT} - số mức trong đơn vị thể tích của bán dẫn trong vùng tự do (vùng dẫn) và vùng hoá trị. Hệ số 2 - chỉ khả năng mỗi mức có thể có hai điện tử.

Độ linh hoạt của các điện tử và lỗ trống trong biểu thức (9-2) không bằng nhau. Khi chuyển động trong trường của mạng tinh thể thì điện tử và lỗ trống có quán tính khác nhau, nghĩa là chúng có khối lượng hiệu dụng m_n và m_p khác nhau. Thông thường $m_n < m_p$. Từ đó ta thấy rằng điện dẫn thuần của bán dẫn có đặc tính điện tử trội hơn một chút.

9.2.2. Bán dẫn tạp

Đa số các dụng cụ bán dẫn sử dụng trong kỹ thuật là bán dẫn tạp chất. Vì vậy trong thực tế chất bán dẫn mà nồng độ các hạt mang điện chỉ có giá trị đủ lớn ở nhiệt độ càng cao càng tốt, nghĩa là bán dẫn có vùng cấm đủ lớn là loại có ý nghĩa quan trọng.

Trong khoảng độ làm việc, nguồn cung cấp hạt dẫn điện tự do là tạp chất. Nếu các tạp chất trong chất bán dẫn thuần là các nguyên tử kim loại, thì các tạp chất trong chất bán dẫn hợp nhất hoá học không phải chỉ là nguyên tử khác loại mà còn là nguyên tử thừa của chính nguyên tố có trong thành phần hợp thức.

Ngoài ra tất cả các khuyết tật trong mạng tinh thể: nút khuyết, nguyên tử hay ion nằm giữa các nút, biến vị hay lệch phát sinh khi biến dạng dẻo tinh thể, khe nút vi mô v.v... cũng được coi như tạp chất.

Nếu các nguyên tử tạp chất nằm ở nút của mạng tinh thể nó được gọi là tạp chất thế, nếu nằm giữa các nút là tạp chất xen kẽ.

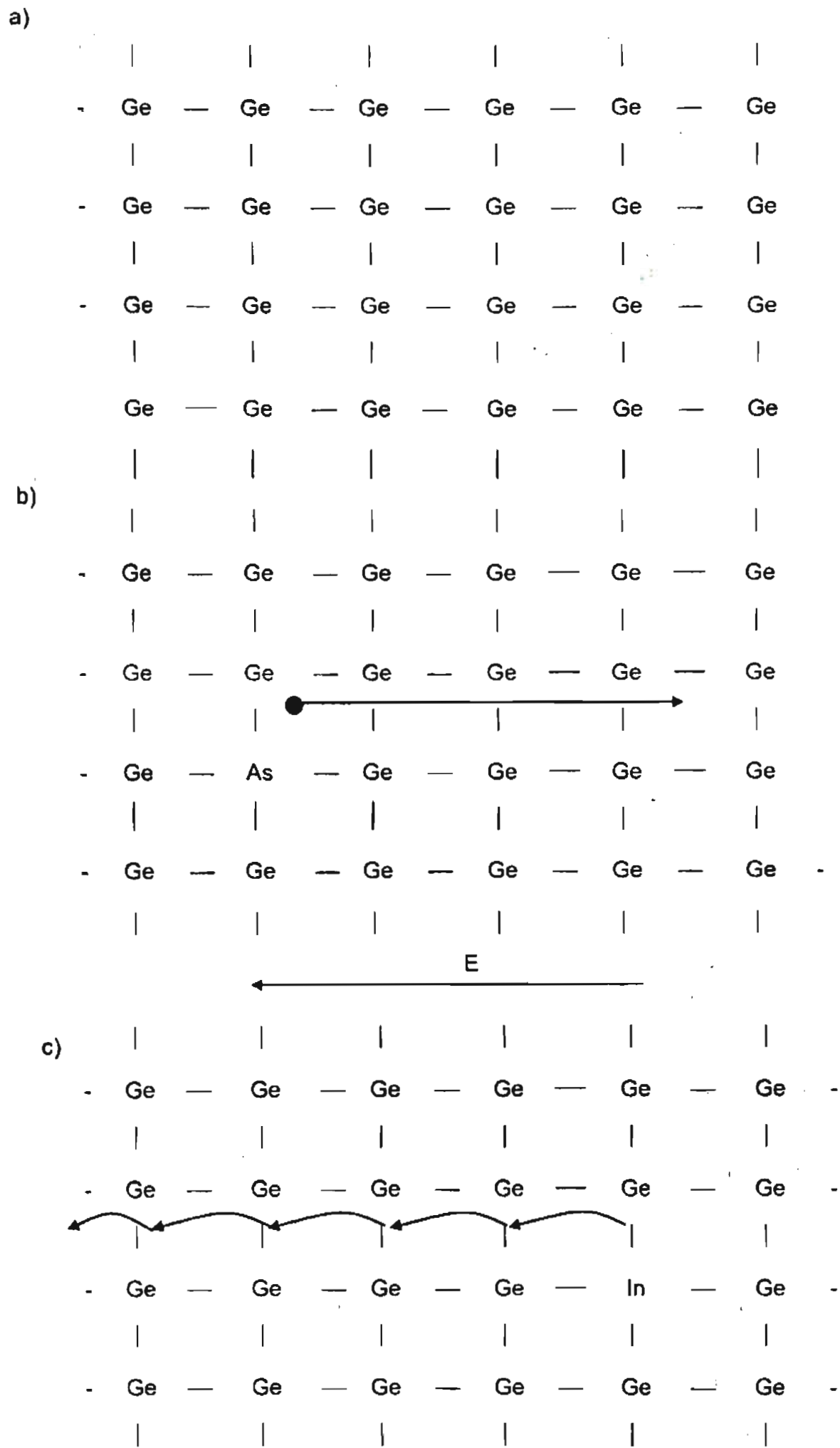
Những tạp chất có thể đưa điện tử và dải dẫn hoặc lấy điện tử từ vùng hoá trị của chất bán dẫn - đây là tạp chất cho và nhận.

Khi không có năng lượng bên ngoài tác động (nhiệt, ánh sáng) các mức tạp chất ở gần đáy dải dẫn. Năng lượng kích hoạt các nguyên tử tạp chất nhỏ hơn bề rộng vùng cấm của bán dẫn, vì thế khi đốt nóng các điện tử tạp chất sẽ nhảy lên dải dẫn trước khi các điện tử của chất bán dẫn bị kích thích. Các điện tích dương của nguyên tử tạp chất ở xa nhau vẫn bị cách ly, nghĩa là chưa thể đi quẩn trong mạng tinh thể để tham gia dẫn điện được. Bán dẫn có tạp chất như vậy có nồng độ điện tử lớn hơn nồng độ lỗ gọi là bán dẫn loại n, còn tạp chất đưa điện tử vào dải dẫn gọi là tạp chất cho.

Trong trường hợp ngược lại, tạp chất có thể có các mức không đầy nằm trong vùng cấm nhưng gần vùng phía trên của dải hoá trị của bán dẫn gốc. Kích thích

nhiệt trước hết sẽ đưa điện tử ở vùng hoá trị lên các mức tự do của các tạp chất này. Vì giữa các nguyên tử của tạp chất có khoảng cách lớn nên các điện tử được đưa lên mức của tạp chất, không tham gia vào dẫn điện được. Bán dẫn này có nồng độ lỗ lớn hơn nồng độ các điện tử được chuyển từ vùng hoá trị lên dải dẫn và gọi là bán dẫn loại p. Tạp chất chiếm điện tử từ dải hoá trị của bán dẫn gốc gọi là tạp chất nhận.

Hạt mang điện có nồng độ lớn hơn trong chất bán dẫn gọi là hạt mang điện cơ bản, còn loại hạt nồng độ nhỏ hơn là



Hình 9-1. Sơ đồ mạng tinh thể của giecmani:

- a) không có tạp chất;
- b) có tạp chất cho asen;
- c) có tạp chất nhận indium.

không cơ bản. Như thế, trong bán dẫn loại n thì điện tử là hạt mang điện cơ bản còn lỗ là mang điện không cơ bản. Trong bán dẫn loại p thì hạt dẫn điện cơ bản là lỗ, còn hạt không cơ bản là điện tử. Điện dẫn bán dẫn tạp đòi hỏi năng lượng tác động nhỏ hơn bán dẫn thuần (0,01-0,10 eV), vì thế có thể tạo ra nó ở nhiệt độ thấp hơn so với bán dẫn thuần.

9.2.3. Tạp chất thế

Giécmani và silíc là các nguyên tố thuộc nhóm IV trong bảng tuần hoàn Mendêlêev có cấu trúc kim cương, mỗi nguyên tử được bao quanh bởi bốn nguyên tử lân cận, cấu trúc có liên kết cộng hoá trị.

Để giải thích vai trò của nguyên tử thay thế trong mạng tinh thể của giécmani, người ta thay thế mạng không gian ba chiều thực bằng mạng phẳng như trên hình 9-1,a. Điện tử hoá trị gắn chặt vào nguyên tử của nó và không di động trong mạng tinh thể. Nếu ở một nút trong mạng của chất bán dẫn nào đó (ở trường hợp này là giécmani) có nguyên tử lạ (khác về bản chất hoá học và hoá trị) thì hệ thống liên kết hoá trị ở nút đó của tinh thể bị phá hoại. Có hai trường hợp có thể xảy ra như trên hình 9-1,b và 9-1,c.

Trên hình 9-1,b, mạng tinh thể giécmani có tạp chất asen - nguyên tố thuộc nhóm V. Ở quỹ đạo ngoài cùng của nó có 5 điện tử. Trong nút mạng tinh thể Ge bốn điện tử của asen tham gia vào liên kết hoá trị, điện tử thừa còn lại liên kết yếu với hạt nhân của nó, dưới tác dụng nhiệt nó chuyển động tự do trong tinh thể, nếu có điện trường bên ngoài tác động nó sẽ chuyển động có hướng (điện dẫn loại n).

Nguyên tử tạp chất mất điện tử thành ion dương không di động và gắn chặt tại một nút trong mạng của bán dẫn. Trong trường hợp này, nguyên tố ở nhóm V trong bảng tuần hoàn là tạp chất cho.

Trên hình 9-1,c trình bày mạng tinh thể giécmani có nguyên tố tạp chất ở nhóm III là indi. Quỹ đạo ngoài cùng của nó có ba điện tử hoá trị. Tạp chất nhóm III trong mạng giécmani tạo nên lỗ trống, khi nó mượn một điện tử của một trong số các nguyên tử giécmani lân cận. Nguyên tử tạp chất thu điện tử thành ion âm, nó cố định trong mạng của bán dẫn. Lỗ trống có thể chuyển động tự do trong tinh thể. Khi có điện trường ngoài điện tử sẽ được lấy từ nguyên tử giécmani bên trái (như hình 9-1,c), nguyên tử này trở thành ion dương và nó lại chiếm điện tử của nguyên tử tiếp theo, nghĩa là lỗ trống chuyển động từ phải sang trái (điện dẫn loại p).

Thực ra trong trường hợp này cũng chỉ có điện tử chuyển động, nhưng cuộc nhảy tiếp sức của chúng từ nguyên tử này sang nguyên tử khác có thể miêu tả một cách hình thức như là chuyển động của một lỗ, chuyển dịch theo hướng ngược với

hướng của điện tử, nghĩa là theo hướng của trường bên ngoài. Các nguyên tử ở nhóm III trong bảng tuần hoàn thuộc loại tạp chất nhận.

Mối tương quan về kích thước của các nguyên tử đóng vai trò quan trọng trong kết quả thay thế. Ví dụ như, nếu nguyên tử tạp chất Pb với kích thước lớn hơn nguyên tử In mà nó thay thế trong mạng In Sb, thì Pb là tạp chất cho, nhưng thay thế nguyên tử Sb trong mạng Al Sb, nó là tạp chất nhận. Sự thay thế của các nguyên tử trong thành phần hợp chất bán dẫn bằng các nguyên tử khác (cũng trong các nhóm III và V) không gây sự biến đổi rõ rệt về điện dẫn của các bán dẫn này.

9.2.4. Tạp chất xen kẽ

Loại điện dẫn của bán dẫn phụ thuộc vào kích thước và tính điện âm của nguyên tử tạp chất được đưa vào khoảng giữa các nút mạng bán dẫn thuộc nhóm IV. Thực nghiệm cho thấy rằng, trái với điều đã nói ở trên liti hoá trị I (nhóm I) đưa vào giữa các nút của mạng gécmani sẽ là tạp chất cho, còn ôxy (nhóm VI) thì lại là tạp chất nhận. Việc đưa nguyên tử Li có kích thước lớn vào giữa các nút sát nhau của mạng gécmani chỉ có thể thực hiện sau khi ion hoá nó do sự liên kết yếu điện tử hoá trị. Điện tử này dễ bứt khỏi nguyên tử trong môi trường có hằng số điện môi lớn. Sự tạo thành các ion liti kích thước nhỏ hơn có thể đưa vào giữa các nút sát nhau, còn điện tử tự do tạo nên điện dẫn loại n. Nếu đưa vào giữa các nút các nguyên tử ôxy có kích thước tương đối nhỏ và tính điện âm lớn thì chúng chiếm điện tử của các nguyên tử bán dẫn, do đó, tạo thành điện dẫn loại p.

Nếu dưới ảnh hưởng của tác dụng năng lượng, nguyên tử Si hay gécmani bị di chuyển vào khoảng cách giữa các nút thì chúng tạo thành hai mức tạp chất: mức cho của nguyên tử ngoài nút và mức nhận của nút rỗng.

Nguyên tử kim loại chỉ có thể đưa vào giữa các nút khít nhau của mạng ion trong trường hợp kích thước của chúng được giảm rất nhiều bằng các loại bột điện tử lớp ngoài cùng. Các điện tử ấy tạo nên điện dẫn loại n.

Các ion của nhiều á kim có bán kính lớn không thể đưa vào giữa các nút ion của hợp chất được.

9.2.5. Phương pháp xác định loại điện dẫn

Hai loại điện dẫn của bán dẫn là những quá trình vật lý có thực và dễ dàng thấy rõ trong thực nghiệm. Trên hình 9-2a, giải thích được thực chất phương pháp xác định loại điện dẫn (p hay n) của bán dẫn theo sự biến đổi dấu sức điện động ngang của hiệu ứng Hall. Nếu đặt phiến bán dẫn trong từ trường ngang ngoài H và cho theo phương dọc của nó hiệu điện thế tạo nên điện trường E thì do sự chuyển

dịch của các phân tử mang điện tới một trong các mép phiến làm xuất hiện suất điện động (s.d.đ) ngang, đo bằng vonmet V (hướng chuyển dịch của các điện tích xác định theo quy tắc bàn tay trái, tương ứng với chiều quy ước của dòng điện). Từ hình 9-2,a thấy rằng khi thay đổi loại điện dẫn, kim vonmet sẽ đổi chiều.

Phương pháp khác để xác định loại điện dẫn là đốt một đầu bán dẫn cần thử như trên hình 9-2,b. Nếu bán dẫn loại p, thì ở đầu bị đốt vì có nhiệt năng ngoài nên một số lớn các điện tử sẽ đi từ vùng đáy sang mức nhận của tạp chất. Từ đầu nóng bắt đầu có sự khuếch tán sang đầu lạnh là nơi điện tử tự do ít hơn, do đó đầu nóng tích điện dương, đầu lạnh tích điện âm.

Biểu thức sau đây đúng đối với bán dẫn có một loại dẫn điện (n hay p):

$$\gamma = e.n_0.k_n \text{ hay } \gamma = e.p_0.k_p \quad (9-5)$$

Nồng độ hạt dẫn điện và độ linh hoạt là những đặc tính của bán dẫn. Đo trị số điện dẫn chỉ xác định được tích số của hai tham số này. Để tìm từng tham số có thể ứng dụng hiệu ứng Hall. Sự chuyển dịch của hạt dẫn điện theo hướng ngang trong bán dẫn chỉ ngừng khi lực Loren cân bằng với lực điện trường ngang phát sinh khi điện tích chuyển dịch:

$$e.v_{th}.B = e.E_x \quad (9-6)$$

$$E_x.X = U_x \quad (9-7)$$

$$S = x.h \quad (9-8)$$

Sử dụng các biểu thức từ phần trên $I = n_0.S.V_{th}.e$ và các công thức (9-6), (9-7) và (9-8) ta có:

$$U_x = \frac{1}{e.n_0} \cdot \frac{I.B}{h} = \chi \cdot \frac{I.B}{h} \quad (9-9)$$

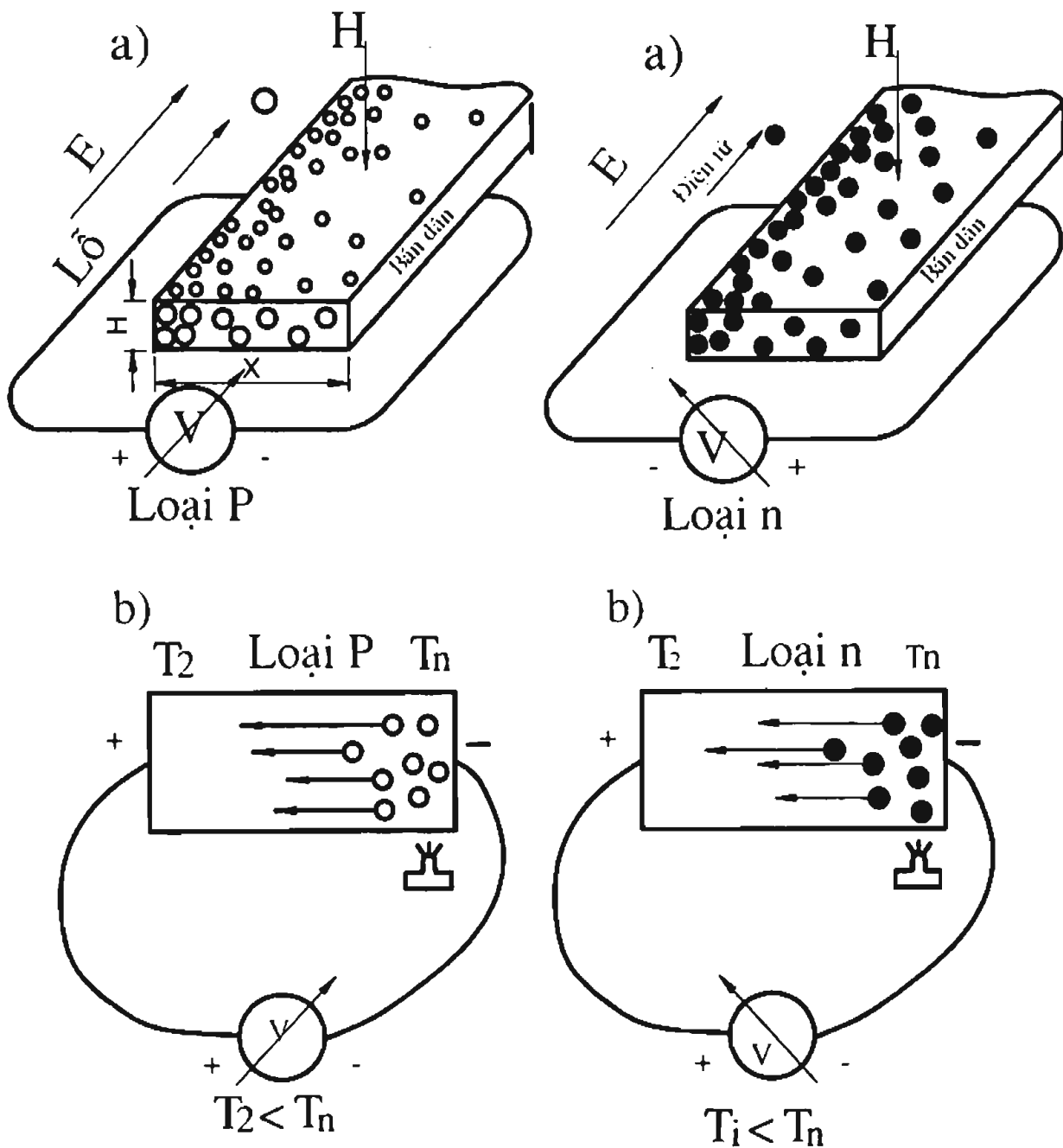
Sức điện động ngang U_x ; dòng điện I ; từ cảm B và bề dày tấm bán dẫn h được xác định bằng cách đo, rồi từ đó tính ra hệ số Hall χ .

Giá trị chính xác hơn của hệ số Hall χ đối với bán dẫn mạng nguyên tử có thể tính bằng công thức sau:

$$\chi = -\frac{3\pi}{8} \cdot \frac{1}{en_0} \text{ [cm}^3\text{/c]} \quad (9-10)$$

Nếu ta sử dụng phương trình (9-10) và (9-5) có thể tìm được trị số nồng độ và độ linh hoạt của hạt dẫn điện trong bán dẫn.

Các công thức nêu ở trên phù hợp với bán dẫn loại n hay p, trong đó nồng độ của hạt dẫn điện không cơ bản rất ít so với nồng độ hạt cơ bản. Nếu nồng độ hạt không cơ bản bắt đầu ảnh hưởng rõ rệt đến chuyển động của các hạt trong bán dẫn đặt trong từ trường, thì cần kể đến cả hai loại hạt dẫn điện. Hệ số Hall lúc đó sẽ phức tạp hơn.



Hình 9-2. Các phương pháp xác định loại điện dẫn của bán dẫn:

a) nhờ hiệu ứng Hall; b) nhờ đốt một đầu bán dẫn.

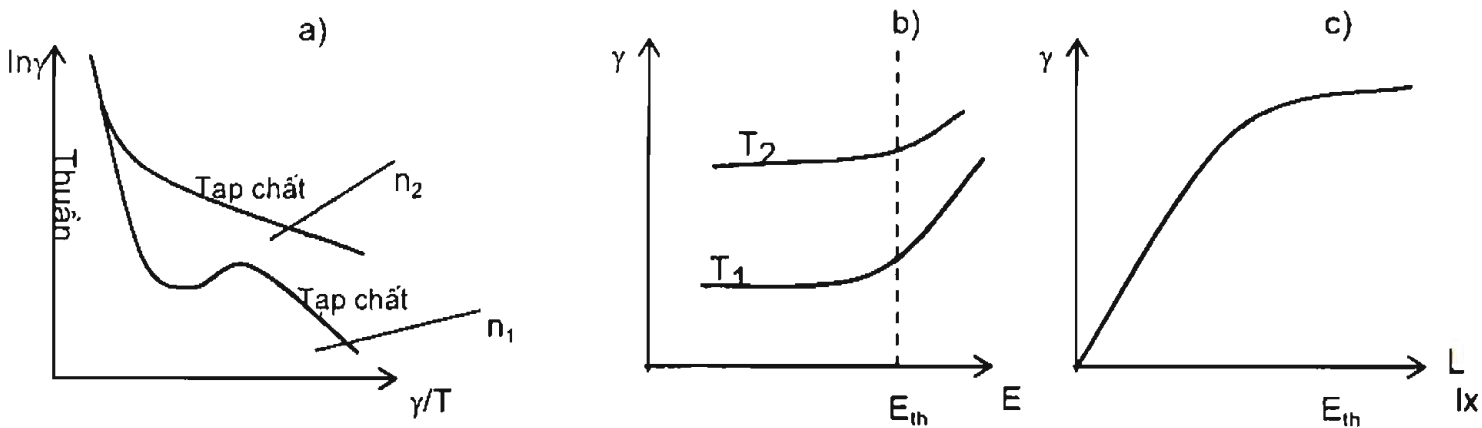
$$\chi = -\frac{3\pi}{8e} \cdot \frac{n_o \left(\frac{U_n}{U_p} \right)^2 - P_o}{\left(n_o \frac{U_n}{U_p} + P_o \right)^2} \quad (9-11)$$

Hiệu ứng Holl không chỉ quan trọng như một phương pháp để xác định đặc tính của vật liệu bán dẫn mà còn có tác dụng quan trọng đối với nguyên lý làm việc của hàng loạt dụng cụ bán dẫn dùng rộng rãi trong kỹ thuật, ví dụ, để đo cường độ từ trường, nhân liên tiếp hai đại lượng và các mục đích khác nữa.

9.2.6. Ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài đến điện dẫn của chất bán dẫn

Điện dẫn của bán dẫn tăng khi nhiệt độ tăng. Sự tăng điện dẫn suất của bán dẫn thực tế được gây ra bởi sự tăng nồng độ hạt dẫn điện cùng với nhiệt độ, vì độ linh hoạt của các phân tử hoặc tăng yếu ở nhiệt độ thấp hoặc giảm đi một ít ở vùng nhiệt độ cao.

Đường cong đặc trưng quan hệ của điện dẫn suất với nhiệt độ cho trên hình 9-3,a. Đoạn thẳng trong vùng nhiệt độ thấp đặc trưng cho điện dẫn tạp chất với nồng độ hạt dẫn điện khác nhau, sau đó có đoạn quá độ và tiếp theo ở vùng nhiệt độ cao xuất hiện độ dẫn điện của bản thân chất bán dẫn. Dựa vào hình vẽ ta có phương trình sau:



Hình 9-3. Quan hệ giữa điện trở suất của bán dẫn với:

a) nhiệt độ; b) với cường độ điện trường ở $T_2 > T_1$; c) với độ chiếu sáng.

$$\ln \gamma = \ln A_1 - b \frac{1}{T}$$

Từ đó:
$$\gamma = A_1 e^{-\frac{b}{T}} \quad (9-12)$$

Ở điểm gãy giá trị hằng số A_1 và b thay đổi. Lý thuyết điện dẫn của chất bán dẫn cho thấy các đơn tinh thể loại giécmani và Si có hằng số:

$$b = \frac{W}{2k} \quad (9-13)$$

Ở đây: W - năng lượng hoạt tính; k - hằng số Bônzoman.

Biến đổi biểu thức 9-12 ta có điện trở suất của bán dẫn phụ thuộc vào nhiệt độ có dạng như sau:

$$\rho = A.e^{w/2kT} \quad (9-14)$$

Sử dụng các số liệu thực nghiệm và các đường cong hình 9-3,a ta sẽ tính được năng lượng hoạt tính W của điện dẫn bán dẫn. Khi nhiệt độ tăng cao trong vùng điện dẫn riêng theo biểu thức ta có thể xác định được bề rộng của vùng cấm (ΔW vật liệu bán dẫn đó).

Hệ số nhiệt của điện trở suất chất bán dẫn được tính:

$$TK_{\rho} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dT} = -\frac{1}{Ae^{b/T}} \cdot Ae^{b/T} \cdot b \frac{1}{T^2} = -\frac{b}{T^2} \quad (9-15)$$

Như vậy, TK_{ρ} không phải là hằng số, khi nhiệt độ tăng thì ρ giảm và nó có quan hệ tuyến tính với năng lượng hoạt tính của bán dẫn ($b \approx w$).

Điện dẫn của bán dẫn phụ thuộc vào cường độ điện trường bên ngoài (xem hình 9-3,b). Đối với nhiều bán dẫn quan hệ giữa điện dẫn suất với cường độ điện trường có thể biểu diễn bằng công thức:

$$\gamma = \gamma_0 e^{\beta\sqrt{E}} \quad (9-16)$$

Ở đây: γ_0 - điện dẫn suất bán dẫn khi $E < E_{th}$;

β - hệ số đặc trưng cho từng bán dẫn.

Khi điện trường thấp ($E < E_{th}$) quan hệ $\gamma = f(E)$ tuân theo định luật Ôm và điện dẫn không phụ thuộc vào cường độ trường, khi cường độ trường lớn, điện dẫn bắt đầu tăng nhanh theo quy luật hàm số mũ dẫn tới phá huỷ cấu trúc của bán dẫn.

Trên hình 9-3,c cho quan hệ của điện dẫn suất của bán dẫn với độ chiếu sáng. Đường cong này tuân theo phương trình:

$$\gamma = B \cdot L^x \quad (9-17)$$

Ở đây: B - hằng số đặc trưng cho mỗi bán dẫn; L - độ chiếu sáng; x - trị số nằm trong khoảng: $0 < x < 1$.

