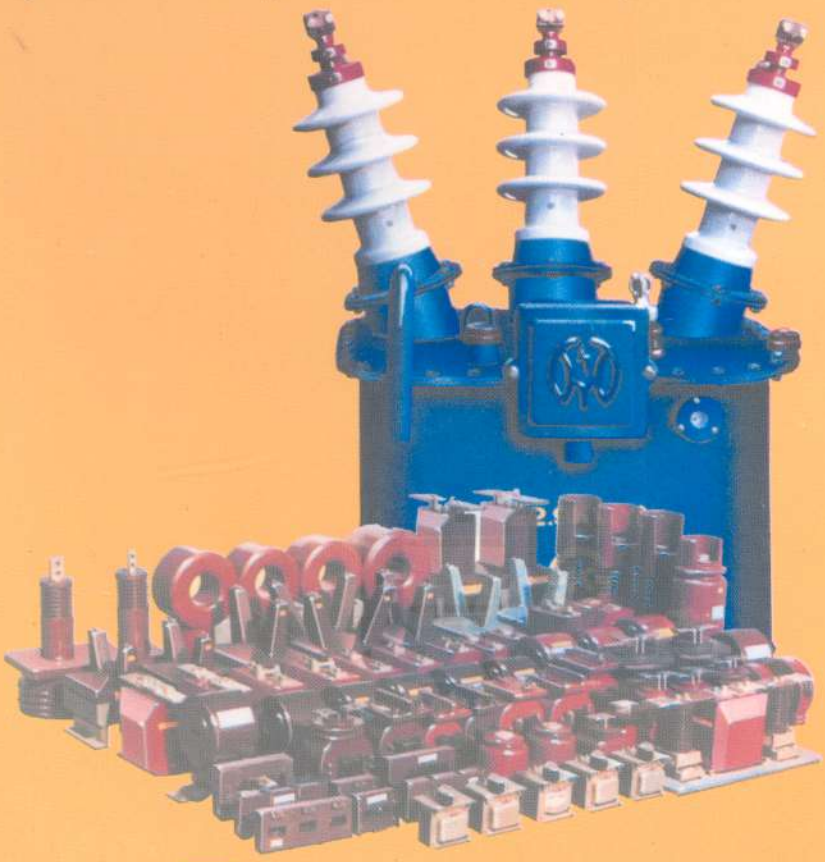
VỤ GIÁO DỤC CHUYÊN NGHIỆP

EBOOKBKMT.COM
Tài liệu kỹ thuật miễn phí

GIÁO TRÌNH
VẬT LIỆU ĐIỆN

SÁCH DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐÀO TẠO
HỆ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP VÀ CAO ĐẲNG KỸ THUẬT



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

TS. NGUYỄN ĐÌNH THẮNG

EBOOKBKMT.COM
Tài liệu kỹ thuật miễn phí

Giáo trình
VẬT LIỆU ĐIỆN

(Sách dùng cho các trường Đào tạo hệ Trung học chuyên nghiệp và Cao đẳng kỹ thuật)

(Tái bản lần thứ nhất)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

EBOOKBKMT.COM
Tài liệu kỹ thuật miễn phí

Lời giới thiệu

Năm 2002, Vụ Giáo dục Chuyên nghiệp – Bộ Giáo dục và Đào tạo đã phối hợp với Nhà xuất bản Giáo dục xuất bản 21 giáo trình phục vụ cho đào tạo hệ THCN. Các giáo trình trên đã được nhiều trường sử dụng và hoan nghênh. Để tiếp tục bổ sung nguồn giáo trình đang còn thiếu, Vụ Giáo dục Chuyên nghiệp phối hợp cùng Nhà xuất bản Giáo dục tiếp tục biên soạn một số giáo trình, sách tham khảo phục vụ cho đào tạo ở các ngành : Điện – Điện tử, Tin học, Khai thác cơ khí. Những giáo trình này trước khi biên soạn, Vụ Giáo dục Chuyên nghiệp đã gửi đề cương về trên 20 trường và tổ chức hội thảo, lấy ý kiến đóng góp về nội dung đề cương các giáo trình nói trên. Trên cơ sở nghiên cứu ý kiến đóng góp của các trường, nhóm tác giả đã điều chỉnh nội dung các giáo trình cho phù hợp với yêu cầu thực tiễn hơn.

Với kinh nghiệm giảng dạy, kiến thức tích luỹ qua nhiều năm, các tác giả đã cố gắng để những nội dung được trình bày là những kiến thức cơ bản nhất nhưng vẫn cập nhật được với những tiến bộ của khoa học kỹ thuật, với thực tế sản xuất. Nội dung của giáo trình còn tạo sự liên thông từ Dạy nghề lên THCN.

Các giáo trình được biên soạn theo hướng mở, kiến thức rộng và cố gắng chỉ ra tính ứng dụng của nội dung được trình bày. Trên cơ sở đó tạo điều kiện để các trường sử dụng một cách phù hợp với điều kiện cơ sở vật chất phục vụ thực hành, thực tập và đặc điểm của các ngành, chuyên ngành đào tạo.

Để việc đổi mới phương pháp dạy và học theo chỉ đạo của Bộ Giáo dục và Đào tạo nhằm nâng cao chất lượng dạy và học, các trường cần trang bị đủ sách cho thư viện và tạo điều kiện để giáo viên và học sinh có đủ sách theo ngành đào tạo. Những giáo trình này cũng là tài liệu tham khảo tốt cho học sinh đã tốt nghiệp cần đào tạo lại, nhân viên kỹ thuật đang trực tiếp sản xuất.

Các giáo trình đã xuất bản không thể tránh khỏi những sai sót. Rất mong các thầy, cô giáo, bạn đọc góp ý để lần xuất bản sau được tốt hơn. Mọi góp ý xin gửi về : Công ty Cổ phần sách Đại học – Dạy nghề, 25 Hàn Thuyên – Hà Nội.

VỤ GIÁO DỤC CHUYÊN NGHIỆP - NXB GIÁO DỤC

EBOOKBKMT.COM
Tài liệu kỹ thuật miễn phí

Lời nói đầu

*Vật liệu kĩ thuật điện gọi tắt là "**Vật liệu điện**" là một môn học cơ sở trong chương trình đào tạo cán bộ kĩ thuật ngành điện với thời lượng từ 3 đến 5 học trình tuỳ theo cấp bậc học và nhu cầu của các ngành khác nhau.*

*Khối lượng kiến thức của môn học **Vật liệu điện** rất lớn, song với mục tiêu và yêu cầu đào tạo của bậc học Cao đẳng – Trung học chuyên nghiệp – Dạy nghề cho nên cuốn sách này chỉ trình bày ngắn gọn các vấn đề chính sau đây với thời lượng 45 tiết :*

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

2. Trình bày những hiện tượng vật lí cơ bản xảy ra trong vật liệu cách điện khi ở điện áp thấp và điện áp cao.

3. Nêu lên những tính chất chủ yếu về điện, cơ, lí, hoá và các yếu tố ảnh hưởng đến vật liệu kĩ thuật điện.

Cuốn sách này biên soạn nhằm phục vụ cho sinh viên các Trường Cao đẳng và Trung học chuyên nghiệp ; đồng thời giúp ích cho các cán bộ, công nhân vận hành, quản lí, sửa chữa thiết bị điện...

Tuy đã có nhiều cố gắng khi biên soạn, nhưng giáo trình chắc chắn không tránh khỏi những khiếm khuyết. Tác giả hy vọng nhận được sự góp ý của các trường và bạn đọc gần xa.

Mọi ý kiến đóng góp xin gửi về địa chỉ : Công ty cổ phần sách Đại học – Dạy nghề, 25 Hàn Thuyên – Hà Nội.