Các lượng tử ánh sáng nhìn thấy được có năng lượng từ 1,5 đến 3eV, vì vậy chúng có khả năng bứt điện tử ở vùng đầy sang vùng điện dẫn. Quang dẫn là hàm số của tần số bức xạ và phụ thuộc vào môi trường xung quanh. Khi nhiệt độ giảm, độ nhạy của bán dẫn đối với chiếu sáng sẽ tăng vì khi đó nhân tố nhiễu loạn sự giải phóng các điện tử được giảm bớt đi.

Sự biến dạng cơ cũng làm điện dẫn suất của bán dẫn biến đổi, vì sự tăng hay giảm (kéo hay nén) khoảng cách giữa các nguyên tử làm thay đổi nồng độ và độ linh hoạt của các hạt dẫn điện.

Đại lượng đặc trưng cho sự biến đổi điện dẫn suất hay điện trở suất của bán dẫn khi có biến dạng cơ học gọi là độ nhạy biến dạng:

$$d\rho = \frac{\rho}{L} \frac{\Delta L}{\rho} \quad (9-18)$$

nó là tỷ số biến đổi tương đối của điện trở suất bán dẫn với biến dạng tương đối theo hướng đã cho.

9.3. TIẾP GIÁP ĐIỆN TỬ - LỖ TRỐNG

Khi dòng điện chạy qua hai vùng tiếp xúc của các chất bán dẫn có điện dẫn lỗ và điện dẫn điện tử sẽ có hiệu ứng điện dẫn một chiều.

Nguyên lý điện dẫn một chiều có thể giải thích theo hình 9-4. Trong hình vẽ trình bày phiến bán dẫn có một nửa là bán dẫn loại p, còn nửa kia là loại n. Từng nửa một hoàn toàn trung hoà vì có sự cân bằng giữa các điện tích di động và đứng yên. Để đơn giản trên hình không vẽ các điện tích đứng yên. Giới hạn giữa các vùng p và n gọi là tiếp giáp p-n.

Vì điện tử tự do trong vùng n lớn hơn vùng p, còn nồng độ lỗ thì ngược lại, cho nên dưới tác dụng nhiệt, một số điện tử khuếch tán sang vùng p, còn một số lỗ sang vùng n. Lúc này trong vùng ở gần tiếp giáp tích điện âm còn vùng n ở gần tiếp giáp tích điện dương và tạo nên trường khuếch tán (hình 9-4,a) chiều của nó xác định bởi dấu của các điện tích cố định. Điện trường làm ngừng sự chuyển dịch tiếp theo của các điện tích di động, nghĩa là khi không có điện trường ngoài nó sẽ tạo nên lớp chắn dày cỡ 10^{-5} cm.

Nếu đặt điện áp bên ngoài tạo nên điện trường trùng với trường khuếch tán, thì tiếp giáp sẽ "khóa" và dòng điện sẽ không chạy qua được (hình 9-4,b). Khi thay đổi cực tính điện áp ngoài, trường ngoài có chiều ngược với trường khuếch tán, tiếp giáp bão hoà điện tích, điện trở của nó giảm đột ngột, nghĩa là sẽ có dòng điện một chiều trị số lớn chạy qua nó (hình 9-4,c).

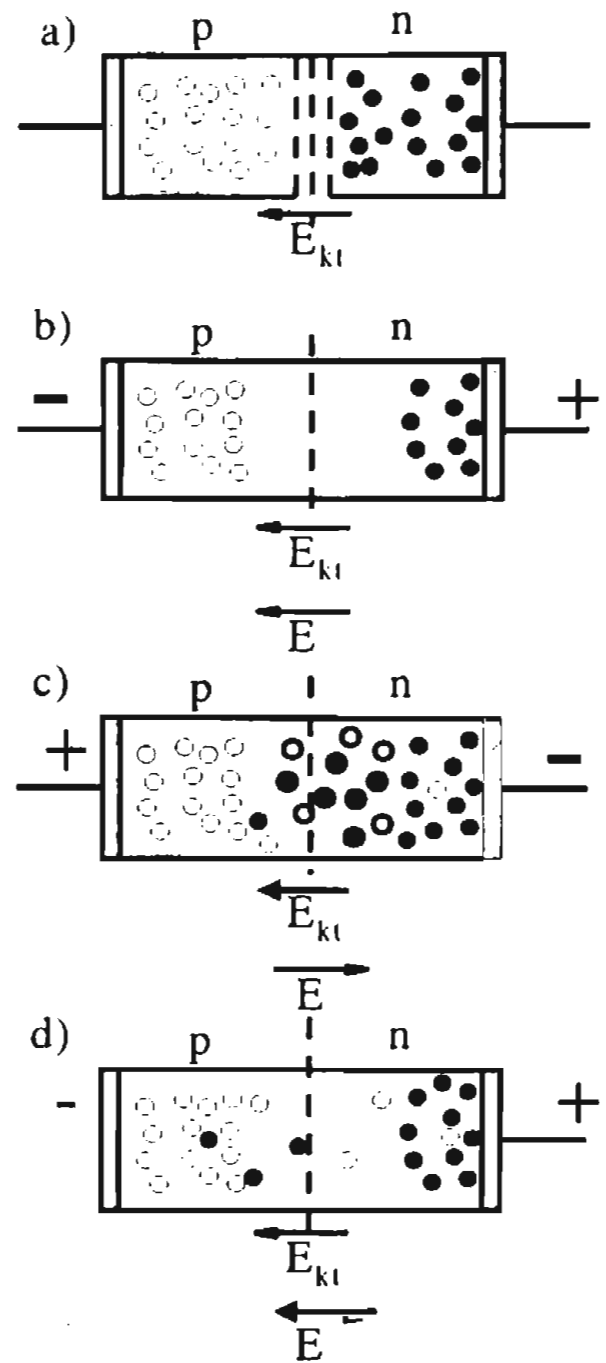
Quá trình trên xảy ra đối với các chỉnh lưu lý tưởng. Trong chỉnh lưu thực tế tại vùng p luôn có một lượng nhỏ các hạt dẫn điện không cơ bản là các điện tử tự do, còn lại vùng n cũng có một vài lỗ trống là những hạt dẫn điện không cơ bản.

Trên hình 9-4,b có vẽ trường hợp khi tiếp giáp khoá mà vẫn có dòng điện nhỏ chạy qua do chuyển động của các hạt dẫn điện không cơ bản.

Tính chất của tiếp giáp p - n có thể sử dụng để chế tạo các chỉnh lưu bán dẫn điện lực, đèn 2 cực (điốt), tế bào quang điện, tranzito và các dụng cụ khác.

Khi chiếu ánh sáng lên tiếp giáp p-n như trên hình 9-5 các lưỡng tử phát xạ năng lượng $h\nu$ đi qua điện cực kim loại bán trong suốt (1) tới lớp mỏng (2) bán dẫn loại n. Tại đây năng lượng của chúng bị tiêu hao và tạo ra điện tử tự do và lỗ trống. Nếu có trường khuếch tán nó sẽ kéo các lỗ qua lớp chắn (3) vào bán dẫn loại p (4). Như thế điện cực (5) tích điện dương, còn điện cực (1) tích điện âm. Hệ thống này gọi là tế bào quang điện bán dẫn có lớp chắn.

Tranzito (triốt bán dẫn) là phiến bán dẫn trong đó giữa hai vùng bán dẫn cùng loại điện dẫn có vùng điện dẫn khác loại. Từ ba vùng này có ba đầu ra mang tên: đầu vào (cực phát), đầu ra (cực góp) và cực chung (cực gốc). Dòng điện trong mạch góp có thể điều khiển bằng cách biến đổi điện áp và dòng điện ở mạch phát, nghĩa là có hiện tượng tương tự với sự phụ thuộc của dòng anốt của đèn điện tử ba cực vào điện áp lưới. Nhưng điện trở vào của triốt tinh thể nhỏ hơn hàng trăm lần điện trở đầu ra (mạch phụ tải), nghĩa là ngược với quan hệ của đèn điện tử thông thường. Hiện nay người ta chia ra một số loại triốt bán dẫn, trong loại triốt mặt cơ bản (n - p - n) hay (p-n- p).

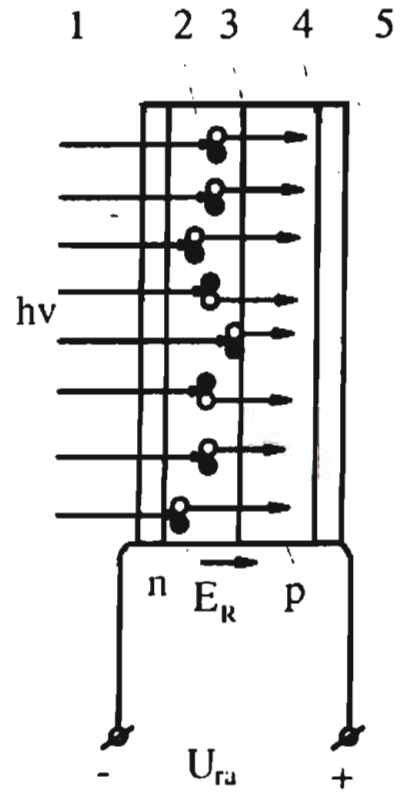


Hình 9-4. Nguyên lý chỉnh lưu dòng điện xoay chiều bằng tiếp giáp p - n.

- a) tiếp giáp lý tưởng không có điện áp ngoài (đường chấm chỉ lớp chắn);
- b) tiếp giáp p-n lý tưởng "khoá" (không có dòng điện);
- c) qua tiếp giáp có dòng điện "thuận" trị số lớn;
- d) tiếp giáp p-n thực khi "khoá" có dòng điện ngược do các hạt không cơ bản.

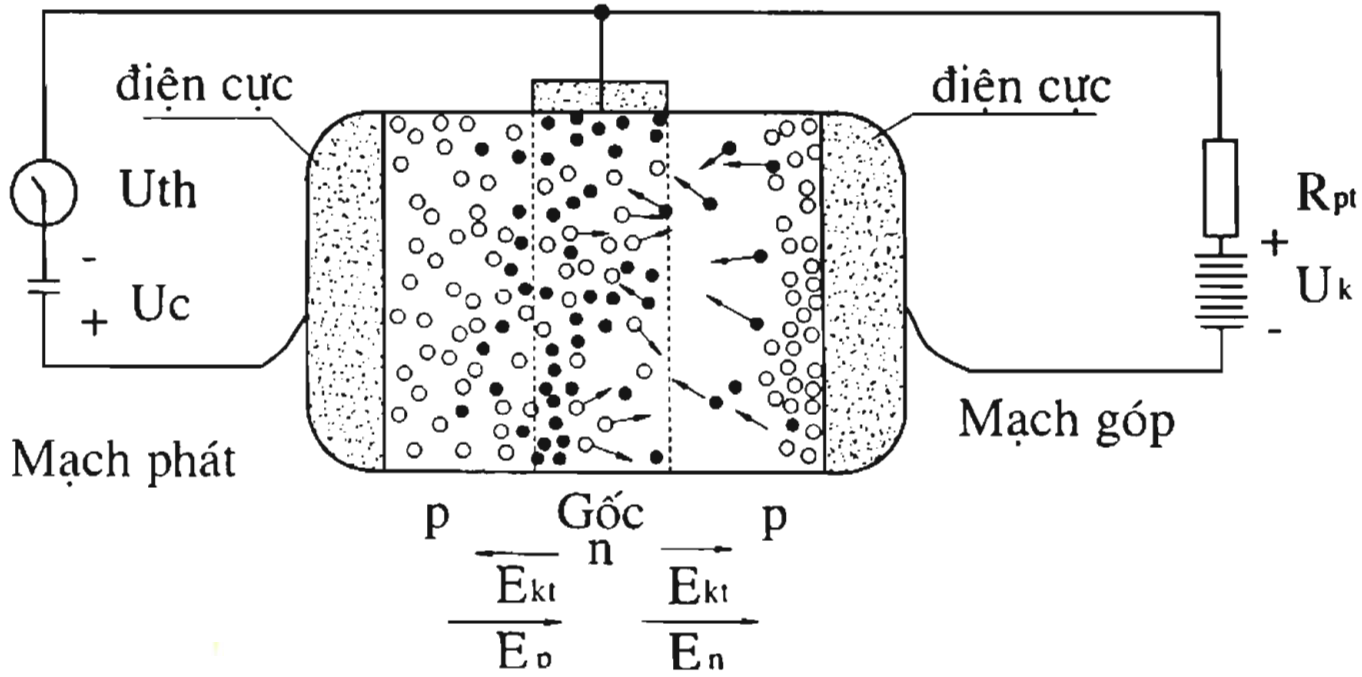
Trên hình 9-6 vẽ sơ đồ nguyên lý triot p - n - p. Bán dẫn loại n như giécmani được làm nóng chảy giữa hai lớp kim loại, ví dụ: indi (có hoá trị thấp hơn bán dẫn chính), tạo thành vùng điện dẫn loại p, và các điện cực tiếp xúc.

Trong mạch góp mắc vào chiều khoá của tiếp giáp p - n điện trở phụ tải R_{pt} . Dòng điện chạy trong mạch này tạo bởi các phân tử dẫn điện không cơ bản là các lỗ có trị số nhỏ trong miền gốc. Mạch điện cực có pin và nguồn tín hiệu được mắc vào chiều dòng điện thuận của tiếp giáp p - n (bên trái hình 9-6). Vì vậy cực phát đưa vào vùng gốc một số lỗ phụ, một phần các lỗ này không kịp kết hợp với các điện tử vì mật độ điện tích chuyển động trong bán dẫn nhỏ. Các lỗ này trong "thời gian sống" dưới tác dụng của khuếch tán nhiệt có thể chạy qua vùng gốc mỏng nhờ điện trường cực góp - qua



Hình 9-5. Sơ đồ hình thành sức quang điện động khi chiếu sáng tiếp giáp p-n.

- 1- điện cực kim loại bán trong suốt;
- 2- bán dẫn loại n; 3- lớp chắn;
- 4- bán dẫn loại p; 5- điện cực kim loại.



Hình 9-6. Sơ đồ nguyên lý triot mặt p-n-p.

tiếp giáp p-n cực góp và khi điện áp cực góp không đổi nó sẽ làm biến đổi trị số dòng điện trong mạch. Như vậy việc điều khiển dòng điện mạch góp được thực hiện nhờ dòng điện ở mạch phát. Bán dẫn với các loại điện dẫn khác nhau có thể dùng để biến đổi trực tiếp nhiệt năng thành điện năng và để làm mát, vì ở chỗ giáp mỗi hai bán dẫn khác loại khi có dòng điện chạy qua, nó có thể thu nhiệt hay phát nhiệt tùy thuộc vào chiều dòng điện.

Trong các thiết bị bán dẫn biến đổi nhiệt năng thành điện năng, hiệu suất có thể đạt tới 10% và cao hơn tùy thuộc vào nhiệt độ, còn sự giảm nhiệt độ mỗi hàn nguội so với mỗi hàn nóng có thể tới vài chục độ.

9.4. MỘT SỐ NGUYÊN TỐ CÓ TÍNH CHẤT BÁN DẪN DÙNG TRONG KỸ THUẬT

9.4.1. Giécmani

Kết quả điều chế hoá học nguyên liệu ban đầu cho ta tetraclorua giécmani, tiếp tục điều chế thành dioxyt giécmani (GeO_2) dưới dạng bột trắng. Dioxyt giécmani được khử trong lò hydro ở nhiệt độ $650-700^\circ\text{C}$ thành giécmani có dạng bột xám.

Trong nhiều trường hợp giécmani được điều chế trực tiếp từ GeCl_4 bằng cách phân tích hợp chất này ở nhiệt độ cao trong hơi kẽm. Bột giécmani được rửa trong dung dịch axit và đúc thành thỏi. Giécmani thỏi dùng làm nguyên liệu để điều chế giécmani đặc biệt tinh khiết bằng phương pháp nóng chảy phân vùng hay điều chế trực tiếp đơn tinh thể bằng phương pháp kéo nóng chảy.

Để sản xuất dụng cụ bán dẫn, thỏi giécmani được cắt thành phiến mỏng, bề mặt của các phiến được tẩy rửa để loại trừ các khuyết tật lúc gia công.

Những tính chất vật lý của giécmani cho trong bảng 9.3.

Trên hình 9-7 vẽ quan hệ điện dẫn suất của Ge vào nhiệt độ ứng với các lượng tạp chất asen khác nhau. Từ hình vẽ có thể thấy được các vùng nhiệt độ với thành phần điện dẫn riêng phần và điện dẫn tạp chất của giécmani. Ngoài ra cũng thấy được là khi nồng độ tạp chất lớn (đường 6) sẽ có bán dẫn thoái hoá.

Sự phụ thuộc của quang điện dẫn vào bước sóng của giécmani cho trên hình 9-8. Quang điện dẫn lớn nhất đạt được ở bước sóng $1,3 - 1,5 \mu\text{m}$ trong vùng tia hồng ngoại, khi bước sóng lớn, năng lượng lưỡng tử không đủ để kích thích quang điện dẫn và giécmani cho dải sóng điện từ này đi qua hoàn toàn.

Bảng 9.3. Tính chất của Ge và Si

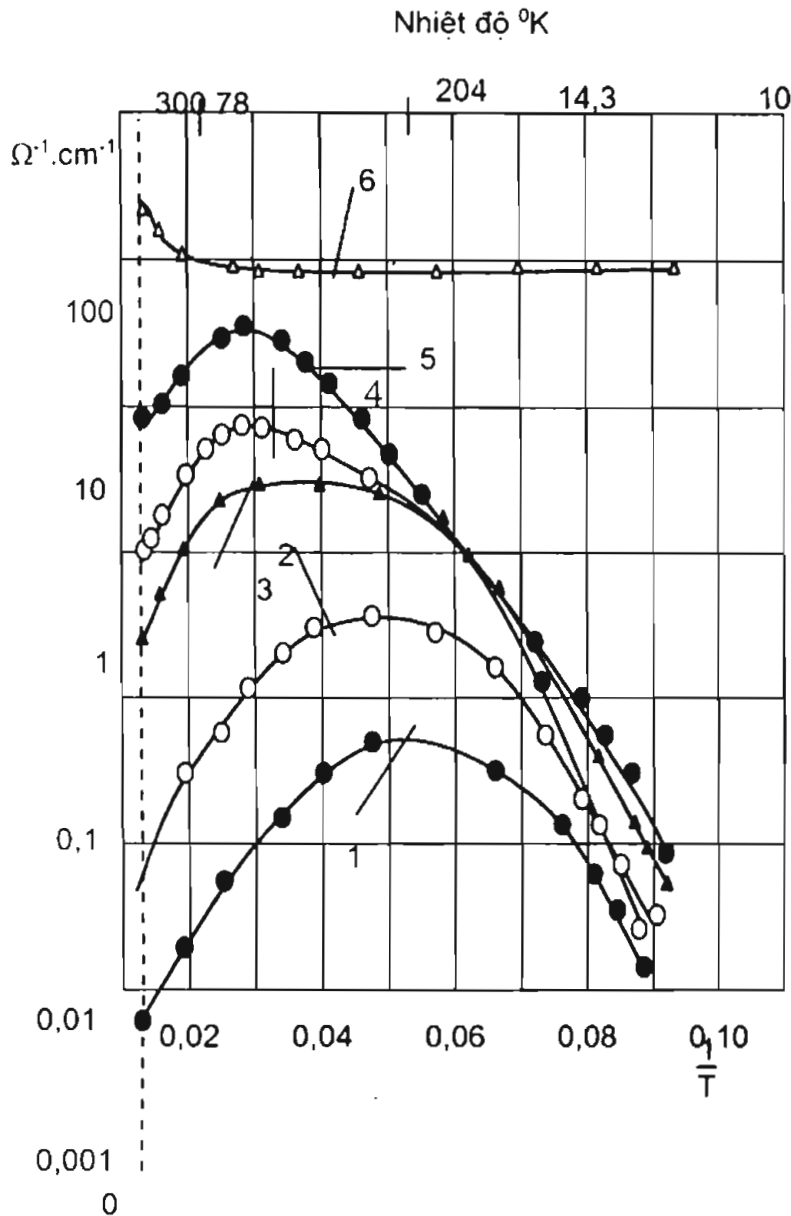
Tính chất	Đơn vị đo	Giécmani	Silic
Trọng lượng nguyên tử	-	72,6	28,06
Thể tích nguyên tử	-	13,5	11,7
Thông số mạng	\AA	5,66	5,42
Khối lượng riêng ở 20°C	G/cm ³	5,3	2,3
Hệ số nhiệt độ giãn nở dài (0-100°C)	độ ⁻¹	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
Nhiệt dẫn riêng	W/cm. độ	0,55	0,8
Nhiệt dung riêng (0-100°C)	J/kg. độ	333	710
Nhiệt độ nóng chảy	°C	936	1414
Nhiệt lượng nóng chảy	J/mol	$3,04 \cdot 10^3$	$46,3 \cdot 10^3$
Hệ số sức căng bề mặt (ở nhiệt độ nóng chảy)	đin/ cm	600	720
Điện trở suất riêng ở 20°C	$\Omega \cdot \text{cm}$	68	~ 200.000
Nồng độ riêng các hạt dẫn cơ bản	cm ⁻³	$2,5 \cdot 10^{13}$	~ 10^{10}
Bề rộng vùng cấm	eV	0,72	1,12
Độ linh động của điện tử	cm ² /V.s	3900	1400
Độ linh động của lỗ trống	cm ² /V.s	1900	500
Công thoát điện tử	eV	4,8	4,3
Thế ion hoá sơ cấp	V	8,1	8,14
Hằng số điện môi	-	16	12,5
Sức nhiệt điện động đối với phiến ở 100°C	mV	33,9	41,6

Giécmani được dùng để sản xuất chỉnh lưu dòng điện xoay chiều với các công suất khác nhau, các loại tranzito (mặt và điểm). Giécmani còn dùng để chế ra bộ cảm biến sức điện động Holl và các hiệu ứng từ điện để đo cường độ từ trường, dòng điện, công suất, để nhân đôi đại lượng trong các dụng cụ tính toán kỹ thuật v.v...

Các tính chất quang của giécmani cho phép dùng nó làm tranzito quang, điện trở quang, thấu kính quang mạnh (đối với tia hồng ngoại), các bộ lọc quang học, điều biến ánh sáng và sóng vô tuyến ngắn. Giécmani có hiệu ứng quang điện cả trong trường hợp hấp thụ các điện tử trung bình và nhanh cũng như khi hãm các hạt

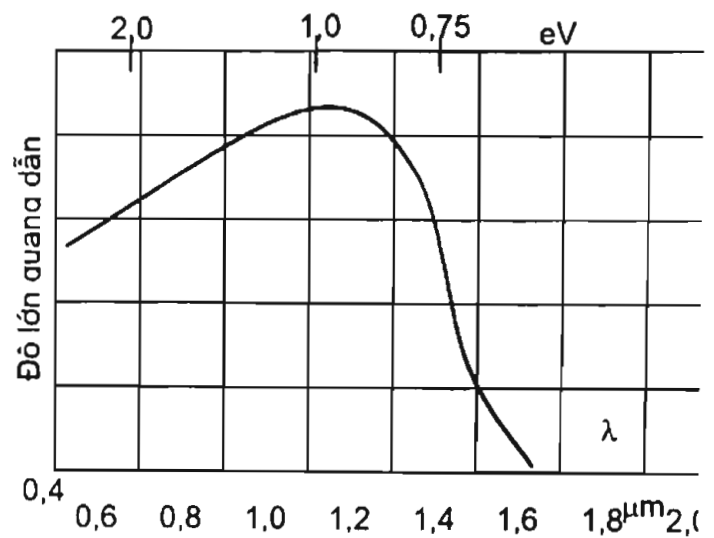
nguyên tố khối lượng lớn. Ví dụ, khi hấp thụ hạt α sẽ có xung dòng điện kéo dài gồm 0,5 μ giây, tương ứng với 10^6 điện tử. Vì vậy giécmani có thể dùng để sản xuất các bộ đếm hạt nhân.

Khoảng nhiệt độ làm việc của các dụng cụ giécmani từ -60 đến $+70$ $^{\circ}\text{C}$, khi nhiệt độ tăng gần giới hạn trên thì dòng điện thuận chiều trong điốt tăng lên hai lần, còn dòng điện ngược chiều thì tăng ba lần. Khi làm lạnh đến -50 - -60 $^{\circ}\text{C}$ dòng điện thuận chiều giảm 70-75%. Dụng cụ giécmani cần được bảo vệ chống ẩm của không khí.



Hình 9-7. Quan hệ giữa điện dẫn suất của giécmani loại n với nhiệt độ. Đường chấm chỉ điện dẫn riêng. Ở nhiệt độ trong phòng nồng độ tạp chất asen:

- 1- $8 \cdot 10^{12} \text{cm}^{-3}$; 2- $8 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3}$
- 3- $1,2 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$; 4- $7 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$
- 5- $6 \cdot 10^{16} \text{cm}^{-3}$; 6- $8 \cdot 10^{12} \text{cm}^{-3}$

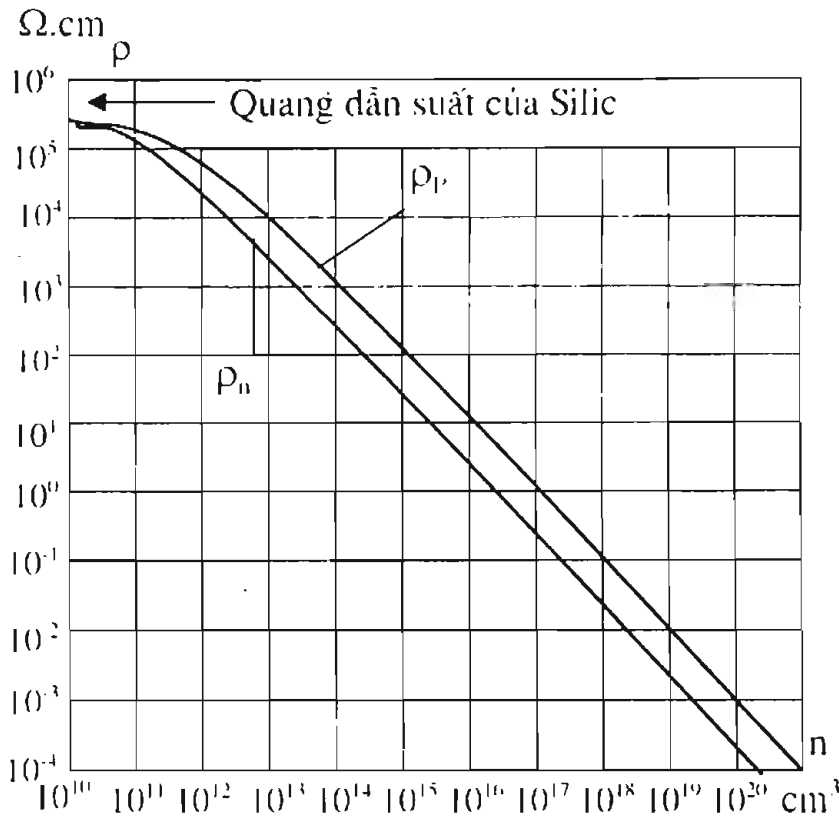


Hình 9-8. Sự phụ thuộc của quang điện dẫn Ge vào quang phổ.

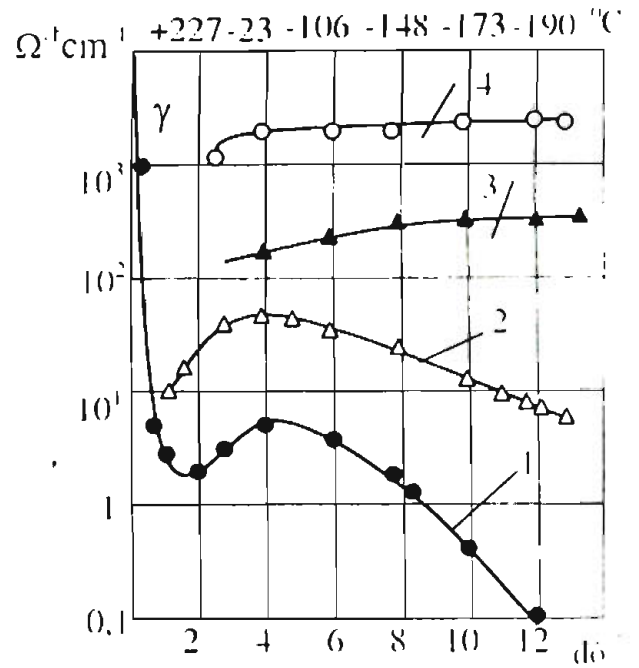
9.4.2. Silic (Si)

Silic thường được điều chế bằng cách khử tetraclorua silic bằng hơi kẽm (SiCl_4 là chất lỏng bay hơi mạnh) ở nhiệt độ 1000°C trong môi trường kín. Quá trình gia công tiếp theo silic giống như giécmani, nhưng gặp nhiều khó khăn hơn vì nhiệt độ nóng chảy của silic cao hơn nhiều so với giécmani và gần với nhiệt độ hoá mềm của thuỷ tinh thạch anh. Ngoài ra cần nhớ rằng silic gây phản ứng với cacbon, vì thế ở vùng nóng chảy không đặt thuyền grafit mà phải đặt thẳng đứng mẫu. Khi nóng chảy theo vùng thì phần dưới không bị tách khỏi phần trên vì rằng sức căng bề mặt lỏng của silic lớn.