Tác giả

EBOOKBKMT.COM
Tài liệu kỹ thuật miễn phí

Chương 1

CẤU TẠO VÀ PHÂN LOẠI VẬT LIỆU

I – CẤU TẠO CỦA VẬT LIỆU

Để thấy được bản chất dẫn điện và cách điện của vật liệu, chúng ta cần có khái niệm về cấu tạo vật liệu cũng như sự hình thành các phần tử mang điện trong vật liệu.

1.1. Cấu tạo nguyên tử

Như chúng ta đã biết, mọi vật liệu (vật chất) được cấu tạo từ nguyên tử và phân tử. Nguyên tử là phân tử cơ bản 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 (êlêctron 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 nơtron. Nơtron là các hạt không mang điện tích, còn prôton có điện tích dương với số lượng bằng Z.q.

Trong đó :

Z – số lượng điện tử của nguyên tử đồng thời cũng là số thứ tự của nguyên tố nguyên tử đó trong bảng tuần hoàn Menđêlêép ;

q – điện tích của điện tử e ($q_e = 1,601.10^{-19}$ culông). Prôton có khối lượng bằng $1,67.10^{-27}$ kg, electron (e) có khối lượng bằng $9,1.10^{-31}$ kg.

Ở trạng thái bình thường nguyên tử được trung hòa 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 hòa nhận thêm điện tử thì trở thành ion âm.

Để có khái niệm về năng lượng của điện tử ta xét nguyên tử của hiđro, nguyên tử này được cấu tạo từ một prôton 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 :

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

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

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

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 :

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

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

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

Biểu thức (1 – 4) ở trên 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 đi 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 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 hóa (W_i)*. Khi bị ion hóa (bị mất điện tử), nguyên tử trở thành ion dương. Quá trình biến nguyên tử trung hòa thành ion dương và điện tử tự do gọi là *quá trình ion hóa*.

Trong một nguyên tử, năng lượng ion hóa của các lớp điện tử khác nhau cũng khác nhau, các điện tử hóa trị ngoài cùng có mức năng lượng ion hóa 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 hóa 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 hóa và năng lượng kích thích nguyên tử có thể nhận được từ nhiều nguồn năng lượng khác nhau như nhiệt năng, quang năng, điện năng ; năng lượng của các tia sóng ngắn như tia α, β, γ hay tia rơnghen v.v..

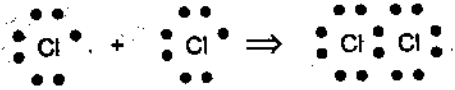
1.2. Cấu tạo phân tử

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 đây :

1. Liên kết đồng hóa trị

Liên kết đồng hóa 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 hòa, 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 hóa 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).

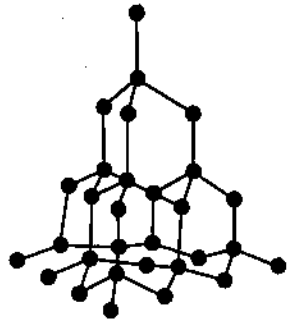


Hình 1–1. Liên kết đồng hóa trị trong phân tử clo

Tùy thuộc vào cấu trúc đối xứng hay không đối xứng mà phân tử liên kết đồng hóa 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 *mômen lưỡng cực* $m = q.a$. Dựa vào trị số mômen 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.



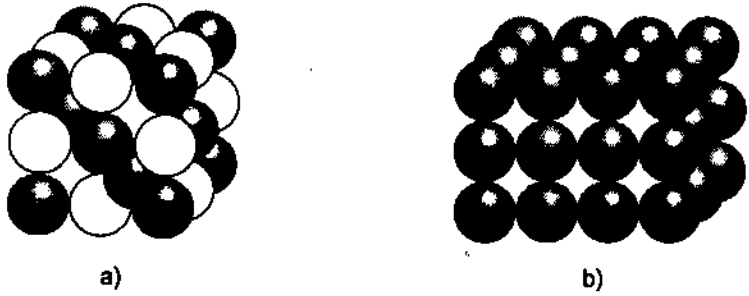
Hình 1–2. Cấu tạo tinh thể kim cương

Liên kết đồng hóa 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 kim cương được mô tả trên hình 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 halôgen của các kim loại kiềm.

Cấu trúc tinh thể ion clorua natri và clorua xeri 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.



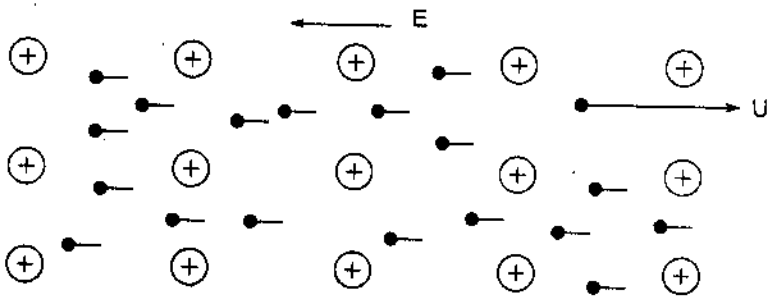
Hình 1–3. Cấu trúc liên kết ion clorua natri (a) và clorua xeri (b)

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 hóa trị ngoài cùng.

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 1–4). 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.

Lực hút giữa các ion dương và các điện tử đã tạo nên tính nguyên khối của kim loại.



Hình 1–4. Sơ đồ cấu tạo kim loại

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.

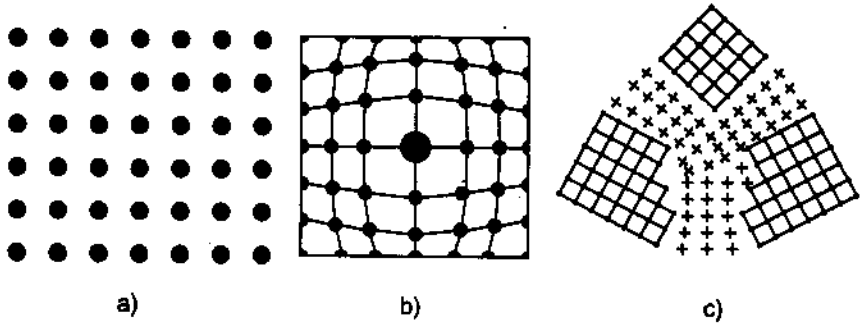
4. Liên kết Vandec – Vanx

Liên kết này là dạng liên kết yếu, cấu trúc mạng tinh thể phân tử không vững chắc. Do vậy những liên kết phân tử là liên kết Vandec – Vanx có nhiệt độ nóng chảy và độ bền cơ thấp 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 hủy 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 tĩnh 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 – phônôn ; mặt tinh thể phụ – đoạn tầng ; khe rãnh, lỗ xốp v.v.. (hình 1–5).



Hình 1-5. 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, hóa 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.

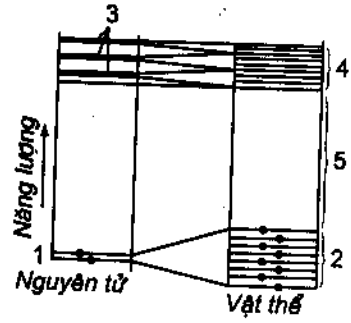
1.4. Lý thuyết phân vùng năng lượng trong vật rắn

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 1–6. Khi chất khí hóa 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 bị dịch chuyển nhẹ do tác động của các nguyên tử bên cạnh tạo nên một giải năng lượng hay còn gọi là vùng các mức năng lượng.