Điện dẫn của silic cũng như giécmani phụ thuộc rất nhiều vào tạp chất chứa trong nó. Trên hình 9-9 quan hệ giữa điện trở suất của silic điện tử, lỗ trống và nồng độ hạt dẫn điện, còn trên hình 9-10 nêu quan hệ giữa điện trở suất của silic điện tử vào nhiệt độ. Đường cong của silic có điện dẫn lỗ trống cũng có dạng tương tự.



Hình 9.9. Quan hệ của điện trở suất silic điện tử và lỗ trống với nồng độ hạt dẫn điện.



Hình 9-10. Quan hệ của điện dẫn suất Silic loại n với nhiệt độ. Ở nhiệt độ trong phòng mẫu có nồng độ pha là:

- 1- $1,7 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$; 2- $2,7 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$;
- 3- $4,7 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$; 4- $4,7 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

Silic được dùng để sản xuất dụng cụ bán dẫn tương tự như giécmani: điốt, triốt, tế bào quang có lớp chắn của biến hiệu ứng Hall v.v.. Giới hạn nhiệt độ làm

việc của các dụng cụ silic phụ thuộc vào mức thuần khiết của vật liệu, có thể đến 120-200°C, cao hơn nhiều so với giécmani.

9.4.3. Selen

Selen là nguyên tố ở nhóm VI bảng tuần hoàn Mendêlêep được điều chế trong nhà máy sản xuất axit sunfuric khi làm sạch đồng bằng điện phân. Selen có các dạng khác nhau, vô định hình cũng như tinh thể, màu sắc khác nhau.

Selen tinh thể màu xám, cấu tạo sáu cạnh, có các tính chất nêu trong bảng 9.4. Từ bảng 9.4 ta thấy điện trở suất của selen giao động trong phạm vi rất rộng, nó phụ thuộc vào loại và nồng độ tạp chất, nhiệt độ và độ chiếu sáng.

Bảng 9.4. Tính chất vật lý của selen tinh thể sáu cạnh

Tính chất	Đơn vị đo	Trị số	Ghi chú
Khối lượng riêng	g/cm ³	4,8	ở 20°C
Độ cứng	-	2	Theo thang đo khoáng vật.
Nhiệt độ nóng chảy	°C	217-220	
Hệ số nhiệt độ giãn nở dài	độ ⁻¹	50.10 ⁻⁶	Trong khoảng từ 20÷100°C.
Nhiệt dung riêng	J/g.độ	0,33	Trong khoảng từ 15÷217°C
Nhiệt dẫn riêng	W/cm.độ	0,004	
Nhiệt nóng chảy	J/g	64,2	
Nhiệt bay hơi	- // -	881	
Nhiệt độ sôi	°C	680-690	Theo các số liệu nghiên cứu khác nhau.
Hệ số sức căng bề mặt	đin/cm	105,3	ở 220°C
Điện trở suất	Ω.cm	10 ² - 10 ¹³	Phụ thuộc vào dạng và nồng độ tạp chất
Hệ số nhiệt điện trở suất	độ ⁻¹	-0,003÷0,03	ở 20°C
Bề rộng vùng cấm	eV	1,7 ÷ 1,9	
Độ linh hoạt lỗ trống	cm ² /V.giây	~ 0,2	
Độ linh hoạt điện tử	cm ² /V.giây	~ 5.10 ⁻³	
Nồng độ lỗ trống	cm ⁻³	3.10 ¹⁴	
Thế ion hoá sơ cấp	V	9,75	

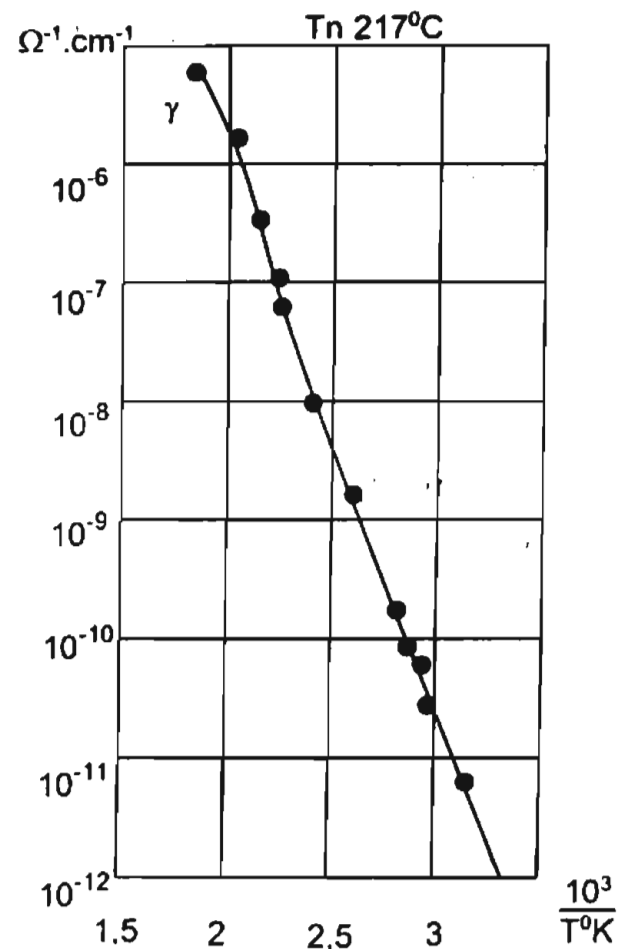
Trên hình 9-11 vẽ quan hệ giữa điện trở suất của selen tinh khiết với nhiệt độ.

Các tạp chất halogen (clo, brom, iốt) nếu nồng độ nhỏ hơn $5 \cdot 10^{-4}\%$ tính theo trọng lượng thì làm giảm điện trở suất selen, nhưng nếu tiếp tục tăng nồng độ của chúng thì điện trở sẽ tăng. Các tạp chất telua, thủy ngân và một loạt kim loại khác làm tăng điện trở selen.

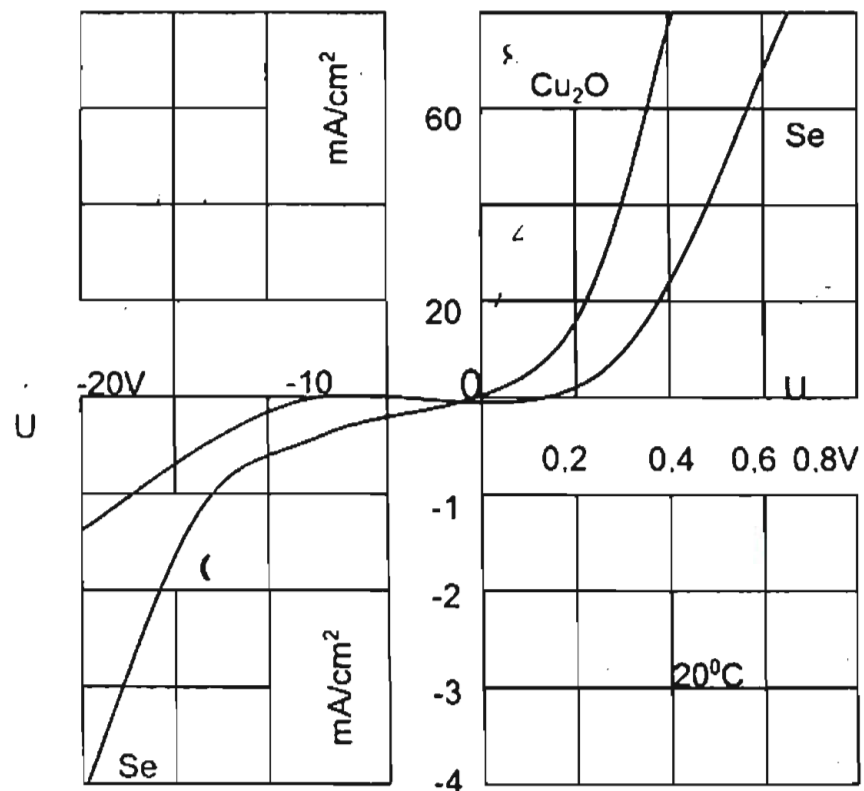
Selen được dùng để sản xuất chỉnh lưu các loại BC, ABC, TC và tế bào quang điện có lớp chắn.

Chỉnh lưu selen được chế tạo bằng cách gắn selen vô định hình hay dạng bột lên những tấm hoặc những vòng đệm bằng sắt hay bằng nhôm mạ kẽm. Sau đó tiến hành ép để tạo lớp mỏng đồng nhất và nhiệt luyện ở nhiệt độ gần 220°C , để tạo ra selen tinh thể có tính dẫn điện thuận chiều thoải mãn yêu cầu. Trên bề mặt lớp selen (dày 30-80 μm) đặt điện cực thứ hai bằng hợp kim của bismút, cadmi và thiếc có nhiệt độ nóng chảy $105-110^{\circ}\text{C}$, sau đó gia công bằng điện để tạo ra lớp selucadmi bán dẫn loại n. Lớp chắn của chỉnh lưu selen chính là lớp giới hạn giữa selen và selucadmi. Selen thường là bán dẫn loại p và dòng điện thuận chiều trong chỉnh lưu hướng từ điện cực lót đến điện cực thứ hai bằng hợp kim.

Trên hình 9-12 cho đặc tính Von - ampe của chỉnh lưu selen và ôxít đồng.

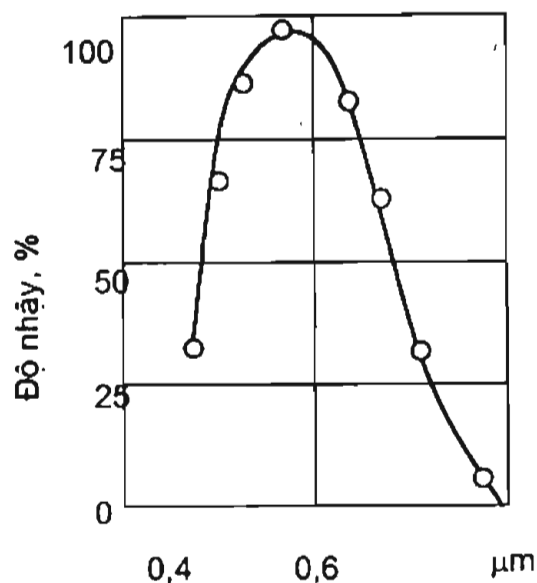


Hình 9-11. Quan hệ giữa điện dẫn suất của selen tinh khiết với nhiệt độ.



Hình 9-12. Đặc tính von-ampe chỉnh lưu selen và ôxít đồng.

Trị số điện áp ngược khoảng 18 đến 36V đối với loại rông đen hay phiến. Khi quá điện áp có biên độ khoảng 80V thì chỉnh lưu selen bị đánh thủng, nhưng trong nhiều trường hợp chỗ bị đánh thủng được lấp kín bằng một lớp selen vô định hình điện dẫn rất nhỏ và chỉnh lưu có thể tiếp tục làm việc được. Nhiệt độ làm việc của chỉnh lưu selen trong khoảng từ -60°C đến $+75^{\circ}\text{C}$.



Hình 9-13. Sự phụ thuộc của độ nhạy tế bào selen vào quang phổ.

Độ nhạy của tế bào quang điện selen, phụ thuộc vào bước sóng của ánh sáng chiếu vào (hình 9-13) và có thể bằng $50\mu\text{A/lm}$. Như ta thấy trên hình vẽ thì tế bào selen có độ nhạy nằm trong phần hẹp của quang phổ nhìn thấy được. Hiệu suất tế bào quang selen nhỏ gần 0,2%.

9.5. CÁC HỢP CHẤT HÓA HỌC BÁN DẪN VÀ CÁC VẬT LIỆU DẪN SUET CÙNG GỐC

Hợp chất bán dẫn có thể có các tính chất điện, vật lý rất khác nhau và trong nhiều trường hợp nó có những tính chất hơn hẳn bán dẫn thuần. Trong phần này chúng ta chỉ xem xét những hợp chất quan trọng nhất dùng làm vật liệu kỹ thuật điện.

9.5.1 Cácbit silic

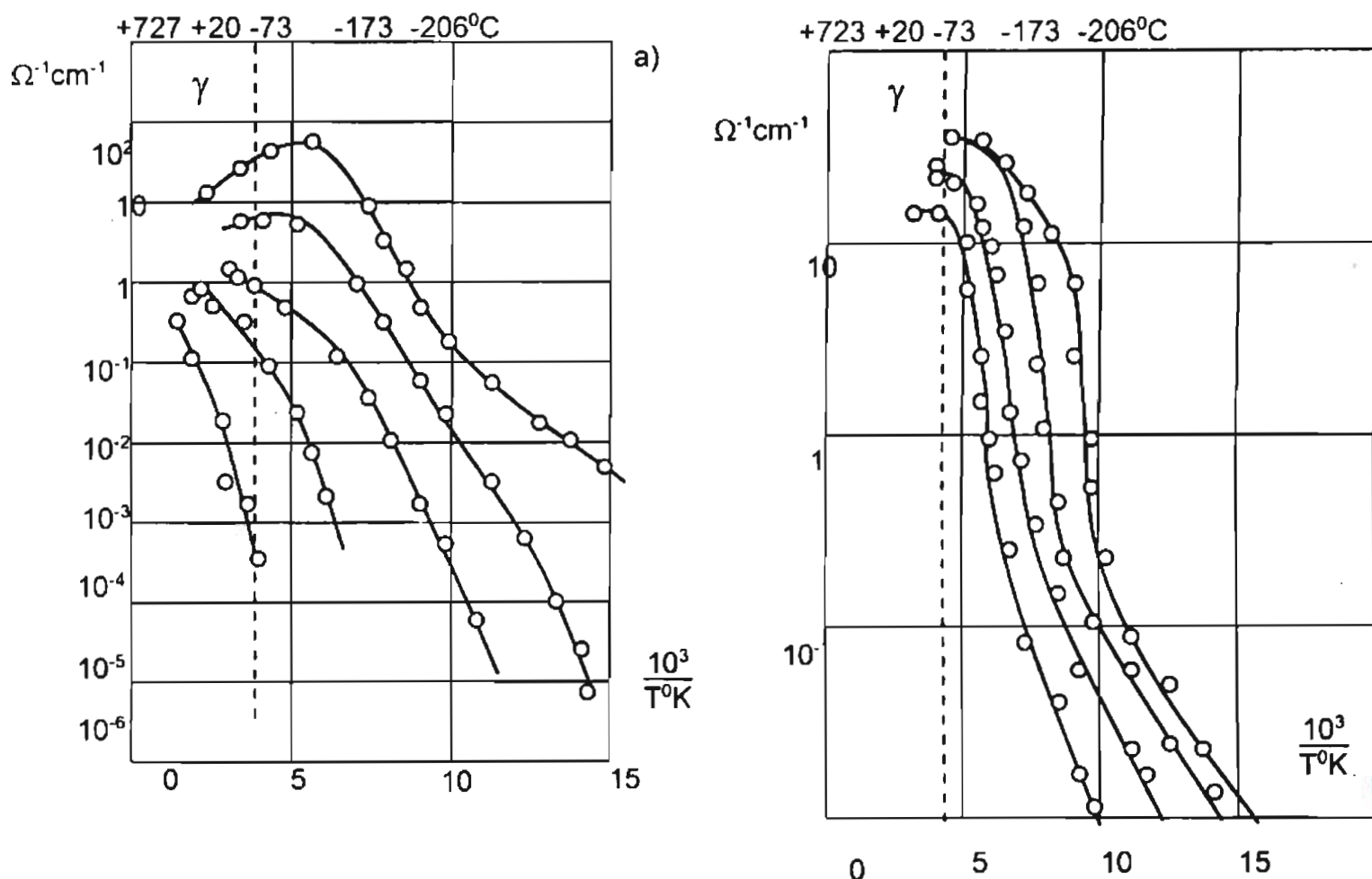
Đây là hợp chất của các nguyên tố nhóm IV trong bảng tuần hoàn Mendêleev là silic và cacbon ($A^{IV}.B^{IV}$) theo công thức SiC_x ($x \approx 1$). Cácbit silic trong công thức có: 70,045% Si và 29,955% C. Trong thiên nhiên vật liệu này rất ít gặp và có số lượng hạn chế.

Cácbit silic kỹ thuật được sản xuất trong các lò điện khi khử điôxyt silic (cát thạch anh) bằng cacbon. Ở nhiệt độ dưới 2000°C SiC được tạo thành dạng biến thể lập phương β , nếu nhiệt độ cao hơn sẽ tạo thành biến thể sáu cạnh α . Sau khi kết thúc quá trình nung và làm nguội lò rút ra được các bó tinh thể SiC gọi là chùm tinh thể. Sau khi tán sẽ nhận được bột với những hạt sắc cạnh và gồ ghề, kích thước hạt trung bình từ 40 đến $300\mu\text{m}$.

Màu sắc của tinh thể phụ thuộc vào nguyên liệu ban đầu và quá trình công nghệ. Màu và điện dẫn của tinh thể SiC phụ thuộc vào các tạp chất và số nguyên tử thừa của Si hay C so với thành phần hợp thức.

Các nguyên tố tạp chất ở nhóm V (N, P, As, Sb, Bi) và sắt trong SiC làm cho nó có màu xanh và điện dẫn loại n, các nguyên tố tạp chất trong nhóm II (Ca, Be, Mg) và nhóm III (B, Al, Ga, In) làm cho nó có màu da trời và tím (các lớp dày thì có màu đen) và điện dẫn loại p. Thừa Si làm cho SiC có điện dẫn loại n, còn thừa C có loại p. Tinh thể SiC tinh khiết thì trong suốt.

Điện dẫn của tinh thể SiC ở nhiệt độ bình thường thì tản mạn và giao động trong phạm vi rộng. Quan hệ của điện dẫn SiC loại n và p với nhiệt độ cho trên hình 9-14.



Hình 9-14. Quan hệ giữa điện dẫn suất của một số loại SiC, loại n(a) và loại p(b) với nhiệt độ.

Trong bảng 9.5 nêu một vài tính chất vật lý của tinh thể SiC. Điện dẫn của các bột silic dạng bột phụ thuộc vào điện dẫn của các hạt nhỏ ban đầu, kích thước của các hạt, mức độ nén các hạt đó, cường độ điện trường và nhiệt độ. Ví dụ, nếu điện dẫn suất thực của vật liệu khoảng $1,5\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ thì ở 20°C kích thước hạt $75-63\mu\text{m}$, áp lực trên hạt 600 kG/cm^2 , ở điện trường yếu (dưới 5 V/cm) điện dẫn suất của bột nén có giá trị khoảng $5 \cdot 10^{-8}\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$. Cùng với các điều kiện như trên nhưng nếu cỡ hạt tăng đến $85-105\mu\text{m}$ thì điện dẫn suất của bột sẽ tăng lên khoảng $10^{-5}\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$.

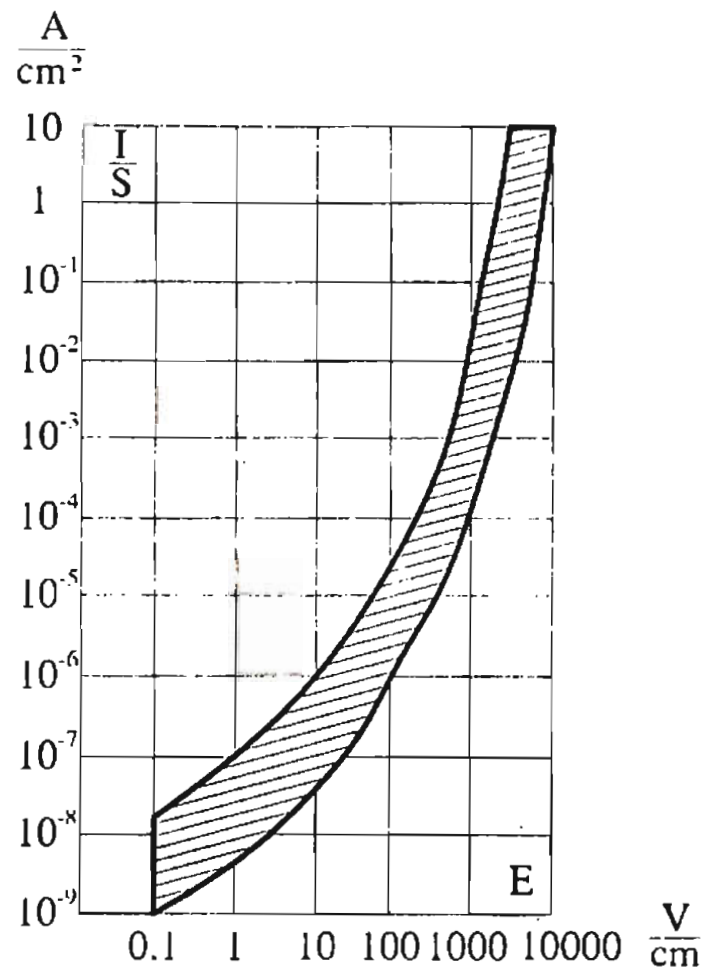
Bảng 9.5. Tính chất của tinh thể SiC

Tính chất	Đơn vị đo	Trị số	Ghi chú
Khối lượng riêng	g/cm ³	3,2	
Nhiệt dẫn riêng	W/cm.độ	0,08-0,32	
Nhiệt dung riêng	J/g.độ	0,62-0,75	ở 20°C
Hệ số nhiệt giãn nở dài	độ ⁻¹	(4-7)10 ⁻⁶	
Độ cứng theo thang đo khoáng vật	-	9,5	Theo Moosu
Bề rộng vùng cấm	eV	2,8-3,1	
Độ linh hoạt của điện tử	cm ² /V.giây	100-300	ở 20°C
Độ linh hoạt của lỗ trống	cm ² /V.giây	10-50	ở 20°C
Hằng số điện môi	-	6,5-7,5	
Sức nhiệt điện động đối với đồng	μV/độ	~ 300	

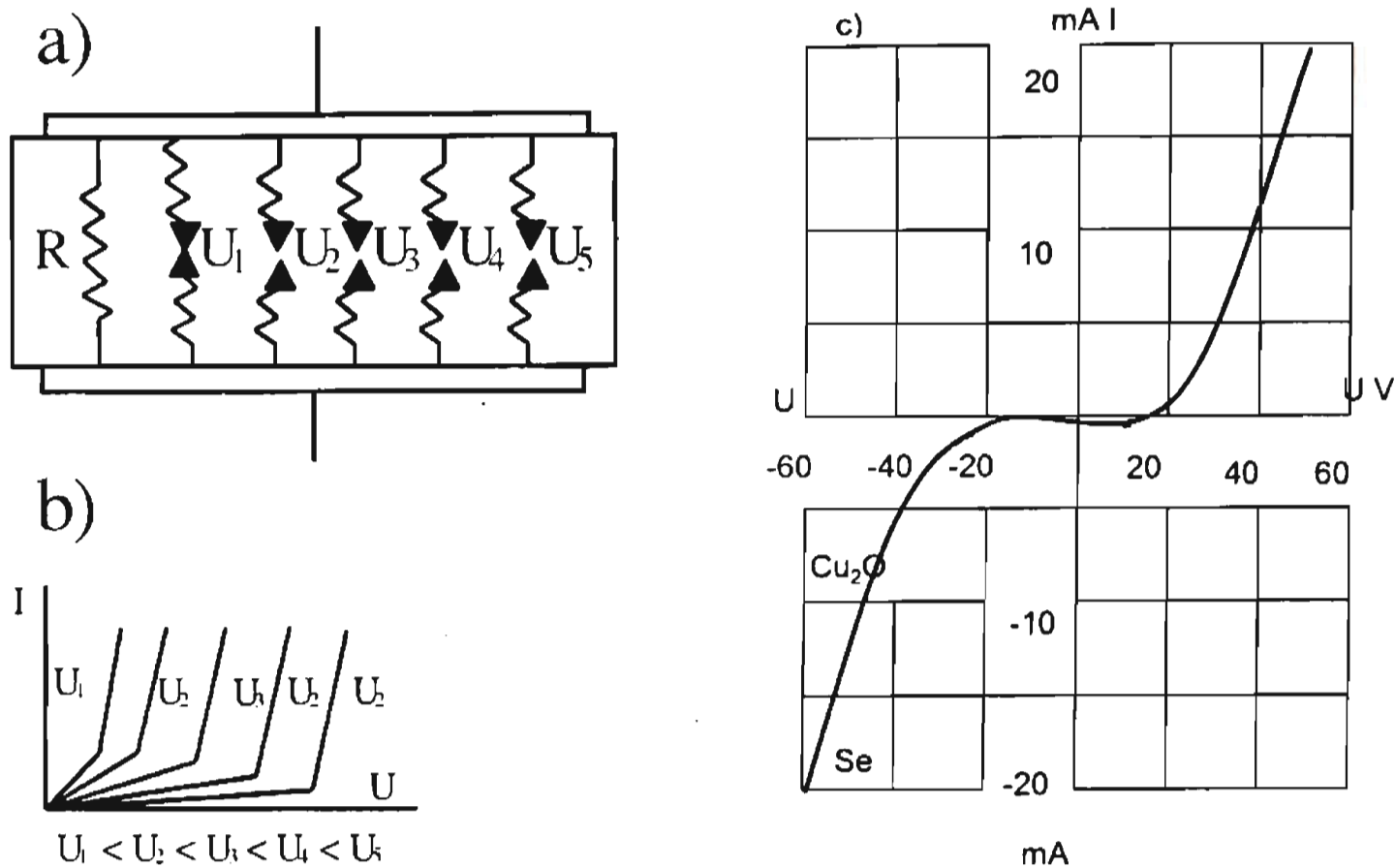
Trên hình 9-15 vẽ quan hệ giữa mật độ dòng điện chạy qua bột nén SiC và cường độ điện trường trung bình. Theo hình vẽ ta thấy giá trị điện dẫn suất rất tản mạn và quan hệ có đặc tính không đường thẳng, nghĩa là điện dẫn của cácbit silic không tuân theo định luật Ôm.

Tính chất không tuyến tính (phi tuyến) của cácbit silic được đề cập trong rất nhiều công trình nghiên cứu. Dựa vào kết quả tổng hợp của các công trình nghiên cứu đó có thể nêu ra những nguyên nhân chủ yếu của tính chất phi tuyến của điện trở làm bằng bột SiC như sau:

1) Khi tăng điện áp thì xảy ra quá trình tự giải thoát điện tử từ các mũi nhọn và cạnh sắc của các hạt bột. Hiện tượng này làm cho một số khe hở giữa các hạt được bịt kín lại và diện tích tiết diện điện trở tăng lên.



Hình 9-15. Quan hệ giữa mật độ dòng điện chạy qua bột SiC nén với cường độ điện trường trung bình. Áp suất trên bột 600KG/cm², cỡ hạt 63 - 75 μm.



Hình 9-16. Sơ đồ đẳng trị của điện trở làm bằng bột SiC (a). Đặc tính von-ampe ở các chỗ tiếp xúc cục bộ với điện áp, các chỗ gây khúc $U_1 < U_2 < U_3 < U_4 < U_5$ (b). Đặc tính von-ampe tổng quát với dòng điện xoay chiều (c).

2) Sự tăng điện dẫn và chọc thủng từng phần màng ôxyt phủ trên hạt khi cường độ trường vượt quá trị số $10^3 - 10^4$ V/cm.

3) Đốt nóng cục bộ tại các điểm tiếp xúc giữa các hạt làm cho phát xạ điện tử dễ dàng hơn, làm tăng điện dẫn lớp tiếp xúc và đánh thủng từng phần của chúng. Tuy nhiên lượng nhiệt ở điện trở không lớn và sự đốt nóng toàn phần không xảy ra.

4) Sự mắc song song và nối tiếp một số lớn tiếp giáp p - n, vì điện dẫn lớp bề mặt của hạt có thể khác loại với bên trong hạt.

Có thể giả thiết rằng trong thực tế các cơ chế này có thể xuất hiện đồng thời hay xảy ra liên tiếp trong cùng một điện tử.

Khi điện áp thấp dòng điện phải đi qua bề mặt tiếp xúc có lớp chắn, khi điện áp cao hơn chúng phóng điện qua các kẽ hở. Đồng thời đốt nóng cục bộ mặt tiếp xúc bắt đầu tác dụng.

Dạng tổng quát sơ đồ đẳng trị của điện tử làm bằng bột SiC không đồng nhất cho ở hình 9-16,a. Điện dẫn của điện trở này được xác định bởi nhiều mạch nhỏ song song của các hạt tiếp xúc và độ bền điện của các tiếp xúc trong các mạch khác nhau cũng không giống nhau. Đặc tính von-ampe của các chỗ tiếp xúc cục bộ có điểm gây khúc khác nhau. Khi điện áp tăng lên thì số điểm tiếp xúc được mắc song

song vào mạch càng nhiều, do đó đặc tuyến von - ampe không tuyến tính và điện trở không dường thẳng như thế được gọi là varisto.

Trong kỹ thuật điện cácbít silic được dùng để chế tạo các tấm điện trở phi tuyến của chống sét van để bảo vệ đường dây tải điện và các thiết bị điện; sản xuất các varisto điện áp thấp dùng trong các thiết bị tự động, kỹ thuật máy tính và dụng cụ điện trong xây dựng, dùng trong các lò điện nhiệt độ cao, để sản xuất bộ phận đốt trong đèn inhitron v.v...

Varisto làm bằng các hạt cácbít silic rời rạc không ổn định, không chịu được rung, va đập, dễ thay đổi đặc tính. Vì thế các hạt SiC cần gắn chặt bằng chất kết dính.

Các loại varisto được sản xuất theo các nguyên công khác nhau, nhưng nhìn chung phải qua các khâu sau:

Chuẩn bị, định lượng và nhào trộn SiC với chất kết dính;

- 1) Ép phôi;
- 2) Nhiệt luyện;
- 3) Quét lớp điện cực;
- 4) Kiểm tra các tham số điện và sự hoá già nhân tạo;
- 5) Bọc lớp vỏ bảo vệ hay phủ nhựa, sơn.

Chất kết dính thường dùng là đất sét, sứ siêu cao tần, thủy tinh lỏng, thủy tinh dễ cháy, sơn hữu cơ silic v.v...

Ép phôi được tiến hành dưới áp suất từ 0,5 đến 1,5 T/cm². Quá trình nhiệt luyện phụ thuộc vào loại chất dính kết và dạng cácbít silic. Nhiệt độ trong lò có thể từ 300⁰C đến 1600⁰C, thời gian từ 30 giây (nung xung kích) đến 12-15 giờ. Môi trường trong lò nhiều khi có vai trò quan trọng. Các điện cực được tạo thành bằng phương pháp phun nhôm ở trạng thái nóng hay quét lớp bạc dẻo nung kiểu gốm.

Các tham số điện được xác định đối với dòng điện đi qua là một chiều, xoay chiều có tần số khác nhau hoặc có xung là tùy thuộc vào công dụng của varisto đó.

Sự hoá già nhân tạo hay điều chỉnh các tham số được thực hiện bằng cách cho dòng điện xung với biên độ và dạng thích hợp đi qua một số lần nhất định. Bảo vệ bên ngoài của varisto chủ yếu để chống tác dụng ẩm của không khí.

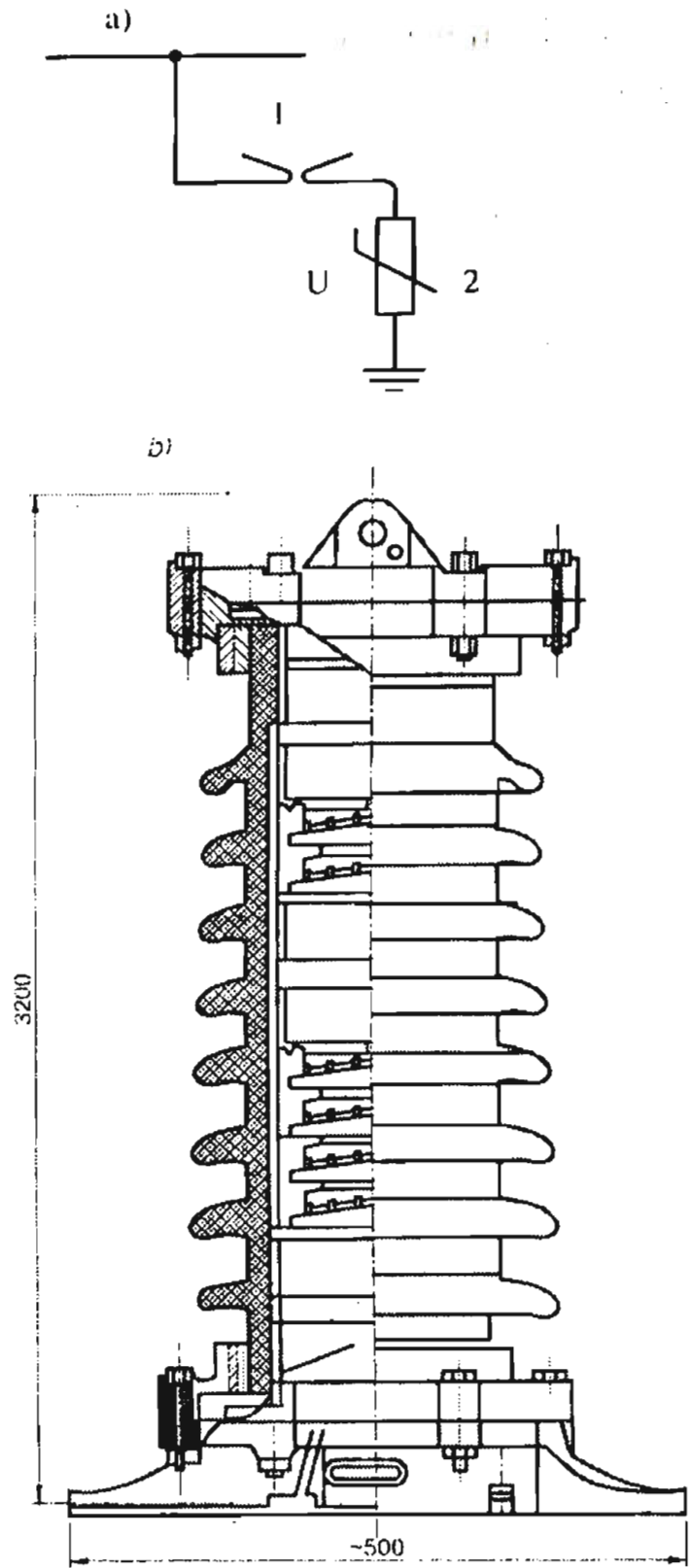
Varisto dùng trong chống sét van được sản xuất thành tấm có đường kính từ 40 đến 150 mm, bề dày từ 10 đến 50 mm. Varisto làm bằng cácbít silic có chất kết dính là đất sét gọi là tirit, nếu dính kết bằng thủy tinh lỏng gọi là vilít.

Chống sét van là bộ phóng điện có một hay nhiều khe hở phóng điện lắp nối tiếp với varisto (phụ thuộc vào cấp điện áp làm việc của chống sét van).

Sơ đồ nguyên lý của chống sét van và hình dáng của nó vẽ trên hình 9-17. Khi có sóng quá điện áp trên đường dây thì khe hở bị phóng điện chọc thủng, các đĩa varisto sẽ giảm điện trở đột ngột dưới tác dụng của điện áp lớn tạo thành đường nối đất để cho dòng điện xung chạy qua chống sét xuống đất trong khoảng thời gian khoảng vài chục đến hàng trăm micro giây. Sau xung dòng điện đó điện áp làm việc của đường dây vẫn duy trì trên chống sét một dòng điện tần số làm việc nhưng khi dòng điện này qua trị số không lần đầu tiên hồ quang bị dập tắt, đường dây tách khỏi đất và đĩa điện trở phục hồi trị số điện trở của nó, còn khe hở phóng điện chấm dứt ion hóa. Bảo vệ đường dây được tự động phục hồi và có thể thu sóng quá điện áp mới.

Các varisto loại nhỏ làm bằng cácbít silic là những đĩa đường kính từ một vài milimét đến vài centimét và có chiều dày khoảng 1-2 mm.

Varisto có thể sản xuất dạng rỗng đen và xếp thành cọc. Chúng có thể mắc nối tiếp hoặc song song. Ngoài ra varisto còn sản xuất thành từng thanh, loại này có điện áp làm việc cao hơn.



Hình 9-17. Sơ đồ nguyên lý (a) và dạng bên ngoài (b) của chống sét van. 1- khe hở phóng điện; 2-

Varisto không quán tính (làm việc ở tần số đến 100 kHz) có các nhánh của đặc tính von-ămpe đối xứng (hình 9-16c). Nó chịu được rung và giao động, có thể làm việc trong khoảng nhiệt độ từ -50°C đến $+80^{\circ}\text{C}$ tùy thuộc vào độ kín của lớp bọc bảo vệ và có thể chịu độ ẩm cao của không khí.

Varisto có thể đặc trưng bằng giá trị điện trở hay điện dẫn tĩnh, bằng điện trở hay điện dẫn động ứng với một điện áp cho trước và còn đặc trưng bằng hệ số phi tuyến:

Hệ số phi tuyến của điện trở là tỷ số:

$$\beta = \frac{R_t}{R_d} = \frac{U \cdot dI}{I \cdot dU} \quad (9-19)$$

Hệ số phi tuyến β sẽ là hằng số nếu đặc tính von-ămpe tương ứng với phương trình:

$$I = B \cdot U^{\beta} \quad (9-20)$$

Thông thường đặc tính von-ămpe gần đúng với phương trình 9-20 hay 9-21.

$$U = A \cdot I^{\alpha} \quad (9-21)$$

Ở đây A , B , α , β là các hằng số với $\beta = 1/\alpha$ và $\beta = A^{\beta}$. Khi sử dụng bất kỳ phương trình nào trong số này, cần nhớ rằng nó chỉ đúng với giới hạn các trị số điện áp.

Các điện trở phi tuyến varisto được sản xuất với điện áp từ 3 đến 1500V, dòng điện làm việc từ 0,1 đến 1000 mA, hệ số phi tuyến từ 2 đến 7 và công suất tổn hao 0,1 đến 200 W.

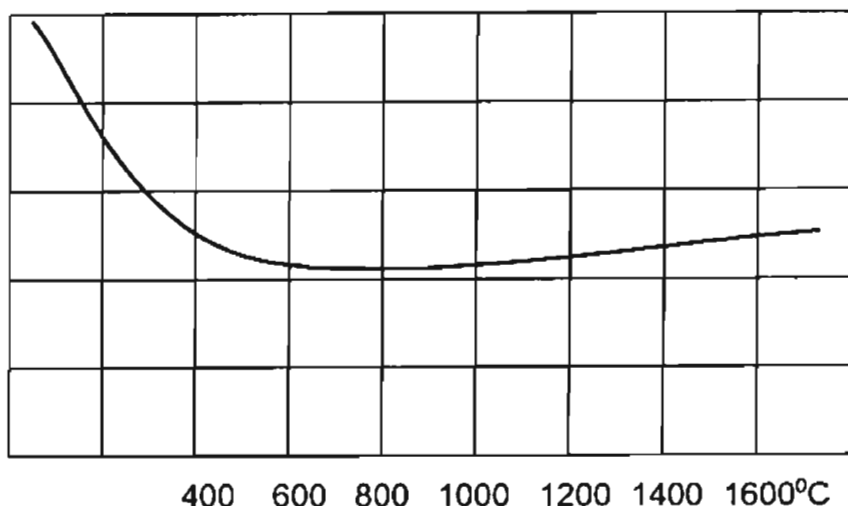
Trong kỹ thuật hiện nay, varisto được sử dụng rộng rãi. Nó được dùng để ổn áp, dập tia lửa, nhân tần số, điều chỉnh số vòng hay đổi chiều quay động cơ, điều khiển mạch xoay chiều bằng điện áp một chiều, giải mã xung theo biên độ, điều chỉnh độ nghe rõ của thiết bị điện thoại v.v... varisto cũng được dùng rộng rãi trong máy tính.

Các thanh silic

Các thanh silic được chế tạo từ cácbit silic, silic tinh thể và cacbon. Chúng có điện trở suất cao và chịu nhiệt tốt, được dùng làm phần tử đốt nóng trong lò điện nhiệt độ cao. Trong những vật liệu loại này, có thể lấy bán dẫn silic làm ví dụ. Khối lượng riêng của silic khoảng $3,2\text{g/cm}^3$; hệ số giãn nở dài của thanh silic rất nhỏ, điện trở suất của nó có thể giao động trong phạm vi rộng, nhưng với các dụng cụ đốt nóng thông dụng nó giao động từ 0,1 đến $10 \Omega \cdot \text{cm}$.

Thiết bị đốt nóng bằng thanh silic có thể dùng trong các lò điện với công suất khác nhau, nhiệt độ lớn nhất đến 1500°C . Các thanh silic sản xuất với điện áp đến 220V và dòng điện tới 20A.

Đường cong quan hệ giữa điện trở suất của thanh silic với nhiệt độ, vẽ trên hình 9-18. Tuổi thọ của bộ phận đốt lò điện giao động trong khoảng từ vài trăm đến vài ngàn giờ. Dùng tiếp giáp mặt p-n trên đơn vị tinh thể cacbít silic có thể chế tạo được chỉnh lưu làm việc ở nhiệt độ $500-600^{\circ}\text{C}$.



Hình 9-18. Sự biến đổi điện trở của thanh Silic theo nhiệt độ.

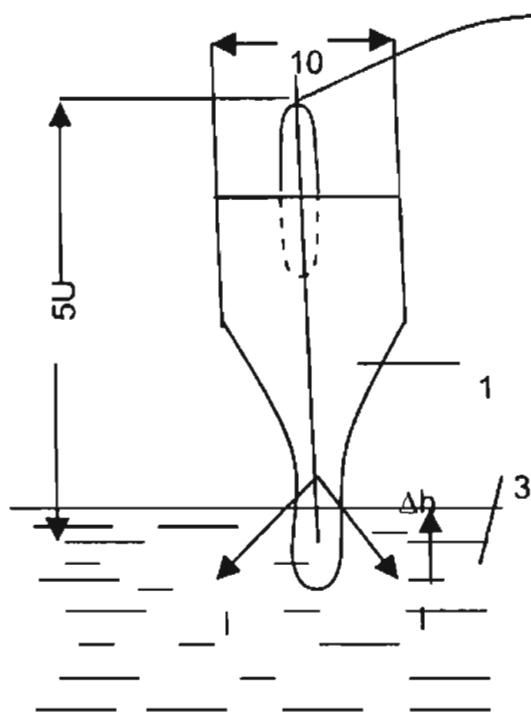
Cực môi inhitron

Đèn chỉnh lưu inhitron là một trong các loại chỉnh lưu catốt thủy ngân công suất lớn. Trong các đèn này người ta cho xung dòng điện theo chu kỳ đi qua mỗi bán dẫn để tạo nên vết sáng trên mặt thủy ngân. Vết đó chính là nguồn phát sinh các điện tử tự do.

Cực môi chế tạo bằng bột cacbít silic và silic tinh thể với chất dính kết là bakêlít. Sau khi ép xong nó được ủ ở nhiệt độ cao trong thời gian một phút trong sơn magezít.

Sơ đồ cực môi biểu diễn trên hình 9-19. Loại cực môi này có độ bền cơ cao, hoàn toàn thoả mãn các tham số của cực môi và tuổi thọ tương đối cao.

Có thể điều khiển tham số của cực môi bằng cách bắn phá ion để thay đổi độ nhám của bề mặt bán dẫn. Sở dĩ như vậy, vì cơ chế đốt gây bởi sự tự phát điện tử từ catốt thủy ngân trong khe hở vi mô giữa cực môi với lớp thủy ngân giáp đầu nó.



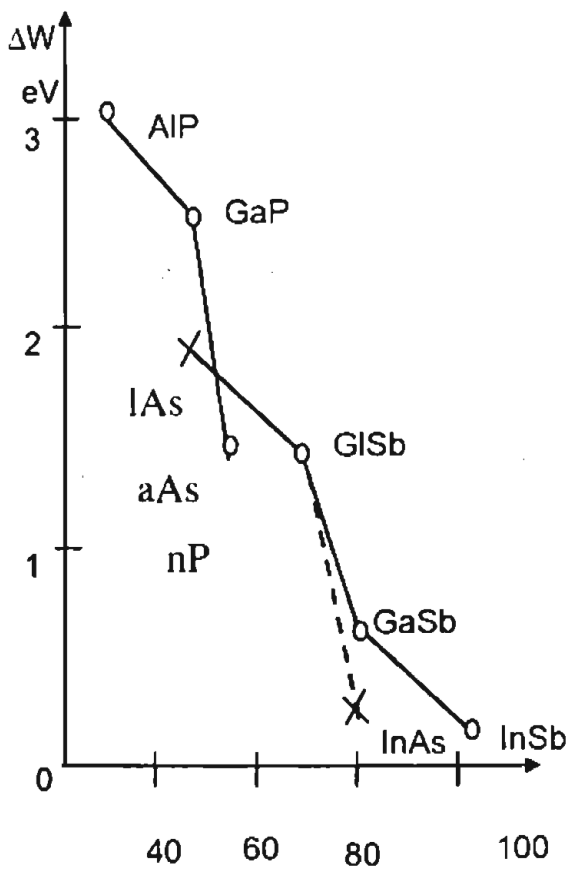
Hình 9-19. Cực môi bán dẫn:

- 1- thân môi; 2- giá đỡ kim loại ép vào cực môi;
3- thủy ngân.

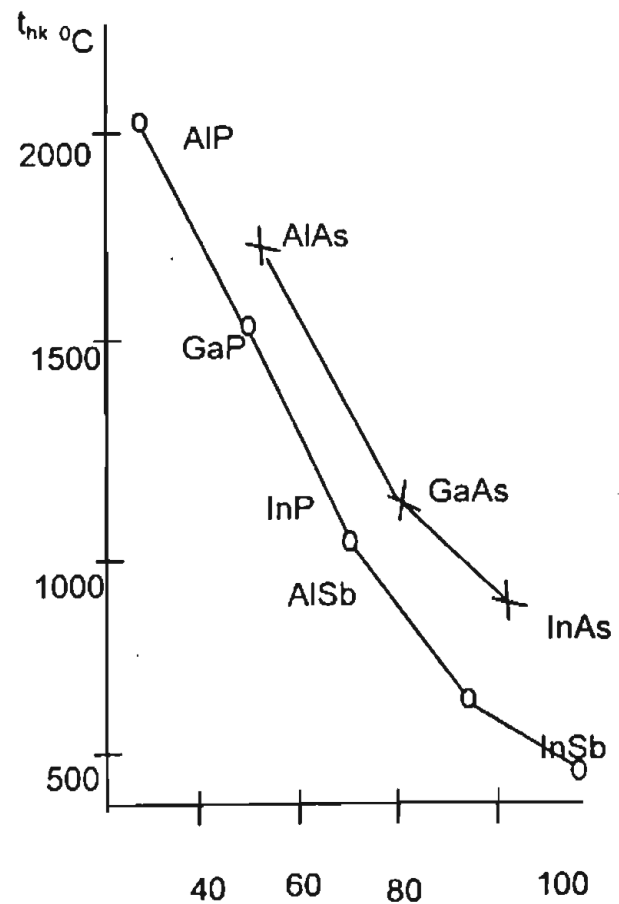
Hiện tượng môi xảy ra khi cường độ điện trường ở lớp quá độ Δh đạt tới giá trị xác định và trong khe hở giữa đầu cực môi với thủy ngân không tiếp xúc với nó nữa hình thành tia lửa phóng điện.

9.5.2. Hợp chất $A^{III}B^V$

Hợp chất $A^{III}B^V$ là loại vật liệu có triển vọng, bởi vì nó cho phép lựa chọn rộng rãi các tham số của vật liệu ban đầu (bề rộng vùng cấm, độ linh hoạt hạt dẫn điện v.v...) để chế tạo ra các dụng cụ bán dẫn. Chúng có cấu trúc afalerit tương tự với cấu trúc của kim cương, chỉ khác là bản chất và kích thước các phần tử trong cấu trúc khác nhau. Trong số các chất này thì totfua asenua và antimonua là các chất được nghiên cứu nhiều nhất và có công nghệ sản xuất cũng không phức tạp lắm. Hiện nay, gali asenua và indi antimonua có ý nghĩa thực tế quan trọng. Phương pháp chủ yếu để có hợp chất $A^{III}B^V$ là cho các thành phần tác dụng trực tiếp trong chân không hay trong khí trơ. Các tính chất của hợp chất $A^{III}B^V$ tuân theo một vài quy luật như thấy trên hình 9-20, 9-21 và bảng 9.6.



Hình 9-20. Quan hệ giữa bề rộng vùng cấm hợp chất $A^{III}B^V$ với chỉ số nguyên tử tổng cộng của các nguyên tử đưa vào hợp chất.



Hình 9-21. Quan hệ giữa nhiệt độ nóng chảy của hợp chất $A^{III}B^V$ với chỉ số nguyên tử tổng cộng của các nguyên tử đưa vào hợp chất.

Bảng 9.6. Một vài tính chất hợp chất bán dẫn loại A^{III}. B^V

Nhóm	Hợp chất	Chỉ số theo thứ tự của A ^{III} .	Chỉ số theo thứ tự của B ^V .	Hằng số mạng, Å	Khối lượng riêng, g/cm ³	Hệ số khúc xạ	Hệ số nhiệt độ giãn nở dãn, α. 10 ⁻⁶ độ ⁻¹	Độ cứng theo thang khoáng.vật	Độ linh hoạt điện tử, cm ² /V.s	Độ linh hoạt lỗ trống cm ² /V.s	Ghi chú
Phot pho	AIP	13	15	5,42	2,8	-	-	5,5	-	-	-
	GaP	31	15	5,45	4,1	3,4	5,3	5	110	70	Thối màu da cam tối
	InP	49	15	5,87	4,7	3,3	4,5	-	5000	650	-
Asenua	AlAs	13	33	5,64	3,8	-	-	5	-	-	-
	GaAs	11	33	5,65	5,4	3,2	5	4,5	8500	400	Màu xám có sắc tím
	InAs	49	33	6,05	5,7	3,2	5,3	4	3000	500	-
Antimonua	AlSb	13	51	6,13	4,3	3,3	-	4,8	200	400	-
	GaSb	31	51	6,09	5,7	3,7	6,9	4,5	4000	800	-
	InSb	49	51	6,48	5,8	4,1	5,5	3,8	1000	1000	Màu xám có ánh kim loại.

Trên hình 9-20 vẽ quan hệ giữa bề rộng vùng cấm của hợp chất với chỉ số nguyên tử tổng của chúng, còn trên hình 9-21 quan hệ tương tự của sự biến đổi nhiệt độ nóng chảy. Giữa bề rộng vùng cấm và nhiệt độ nóng chảy hợp chất có quan hệ bậc nhất. Điều đó có thể giải thích dựa vào lý thuyết cho rằng bề rộng vùng cấm phụ thuộc vào dạng liên kết, mà dạng và độ bền liên kết xác định năng lượng mạng tinh thể, do đó phụ thuộc vào nhiệt độ nóng chảy của chất.

Số liệu trong bảng 9.6 chứng tỏ rằng khi tăng chỉ số nguyên tử tổng của các thành phần trong giới hạn mỗi nhóm hợp chất thì độ cứng của nó giảm đi. Sự giảm bề rộng vùng cấm trong giới hạn mỗi nhóm hợp chất làm tăng độ linh hoạt của

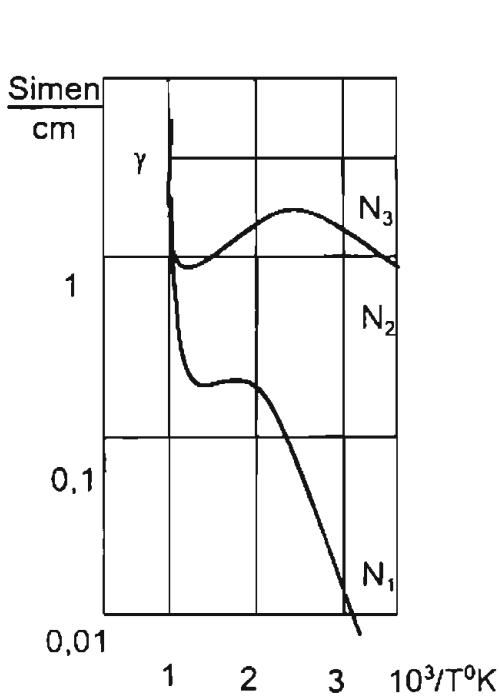
phần tử dẫn điện. Độ linh hoạt của điện tử tăng rõ hơn trong lỗ trống. Sau đây sẽ nghiên cứu một vài vật liệu quan trọng nhất.

1. Galiasenua

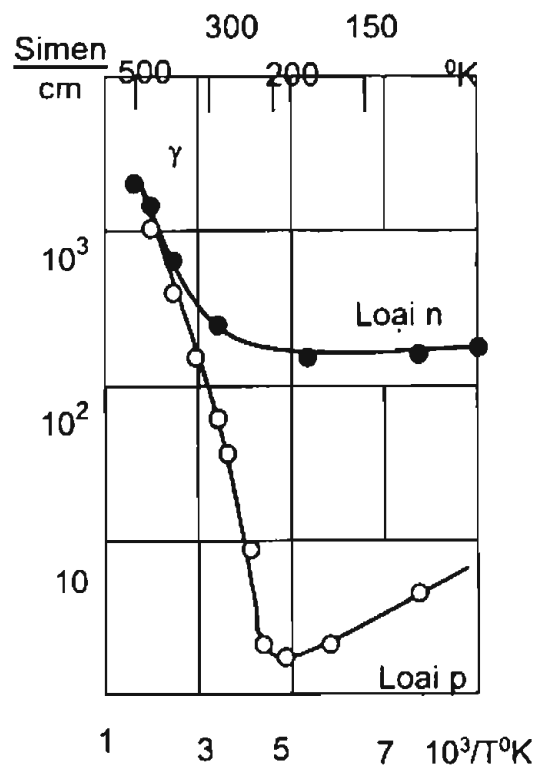
Hợp chất này có điểm đáng chú ý là nó có vùng cấm lớn hơn giécmani và silic nhưng không lớn lắm. Độ linh hoạt điện tử cao hơn giécmani và silic, còn độ linh hoạt lỗ trống thì xấp xỉ như silic. Đối với hợp chất thì kẽm, cadin, đồng là các chất nhận, mức của những chất này nằm cao hơn giới hạn trên vùng hoá trị từ 0,08 đến 0,37 eV. Lưu huỳnh, selen, telua cũng như các nguyên tố trong nhóm IV bảng tuần hoàn Mendêlêep với nồng độ nhỏ là các chất cho khi thay thế nguyên tử gali. Với nồng độ lớn các nguyên tố nhóm IV trở thành tạp chất trung hoà bởi vì chúng đưa vào mạng cặp nguyên tử thay thế cả Ga và As.

Trên hình 9-22 nêu quan hệ của điện dẫn suất gali asenua loại p có nồng độ tạp chất khác nhau với nhiệt độ. Theo mức tăng nồng độ của tạp chất vật liệu chuyển sang trạng thái có đặc tính như bán dẫn thoái hoá.

Gali asenua có thể dùng để chế tạo tế bào quang điện có hiệu suất khoảng 7%, liều lượng kế tia rơnghen, điốt đường hầm, laze bán dẫn. Dụng cụ bán dẫn gali asenua có khả năng làm việc đến nhiệt độ 450°C.