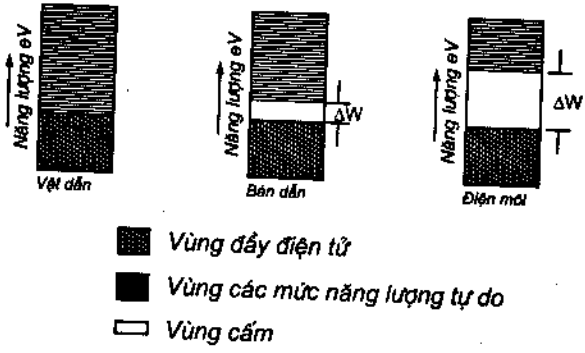


Hình 1–6. Sơ đồ phân bố mức năng lượng nguyên tử riêng biệt của vật rắn phi kim loại

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.

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 hóa trị hay còn gọi là vùng đầy (ở 0^oK các điện tử hóa 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 sơ đồ phân bố vùng năng lượng ở hình 1 – 7).



Hình 1–7. Sơ đồ phân bố vùng năng lượng của vật rắn ở nhiệt độ 0^oK

II – PHÂN LOẠI VẬT LIỆU

1.1. Phân loại theo khả năng dẫn điện

Trên cơ sở giản đồ năng lượng người ta phân loại theo vật liệu cách điện (điện môi), bán dẫn và dẫn điện.

1. 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 hóa 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).

2. 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 hóa 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.

3. 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 hóa 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.

1.2. Phân loại vật liệu theo từ tính

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

1. 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 hyđro, 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.

2. 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.

3. Chất dẫn từ là các chất có $\mu > 1$ 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, gađolonit, 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.

Câu hỏi chương I

1. Trình bày cấu tạo nguyên tử, phân tử. Phân biệt chất trung tính và cực tính.
2. Phân loại vật liệu theo lí thuyết phân vùng năng lượng của vật chất.

Phần thứ nhất. 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 lực tác dụng của cường độ điện trường. Tùy theo dạng của cường độ điện trường và thời gian tác dụng mà trong điện môi xảy ra những hiện tượng với các đặc điểm khác nhau. 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.

– *Hiện tượng dẫn điện.*

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. Dòng điện này có trị số rất nhỏ.

– *Hiện tượng phân cực.*

Phân cực là sự dịch chuyển có giới hạn của các điện tích liên kết hay 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 tỏa 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 mà người ta đánh giá chất lượng của vật liệu cách điện.

Mỗi loại 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 hủy. Độ bền điện được đặc trưng bởi trị số cường độ điện trường đánh thủng ($E_{đt} = \frac{U_{đt}}{h}$ kV/mm).

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

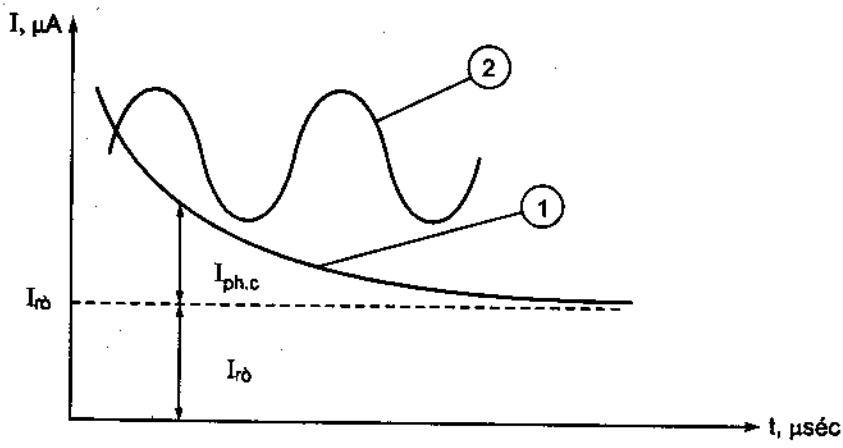
Các chương dưới đây chúng ta sẽ nghiên cứu từng hiện tượng xảy ra trong điện môi.

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 và được biểu diễn ở hình 2–1.



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

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 hai thành phần là dòng điện rò ($I_{rò}$) và dòng điện phân cực ($I_{ph.c}$).

$$I = I_{rò} + I_{ph.c} \qquad (2-1)$$

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, nếu trị số 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.

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

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

$$R_{cd} = \frac{U}{I_{rò}} \qquad (2-3)$$

Trong đó : U – điện áp một chiều

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 1 cm, hình dung cắt ra từ vật liệu khi dòng điện đi qua hai mặt đối diện khối lập phương đó ; đơn vị đo bằng (Ω.cm).

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

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 :

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

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 $\gamma_v = \frac{1}{\rho_v}$, $[\Omega.cm]^{-1}$; 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 do nguyên nhân là tạp chất của điện môi giảm dần.

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 :

$$\tau_o = R_{cd}.C \qquad (2-6)$$

Trị số τ_o được xác định từ biểu thức :

$$U = U_o\, e^{-\frac{\tau}{\tau_o}} \qquad (2-7)$$

$$U_\tau = U_o e^{-\tau/\tau_o} = \frac{U_o}{e} \;;$$

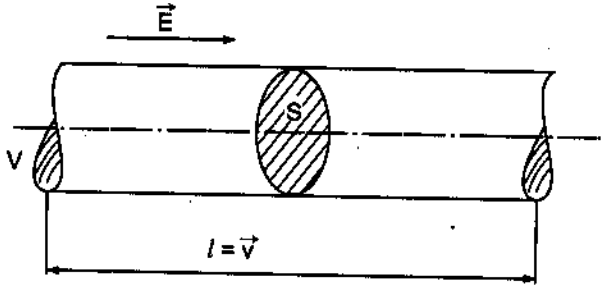
Ở đây : U – điện áp trên các điện cực của tụ điện sau thời gian τ tính từ lúc ngắt tụ ra khỏi nguồn điện áp ;

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 chung 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 $\overline{v}$. Chiều của điện trường bên ngoài trùng với trục hình trụ (hình 2–2).



Hình 2–2

Nếu gọi n – là mật độ điện tích tự do chứa trong điện môi, mỗi phân 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 cực (điện tích dương đi về phía cực âm, điện tích âm đi về phía cực dương) và tạo nên dòng điện 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 :

$$Q = n.q.V = n.q.S.\ \overline{v} = I \qquad (2-8)$$

Mặt khác ta có :

$$I = jS \qquad (2-9)$$

Từ (2 – 8) và (2 – 9) ta có :

$$j = n.q.\overline{v} \qquad (2-10)$$

Với j là mật độ dòng điện [A/m^2] ;

Vì n là mật độ điện tích dương $n_{(+)}$ và điện tích âm $n_{(-)}$

$\overline{v}$ là tốc độ trung bình của điện tích dương $v_{(+)}$ và điện tích âm $v_{(-)}$.

Người ta xác định $v_{(+)}$ và $v_{(-)}$ bằng công thức :

$$\overline{v}_{(+)} = K_{(+)}E\ ;\ \overline{v}_{(-)} = K_{(-)}E \qquad (2-11)$$

Trong đó K là độ linh hoạt của các điện tích dương và âm.

Về trị số :

$$K = \frac{\overline{v}}{E} \qquad (2-12)$$

Thay (2 – 11) và (2 12) vào (2 – 10) ta có :

$$j = n_{(+)}q_{(+)}\overline{v}_{(+)} + n_{(-)}q_{(-)}\overline{v}_{(-)} =$$

$$= [n_{(+)}q_{(+)}K_{(+)} + n_{(-)}q_{(-)}K_{(-)}].E \qquad (2-13)$$

Theo định luật Ôm $j = \gamma E$, do vậy công thức tính điện dẫn của điện môi như sau :

$$\gamma = n_{(+)}q_{(+)}K_{(+)} + n_{(-)}q_{(-)}K_{(-)} \qquad (2-14)$$

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 chỉ là các điện tử tự do chứa trong điện môi.