Hình 9-22. Quan hệ giữa điện dẫn suất của asenuagali loại p có nồng độ tạp chất khác nhau ($N_3 > N_2 > N_1$) với nhiệt độ.



Hình 9-23. Quan hệ của điện dẫn suất InSb với nhiệt độ. Nồng độ tạp chất khoảng 10^{16} cm^{-3} .

2. *Antimonua Indi* thu được bằng cách nấu chảy theo tỷ lượng nidi và antimoan tinh khiết cao. Vật liệu thu được phải làm sạch theo phương pháp phân vùng chảy, còn đơn tinh thể thu được bằng cách kéo.

Từ bảng 9.6 thấy InSb có độ linh hoạt điện tử cao. Vì bề rộng giải cấm nhỏ, ở nhiệt độ trong phòng điện dẫn của nó trở thành điện dẫn không có tạp chất tức là điện dẫn riêng. Trong vùng điện dẫn tạp như thấy ở hình 9-23 vật liệu gần đến trạng thái thoái hóa.

Quang điện dẫn của InSb chiếm một vùng rộng, nằm ở phần hồng ngoại của quang phổ đến 8μm. Quang điện dẫn lớn nhất tương ứng với bước sóng 6,7 μm.

Antimonua Indi dùng để chế tạo tế bào quang điện có độ nhạy cao, dựa trên nguyên tắc sử dụng các dạng khác nhau của hiệu ứng quang, chế tạo cảm biến s.d.đ Holl và các bộ lọc quang học. Ngoài ra InSb dùng làm máy phát nhiệt điện, máy làm lạnh.

9.5.3. Hợp chất A^{II}B^{VI} và các vật liệu bán dẫn khác

Trong phần này sẽ giới thiệu một vài hợp chất của sunfua và các ôxít được dùng rộng rãi nhất trong kỹ thuật.

1. *Các sunfua.* Chì sunfua (PbS), bismút sunfua (Bi₂S₃) và cadmi sunfua (CdS) được dùng để sản xuất điện trở quang. Chì sunfua gặp trong thiên nhiên ở dạng vật liệu galenit và có thể điều chế được bằng một số phương pháp nhân tạo, PbS thường có biến thể vô định hình và tinh thể.

Bismút sunfua được điều chế bằng cách nấu chảy bismút với lưu huỳnh không có ôxy. Tinh thể của nó thuộc hệ thống hình thoi và có màu xám đen.

Cadmi sunfua thu được bằng các phương pháp khác nhau và có thể là vô định hình và tinh thể. Màu của nó tùy thuộc vào biến thể và các tạp chất trong nó.

Một vài tính chất của các sunfua cho trong bảng 9.7.

Bảng 9.7. Một vài tính chất của sunfua

Hợp chất	Bề rộng vùng cấm, eV	Độ linh hoạt điện tử cm ² /V.giây	Nhiệt độ nóng chảy, °C
PbS	0,37	400	1114
Bi ₂ S ₃	1,25	-	685
CdS	2,1	200	1750
Cu ₂ O	0,22÷0,39	-	-
ZnO	3,2	100÷1000	-
TiO ₂	3	1	-

Các đặc tính cơ bản của điện trở quang ϕ CK-1 và ϕ CK-2 cho trong bảng 9.8.

Bảng 9.8. Các đặc tính cơ bản của các điện trở quang

Các tính chất	Đơn vị đo	Trị số		Chú thích
		ϕ C-K-1	ϕ C-K-2	
Diện tích làm việc	mm ²	28,8	28,8	Với điện áp ϕ C-K-1-50V ϕ C-K-2-100V
Dòng điện khi độ chiếu sáng 200 lx	μ A	1500	600	
Dòng điện khi tối	μ A	15	30	
Giới hạn điện áp làm việc (khi công suất không lớn hơn 0,1w)	V	300	300	
Hệ số nhiệt độ của quang thông trong khoảng nhiệt độ từ 0 đến 40°C	%/độ	- 0,2	- 0,12	

Các điện trở quang được dùng để đếm sản phẩm trong sản xuất dây chuyền, để kiểm tra độ cao của các vật lỏng và bột rời trong bình chứa, trong các máy cái sao chép hình để gia công các chi tiết theo bản vẽ, để báo tín hiệu ánh sáng, báo hiệu khi có khói và kiểm tra mức đốt cháy nhiên liệu, dùng trong máy cái điều khiển theo chương trình, trong các thiết bị bảo vệ tự động ép bằng khuôn lạnh và các máy cái khác.

Điện trở quang có thể mắc trực tiếp vào mạng chiếu sáng điện áp xoay chiều và một chiều, tuổi thọ của chúng không nhỏ hơn 10.000 giờ.

Các sunfua còn được dùng làm chất phát quang. Kẽm sunfua được kích hoạt bằng dòng cũng là một loại sunfua phát quang điện. Bề rộng vùng cấm của ZnS gần 3,6 V, vì thế nó gần như điện môi.

2. Các ôxyt. Đồng ôxyt (Cu_2O) có màu đỏ thẫm chỉ có thể là bán dẫn loại p. Đồng ôxyt kết tinh dạng lập phương. Điện dẫn của đồng ôxyt phụ thuộc nhiều vào tạp chất các loại, nhiệt luyện và nhiệt độ.

Những dụng cụ bán dẫn đầu tiên là những chỉnh lưu bán dẫn và tế bào quang điện được điều chế từ các tấm đồng bị ôxy hoá với bề mặt bị phủ một lớp ôxyt đồng. Khi chế tạo chỉnh lưu ôxyt đồng thì lấy một phiến đồng bằng đồng đỏ đặc biệt tinh khiết đem đặt vào trong lò có môi trường ôxy hoá với nhiệt độ 1020-1040°C trong khoảng 5 giờ. Sau đó đưa vào lò thứ hai nhiệt độ 600°C và giữ trong khoảng 10 giờ. Khi đưa ra khỏi lò thì làm nguội phiến đồng đó bằng cách nhúng vào nước. Sau khi nhiệt luyện tấm đồng được phủ hai lớp ôxyt: bên trong màu đỏ

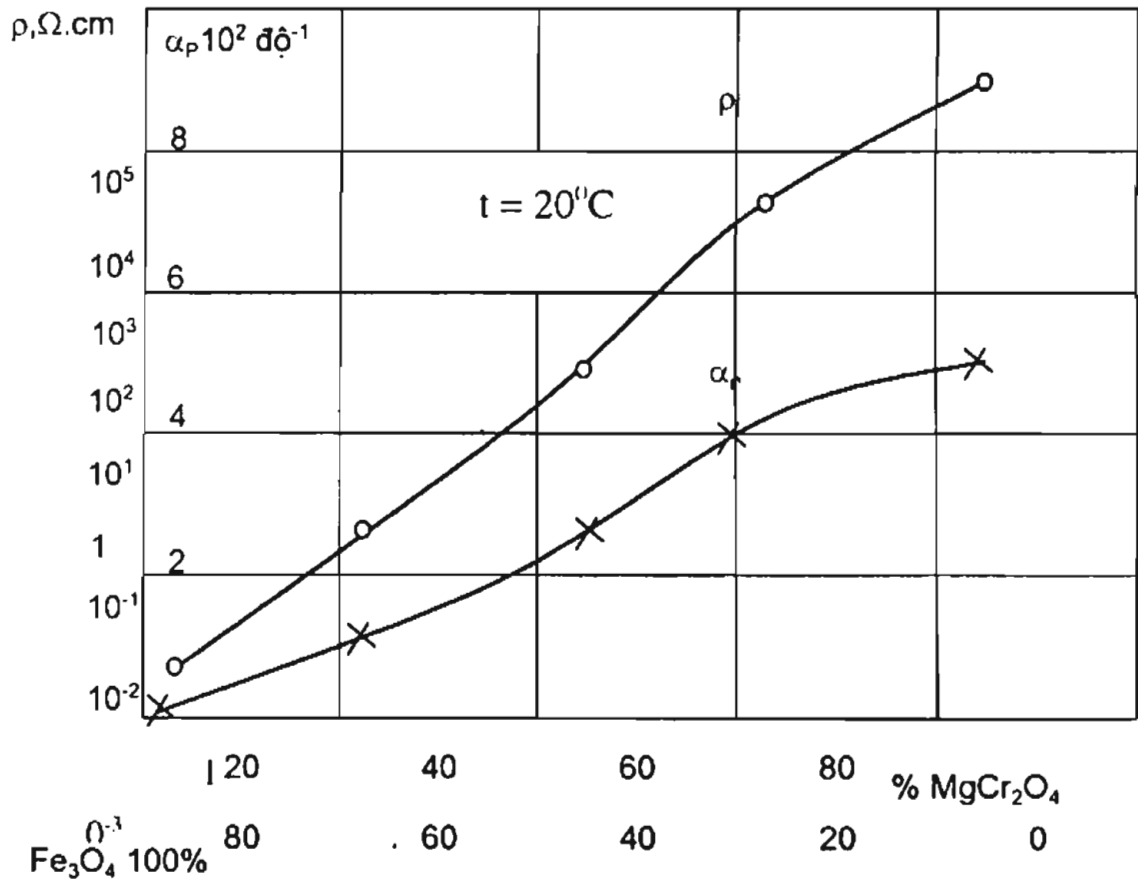
thấm (Cu_2O) và bên ngoài màu xám tối (CuO) có điện dẫn nhỏ được khử bằng cách tẩy, còn mặt sau của phiến đồng được làm sạch bằng phương pháp mài hoặc giũa cho tới đồng gốc. Một đầu ra hàn vào đồng, còn đầu khác tạo bằng cách phun một lớp kim loại oxy hoá yếu để tạo tiếp xúc. Phiến đồng này mắc vào mạch dòng điện xoay chiều có thể làm chỉnh lưu. Đồng ôxyt giáp với đồng gốc gồm có loại tạp chất đồng "cho" nghĩa là bán dẫn tạp loại n, sau đó đến lớp ôxyt đồng tinh - lớp khoá, còn lớp dày nhất là lớp ôxyt thừa ôxy là tạp chất "nhận" tạo thành lớp bán dẫn loại p.

Mật độ dòng điện thuận chiều cho phép đối với chỉnh lưu ôxyt đồng có thể bằng 100 mA/cm^2 ; điện áp ngược lớn nhất không được quá 8V nghĩa là thấp nhất trong các loại chỉnh lưu đã nghiên cứu.

Các chỉnh lưu đồng ôxyt cần được bảo vệ chống ẩm, vì ẩm làm tăng điện trở theo chiều thuận và làm xấu tiếp xúc. Sau một thời gian sử dụng, chỉnh lưu ôxyt đồng hoá già, thể hiện ở sự giảm trị số dòng điện thuận.

Sự hoá già của các chỉnh lưu mới điều chế đặc biệt mạnh, vì vậy trước khi đem dùng cần hoá già nhân tạo ở nhiệt độ tăng cao với mục đích tăng tính ổn định khi đem lắp đặt vào thiết bị làm việc.

Các loại ôxyt bán dẫn khác nhau như: kẽm ôxyt (ZnO), điôxyt khử không hoàn toàn TiO_2 , kẽm ôxyt với lượng kẽm thừa so với thành phần hợp thức là bán dẫn tạp loại p.



Hình 9-24. Quan hệ của điện trở suất và hệ số nhiệt của ôxyt bán dẫn phức tạp với hàm lượng các thành phần ở 20°C .

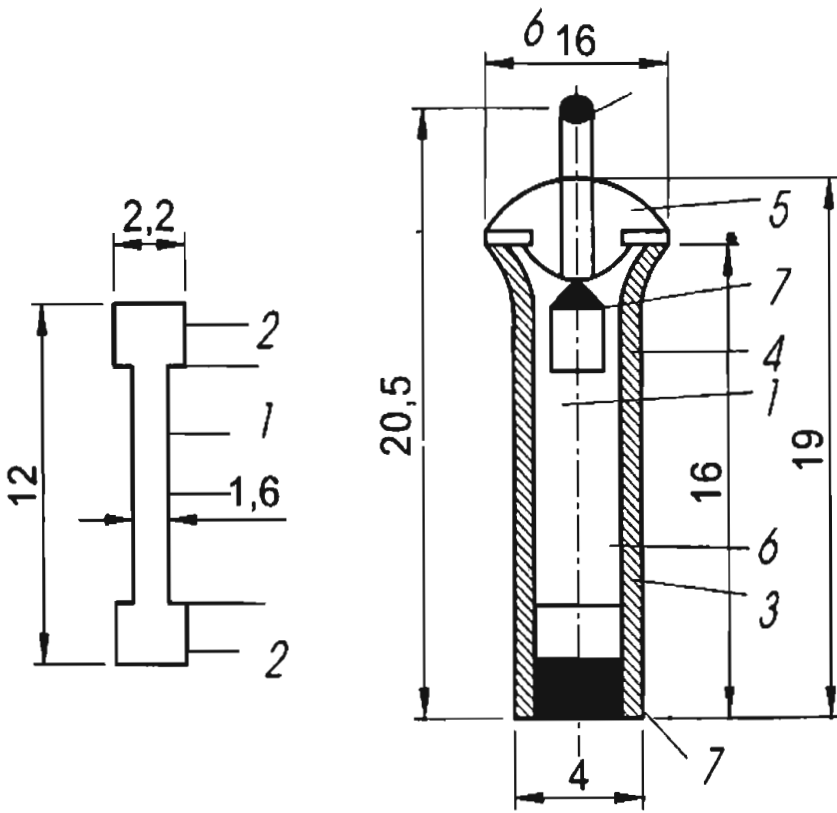
Ngoài những ôxyt đơn giản trong thực tế còn sử dụng hệ ôxyt phức tạp. Trị số điện dẫn của chúng có thể lựa chọn bằng cách thay đổi hàm lượng các thành

phần. Ví dụ có thể nêu quan hệ giữa điện trở suất và hệ số nhiệt độ của các mẫu chế tạo từ Fe_3O_4 và $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ với hàm lượng các thành phần (hình 9-24).

Qua hình vẽ ta thấy, giá trị điện trở suất của các mẫu này khi thay đổi hàm lượng ôxyt có thể khác nhau hàng triệu lần, và giá trị P càng lớn thì α_p cũng càng cao.

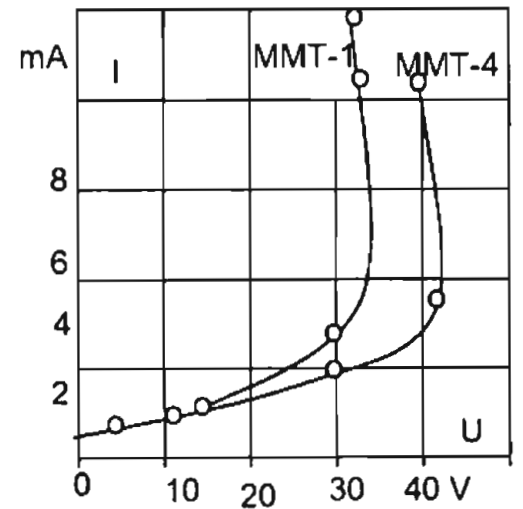
Các ôxyt bán dẫn dùng để chế tạo nhiệt điện trở, chỉnh lưu (TiO_2) và các thiết bị khác.

3. Nhiệt điện trở được chế tạo thành các thanh, phiến hay hình viên bằng phương pháp công nghệ gốm. Trị số điện trở và các tính chất khác của nhiệt điện trở không chỉ phụ thuộc vào thành phần của nó mà còn phụ thuộc vào cỡ hạt, công nghệ chế tạo như áp lực nén và nhiệt độ nung.



Hình 9-25. Cấu tạo các nhiệt điện trở.

- 1- thân điện trở; 2- nắp tiếp xúc; 3- lớp men sơn; 4- lớp kim loại bọc; 5- thủy tinh cách điện; 6- lá kim loại; 7- lớp thiếc.



Hình 9-26. Đặc tính von-ampe của các nhiệt điện trở MMT-1 và MMT-4 lấy trong không khí yên tĩnh ở 20°C , $R_{đầu} = 25\text{k}\Omega$.

Có thể lấy nhiệt điện trở đồng - mangan MMT-1 và MMT-4 làm ví dụ cho loại điện trở nhiệt. Cấu tạo của nó biểu diễn trên hình 9-25; đặc tính von-ampe của MMT trên hình 9-26.

Điện trở nhiệt MMT-1 là loại làm việc ở chỗ kín khô, còn MMT-4 được bọc kín nên có thể làm việc trong không khí có độ ẩm cao và ngay cả trong chất lỏng.

Trị số điện trở định mức của nhiệt điện trở có thể nằm trong giới hạn từ 1000 đến 200.000 Ω ở 20°C, nhưng cũng có thể sản xuất điện trở có trị số định mức nhỏ hơn. Hệ số nhiệt của điện trở các loại MMT ở 20°C khoảng (3÷4)%/độ, chúng được dùng làm việc ở trong khoảng nhiệt độ -100°C đến 120°C. Nhiệt điện trở MMT làm việc ổn định, có độ bền cơ và chịu đốt tốt.

Ngoài việc dùng trong thiết bị đo lường, điều chỉnh nhiệt độ và bù nhiệt, nhiệt điện trở còn dùng để ổn áp, giới hạn xung dòng ban đầu, đo nhiệt dẫn chất lỏng, dùng làm biến trở không tiếp điểm và rơle dòng điện.

4. Các vật liệu bán dẫn có thành phần phức tạp. Trong kỹ thuật chúng được dùng để chế tạo các phần tử nhiệt của các máy phát nhiệt điện và các thiết bị làm lạnh. Các vật liệu loại này có hợp kim Bi - Sb - Zn dùng làm nhanh hệ số dương của các phần tử nhiệt, dung môi rắn 0,25 PbS; 0,5 PbSe; 0,25 PbTe; 0,3 PbS; 0,7PbSe v.v... dùng để chế tạo nhánh hệ số âm của phần tử nhiệt.

Chương X

VẬT LIỆU TỪ

10.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ TÍNH CHẤT TỪ CỦA VẬT LIỆU TỪ TÍNH

Các vật liệu từ tính như các chất sắt từ và các hợp chất hoá học ferít là những loại có giá trị lớn trong kỹ thuật điện. Nguyên nhân chủ yếu gây nên từ tính của vật liệu điện là do các điện tích luôn luôn chuyển động ngầm theo các quỹ đạo kín tạo nên những dòng điện vòng. Cụ thể hơn đó là sự quay của các điện tử xung quanh trục của chúng -spin điện tử và sự quay theo quỹ đạo của các điện tử trong nguyên tử. Hiện tượng sắt từ là do trong một số vật liệu ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ Quyri đã phân sẵn thành những vùng vĩ mô mà trong từng vùng ấy các spin điện tử đều định hướng song song với nhau (phân cực tự nhiên). Các vùng ấy gọi là đômen từ.

Như vậy, tính chất đặc trưng cho trạng thái sắt từ của các chất là nó có độ nhiễu từ tự phát ngay khi không có từ trường ngoài. Mặc dù trong chất sắt từ có những vùng từ hoá tự phát, nhưng mômen từ của các đômen lại có hướng rất khác nhau, điều đó rút ra từ định luật tối thiểu của hệ năng lượng tự do. Từ thông ở không gian bên ngoài vật liệu bằng không. Tính toán lý thuyết có thể xác định được kích thước đômen của một số vật liệu cỡ 10^{-2} - 10^{-6} cm³, với bề dày lớp giới hạn giữa chúng bằng khoảng vài chục đến vài trăm lần khoảng cách của các nguyên tử. Các vật liệu tinh khiết có các đômen lớn hơn. Sự tồn tại của các đômen đã được thực nghiệm chứng minh.

Các chất sắt từ đơn tinh thể có khả năng từ hoá dị hướng nghĩa là theo các trục khác nhau mức từ hoá khó hay dễ cũng khác nhau. Trên hình 10-1 vẽ hướng từ hoá dễ, trung bình và khó trong các đơn tinh thể của ba nguyên tố sắt từ cơ bản: sắt, niken và coban. Như hình vẽ cho thấy hướng từ hoá dễ đối với đơn tinh thể sắt là cạnh hình lập phương, hướng khó nhất là đường chéo, đối với ô mạng niken thì hướng dọc theo cạnh khối lập phương lại là hướng khó từ hoá.

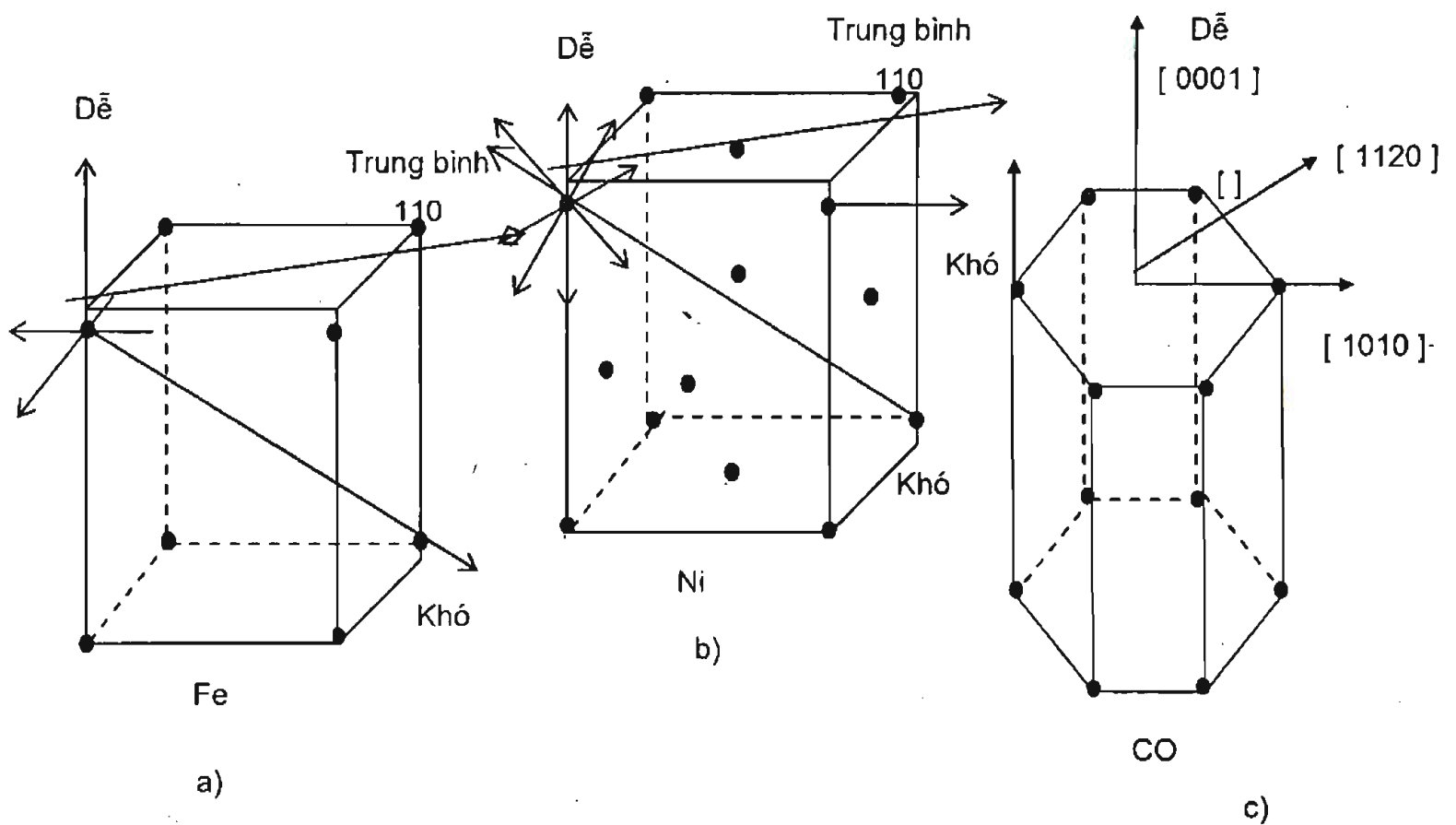
Trong trường hợp khi các chất sắt từ đã tinh thể có tính dị hướng thể hiện rất rõ, người ta thường gọi chất đó là có cấu tạo thớ từ tính. Tạo được thớ từ theo ý muốn có ý nghĩa lớn, nó được sử dụng trong kỹ thuật để nâng cao đặc tính từ của vật liệu theo hướng xác định.

Quá trình từ hoá vật liệu sắt từ dưới ảnh hưởng của từ trường bên ngoài gồm các hiện tượng sau:

1) Tăng thể tích của các đômen có mômen từ tạo với hướng từ trường góc nhỏ nhất và giảm kích thước của các đômen khác (Quá trình chuyển dịch mặt phân cách của các đômen).

2) Quay các vectơ mômen từ hoá theo hướng từ trường ngoài (quá trình định hướng).

Khi thể tích các đômen không tăng được nữa và mômen từ của tất cả các miền vi mô đã trùng với hướng của từ trường là lúc có bão hoà.



Hình 10.1. Hướng từ hoá dễ và khó trong đơn tinh thể.

a - sắt; b- niken; c - crom.

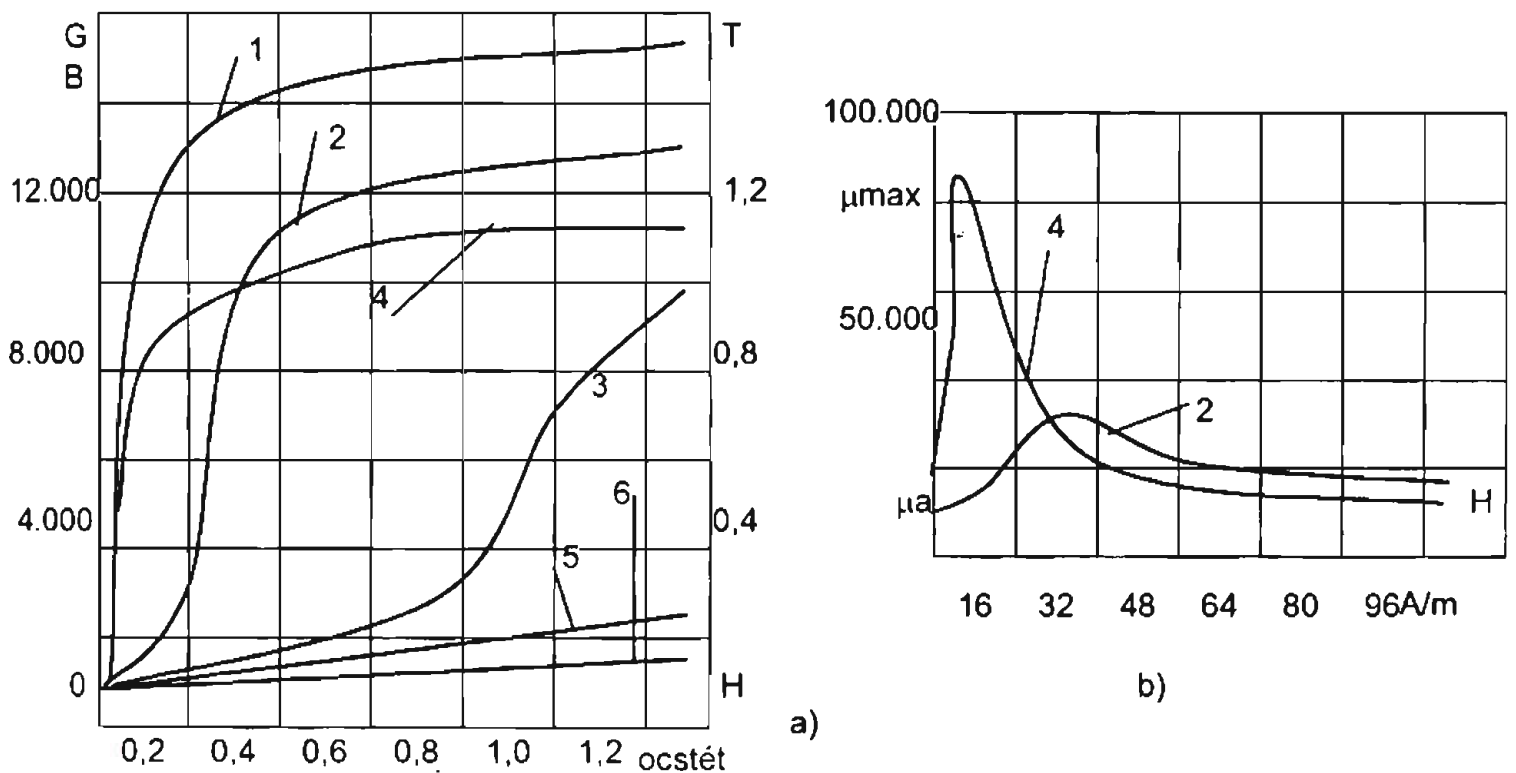
Khi từ hoá chất sắt từ đơn tinh thể thì kích thước của chúng có thay đổi. Hiện tượng đó gọi là từ giảo. Đại lượng từ giảo của đơn tinh thể sắt khác nhau theo các hướng khác nhau trong tinh thể. Khi từ hoá theo hướng cạnh lập phương đơn tinh thể sắt được kéo dài theo hướng đường chéo, nghĩa là co lại theo hướng từ hoá. Hiện tượng từ giảo có thể thấy ở các vật liệu đa tinh thể. Trong ba nguyên tố sắt từ

cơ bản (Fêmol, Ni, Co) thì niken có độ từ giảo lớn nhất. Dấu biến dạng từ giảo ở các vật liệu khác nhau có thể dương hay âm, sự biến đổi dấu cũng có thể quan sát thấy ở ngay một vật liệu khi thay đổi cường độ từ trường.

Quá trình từ hoá vật liệu sắt từ có thể đặc trưng bằng đường cong từ hoá $B = F(h)$, có dạng tương tự đối với tất cả các vật liệu sắt từ.

Trên hình 10-2,a vẽ đường cong từ hóa cơ bản của một số vật liệu từ.

Độ từ thẩm là tỷ số của đại lượng cảm ứng từ B và cường độ từ trường H ở điểm xác định trên đường cong từ hoá cơ bản (hình 10-2,b) trong hệ SI hằng số $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} H/m$.



Hình 10.2. Đường cong từ hoá (a) và độ từ thẩm μ (b).

1- sắt đặc biệt tinh khiết; 2- sắt tinh khiết (99,98% Fe); 3- sắt kỹ thuật tinh khiết (99,92% Fe);

4- Pécmalôi (78% Ni); 5- Niken; 6- hợp kim sắt - Niken (26% Ni).

Trên hình 10-2a trục dọc bên trái đặt giá trị cảm ứng từ tính theo gauss, còn bên phải tính theo hệ SI - tesla (T), $1 \text{ gauss} = 10^{-4} \text{ T}$. Trên trục ngang là cường độ từ trường H đơn vị là ơstet, theo hệ SI là A/m; $1 \text{ ơstet} = 79,6 \text{ A/m} \approx 80 \text{ A/m}$. Vì việc tính đổi các trị số của cảm ứng từ hoặc cường độ từ trường từ thứ nguyên của một hệ đơn vị này sang đơn vị khác rất đơn giản nên về sau chúng ta sẽ dẫn các đặc tính của các vật liệu từ trong một hệ thống đơn vị.

Độ từ thẩm μ_{hd} khi $H = 0$ gọi là độ từ thẩm ban đầu, đây là trị số của nó trong trường yếu khoảng 0,001 ơstet. Giá trị lớn nhất của độ từ thẩm gọi là độ từ thẩm

cực đại ký hiệu μ_{max} . Ở từ trường mạnh trong vùng bão hoà từ độ từ thẩm tiến tới một.

Hệ số từ thẩm động μ_{\sim} - là đại lượng đặc trưng cho vật liệu sắt từ trong từ trường xoay chiều, nó là tỷ số giữa biên độ cảm ứng từ với biên độ cường độ từ trường:

$$\mu_{\sim} = \frac{B_{max}}{H_{max}} \quad (10-1)$$

Với sự tăng của tần số từ trường xoay chiều, độ từ thẩm động giảm vì quán tính của các quá trình từ.

Độ từ thẩm của vật liệu sắt từ phụ thuộc vào nhiệt độ như hình 10-3; trị số lớn nhất đạt được ứng với nhiệt độ gần điểm Quyri. Đối với sắt tinh khiết điểm

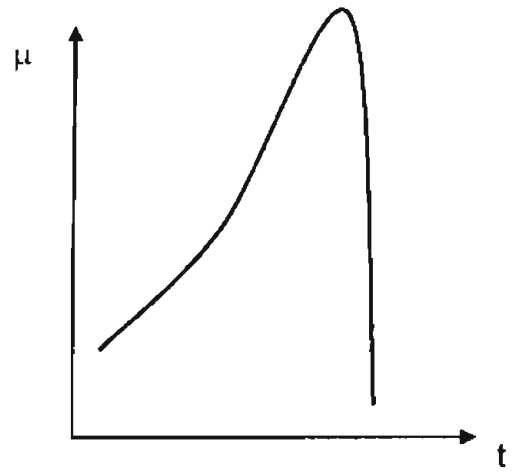
Quyri khoảng 768°C , niken 358°C ; coban 1131°C . Khi nhiệt độ vượt quá điểm Quyri các vùng từ hoá tự phát bị phá huỷ do chuyển động nhiệt và vì thế vật liệu sẽ bị mất từ tính.

Để đặc trưng cho sự biến đổi độ từ thẩm theo nhiệt độ, người ta dùng đại lượng hệ số nhiệt của độ từ thẩm (như đối với các đặc tính khác đã nêu ở trên).

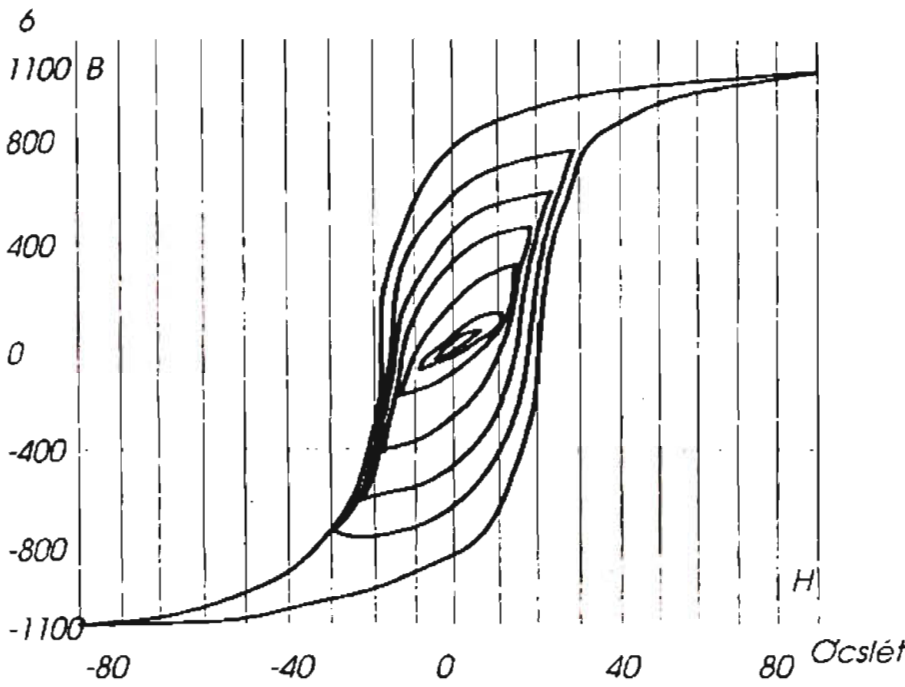
$$TK_{\mu} = \alpha_{\mu} = \frac{1}{\mu_t} \cdot \frac{d\mu}{dt}, \quad (\text{độ}^{-1}) \quad (10-2)$$

Nếu tiến hành từ hoá vật liệu sắt từ trong từ trường ngoài, sau đó bắt đầu ở một điểm nào đó trên đường cong từ hoá cơ bản, giảm cường độ từ trường thì cảm ứng từ cũng giảm, nhưng không theo đường từ hoá cơ bản mà giảm chậm hơn do hiện tượng từ trễ. Khi tăng từ trường theo chiều ngược lại thì mẫu vật liệu có thể bị khử từ sau đó lại được từ hoá lại và nếu đổi chiều từ trường thì cảm ứng từ lại có thể quay trở về điểm ban đầu. Ta có đường cong kín đặc trưng cho tình trạng từ hoá của mẫu, đó là vòng từ trễ của chu trình từ hoá.

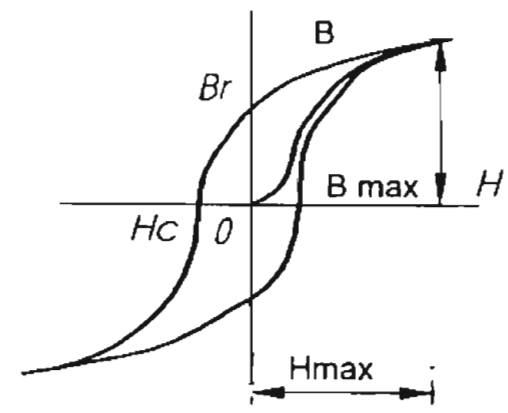
Thay đổi giá trị cường độ từ trường ngoài ta có thể vẽ được họ đường cong từ trễ như trên hình 10-4. Chọn trong số các chu trình này một chu trình giới hạn, khi sự từ hoá vật liệu đã đạt đến độ bão hoà B_{max} (hình 10-5).



Hình 10-3. Quan hệ của μ vật liệu sắt từ với nhiệt độ.



Hình 10-4. Các vòng từ trễ ứng với các giá trị giới hạn cường độ từ trường ngoài khác nhau.



Hình 10-5. Đường cong từ hoá ban đầu và vòng từ trễ giới hạn của vật liệu sắt từ.

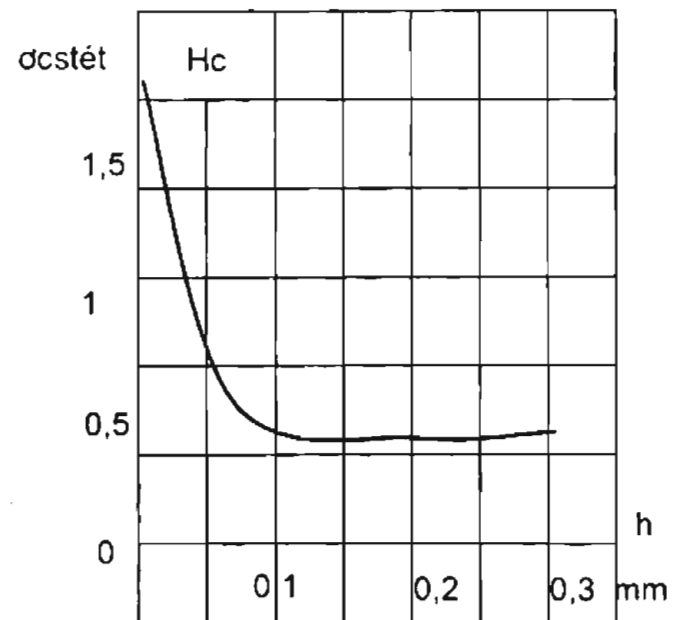
Giá trị B khi $H = 0$ trong vòng từ trễ giới hạn gọi là cảm ứng từ dư B_d . Để giảm B_d này về trị số không cần đặt từ trường có chiều ngược lại H_k gọi là lực giữ từ (lực kháng từ).

Vật liệu có trị số H_k nhỏ và độ từ thẩm lớn gọi là vật liệu sắt từ mềm. Vật liệu có lực kháng từ lớn và độ từ thẩm tương đối bé gọi là vật liệu sắt từ cứng.

Nam châm vĩnh cửu chế tạo từ vật liệu sắt từ cứng. Sự thay đổi đàn hồi kích thước của chất sắt từ có ảnh hưởng rõ rệt đến tính chất từ của chúng.

Trong trường hợp một vật liệu có độ từ giãn âm, khi có ứng suất kéo ngoài thì độ từ thẩm của nó giảm, ví dụ, như niken dưới tác dụng của ứng suất kéo từ thẩm có thể giảm đến giá trị rất thấp. Nếu từ giãn dương thì dưới tác dụng của ứng suất kéo độ từ thẩm của vật liệu sẽ tăng.

Ứng suất trong của mạng tinh thể trong chất sắt từ cản trở sự phát triển các đômen và sự định hướng các mômen từ của nó theo hướng của trường. Ứng suất trong tăng, độ từ thẩm sẽ giảm còn lực kháng từ sẽ tăng. Ứng suất trong phát sinh



Hình 10-6. Quan hệ giữa lực kháng từ của thép MBA với bề dày tấm thép.

khi gia công nguội như: cán, kéo, rèn, uốn, v.v... Các tinh thể riêng lẻ bị đập, kéo gây ra hệ ứng suất trong phức tạp. Ví dụ trên hình 10-6 nêu quan hệ giữa lực kháng từ của thép máy biến áp với hệ dây của nó khi thành phần không đổi và nhiệt độ bằng 20°C.

Muốn phục hồi tính chất từ ban đầu của vật liệu sắt từ cần phải ủ nó để giảm ứng suất trong và tạo sự kết tinh lại các hạt. Tính chất từ phụ thuộc vào kích thước hạt. Do sự biến dạng mạng tinh thể, lớp bề mặt của các hạt có lực kháng từ tăng lên. Vì thế, trong trường hợp có cấu trúc hạt mịn, tổng diện tích mặt của hạt lớn hơn so với cấu tạo hạt thô, vì vậy trong vật liệu có cấu trúc hạt mịn thì sự biến dạng lớp mặt có ảnh hưởng mạnh hơn và lực kháng từ của nó cũng lớn hơn. Ứng suất trong thường liên quan với sự nhiễm tạp chất trong vật liệu, ví dụ có ôxy trong sắt tinh khiết, tạp chất hay các chất phụ coban, crôm, vonfram. Bằng cách sử dụng các tạp chất để làm phức tạp thêm mạng tinh thể, thêm vào nguyên công tôi hoặc đôi khi định hướng các đômen trong từ trường, ta có thể thu được vật liệu sắt từ cứng.

Quá trình từ hoá lại vật liệu sắt từ trong từ trường biến đổi bao giờ cũng có tổn hao năng lượng dưới dạng nhiệt do tổn hao từ trễ và tổn hao động học.

Tổn hao động học là do dòng điện xoáy cảm ứng trong khối sắt từ và một phần còn do hiệu ứng gọi là hậu quả từ hoá hay độ nhớt từ. Tổn hao dòng điện xoáy phụ thuộc vào điện trở. Điện trở suất chất sắt từ càng cao thì tổn hao dòng điện xoáy càng nhỏ.

Đối với từng loại vật liệu tổn hao từ trễ có thể xác định theo diện tích tĩnh của vòng từ trễ ứng với tỷ lệ xích và tần số dòng điện.

Để tính tổn hao từ trễ sau một chu trình trong một đơn vị thể tích có thể dùng công thức kinh nghiệm sau:

$$P_{h,l} = \eta B_{\max}^n \quad (10-3)$$

Ở đây: η - hệ số phụ thuộc vào vật liệu ; B_{\max} - cảm ứng từ lớn nhất đạt được trong một chu trình; n - chỉ số mũ lấy từ 1,6 đến 2.

Công suất tổn hao từ trễ có thể tính:

$$P_h = \eta f B_{\max}^n V \quad (10-4)$$

Ở đây: f - là tần số dòng điện; V - thể tích chất sắt từ.

Công suất tổn hao dòng điện xoáy có thể tính theo công thức:

$$P_f = \xi f^2 B_{\max}^2 V \quad (10-5)$$

Ở đây: ξ - hệ số phụ thuộc vào loại chất sắt từ (trong đó phụ thuộc vào điện trở suất) và hình dáng của nó.

Do P_r phụ thuộc vào bậc hai của tần số, còn P_h chỉ tỷ lệ ở bậc nhất nên ở tần số cao cần tính trước tiên là P_r - nghĩa là tính tổn hao dòng điện xoáy.

Cần chú ý đến các tổn hao có liên quan tới hậu quả từ hóa khi chất sắt từ làm việc ở chế độ xung.

Khi nghiên cứu vật liệu từ dùng trong kỹ thuật điện có thể chia chúng thành 3 nhóm sau:

- 1) Vật liệu từ mềm
- 2) Vật liệu từ cứng
- 3) Vật liệu từ có công dụng đặc biệt.

10.2. CÁC VẬT LIỆU TỪ MỀM

Vật liệu từ mềm có độ từ thẩm cao, lực kháng từ và tổn hao từ trễ nhỏ, được dùng làm lõi máy biến áp, nam châm điện, trong các dụng cụ đo điện và trong các trường hợp cần có cảm ứng từ lớn nhất với lượng tiêu phí năng lượng nhỏ nhất.

Để giảm tổn hao dòng điện xoáy, trong các máy biến áp dùng vật liệu sắt từ mềm có điện trở lớn, thường là dùng gông từ bằng cách ghép những tấm tôn silic cách điện với nhau.

10.2.1. Sắt

Trong sắt kỹ thuật tinh khiết thường có một lượng nhỏ cacbon, lưu huỳnh, mangan, silic và các nguyên tố khác làm xấu tính chất từ của sắt. Vì điện trở tương đối thấp nên sắt tinh khiết kỹ thuật được sử dụng tương đối ít, chủ yếu làm mạch từ từ thông không đổi.

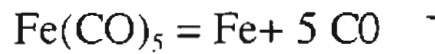
Thông thường sắt tinh khiết kỹ thuật chế tạo bằng cách tinh chế gang trong lò Mactanh hay lò thổi, hàm lượng tạp chất tổng cộng dưới 0,08-0,1%. Ở các nước vật liệu này còn được gọi là "sắt armcô".

Thép lá kỹ thuật điện cacbon thấp. Đó là một trong nhiều dạng của sắt kỹ thuật tinh khiết được sản xuất thành tấm mỏng từ 0,2 đến 4 mm, thành phần có không quá 0,04% cacbon và không quá 0,6% các tạp chất khác. Trị số độ từ thẩm tương đối không nhỏ hơn 3500-4500, lực kháng từ không lớn hơn 0,8-1,2 oerstet.

Sắt đặc biệt tinh khiết với lượng tạp chất rất thấp (nhỏ hơn 0,05%) có thể thu được bằng hai phương pháp phức tạp:

1) Sắt điện phân chế tạo bằng cách điện phân dung dịch sunfát hay clorua sắt trong đó anốt là sắt tinh khiết, còn catot là phiến thép mềm. Sắt bám ở catot (dùng 4-6mm) sau khi rửa cẩn thận được gỡ ra và nghiền thành bột trong máy nghiền bi sau đó được ủ hay luyện lại trong chân không.

2) Sắt cacbonyl thu được bằng cách nhiệt phân sắt cacbonyl theo phương trình:



Sắt cacbonyl -5 là chất lỏng được thu khi tác dụng axit cacbon lên sắt ở nhiệt độ gần -200°C , áp suất gần 150ata. Sắt cacbonyl có dạng bột mịn rất thuận tiện để chế lõi sắt cao tần nén.

Trong bảng 10.1 nêu các tính chất từ của sắt tinh khiết mang các nhãn hiệu khác nhau theo chỉ số hàm lượng tạp chất. Trên hình 10.2 vẽ đường cong từ hoá của một số loại sắt này.

Bảng 10.1. Thành phần và tính chất của sắt với các nhãn hiệu khác nhau

Vật liệu	Thành phần tạp chất		Tính chất từ		
	Cacbon	ôxy	Độ từ thẩm		Lực kháng từ Hk (ocstet)
			Ban đầu μ_{bd}	Lớn nhất μ_{max}	
Sắt kỹ thuật tinh khiết	0,02	0,06	250	7.000	0,8
Sắt điện phân	0,02	0,01	600	15.000	0,35
Sắt cacbonyl	0,005	0,005	3300	21.000	0,08
Sắt điện phân được luyện lại trong chân không	0,01	-	-	61.000	0,09
Sắt được luyện trong hydro	0,005	0,003	6000	200.000	0,04
Sắt được luyện trong hydro đặc biệt kỹ lưỡng	-	-	20000	340.000	0,03
Sắt tinh khiết đơn tinh thể ủ trong hydro đặc biệt kỹ lưỡng	-	-	-	1.430.000	0,015

10.2.2. Thép

Thép lá kỹ thuật điện là vật liệu từ mềm được dùng rộng rãi nhất. Việc đưa silic vào thành phần của thép này làm tăng điện trở suất, do đó tổn hao do dòng điện xoáy giảm xuống.

Ngoài ra silic trong thép còn tạo khả năng tách cacbon ở dạng grafit, cũng như khử gần toàn bộ oxy của thép. Điều này làm tăng μ_{10} , giảm H_k và giảm tổn hao từ trễ. Tuy nhiên silic ảnh hưởng xấu đến tính cơ học của thép như tăng độ giòn và khó cán thành tấm.

Với hàm lượng silic đến 4% thép còn có đặc tính cơ tương đối tốt, nhưng hàm lượng silic quá 5% nó trở nên rất giòn. Bằng cách kết hợp cán nóng và cán lạnh thép silic và nhiệt luyện đặc biệt có thể chế tạo thép có cấu trúc tinh thể lớn và có thớ, thêm vào đó các vi tinh thể có trục định hướng từ hoá dễ nhất song song với hướng cán. Tính chất từ theo hướng cán của thép này cao hơn nhiều so với thép không được gia công như vậy.

Thép lá kỹ thuật điện ở Liên Xô (cũ) chia thành các loại sau:

Э 11; Э 12; Э 13;

Э 21; Э 22;

Э 31; Э 32;

Э 41; Э 42; Э 43; Э 43A; Э 44; Э 45; Э 46; Э 47; Э 48.

Э 310; Э 320; Э 330; Э 330A; Э 340; Э 370; Э 380.

Э 1100; Э 1200; Э 1300; Э 3100; Э 3200.

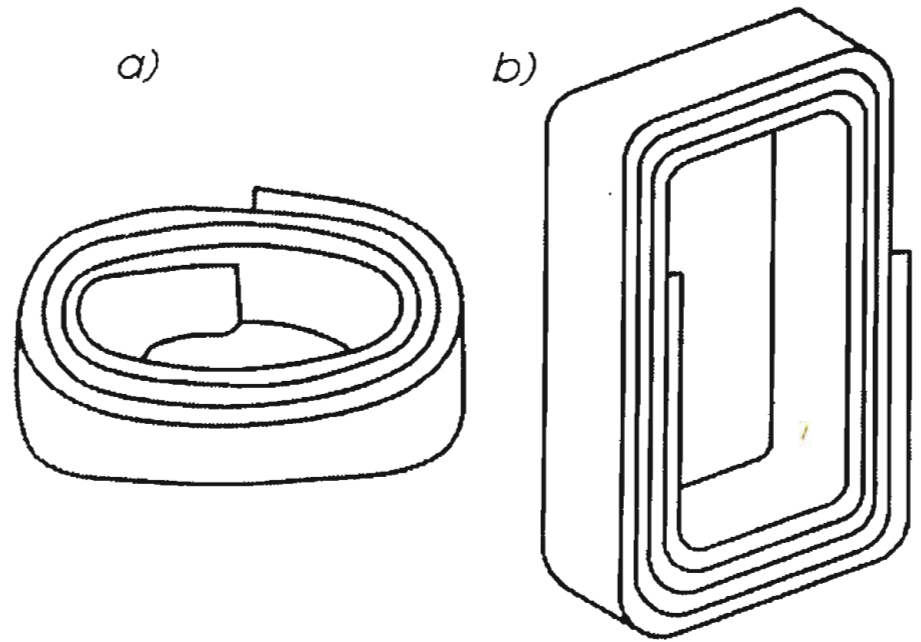
Con số thứ nhất chỉ hàm lượng gần đúng của silic theo phần trăm, khi tăng hàm lượng silic khối lượng riêng của thép giảm và điện trở suất của nó tăng - xem bảng 10.2.

Bảng 10.2. Sự phụ thuộc của khối lượng riêng và điện trở suất thép lá kỹ thuật điện vào hàm lượng silic

Con số thứ nhất nhân thép	Mức hợp kim hoá silic của thép	Hàm lượng Si, %	Khối lượng riêng g/cm ³	Điện trở suất $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
1	Hợp kim hoá yếu	0,8-1,8	7,80	0,25
2	Hợp kim hoá trung bình	1,8-2,8	7,75	0,40
3	Hợp kim hoá tăng cao	2,8-3,8	7,65	0,50
4	Hợp kim hoá cao	3,8-4,8	7,55	0,60

Con số thứ hai đặc trưng cho tính chất điện và từ của thép. Các con số 1,2,3 đảm bảo suất tổn hao xác định khi từ hoá lại (ở tần số 50Hz) và cảm ứng từ trong từ

trường mạnh. Chữ A ký hiệu suất tổn hao rất thấp. Số 4 cho biết thép được định mức tổn hao khi từ hoá ở tần số 400Hz và cảm ứng từ trong trường có cường độ trung bình. Thép có ký hiệu số 5,6 dùng trong trường yếu từ 0,002 đến 0,008 A/cm và trị số μ_{hd} của chúng được đảm bảo. Con số 7,8 chỉ đặc điểm chủ yếu của độ từ thẩm trong cường độ



Hình 10-7. Lõi thép bằng:

a) kiểu ôvan; b) kiểu chữ nhật.

trường trung bình từ 0,03 đến 10A/cm. Cuối cùng con số 0 thứ ba chỉ rằng thép được cán nguội (thép có thớ), có hai số 0 liên tiếp là thép được cán nguội và ít thớ.

Thép với hàm lượng silic cao chủ yếu dùng để làm lõi máy biến áp mà ta thường gọi là tôn silic. Thép có thớ dị hướng được dùng để chế tạo lõi thép cuộn của máy biến áp (hình 10-7). Sử dụng các thép này làm máy biến áp điện lực giảm được trọng lượng và kích thước. Máy biến áp 20-25%, còn làm máy biến áp trong vô tuyến điện giảm 40%.

Các kích thước thường dùng nhất của thép lá kỹ thuật cho ở bảng 10.3.

Bảng 10.3. Các kích thước thường dùng nhất của thép lá kỹ thuật

Kích thước	Đơn vị đo	Trị số thường dùng nhất					
Dày	mm	0,1 ;	0,2 ;	0,35 ;	0,5 ;	1	
Rộng	m	0,24 ;	0,6 ;	0,7 ;	0,75 ;	0,86 ;	1
Dài	m	0,72 ;	1,2 ;	1,34 ;	1,5 ;	1,72 ;	2

Các tiêu chuẩn quy định tính chất điện và từ đối với các nhãn thép kỹ thuật điện là:

1) Cảm ứng từ (ký hiệu bằng chữ B với con số chỉ cường độ từ trường tương ứng tính theo A/cm);

2) Tổng suất tổn hao công suất dòng điện xoay chiều tính bằng w trên 1kg thép đặt trong từ trường xoay chiều, được ký hiệu bằng chữ P với con số ở dạng

phân số, tử số là giá trị biên độ cảm ứng từ tính theo kilôgam, còn mẫu số là tần số tính bằng héc.

Trong bảng 10.4 nêu các giá trị cảm ứng từ giới hạn và suất tổn hao đối với một số nhãn thép kỹ thuật điện.

Bảng 10.4. Giá trị giới hạn cảm ứng từ và suất tổn hao kỹ thuật điện

Nhãn hiệu thép	Dây	$B_{25}-B_{300}$ k.gaus, không nhỏ hơn	$P_{10/50}-P_{15/50}$ W/kg, không lớn hơn	B_5-B_{25} k.gaus không nhỏ hơn	$P_{7,5}-P_{10/400}$ W/kg, không lớn hơn
Đ 11 - Đ 43A (cán nóng)	0,35 - 1	14,4 - 20	0,9 - 14,4	-	-
Đ 1100-Đ 3200	0,5	14,8 - 20	1,5 - 7,5	-	-
Đ 310-Đ 330A	0,35 - 0,5	17,5 - 20	0,5 - 2,45	-	-
Đ 44 và Đ 430	0,1 - 0,35	-	-	11,9 - 17	6-19

Cảm ứng từ của các loại thép lá kỹ thuật khác cho ở bảng 12.5.

Bảng 10.5. Giá trị cảm ứng từ của một số loại thép kỹ thuật

Nhãn thép	Bề dày, mm	$B_{0,002} - B_{0,008}$ k.gaus, không nhỏ hơn	$B_{0,1} - B_{10}$ k.gaus, không nhỏ hơn
Đ 45 và Đ 46	0,2 - 0,35	1,2 - 8,8	-
Đ 47 và Đ 48	0,2 - 0,35	-	0,3 - 1,3
Đ 370 và Đ 380	0,2 - 0,5	-	1,4 - 17

10.2.3. Pécmalôi

Pécmalôi là hợp kim sắt - niken có trị số độ từ thẩm ban đầu rất lớn trong vùng từ trường yếu, bởi vì chúng không có hiện tượng dị hướng và từ giao.