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

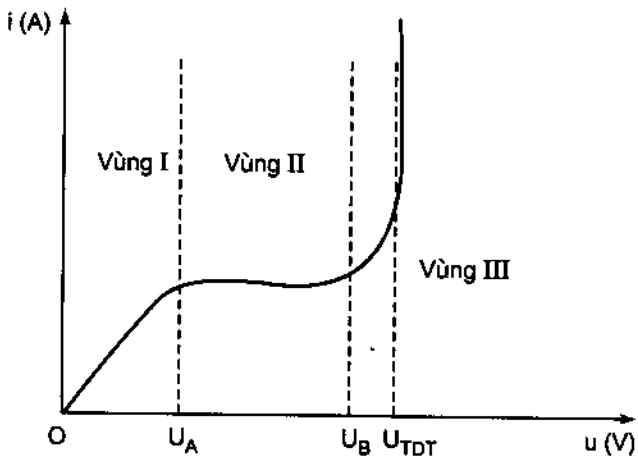
3 – *Điện dẫn điện di* : hay còn gọi là điện dẫn môliôn. Thành phần của dòng điện này là các nhóm phân tử hay tạp chất được tích điện tồn tại trong điện môi, chúng được tạo nên bởi ma sát trong quá trình chuyển động nhiệt.

2.3. Điện dẫn của điện môi khí

Trong điện môi khí luôn xảy ra quá trình ion hóa tự nhiên, khi điều kiện môi trường không thay đổi trong các chất khí bao giờ cũng 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 hóa, đó là quá trình kết hợp giữa các điện tích trái dấu tạo thành phân tử trung hòa. Trạng thái cân bằng của điện môi đạt được khi số điện tích xuất hiện do ion hóa cân bằng với số điện tích bị tái hợp.

Dưới tác dụng của điện trường bé, các điện tích được sinh ra bởi quá trình ion hóa tự nhiên sẽ 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 nhận được năng lượng và tăng tốc độ chuyển động, khi va chạm với phân tử trung hòa sẽ gây nên ion hóa (ion hóa do va chạm). Số lượng điện tích được tạo nên bởi quá trình ion hóa do va chạm sẽ tăng lên theo



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

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".

Để thấy rõ mối quan hệ giữa dòng điện trong điện môi khi điện áp đặt vào điện môi thay đổi, ta tìm hiểu hình 2 – 3.

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_o) 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 ($F = qE$), do đó tốc độ chuyển động của các điện tích sẽ tăng, 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 hòa. 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 trung hòa. Nhưng số lượng điện tích sinh ra bởi ion hóa tự nhiên không đổi, cho nên dòng điện đạt tới trị số bão hòa, 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 hòa với mật động dòng điện khoảng 10^{-21} A/mm^2. Vì thế có thể xem không khí là điện môi tốt khi chưa có các điều kiện đưa đến ion hóa va chạm.

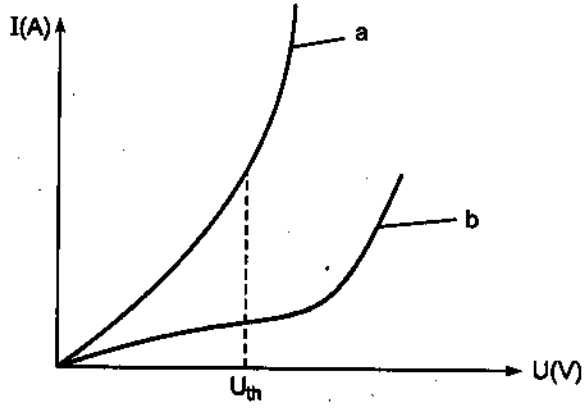
– *Vùng III* - ứng với khu vực có cường độ điện trường mạnh. Ở khu vực này dòng điện bắt đầu tăng nhanh không tuân theo định luật Ôm. Điều này có thể giải thích dựa trên cơ sở của hiện tượng ion hóa do va chạm khi cường độ điện trường đặt lên điện môi có trị số lớn. Khi mật độ điện tích lớn sẽ gây nên phóng điện tạo thành dòng plazma 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, điện áp sẽ không tăng mà giảm tới điện áp tự duy trì (U_{TDT}). 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 động các ion hay các phần 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 hóa tự nhiên mà còn do quá trình phân ly các phân tử của chính bản thân chất lỏng và tạp chất.



Hình 2–4. Quan hệ giữa dòng điện với điện áp

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 tạp chất. Trên đồ thị này không thấy phần dòng điện bão hòa, dòng điện tăng tuyến tính với điện áp đến giá trị U_{th} (điện áp tới hạn), sau đó xuất hiện quá trình ion hóa 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 hòa 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 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 cách điện 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 hòa tan, nước huyền phù hay còn gọi là nhũ tương và nước lắng đọng. Thông thường dầu máy biến áp, dầu tụ điện hay cáp điện có tỉ trọng nhỏ hơn (0,86 ÷ 0,88) lần so với nước, mà tỉ trọng của nước là 1000 kg/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 lắng đọng chuyển sang dạng nhũ tương, hoặc chuyển từ dạng nhũ tương sang hòa 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 dãn 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 điện dẫn điện môi lỏng.

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 được biểu diễn bằng công thức sau :

$$\gamma = \gamma_o e^{\alpha t} \qquad (2 - 15)$$

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.

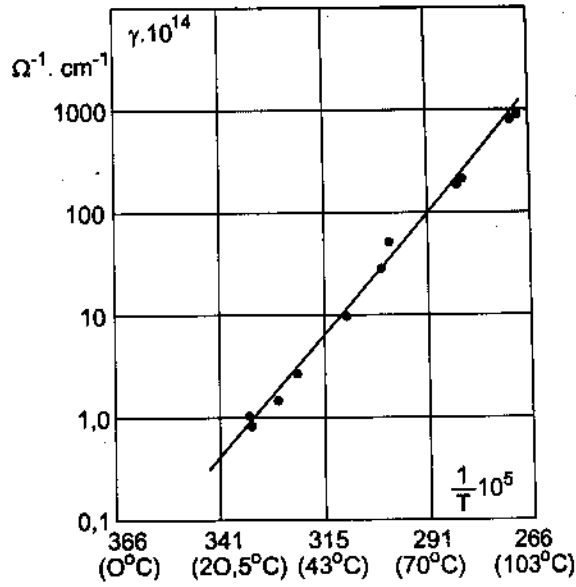
t – nhiệt độ đo bằng ^{o}C.

Từ công thức $\gamma = \frac{n_o q^2}{1\eta}$ thấy rằng khi nhiệt độ tăng, độ nhớt điện môi lỏng giảm, điện dẫn sẽ tăng lên.

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

Hình 2 – 5 biểu diễn quan hệ giữa điện dẫn suất của hỗn hợp dầu côlôfan với nhiệt độ khi giá trị hệ số a = 9.100.

* Khi cường độ điện trường mạnh (khoảng 10 ÷ 100 $\frac{kV}{mm}$), 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.