Người ta chia pécmalôi nhiều niken có khoảng 72-80% niken và pécmalôi ít niken: 40-50% niken. Khi đưa vào thành phần pécmalôi các tạp chất mólípden, Cr, Si, Mn để nâng cao điện trở suất của nó. Tạp chất mólípden cũng có khả năng giảm độ nhạy biến dạng của pécmalôi, còn tạp chất đồng làm cho μ không thay đổi trong

những khoảng hẹp của cường độ trường. Các loại pécmalôi nhiều niken dùng làm lõi cuộn cảm có kích thước nhỏ, máy biến áp âm tần nhỏ, các biến áp xung và trong các khuếch đại từ.

Pécmalôi ít niken có từ cảm bão hoà lớn hơn gần hai lần pécmalôi nhiều niken, điều đó cho phép dùng nó làm lõi thép máy biến áp điện lực, cuộn cảm và các dụng cụ cần có mật độ từ thông cao.

Các pécmalôi với vòng từ trễ hình chữ nhật có thể dùng làm lõi khuếch đại từ, cơ cấu chuyển mạch, thiết bị chỉnh lưu và các phần tử của máy tính.

Pécmalôi rất nhạy cảm với tác dụng cơ học. Các tính chất của pécmalôi cho trong bảng 10.6.

Bảng 10.6. Các tính chất cơ bản của các hợp kim có độ từ thẩm cao

Tên hợp kim	Nhãn hiệu	Đặc tính của hợp kim	Bé dày, mm	H_{bd}	H_{max}	H_k dcstet	B_{max} k.ga us	ρ $\Omega.m$ m^2/m
Pécmalôi nhiều niken	79 HM	Hợp kim có độ từ thẩm cao và điện trở suất cao	0,02 đến 2,5	14.000	60.000	0,01 đến 0,06	7	0,55
	88 HXC			đến	đến		đến	đến
	79 HM			50.000	300.000		7,5	0,63
Pécmalôi ít niken	45H, 50H	Hợp kim có độ từ thẩm được nâng cao, từ cảm bão hoà cao, điện trở suất được nâng cao và cao	0,02 đến 2,5	400 đến 3.200	12.000 đến 100.000	0,1 đến 0,45	9,5 đến 15	0,25 đến 0,9
	50HP							
	60HP							
	38HC							
	42HC							
50HCX								
Alusife	-	Hợp kim giòn, độ từ thẩm cao, điện trở suất cao	-	20.000	117.000	0,022	11	0,81

Khi tăng tần số thì từ thẩm của pécmalôi giảm do phát sinh dòng điện xoáy, bởi vì điện trở suất của nó không lớn lắm. Sự giảm cảm ứng từ khi tần số tăng ở cùng một cường độ từ trường ngoài, tương ứng với sự giảm độ từ thẩm động.

10.2.4. Alusife

Hợp kim sắt với silic và nhôm có tên gọi là alusife. Thành phần tốt nhất của alusife là: 9,5% Si; 5,6% Alusife; còn lại là Fe. Hợp kim này có đặc tính cứng và giòn, nhưng cũng có thể chế tạo ở dạng đúc định hình. Các tính chất của nó cho trong bảng 10.6.

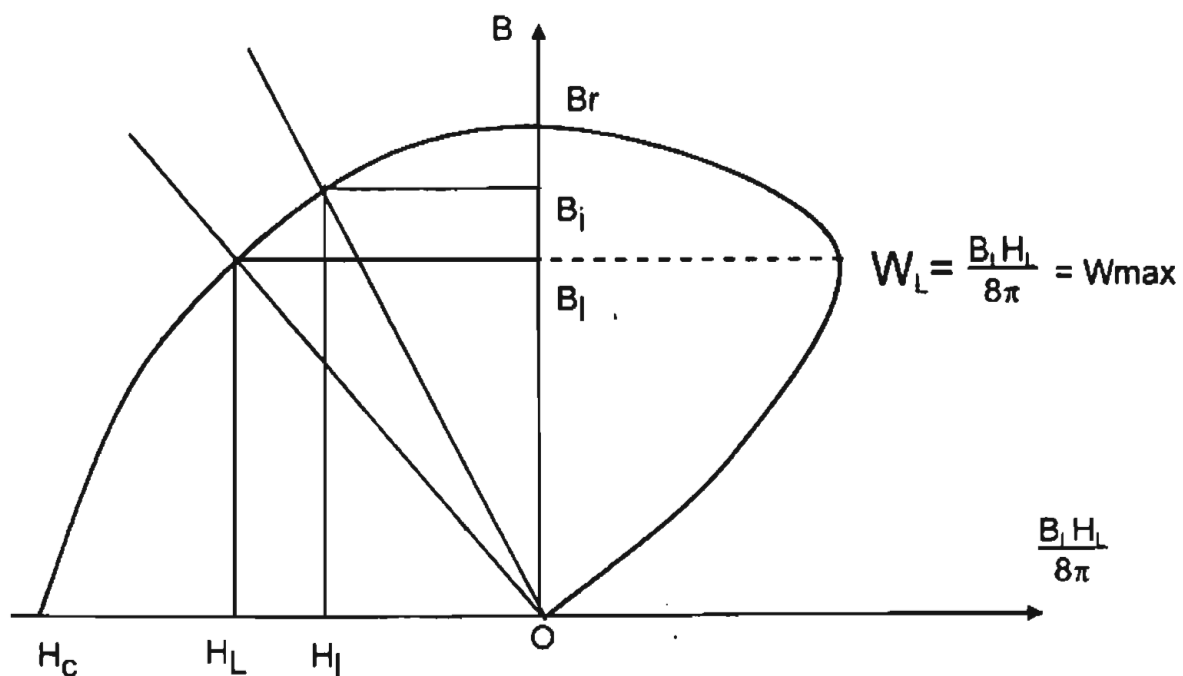
Các sản phẩm chế từ alusife: màn từ, thân các dụng cụ v.v... được chế tạo bằng phương pháp đúc với thành của chi tiết không mỏng hơn 2-3 mm vì vậy, hợp kim này giòn. Điều này làm hạn chế rất nhiều khi sử dụng vật liệu alusife.

Do tính giòn alusife có thể nghiền nhỏ thành bột như: cacbonyl sắt để sản xuất lõi ép cao tần.

10.3. VẬT LIỆU TỪ CỨNG

Theo thành phần, trạng thái và phương pháp chế tạo vật liệu từ cứng được chia thành các loại sau:

- * Thép hợp kim hoá, được tôi đến trạng thái máctanxít;
- * Hợp kim từ cứng đúc;
- * Bột nam châm;
- * Ferít từ cứng.



Hình 10-8. Đường cong khử từ và năng lượng nam châm.

Các vật liệu dùng làm nam châm vĩnh cửu được đặc trưng bằng các tham số: lực kháng từ, từ dư và năng lượng lớn nhất đưa vào không gian xung quanh. Độ từ

thâm của vật liệu này thấp hơn vật liệu từ mềm và lực kháng từ càng cao thì độ từ thâm càng nhỏ.

Nam châm kín (dạng hình xuyên) không mất năng lượng cho không gian bên ngoài. Khi có khe hở không khí giữa các cực sẽ xuất hiện năng lượng truyền ra không gian, giá trị năng lượng phụ thuộc vào chiều dài khe hở. Từ cảm B_L trong khe hở nhỏ hơn từ dư B_d do tác dụng khử từ của các nam châm.

Năng lượng đưa vào một đơn vị thể tích khe hở không khí có thể biểu diễn bằng đẳng thức:

$$W_L = \frac{B_L H_L}{8\pi} \quad (10-6)$$

Ở đây: H_L - cường độ trường ứng với từ cảm B_L (hình 12-8). Chiều dài nam châm càng ngắn, khe hở càng lớn thì độ khử từ của các cực càng lớn và B_L càng nhỏ. Trên hình 10-8 vẽ đường cong khử từ và đường cong biểu diễn quan hệ giữa năng lượng W_L với giá trị cảm ứng từ B_L .

Với nam châm kín $B_L = B_d$ và năng lượng bằng không vì $H_L = 0$. Nếu khe hở giữa các cực rất lớn, năng lượng đưa ra cũng tiến tới không vì $B_L = 0$; $H_L = H_K$

Ứng với một vài giá trị B_L và H_L năng lượng đưa ra đạt giá trị lớn nhất như trên hình 10-8:

$$W_L = \frac{B_L \cdot H_L}{8\pi} = W_{\max} \quad (10-7)$$

Giá trị này xác định mức độ sử dụng nam châm tốt nhất và cũng là giá trị quan trọng nhất đặc trưng cho chất lượng vật liệu làm nam châm vĩnh cửu.

10.3.1. Thép hợp kim hóa được tới đến trạng thái mactenxít

Loại thép này là vật liệu đơn giản và dễ kiếm nhất để làm nam châm vĩnh cửu. Chúng được hợp kim hoá với các chất phụ như: vonfram, crôm, môlipden, coban. Thành phần và tính chất của thép này cho trong bảng 10.7. Giá trị $B_L H_L$ đối với thép mactenxít khoảng $(2,5-10)10^5$ gauss, oerstet, nghĩa là 2000-8000 T.A/m.

Các tính chất cho trong bảng 10.7 được đảm bảo đối với thép mactenxít sau khi nhiệt luyện đặc biệt đối với từng loại một và sau đó được ổn định tổ chức trong nước sôi nậm tiếng đồng hồ.

10.3.2. Hợp kim từ cứng đúc

Hợp kim ba nguyên tố Al - Ni - Fe, trước thường gọi là kim Alumi có năng lượng từ lớn. Khi cho thêm coban hay silic tính chất từ của hợp kim tăng lên. Hợp

kim aluni có chất phụ silic gọi là alunisi, còn hợp kim aluni có coban gọi là alunicô. Hợp kim alunicô có hàm lượng coban lớn nhất gọi là macnicô.

Bảng 10.7. Thành phần và tính chất thép mactenxít làm nam châm vĩnh cửu

Nhân hiệu	Thành phần hoá học, %					Các tính chất từ (không nhỏ hơn)	
	C	Cr	W	Co	Mo	Cảm ứng từ dư B _d , k.gaus	Lực kháng từ H _k , oerstet
EX	0,95-1,10	1,30-1,60	-	-	-	9,0	58
EX 3	0,90-1,10	2,80-3,60	-	-	-	9,5	60
E7 B6	0,68-0,78	0,30-0,50	5,20-6,20	-	-	10,0	62
EX5 K5	0,90-1,05	5,50-6,50	-	5,50-6,50	-	8,5	100
EX9 K15M	0,90-1,05	8,0-10,0	-	13,5-16,5	1,20-1,70	8,0	170

Tính chất từ của các vật liệu từ cứng phụ thuộc cấu tạo tinh thể và cấu trúc từ. Tất cả các vật liệu từ cứng đạt được tính chất từ tốt khi có sự biến dạng mạng tinh thể lớn.

Các tính chất từ của hợp kim macnicô được tăng cường không chỉ do thành phần của nó, mà còn nhờ gia công đặc biệt làm nguội nam châm sau khi rót ra trong từ trường mạnh. Không đẳng hướng là một đặc tính mạnh của hợp kim macnicô. Tính chất từ tốt nhất theo hướng khi làm nguội nó có từ trường tác động.

Nam châm hợp kim manicô nhẹ hơn nam châm aluni cùng năng lượng 4 lần và nhẹ hơn nam châm thép crôm thông thường 22 lần.

Nhược điểm của các hợp kim aluni, alnico và manico là khó chế tạo các chi tiết có kích thước chính xác do hợp kim giòn và cứng, chỉ có thể gia công bằng phương pháp mài.

Hiện nay các hợp kim Al - Ni - Co phổ biến có 11 nhãn hiệu mà tính chất từ của chúng cho ở trong bảng 10.8. Trong số này có 4 hợp kim cũ và 7 hợp kim mới.

Bảng 10.8. Tính chất từ của các hợp kim là nam châm vĩnh cửu

Nhãn hiệu hợp kim	B_d , T	H_k , KA/m	B_L , T	H_L , KA/m	$B_L H_L$, J/m	Hệ số lõi $\frac{B_L H_L}{B_d H_k}$	Chú thích
ЮНД4	0,50	40	0,30	24	7.200	0,36	AH3 alni(3)
ЮНД 12	0,50	52	0,29	30	8.700	0,34	
ЮНД 8	0,60	44	0,37	28	10.350	0,39	
ЮНД K15	0,75	48	0,43	28	12.050	0,33	AHK ₀ 2
ЮНД K18	0,90	55	0,57	34	19.350	0,38	AHK ₀ 3
ЮНД K35T5	0,80	87	0,50	56	28.000	0,40	
ЮНД K24T2	1,10	58	0,77	38	29.400	0,46	
ЮНД K24	1,23	44	0,95	34	32.250	0,59	AHK ₀ 4
ЮНД K24φ	1,20	51	0,85	37	31.400	0,52	
ЮНД K25A	1,33	54	1,14	46	52.500	0,74	
ЮНД K25φ A	1,28	62	1,05	50	52.500	0,67	

Các hợp kim ЮНДK24, ЮНДK15 được dùng nhiều nhất. Các hợp kim ЮНД4 và ЮНДK24 đã được chế tạo với quy mô sản xuất lớn và dùng rộng rãi. Hợp kim ЮНД4 rẻ nhất trong số các hợp kim từ cứng sắt - niken - nhôm. Hợp kim ЮНДK24 được sử dụng khi cần từ tính rất cao theo một hướng, còn hợp kim ЮНДK15 dùng khi cần từ tính tương đối cao và không cần tính dị hướng từ.

10.3.3. Các nam châm bột

Chế tạo nam châm vĩnh cửu bằng phương pháp luyện kim bột được đề ra vì hợp kim đúc sắt - niken - nhôm không thể chế tạo sản phẩm nhỏ và kích thước chính xác được. Cần phân biệt hai loại nam châm bột kim loại gốm và nam châm bột có các hạt gắn bằng chất kết dính nào đó (nam châm kim loại dẻo).

Loại thứ nhất được chế tạo bằng cách ép bột nghiền từ các hợp kim từ cứng sau đó thiêu kết ở nhiệt độ cao tương tự quá trình nung gốm. Các chi tiết nhỏ chế tạo bằng công nghệ này kích thước tương đối chính xác, không cần gia công thêm.

Chế tạo nam châm **loại thứ hai** tương tự như ép các chi tiết bằng chất dẻo nhưng chất độn ở đây nghiền từ hợp kim từ cứng. Vì chất độn cứng nên cần áp suất riêng để ép cao và có thể bằng 5 tấn/cm².

Nam châm kim loại bột kinh tế nhất khi sản xuất tự động hoá hàng loạt nam châm có cấu tạo phức tạp và kích thước không lớn. Công nghệ hợp kim dẻo có thể chế tạo nam châm có lõi. Tính chất từ của các nam châm kim loại dẻo kém nhiều: lực kháng từ giảm 10-15%, từ dư giảm 35-50%, năng lượng tích lũy giảm 40-60% so với nam châm đúc. Sự giảm các tính chất từ có thể giải thích do hàm lượng chất dính kết không từ tính lớn (đến 30%). Nam châm kim loại dẻo có điện trở cao, do đó có thể sử dụng nó trong các thiết bị có từ trường biến đổi tần số cao.

10.3.4. Ferít từ cứng

Trong số các ferít từ cứng được biết nhiều nhất là ferít bari $BaO_6Fe_2O_3$. Khác với ferít từ mềm nó không có cấu trúc lập phương mà là mạng tinh thể hình lục giác có tính dị hướng một trục. Công nghệ sản xuất loại nam châm bari đẳng hướng tương tự như ferít từ mềm, còn công nghệ sản xuất loại nam châm bari dị hướng là việc ép tiến hành trong từ trường định hướng có cường độ 650-800 KA/m.

Nam châm bari được sản xuất ở dạng rỗng đen và đĩa mỏng. Chúng có tính ổn định cao đối với tác dụng của từ trường ngoài, chịu được lác, va đập. Khối lượng riêng ferít bari là 4,4-4,9 g/cm³, nhỏ hơn hợp kim sắt - niken đúc 1,5 lần, cho nên nam châm nhẹ hơn. Điện trở suất ferít bari: $10^6 \div 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$, nghĩa là lớn hơn điện trở suất hợp kim từ cứng kim loại đúc hàng triệu lần. Nam châm ferít bari có thể dùng ở tần số cao và cuối cùng là giá thành của nó rẻ hơn nam châm ЮНДК24 gần 10 lần.

Nhược điểm của nam châm bari là độ bền cơ thấp, độ giòn lớn, tính chất từ phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ ($\alpha_B \approx 0,2\% \text{ độ}^{-1}$) nghĩa là lớn hơn nam châm đúc. Ngoài ra nó có tính chất từ không thuận nghịch sau khi làm lạnh nó từ nhiệt độ trong phòng đến nhiệt độ thấp (-60°C) rồi lại làm nóng đến nhiệt độ ban đầu.

10.4. CÁC VẬT LIỆU TỪ CÓ CÔNG DỤNG ĐẶC BIỆT

10.4.1. Các chất sắt từ mềm đặc biệt

Các vật liệu từ mềm có thể chia thành các phân nhóm dựa vào các tính chất từ đặc biệt nào đó của chúng, xác định bởi cấu trúc và thành phần các phân nhóm đó là:

- 1) Các hợp kim có đặc tính độ từ thẩm thay đổi rất ít khi cường độ từ trường thay đổi;
- 2) Các hợp kim có độ từ thẩm phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ;
- 3) Các hợp kim có độ từ giảo cao;

4) Các hợp kim có từ giao bão hoà rất cao.

- *Loại hợp kim thứ nhất có tên gọi là pecminva* - là hợp kim của ba nguyên tố ferít - Ni - Co với hàm lượng các thành phần là 25, 45 và 30%. Hợp kim ủ ở nhiệt độ 1000°C, sau đó giữ ở nhiệt độ 400-500°C rồi làm nguội chậm. Pecminva có lực kháng nhỏ. Độ từ thẩm ban đầu của nó bằng 300 và giữ không đổi trong khoảng cường độ trường đến 30cstet với cảm ứng từ 100 gaus. Pecminva ổn định từ kém, nhạy cảm với nhiệt độ và ứng suất cơ.

Hợp kim có đặc tính độ từ thẩm ổn định hơn gọi là izôpécơ trong thành phần của nó có sắt, niken và nhôm hay đồng. Izôpécơ có độ từ thẩm 30-80, trị số này biến đổi rất ít trong trường với cường độ đến vài 0cstet.

- *Phân nhóm thứ hai là hợp kim nhiệt từ* gồm Ni-Cu, Fe-Ni và Fe-Ni-Cr. Các hợp kim này dùng để bù sai số nhiệt độ trong các thiết bị, sai số này gây bởi sự biến đổi từ cảm của nam châm vĩnh cửu hay điện trở của dây dẫn trong các dụng cụ điện khi nhiệt độ môi trường khác với nhiệt độ lúc khắc độ. Để có độ từ thẩm phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ, người ta sử dụng tính chất của các chất sắt từ lò cảm ứng từ giảm khi tăng nhiệt độ đến gần điểm Quyri. Đối với các chất sắt từ này điểm Quyri nằm trong khoảng từ 0 đến 100°C tùy thuộc nguyên tố hợp kim hóa phụ. Hợp kim Ni - Cu với hàm lượng 30% Cu có thể bù sai số trong giới hạn từ 20 đến 80°C, với 40% Cu từ -50 đến 10°C.

- *Nhóm thứ ba là hợp kim có độ từ giao cao* có Fe-Cr, Fe - Co và Fe-Al. Các hợp kim này dùng làm lõi máy phát giao động âm ở tần số âm thanh và siêu âm. Độ từ giao các hợp kim này có dấu dương và $\Delta I/I$ giao động trong giới hạn $(10-17) \cdot 10^{-6}$. Để chế tạo vật liệu này còn có thể dùng niken lá mỏng rất tinh khiết với độ từ giao âm.

- *Nhóm thứ tư thuộc loại hợp kim sắt - coban* có từ cảm bão hoà rất cao đến 24.000 gaus. Điện trở của hợp kim này không lớn. Hợp kim có tên gọi là pecmenduyara với hàm lượng Co từ 50 đến 70%.

Pecmenduyara có giá thành cao nên chỉ dùng ở các thiết bị đặc biệt, trong các bộ phận của loa điện động, màng ống điện thoại, giao động ký v.v...

10.4.2. Ferít

Ferít từ là vật liệu ôxyt phức tạp, đó là các chất kết tinh mà thế năng nhỏ của hệ tương ứng với sự bố trí đối nhau của các spin theo một hướng nào đó có một vài ưu thế hơn các hướng khác. Các ferít từ khác với các chất sắt từ là trị số từ cảm nhỏ hơn, quan hệ giữa nhiệt độ và từ cảm phức tạp hơn và điện trở suất cao hơn hoặc rất

cao. Hai sự khác biệt đều có thể giải thích do cấu trúc vật liệu phức tạp có hai mạng con tạo nên những dòng từ ngược nhau và không cân bằng. Còn điểm khác thứ ba là vì vật liệu này không phải kim loại .

Ferít là gốm từ có điện dẫn điện tử không đáng kể, do đó nó có thể xếp vào loại bán dẫn điện tử. Trị số điện trở suất lớn hơn sắt 10^6 - 10^{11} lần và do đó năng lượng tổn hao ở vùng tần số tăng cao và cao tương đối nhỏ cùng với tính chất từ tương đối tốt làm cho ferít được dùng rộng rãi ở tần số cao.

Ferít là hệ thống gồm ôxyt sắt và ôxyt kim loại hoá trị hai, còn kim loại hoá trị một ít gặp hơn, tương ứng với công thức chung:

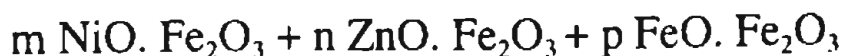


Ở đây: Me - ký hiệu kim loại hoá trị hai.

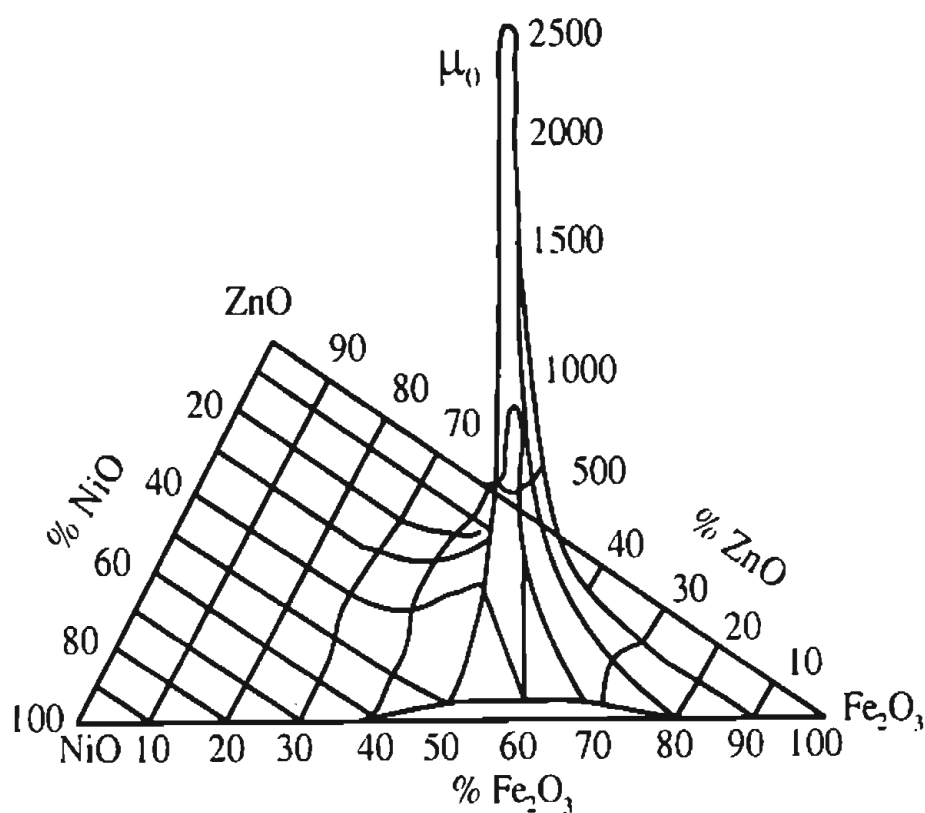
Ferít có mạng tinh thể lập phương tương tự mạng của spinen thường gặp trong thiên nhiên: $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.

Phần lớn các hợp chất kim loại này cũng như quặng sắt từ (manhêtit) $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ có tính chất từ, nhưng các hợp chất $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ và $\text{CdO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ lại không phải là sắt từ. Các công trình nghiên cứu đã chứng tỏ sự có hay không có tính chất sắt từ xác định bởi cấu trúc tinh thể của các vật liệu này, đặc biệt là do sự bố trí các ion kim loại hoá trị hai và sắt giữa các ion oxy.

Các ferít có tính chất từ mạnh nhất và được dùng phổ biến trong kỹ thuật là dung dịch rắn của một số hợp chất đơn giản, trong đó có cả chất không sắt từ. Ví dụ, công thức tổng quát của ferít niken kẽm được dùng rộng rãi có dạng:



Ở đây, các hệ số m, n, p xác định tương quan số lượng của các thành phần.



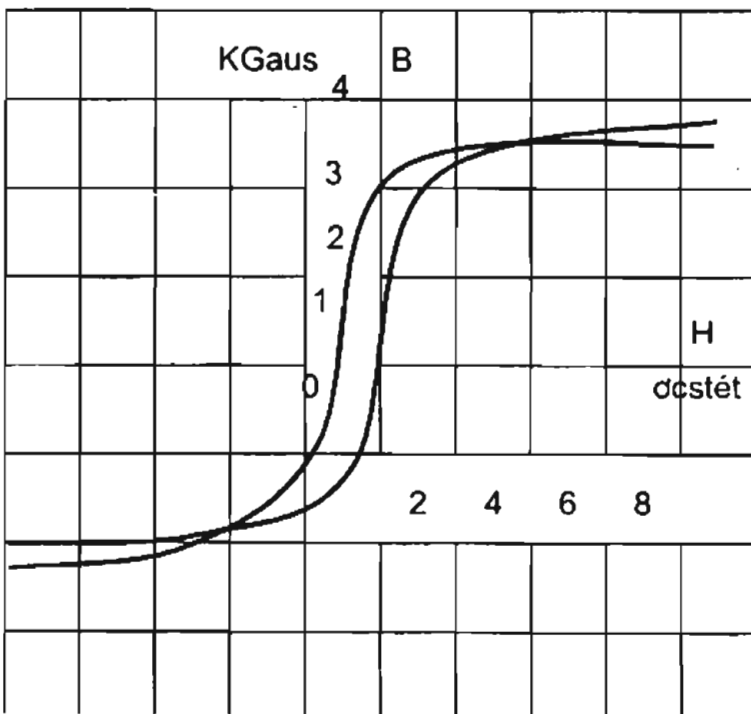
Hình 10-9. Quan hệ giữa từ thẩm ban đầu trong hệ $\text{NiO} - \text{ZnO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ với thành phần (nhiệt độ ủ 1380°C).

Tỷ lệ của các thành phần có vai trò quan trọng quyết định các tính chất từ của vật liệu. Trên hình 10-9 nêu quan hệ giữa độ từ thẩm ban đầu của ferít niken - kẽm với thành phần của nó. Như trên hình vẽ μ_{hd} đạt được trị số cao ở đoạn tương đối hẹp của đồ thị ba chiều.