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

2.4.2. Điện dẫn điện di

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

Điện môi lỏng thường chứa các tạp chất, do có hạt keo, các 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 của điện môi lỏng mà chúng 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 ($\varepsilon_{tc} > \varepsilon_{đm}$) thì tạp chất bị nhiễm điện tích dương (+). Nếu hằng số điện môi của tạp chất nhỏ hơn hằng số điện môi chất lỏng ($\varepsilon_{tc} < \varepsilon_{đm}$) thì tạp chất sẽ 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 hòa 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 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 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 [Ω.cm] đo ở t = 20°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
– Xô vôn	Cực tính yếu	$10^{10} \div 10^{12}$	4,5
– Thầu dầu	Cực tính yếu	$10^{10} \div 10^{12}$	4,6
– Axêtôn	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 vào 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 rất nhiều loại, chúng đa dạng về cấu trúc, thành phần hóa học, nguồn gốc và mức độ lẫn các tạp chất bụi bẩn v.v... do vậy điện dẫn của điện môi rắn rất phức tạp. Điện dẫn trong điện môi rắn được tạo nên là do sự chuyển dịch các ion của bản thân điện môi rắn cũng như của 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. 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 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 "Ω.cm".

– Trên bề mặt điện môi rắn tồn tại các điện tích của bản thân điện môi và do các bụi bẩn, lớp nước ẩm gây nên 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 :

$$\gamma = q.n_{oT}K_T \qquad (2-16)$$

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} ;

$$K_T = K_m.e^{-\frac{W_{cd}}{KT}} \qquad (2-17)$$

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 – 16) và gộp chung các hằng số $n_o.q$ và K_m bằng một hệ số A, ta có :

$$\gamma = A.e^{-\frac{b}{T}} \qquad (2-18)$$

Trong đó :

$$b = \frac{W_{pl} + W_{cd}}{K} \qquad (2-19)$$

Công thức (2 – 18) 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 :

$$b = \frac{\Delta \ln\gamma}{\Delta\frac{1}{T}} \qquad (2-20)$$

Thực tế thường có $W_{pl} >> W_{cd}$ 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.

K_T độ linh hoạt của các điện tích, $cm^2/s.V$; γ – điện dẫn suất $\Omega^{-1}.cm^{-1}$.

Số hạt mang điện trong đơn vị thể tích được xác định theo công thức sau :

$$n_{oT} = n_o e^{-\frac{W_{pl}}{KT}} \qquad (2-21)$$

Trong đó : n_o – mật độ ion ; W_{pl} – năng lượng phân ly

K – hằng số Bônzơmal, T – nhiệt độ tuyệt đối.

Độ linh hoạt của các điện tích được xác định theo công thức sau :

$$\gamma = \gamma_o e^{\alpha t} \text{ hay } \rho = \rho_o e^{-\alpha t} \qquad (2-22)$$

Trong đó : γ_o ; ρ_o – điện dẫn suất và điện trở suất đo ở $t = 20^oC$

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 hóa trị của các ion đó. Tinh thể ion hóa trị một có điện dẫn lớn hơn các tinh thể ion nhiều hóa 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, paraphin... có điện dẫn suất rất nhỏ và chỉ phụ thuộc vào số lượng tạp chất chứa trong các điện môi đó.

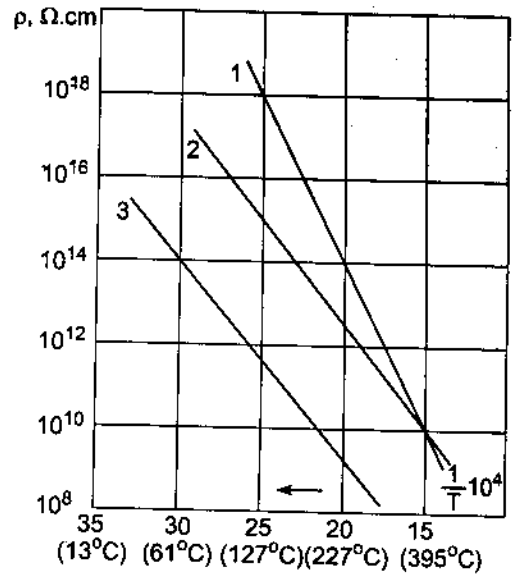
Điện dẫn của các chất không định hình liên quan trước hết tới thành phần của chúng. Các chất hữu cơ trùng hợp cao phân tử có điện dẫn suất phụ thuộc nhiều vào : thành phần hóa học, các tạp chất, mức độ trùng hợp, mức độ lưu hóa v.v...

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

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

Trên hình 2–6 biểu diễn quan hệ điện trở suất khối của thạch anh theo nhiệt độ.

Thủy 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 thủy tinh này rất lớn, chứng tỏ rằng năng lượng giải phóng ion lớn (hệ số b ≈ 22.000). Đưa vào thành phần của thủy 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 thủy 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 thủy tinh có các ion kiềm gần bằng 10.000).



Hình 2–6. Quan hệ $\rho_V = f(t^o)$ 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).

Khi đưa vào thành phần của thủy tinh các axit kim loại nặng (bari hoặc chì)... làm trung hòa axit kiềm và làm giảm đáng kể điện dẫn suất của thủy tinh. Nếu xem sứ cách điện như một hệ số 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

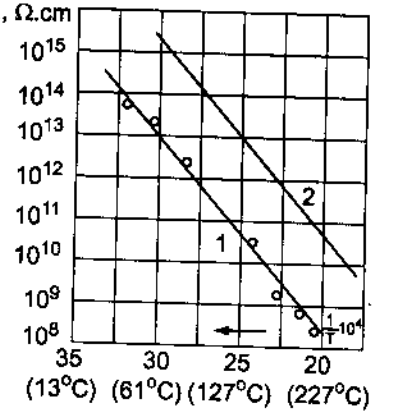
GIÁ TRỊ ρ CỦA MỘT SỐ LOẠI THỦY TINH

Tên gọi thủy tinh	Điện trở suất khối ρ_V đo ở t = 200°C.Ω.cm
– Pirêch natri (thủy tinh chịu nhiệt)	2.10^8
– Pirêch kali	8.10^{11}
– Thủy tinh chì	2.10^{12}

– Trên hình 2 – 7 đưa ra quan hệ của điện trở suất khối của sứ cách điện và sứ vô tuyến có chứa ôxitbari 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.

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.



Hình 2–7. Quan hệ $\rho_V = f(t^o)$
1 – Sứ ; 2 – Sứ vô tuyến điện.

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, Ω.cm		
	Ở độ ẩm tương đối 0% và t = 20°C	Ở độ ẩm tương đối 70% và t = 20°C	Ở độ ẩm tương đối 0% và t = 100°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	$10^{13} - 10^{14}$	$10^{8} - 10^{9}$	$10^{10} - 10^{11}$

2.6. Điện dẫn mặt của điện môi rắn

Điện dẫn mặt thường gây nên do bề mặt của vật liệu bị ẩm. 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 :

– Các điện môi không hòa tan trong nước ;

– Các điện môi hòa tan một phần trong nước ;

– Điện môi có cấu tạo xốp.

1. Điện môi không hòa 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 ướt.

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 mặt cao trong môi trường khi nào bề mặt của nó hoàn toàn không bẩn.

2. Các điện môi hòa tan một phần trong nước

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

3. Điện môi rắn có cấu tạo xốp

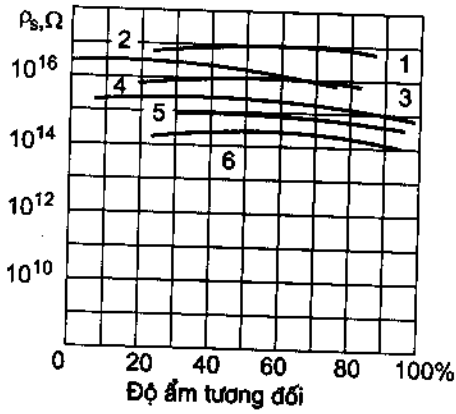
Loại điện môi này bao gồm các vật liệu sợi (hữu cơ và vô cơ), đá hoa, clorit hoạt thạch và đa số các chất dẻo. Do cấu tạo xốp, trong môi trường ẩm các vật liệu này có điện dẫn suất mặt lớn.