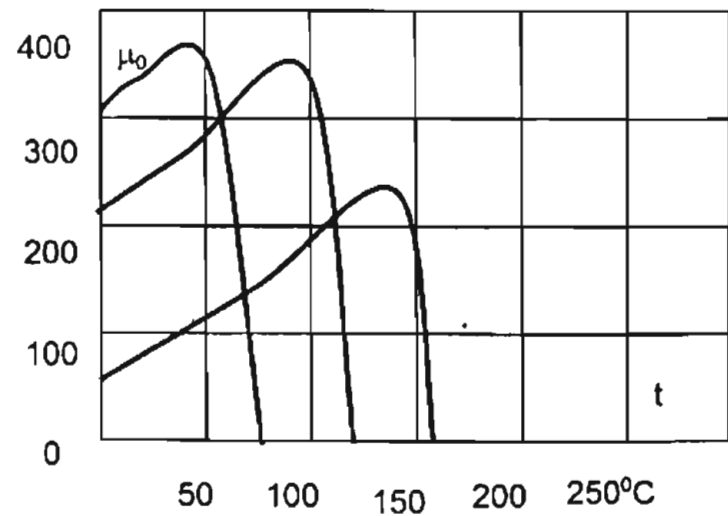
Ferít được dùng trong kỹ thuật đôi khi còn gọi là sắt ôxyt từ để nhấn mạnh rằng nó là một ôxyt sắt từ phức tạp, nhưng ta vẫn thường dùng danh từ là ferít.

Công nghệ chế tạo ferít có ảnh hưởng rất quan trọng đến tính chất của sản phẩm. Quá trình công nghệ chế tạo các chi tiết ferít có thể tóm tắt như sau: đầu tiên có bột ferít gồm các ôxyt của các kim loại tương ứng được thiêu sơ bộ rồi đem nghiền mịn và khuấy trộn cẩn thận, cho vào nó các chất hoá dẻo - thường là dung dịch rượu polivinyl - rồi nén theo hình dạng chi tiết yêu cầu. Sản phẩm được thiêu kết ở nhiệt độ 1100⁰C-1400⁰C. Lúc này sản phẩm được thiêu kết và tạo thành dung môi ferít rắn. Quá trình nung cần tiến hành trong môi trường ôxy hoá. Nếu có hydrô dù chỉ với một lượng rất nhỏ cũng có thể gây nên quá trình khử một phần ôxy, điều đó sẽ làm tăng mạnh tổn hao trong mạch từ. Khi nung ferít có thể giảm kích thước đến 20%.

Các ferít là những vật liệu cứng và giòn, không cho phép gia công bằng phương pháp cắt gọt, chỉ có thể mài và đánh bóng.



Hình 10-10. Vòng từ trễ của ferít niken -kẽm có độ từ thẩm cao.



Hình 10-11. Quan hệ giữa độ từ thẩm ban đầu với nhiệt độ của các ferít niken-kẽm có trị số độ từ thẩm ban đầu khác nhau.

1. Ferít từ mềm: Trên hình 10-10 vẽ đường cong từ trễ của ferít có độ từ thẩm cao, ferít này có từ cảm lớn nhất hơn 3000 gaus và lực kháng từ nhỏ khoảng 0,2 oerstet. Ferít với trị số μ lớn có trị số tổn hao lớn và tăng nhanh khi tần số tăng.

Theo hình 10-11 ta thấy μ_{th} tăng khi nâng nhiệt độ đến điểm Quyri, sau đó nó giảm nhanh. Ferít có trị số từ thẩm ban đầu càng cao thì điểm Quyri của nó càng thấp. Trong bảng 10-9 đưa ra một vài tính chất vật lý của ferít.

Bảng 10-9. Các đặc tính vật lý của ferít

Mật độ	Nhiệt dung riêng, J/(g.độ)	Nhiệt dẫn riêng, W/(cm.độ)	Hệ số giãn nở nhiệt theo chiều dài, α độ ⁻¹	Điện trở suất ρ . Ω .cm
3-5	0,7	$-5 \cdot 10^{-2}$	-10^{-5}	10-10 ⁷

Ferít có hằng số điện môi tương đối lớn, trị số này phụ thuộc vào tần số và thành phần ferít. Khi tần số tăng hằng số điện môi giảm. Tang góc tổn hao của ferít từ 0,005 đến 0,1.

Ferít có hiện tượng từ giảo và ở các ferít khác nhau hiệu ứng này cũng khác nhau. Các ferít có nhiệt độ Quyri thấp hiệu ứng từ giảo bé.

Hiện nay người ta thường sử dụng các nhóm ferít hỗn hợp mangan - kẽm, niken - kẽm, liti - kẽm.

Các nhãn hiệu của các ferít từ mềm được dùng phổ biến nhất có ý nghĩa như sau: trị số μ_{th} đứng đầu, sau đó đến chữ cái chỉ dải tần số sử dụng được giới hạn bởi trị số giới hạn trên f_{gh} . **Tần số giới hạn** là tần số khi mà tang góc tổn hao của ferít bắt đầu tăng nhanh. Ferít dùng ở tần số vô tuyến thấp, âm thanh và siêu âm, ký hiệu vẫn tắt bằng chữ H (tần số thấp). Tần số giới hạn của các loại ferít này nằm trong khoảng từ 0,2 đến 20 MHz. Nhãn hiệu các ferít cao tần có chữ BЧ, tần số giới hạn của chúng từ 20 đến 300 MHz. Ký hiệu tiếp theo ferít từ mềm chỉ thành phần vật liệu: M - manganin - kẽm; H - niken - kẽm... Trong số ferít CБЧ (siêu cao tần) có ghi thêm các chỉ số phân loại phụ.

Tính chất của một số loại ferít sản xuất ở Liên Xô cũ cho trong bảng 10.10.

Bảng 10.10. Tính chất của một vài ferít

Nhãn ferít	Hmax A/m	Bmax T	Bđư T	H _k A/m	Hệ số nhiệt độ của từ thẩm ban đầu		Tần số sử dụng giới han MHz	Nhiệt độ làm việc giới hạn °C	Điện trở suất Ω.m
					$\alpha_{\text{tđđ}}$ 1 0 ⁶ độ ⁻¹	Trong khoảng nhiệt độ °C			
4000 HM	800	0,4	0,13	8	2		0,2	110	0,5
3000 HM	800	0,38	0,15	12	3		0,3	110	0,5
2000 HM	800	0,25	0,12	8	3	+20 ÷ +60	0,2	070	10
400 HH	800	0,23	0,12	64	5		2	120	10 ³
200 HH	2400	0,18	0,10	120	4		3	120	10 ³
60B _đ	7200	0,25	0,18	520	17	-60 ÷ +125	20	400	10 ⁷
20B _đ	7200	0,19	0,09	96	22	+20 ÷ +60	100	450	10 ⁷
10B _đ	15200	0,21	0,13	95	50	-60 ÷ +125	180	450	10 ⁶
5B _đ	8000	0,22	0,02	1600	60	+20 ÷ +100	300	450	10 ⁶

2. Ferít từ cao tần

Ngoài ferít từ mềm, ở tần số cao có thể dùng thép lá kỹ thuật điện hoặc pecmalôi cán nguội và điện môi từ.

Bề dày tấm thép đạt tới 25-30μm, còn pecmalôi là hợp kim mềm hơn có thể mỏng tới 2-3μm. Các tính chất từ của vật liệu cán mỏng gần giống với khi chưa cán nhưng giá thành chúng cao hơn và công nghệ lắp ghép mạch từ bằng vật liệu mỏng khá phức tạp.

Vật liệu điện môi từ chế tạo bằng cách nén bột sắt từ có chất kết dính cách điện hữu cơ hay vô cơ. Các chất sắt từ thường dùng là sắt cacbonyl, pecmalôi, alusife v.v... Chất kết dính cách điện là nhựa fenol-foocmalđêhyt, polistirol, thủy tinh v.v... Các chất sắt từ cần phải có từ tính cao, còn các chất kết dính thì phải tạo thành lớp cách điện liên tục không gián đoạn giữa các hạt ferít. Các lớp này cần có bề dày đồng nhất và độ bền dính kết giữa các hạt với nhau.

3. Ferít có vòng từ trễ chữ nhật

Ferít có vòng từ trễ chữ nhật được đặc biệt chú ý trong kỹ thuật máy tính để làm bộ nhớ.

Vật liệu và các sản phẩm của nó có một loạt yêu cầu đặc biệt và để đặc trưng cho chúng thường dùng một vài tham số phụ. Trong số này phải kể đến tham số cơ bản của **hệ số chữ nhật** K_{cn} của chu trình từ trễ, nó là tỷ số giữa cảm ứng từ dư B_d và cảm ứng từ lớn nhất B_{max} .

$$K_{cn} = \frac{B_d}{B_{max}}$$

Để xác định B_{max} thường đo nó ở trị số $H_{max} = H_K$. Hệ số K_{cn} càng gần tới một càng tốt.

Để đảm bảo từ hoá lại lõi thép được nhanh chóng, chúng cần phải có hệ số chuyển S_q không lớn. Hệ số S_q về trị số bằng điện lượng cần thiết trên một đơn vị bề dày lõi, để từ hoá nó từ trạng thái từ dư sang trạng thái từ cảm lớn nhất ngược chiều. Ngoài ra vật liệu có từ trễ chữ nhật cần đảm bảo thời gian từ hoá lại bé, có khả năng ổn định tính chất từ ở nhiệt độ lớn, do đó phải có điểm Q_{yri} cao và một vài tính chất khác.

Ferít từ trễ chữ nhật được dùng rộng rãi hơn so với băng kim loại mỏng công nghệ chế tạo lõi thép đơn giản hơn và kinh tế hơn.

Tính chất của các lõi ferít cho ở bảng 10.11.

Bảng 10.11. Các tính chất của các lõi ferít

Dạng vật liệu hay lõi thép	$H_K, A/cm$	B_d, T	K_{cn}	μ	$S_q, C \cdot 10^4$ %/cm	Điểm Q_{yri} , °C	Ghi chú
Các loại ferít	0,08- -0,3	0,1- -0,25	0,7- -0,98	-14 -340	0,26 - -0,53	120 - -310	Có trên 25 nhãn hiệu

Khi sử dụng ferít cần chú ý đến sự thay đổi tính chất của chúng theo nhiệt độ. Ví dụ, khi nhiệt độ biến đổi từ $-20^{\circ}C$ đến $60^{\circ}C$ thì lực kháng từ của các ferít giảm 1,5-2 lần, cảm ứng từ dư giảm 5-35%.

Có thể sản xuất các chi tiết thành hình dạng phức tạp có nhiều lỗ, dạng phiến, vòng, thanh, v.v... bằng vật liệu ferít nhờ phương pháp ép trong khuôn.

4. Gang và thép kết cấu

Các vật liệu này được dùng trong chế tạo máy điện, thiết bị điện và dụng cụ cần có đặc tính cơ tốt và khả năng áp dụng rộng rãi các phương pháp công nghệ gia công.

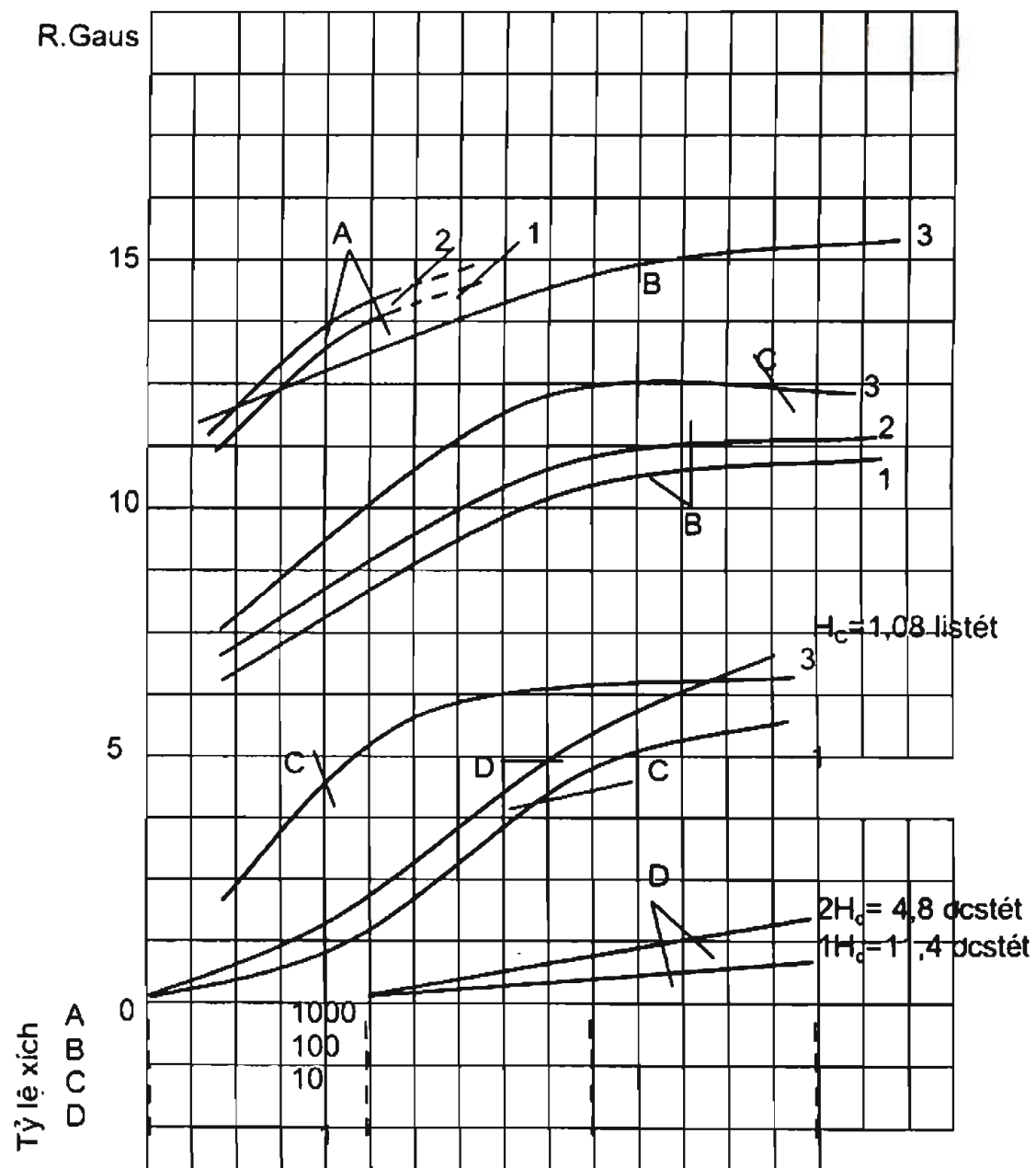
Về mặt tính chất từ có thể chia chúng thành loại vật liệu từ tính và không từ tính. Loại thứ nhất có gang xám, thép cacbon và thép hợp kim, còn loại thứ hai là thép không từ tính, gang không từ tính.

a) **Gang xám** có 3,2-3,5% cacbon, silic, mangan, photpho, lưu huỳnh. Giới hạn bền uốn khoảng 40-45 kG/mm². Đường cong từ hoá gang xám và gang rèn, một biến thể của gang xám cho trên hình 10-12. Gang xám dùng để đúc vỏ máy điện, các chi tiết ghép chặt, các tấm v.v... Gang đúc các chi tiết có kích thước đặc biệt lớn không cần nhiệt luyện sau khi đúc, nhưng trong một số trường hợp nếu ủ được thì tốt hơn.

Các trục, các chi tiết quay nhanh của các máy điện, bộ máy chịu rung và va đập không thể chế tạo bằng gang. Các chi tiết này cần dùng thép mới đáp ứng tương đối đầy đủ các yêu cầu cao về mặt độ bền cơ.

b) **Thép cacbon** để đúc các sản phẩm và được ủ chậm ở 850-900°C với hàm lượng cacbon từ 0,08 đến 0,2%.

Các máy điện chuyên dùng và đặc biệt quan trọng cũng như các máy điện cần cấu trúc giảm nhẹ dùng thép có độ bền cơ tăng cường là thép được hợp kim hoá với niken, vanadi, crôm, molipden. Sản phẩm chế tạo bằng thép hợp kim hoá sau khi tôi để khử ứng suất cần ủ ở 650-700°C. Giới



Hình 10-12. Các tính chất từ của gang xám và gang rèn.

- 1- gang xám, đúc 3,2%C; 3,27 % Si; 0,56% Mn; 1,05%P.
- 2- gang xám đã ủ như thành phần ở trên.
- 3- gang rèn đặc biệt 2,15%C; 1,2% Si; 0,3% Mn.
- 4- như trên: 0,22% C (Fe₃C); 3,38C; 1,2%Si; 0,32% Mn.
- 5- gang rèn: 1,1%C (Fe₃C); 2,26%C; 0,56%Si; 0,24%Mn.

hạn bền uốn của thép hợp kim hoá khoảng 50-95 kg/mm². Đường cong từ hóa thép biểu diễn trên hình 10-13.

c) **Gang không từ tính.** Vật liệu này được dùng trong các trường hợp kết cấu không được có từ tính, nếu có từ tính sẽ làm ảnh hưởng đến các dụng cụ hay thiết bị.

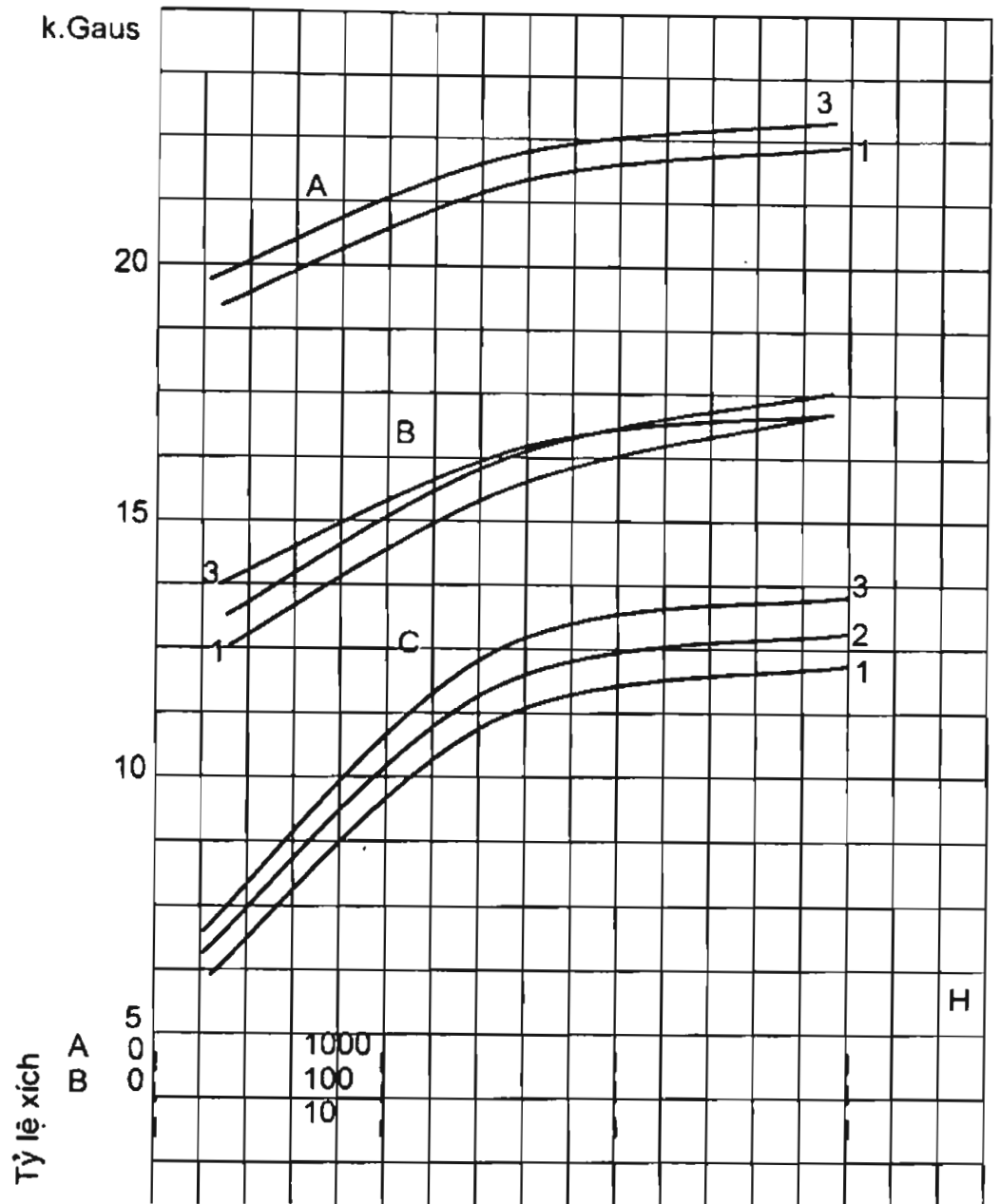
Vật liệu không từ tính dùng nhiều là gang có pha thêm các chất niken và mangan để đảm bảo cấu trúc ôstenít. Thành phần của gang này có: 2,6-3,0%C; 2,5% Si; 5,6%Mn; 9÷12% Ni còn lại là sắt.

Độ từ thẩm của gang không từ tính nói trên khoảng 1,03; điện trở suất $\rho = 1,4\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

Độ bền uốn $\sigma_{\text{uốn}} = 25-35\% \text{kg/mm}^2$.

Gang không từ tính dễ gia công cắt. Khi đốt nóng đến 400°C nó vẫn giữ tính thuận từ.

Điện trở gang không từ tính lớn nên nó ưu việt hơn hợp kim màu về mặt giảm tổn hao dòng điện xoáy.



Hình 10-13. Các tính chất từ của thép cacbon rèn dập, crom niken và thép đúc làm thân máy điện.

- 1- rôto rèn của máy phát tuabin hơi thép crom-niken tốt;
- 2- cực từ rèn của máy điện lớn, thép cacbon đã ủ;
- 3- vỏ đúc máy điện một chiều, thép cacbon 0,2% đã được ủ.

Gang không từ tính dùng để chế tạo nắp, vỏ, các ống của máy cắt dầu, vòng cách của máy biến áp điện lực, thân máy biến áp hàn v.v...

d) Thép không từ tính chế tạo bằng cách đưa niken và mangan vào thép để tạo điều kiện giảm nhiệt độ quá độ của sắt γ sang α xuống dưới 20°C . Có thể có dạng thép không từ tính là thép niken có thành phần: 0,25-0,35% C; 22-25% Ni; 2-3% Cr; còn lại là ferít.

Giới hạn bền uốn của thép này đạt tới 70-80 kG/mm², độ từ thẩm $\mu = 1,05 \div 2$.

Thép không từ tính có tính chất cơ cao, có thể dùng chế tạo nhiều chi tiết mà trước đây dùng hợp kim đồng, nhôm không đủ độ bền cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Đình Thắng

Giáo trình Vật liệu kỹ thuật điện - Đại học Bách khoa Hà Nội, 1995.

2. Võ Viết Đan

Giáo trình Kỹ thuật điện cao áp - Đại học Bách khoa Hà Nội, 1972.

3. Nguyễn Xuân Phú, Hồ Xuân Thanh

Vật liệu kỹ thuật điện - NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1996.

4. Bogorodisky, Pasyнков, Tareev

Electrical Engineering Materials - Mir Publishers - Moscow, 1979.

5. Koriski, Pasyнков, Tareev

Electrotechnical Materials, Energoatomizdat, 1986.

6. Tareev

Physic of dielectrical materials - Energia - Moscow, 1973.

7. Pasyнков, Xorokin

Electro technical materials - Moscow, 1986.

8. Bazukin, Larionov, Pintal

High voltage engineering - Moscow, 1987.

9. Aguet M, Morf. J.J. "Energie électrique"

Lausanne, Presses poly techniques et universitaires romandes, 1990.

10. Le Roy G, Gary C, Hultzler B, Lalot J, Dubaton C.

" Les Propriétés diélectiques de éair et les tres hautes tensions", Editions Eyrolles, Paris, 1984, 661p.

11. H. Frohlich, Theory of Dielectrics, Oxford, second edition.

12. E. Kuffel, W.S. Zaengl, High Voltage Engineering, Pergamon press, 1984.

13. James F. Shackelford Introduction to materials science of engineers, prentic hall international Inc, 1992.

MỤC LỤC

STT	NỘI DUNG	Trang
	LỜI NÓI ĐẦU	3
	- Ký hiệu các đại lượng chính dùng trong sách	5
	- Quan hệ giữa các đơn vị đo lường của một số đại lượng vật lý – kỹ thuật	8
	Phần 1: Những vấn đề chung	10
	Chương I: CẤU TẠO VÀ PHÂN LOẠI VẬT CHẤT	10
1.1	Cấu tạo nguyên tử	10
1.2	Cấu tạo phân tử	12
1.3	Khuyết tật trong cấu tạo vật rắn	14
1.4	Lý thuyết phân vùng năng lượng trong vật rắn	16
1.5	Phân loại vật liệu theo từ tính	18
	Phần 2: Vật liệu cách điện.	
	Những hiện tượng xảy ra trong điện môi khi đặt vào trong điện trường	20
	Chương II: TÍNH DẪN ĐIỆN CỦA ĐIỆN MÔI	22
2.1	Khái niệm chung về điện dẫn của điện môi	22
2.2	Điện dẫn của điện môi	24
2.3	Điện dẫn của điện môi khí	26
2.4	Điện dẫn của điện môi lỏng	29
2.5	Điện dẫn của điện môi rắn	36
2.6	Điện dẫn mặt của điện môi rắn	42
	Chương III: SỰ PHÂN CỰC CỦA ĐIỆN MÔI	46
3.1	Khái niệm về hằng số điện môi	46
3.2	Các dạng và loại phân cực xảy ra trong điện môi	50
3.3	Phân loại điện môi theo dạng phân cực	54

3.4	Điện trường cục bộ bên trong điện môi. Phương trình Claudiút - Môxốtchi	56
3.5	Hằng số điện môi của chất khí	61
3.6	Hằng số điện môi của điện môi lỏng	66
3.7	Hằng số điện môi của điện môi rắn	70

Chương IV: TỔN HAO TRONG ĐIỆN MÔI 79

4.1	Khái niệm về tổn hao điện môi	79
4.2	Các dạng tổn hao trong điện môi	82
4.3	Tổn hao điện môi trong các sơ đồ thay thế	86
4.4	Những yếu tố ảnh hưởng tới tổn hao điện môi	89
4.5	Tổn hao điện môi trong điện môi khí	96
4.6	Tổn hao điện môi trong điện môi lỏng	97
4.7	Tổn hao điện môi trong điện môi rắn	99

Chương V: SỰ PHÓNG ĐIỆN TRONG ĐIỆN MÔI 104

5.1	Khái niệm	104
5.2	Sự phóng điện trong điện môi khí	105
5.3	Sự phóng điện trong điện môi lỏng	151
5.4	Sự phóng điện trong điện môi rắn	155

Chương VI: TÍNH CHẤT CƠ-LÝ-HOÁ CỦA ĐIỆN MÔI 167

6.1	Tính hút ẩm của điện môi	167
6.2	Tính chất cơ học của điện môi	172
6.3	Tính chất nhiệt của điện môi	174
6.4	Tính chất hoá học của điện môi và tính năng của nó dưới tác động của phát xạ có năng lượng cao	179

Chương VII: VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN THỂ KHÍ 183

7.1	Khái niệm về phân loại vật liệu cách điện	183
7.2	Vật liệu cách điện thể khí	184
7.3	Vật liệu cách điện thể lỏng	187
7.4	vật liệu cách điện thể rắn	194

Phần ba: Vật liệu dẫn điện và cáp điện, vật liệu bán dẫn, vật liệu từ	276
Chương VIII: VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN VÀ CÁP ĐIỆN	276
8.1 Vật liệu dẫn điện	276
8.2 Cáp và dây dẫn điện	304
Chương IX: VẬT LIỆU BÁN DẪN	323
9.1 Những khái niệm chung về bán dẫn	323
9.2 Điện dẫn của bán dẫn	325
9.3 Tiếp giáp điện tử lỗ trống	334
9.4 Một số nguyên tố có tính chất bán dẫn dùng trong kỹ thuật	337
9.5 Các hợp chất hoá học bán dẫn và các vật liệu dẫn suất cùng gốc	343
Chương X: VẬT LIỆU TỪ	359
10.1 Khái niệm chung chung về tính chất từ của vật liệu từ tính	359
10.2 Các vật liệu từ mềm	365
10.3 Vật liệu từ cứng	371
10.4 Các vật liệu từ có công dụng đặc biệt	375
Tài liệu tham khảo	385
Mục lục	386

0978. 759 709 (Điện Thoại)

Đ
0

4112106

20500



Giá: 48.000đ