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 – 8), (2 – 9) và (2 – 10). Ảnh hưởng của độ bẩn bề mặt một số điện môi thuộc nhóm 1 và 2 đến điện trở suất mặt được nêu trong bảng 2 – 4.

Bảng 2–4

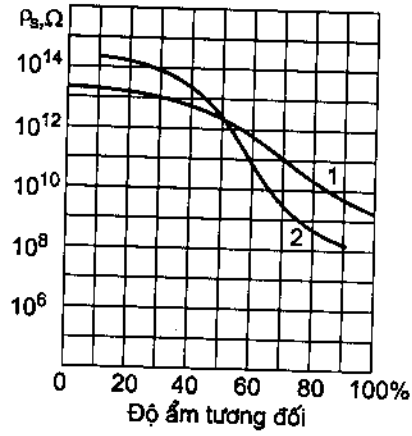
GIÁ TRỊ ĐIỆN TRỞ SUẤT MẶT CỦA MỘT SỐ VẬT LIỆU Ở ĐỘ ẨM TƯƠNG ĐỐI 70%

Tên điện môi	ρ_s khi bề mặt chưa làm sạch, Ω	ρ_s sau khi làm sạch bề mặt, Ω
– Kính cửa sổ	2.10^8	1.10^{11}
– Thạch anh nóng chảy	2.10^8	1.10^{13}
– Micalếc	1.10^9	1.10^{13}



Hình 2-8. Quan hệ $\rho_S = f(\varphi\%)$ của điện môi nhóm 1

1 – Xêrêzin ; 2 – Ôxit nhôm ; 3 – Paraphin ; 4 – Micalêch ; 5 – Sáp ong ; 6 – Sáp galovac

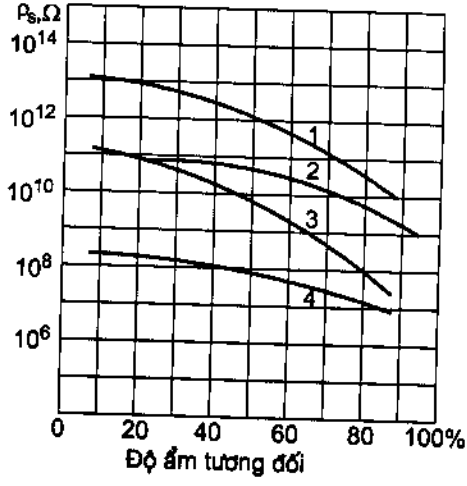


Hình 2-9. Quan hệ $\rho_S = f(\varphi\%)$ của điện môi nhóm 2

1 – Thủy tinh kiềm ; 2 – Thủy tinh borát

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 hòa tan, đốt nóng ở nhiệt độ 600° – 700°C. 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 thủy tinh lớp sơn silic hữu cơ làm tăng một cách đáng kể điện trở suất mặt của vật liệu đặt trong môi trường ẩm.



Hình 2-10. Quan hệ $\rho_S = f(\varphi\%)$ đối với các điện môi có cấu tạo xốp

1 – Chất dẻo phênolfôc man đêhyt ; 2 – Xenlulô ; 3 – Đá hoa ; 4 – Đá tấm.

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 suất bề mặt sẽ giảm mạnh khi độ ẩm tăng.

Câu hỏi chương II

1. Nêu những hiện tượng xảy ra trong điện môi khi đặt vào trong điện trường.
2. Định nghĩa điện trở suất khối, điện trở suất mặt.
3. Nêu các loại dòng điện đi trong điện môi.
4. Trình bày điện dẫn ion và điện dẫn điện di trong điện môi lỏng.
5. Trình bày điện dẫn khối và điện dẫn mặt của điện môi rắn.

Chương III

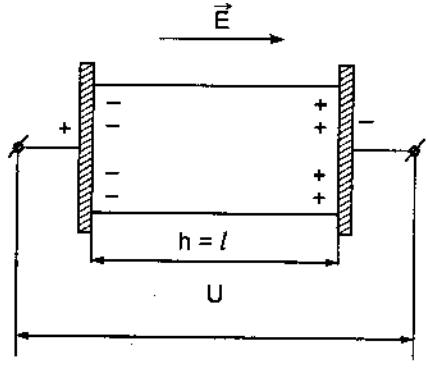
SỰ PHÂN CỰC CỦA ĐIỆN MÔI

3.1. Khái niệm về sự phân cực và hằng số điện môi

1. Khái niệm về sự phân cực

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. Chính vì vậy chúng ta có định nghĩa về sự phân cực như sau :

– Phân cực được xác định bởi sự chuyển dịch có giới hạn của các điện tích ràng buộc hoặc sự định hướng của các phân tử lưỡng cực dưới tác dụng của lực điện trường.



Hình 3–1

Khi xảy ra phân cực, 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). Điện tích Q của tụ điện có trị số tỉ lệ với điện áp đặt lên tụ điện và được tính bởi công thức sau :

$$Q = CU \qquad (3 - 1)$$

Trong đó : C – điện dung của tụ điện.

U – điện áp đặt vào tụ điện.

Điện tích Q bao gồm hai thành phần :

Q_o – 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 :

$$Q = Q_o + Q' \qquad (3 - 2)$$

2. Hằng số điện môi

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 tỉ số giữa điện tích Q của tụ điện chế tạo từ loại điện môi khi điện áp đặt vào có một giá trị nào đó với Q_o – là điện tích của tụ điện khi điện môi là chân không :

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_o} = \frac{Q_o + Q'}{Q_o} = 1 + \frac{Q'}{Q_o} \qquad (3-3)$$

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 1 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 1, 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, đại lượng hằng số điện môi tương đối này được gọi 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 :

$$Q = Q_o\varepsilon = CU = C_o\varepsilon U \qquad (3-4)$$

Trong đó : C_o – điện dung của tụ điện khi giữa các điện cực là chân không.

Từ công thức (3 – 4) ta có :

$$\varepsilon = \frac{C}{C_o} \qquad (3-5)$$

Như vậy hằng số điện môi của một điện môi bất kỳ có thể xác định bằng tỉ 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.

3.2. Các dạng và loại phân cực xảy ra trong điện môi

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

1. Phân cực nhanh

Đặc điểm của phân cực nhanh là xảy ra trong một thời gian rất nhanh 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 mối có phân cực nhanh được biểu diễn bằng một tụ điện điện dung là C (C). Phân cực nhanh có hai loại đó là phân cực điện tử nhanh và phân cực ion nhanh.

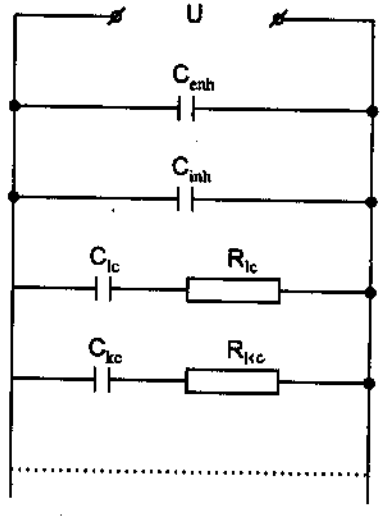
2. Phân cực chậm

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 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" (C 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.

Hình 3 – 2 giới thiệu sơ đồ đẳng trị tổng quát về các loại phân cực của điện môi.

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



Hình 3 – 2

3.3. Phân loại điện môi theo dạng phân cực

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

1. 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 : parafin, lưu huỳnh, polistirol, benzôn, hyđrô, dầu máy biến áp, dầu tụ điện v.v...

2. 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, êpốcxi, xenlulô, hyđrôcacbon bị clo hóa v.v...

3. 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 :

a) Điện môi có phân cực điện tử và ion nhanh ;

b) 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, corunđum, 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.

4. Nhóm thứ tư : gồm điện môi xécnhét được đặc trưng bởi phân cực tự phát, phân cực điện tử và ion nhanh, phân cực điện tử chậm ; ví dụ : muối xécnhét, titanátbari, 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. 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 bằng 1. Ví dụ hằng số điện môi của không khí khi đo ở nhiệt độ $t = 20^oC$, áp suất P = 1ata có trị số $\varepsilon_{kk} = 1,00058$.

3.4.1. 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 $\alpha = \alpha_{enh}$ và phương trình Claudiút – Môxốtchi có thể viết :

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{N\alpha_{enh}}{3\varepsilon_o}$$

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

$$\varepsilon = 1 + \frac{N\alpha_{enh}}{\varepsilon_o} \qquad (3 - 6)$$

Hệ số phân cực $\alpha_{enh} = 4\pi\varepsilon_o.R^3 = 10^{-24}$ [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 : $\varepsilon \approx \nu^2$.

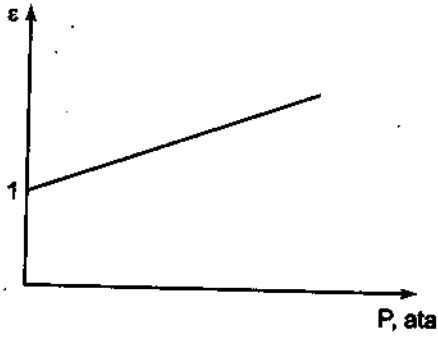
Từ đó ta có :

$$\frac{N\alpha_{enh}}{\varepsilon_o} \approx \nu^2 - 1 \qquad (3 - 7)$$

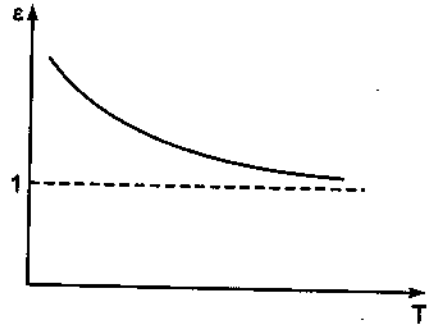
Theo công thức (3 – 7) ta có thể xác định hằng số điện môi bằng cách đo hệ số khúc xạ ν của chất đó.

Trong các chất khí mật độ phân tử khí tỉ lệ thuận với áp suất và tỉ 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 tỉ lệ thuận và tỉ lệ nghịch tương ứng (hình 3 – 3 và 3 – 4).



Hình 3 – 3. Quan hệ giữa ε với áp suất P khi T = const



Hình 3 – 4. Quan hệ giữa ε với nhiệt độ T khi P = const.

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 – 6) ta có công thức (3 – 8) chứng minh cho các vấn đề nêu ở trên :

$$\varepsilon = 1 + \frac{P\alpha_{enh}}{KT\varepsilon_o} \qquad (3-8)$$

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 ν.

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, ν	ν^2	ε khi t = 20°C và P = 760 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 hằng số điện môi của các chất khí tăng khi bán kính phân tử càng lớn.

Trong bảng 3 – 2 dưới đây đưa ra sự phụ thuộc của hằng số điện môi của không khí, axít cácbonic 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		Axít Cácbonic		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

Bảng 3 – 3 nêu ra quan hệ của hằng số điện môi không khí với nhiệt độ khi áp suất không đổi và bằng 1 at.

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, φ%	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 ở nhiệt độ bình thường, nhưng nó tăng rõ rệt khi ở nhiệt độ cao.

3.4.2. 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 :

$$\alpha = \alpha_{enh} + \alpha_{lc}$$

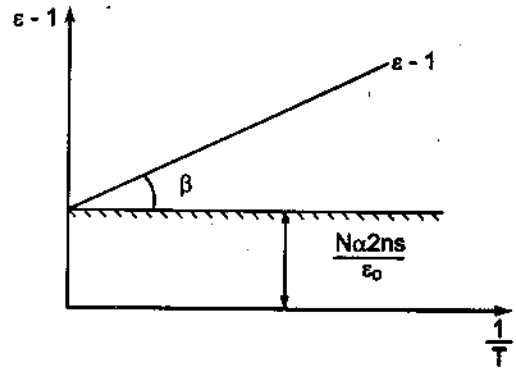
Từ phương trình Claudiút – Môxốtchi để tính hằng số điện môi cực tính, nhưng đối với các chất khí có mật độ phân tử thấp nên $\varepsilon \approx 1$, do đó ta có phương trình rút gọn sau đây :

$$\varepsilon - 1 = \frac{N}{\varepsilon_o}\left(\alpha_{enh} + \frac{m_o^2}{3KT}\right) = \frac{N\alpha_{enh}}{\varepsilon_o} + \frac{Nm_o^2}{3\varepsilon_o KT} \qquad (3-9)$$

Phân cực điện tử nhanh có $\varepsilon \approx \nu^2$, nên phương trình 3 – 9 có thể viết :

$$\varepsilon = \nu^2 + \frac{N.m_o^2}{3\varepsilon_o KT} \qquad (3 - 10)$$

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 ν^2. Quan hệ giữa (ε – 1) với 1/T là quan hệ tuyến tính (hình 3 – 5). 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.



Hình 3 – 5. Quan hệ giữa (ε – 1) với $\frac{1}{T}$

Từ hình (3 – 5) ta có :

$$tg\,\beta = \frac{N.m_o^2}{3\varepsilon_o K}$$

Từ đó suy ra :

$$m_o = \sqrt{\frac{3\varepsilon_o K tg\beta}{N}} \qquad (3 - 11)$$

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

3.5. 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, toluen v.v..) và điện môi lỏng cực tính (ví dụ : dầu thầu dầu, xôvôn, xôvton ...).

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

Điện môi lỏng trung tính được đặc trưng bởi một 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.

$$\varepsilon \approx \nu^2$$

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

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{N\alpha_{enh}}{3\varepsilon_o} \qquad (3 - 12)$$

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 dãn nở nhiệt, khoảng cách giữa các phân tử tăng lên, mật độ phân tử giảm xuống, do vậy hằng số điện môi cũng giảm.

Hệ số nhiệt TK_ε của điện môi lỏng trung tính được xác định theo công thức sau :

$$TK_\varepsilon = \frac{-(\varepsilon - 1)(\varepsilon + 2)}{3\varepsilon} TK_v \left[\frac{1}{^oC}\right] \qquad (3 - 13)$$

Từ kết quả trên (3 – 13) ta có $TK_\varepsilon < 0$ nên hằng số điện môi lỏng trung tính giảm đi khi nhiệt độ tăng.

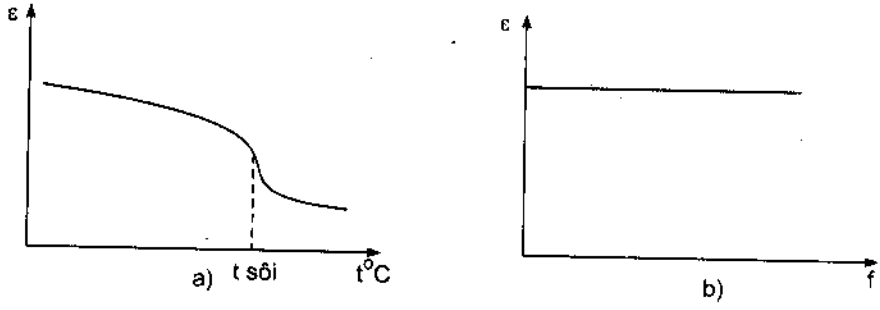
Trong bảng 3 – 5 đưa ra số liệu hằng số điện môi, TK_ε và TK_v của một số chất lỏng trung tính và cực tính yếu.

Bảng 3 – 5

HẰNG SỐ ĐIỆN MÔI CỦA CÁC CHẤT LỎNG TRUNG TÍNH VÀ CỰC TÍNH YẾU

Tên chất lỏng	ν^2	ε	TK_ε độ$^{-1}$	TK_v độ$^{-1}$
Benzen	2,25	2,218	$-0,93.10^{-3}$	$1,24.10^{-3}$
Toluen	2,25	2,294	$-1,16.10^{-3}$	$1,10.10^{-3}$
Têtraclorua cacbon	2,135	2,163	$-0,91.10^{-3}$	$1,227.10^{-3}$

Quan hệ giữa hằng số điện môi của chất lỏng trung tính với nhiệt độ và tần số được biểu diễn trên hình 3 – 6. 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 – 6. Quan hệ giữa hằng số điện môi của chất lỏng trung tính với nhiệt độ (a) và tần số (b)

3.5.2. Hằng số điện môi của chất 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_{lc}. 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 – Môxốtchi không còn phù hợp nữa vì $E_3 \neq 0$.

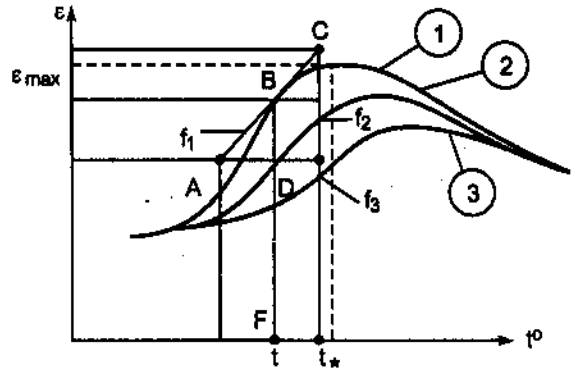
Có nhiều thuyết đưa ra để tính hằng số điện môi ε của các điện môi cực tính, ví dụ Debai, Onsajer, Kirvút vv...

Nói chung việc tính ε của chất lỏng cực tính rất phức tạp. Vì vậy khi tính hằng số điện môi của các điện môi cực tính ta vẫn sử dụng phương trình Claudiút – Môxốtchi :

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{N}{3\varepsilon_o}\left(\alpha_{enh} + \frac{m_o^2}{3KT}\right) \qquad (3 - 14)$$

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. Vì vậy các chất lỏng cực tính mạnh có giá trị hằng số điện môi rất cao, ví dụ nước, rượu êtilíc... 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 – 7 cho ta khái niệm về quan hệ của hằng số điện môi theo nhiệt độ đo ở các tần số khác nhau : $f_1 < f_2 < f_3$



Hình 3–7. Quan hệ giữa $\varepsilon = f(t^o)$ với $f_1 < f_2 < f_3$

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 các 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 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.

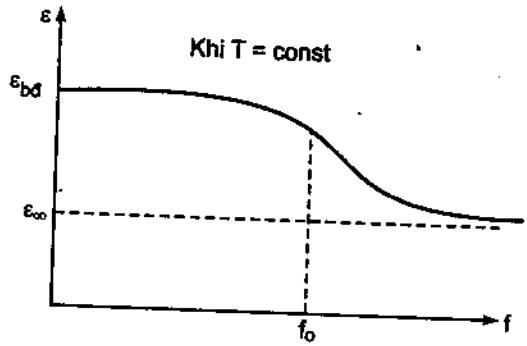
Trị số TK_ε ở các nhiệt độ khác nhau thường được tìm bằng phương pháp vi phân đồ thị của đường cong $\varepsilon = f(t^o)$ (khi f = const). Để xác định TK_ε ở nhiệt độ t và tần số f_1, ta vẽ tiếp tuyến với đường cong tại điểm B đang xét và lấy đường thẳng này làm cạnh huyền, dựng tam giác vuông có kích thước bất kỳ ACD. Khi tính TK_ε cần phải tính đến tỉ lệ xích theo trục nhiệt độ (M_t). Trị số tìm được sẽ tính bằng công thức sau :

$$TK_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon}\frac{\Delta\varepsilon}{\Delta T} = \frac{1}{BF}.\frac{CD}{AD.M_t} \qquad (3-15)$$

Tần số của điện trường sẽ làm thay đổi trị số ε của chất lỏng lưỡng cực. Trên hình 3 – 8 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 trọn vẹn 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_{bd}). 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 ($\varepsilon_\infty \approx \nu^2$).



Hình 3–8. Quan hệ của hằng số điện môi với tần số khi T = const

Tần số f_o khi ε bắt đầu giảm (hình 3 – 8) có thể biểu thị bằng công thức :

$$f_o = \frac{KT}{8\pi^2\eta r^3} \qquad (3-16)$$

Trong đó : η – độ nhớt ;

r – bán kính phân tử điện môi lỏng.

Thời gian phân cực của phân tử τ_o liên quan tới tần số f_o bằng tỉ số sau đây :

$$f_o = \frac{1}{2\pi\tau_o} \qquad (3-17)$$

Sự phụ thuộc của hằng số điện môi ε với tần số và nhiệt độ biểu diễn trên hình 3 – 7. 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 chủ 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°C và f = 50 Hz
Thầu dầu	4,5
Xô vôn	5,0
Xốvtôn	3,2

3.6. 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.

3.6.1. Hằng số điện môi các chất rắn trung tính

Trong các điện môi rắn trung tính (kim cương, băng phiến, lưu huỳnh, parafin, polietilen, polistirol v.v...) chỉ tồn tại phân cực điện tử nhanh ($\alpha = \alpha_{enh}$). Do vậy hằng số điện môi rắn trung tính có trị số bằng bình phương hệ số khúc xạ ánh sáng : $\varepsilon = \nu^2$.

Để tính hằng số điện môi của điện môi rắn trung tính ta sử dụng phương trình Claudiút – Môxốtchi :

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{N.\alpha_{enh}}{3\varepsilon_o} \qquad (3 - 18)$$

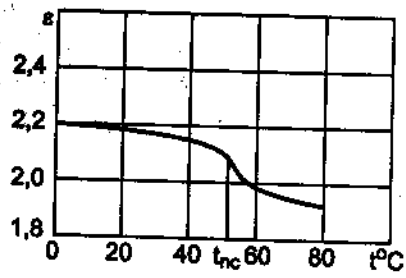
Hệ số nhiệt của hằng số điện môi chất rắn trung tính được xác định theo công thức sau :

$$TK_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon}\frac{d\varepsilon}{dT} = \frac{-(\varepsilon - 1)(\varepsilon + 2)}{3\varepsilon} TK_v < 0 \qquad (3 - 19)$$

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

Trên hình 3 – 9 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 – 9. Quan hệ ε = 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°C.

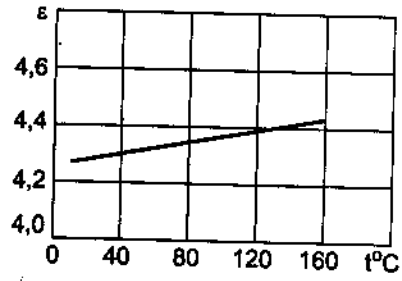
Bảng 3 – 7

HẰNG SỐ ĐIỆN MÔI CỦA MỘT SỐ ĐIỆN MÔI RẮN TRUNG TÍNH

Tên vật liệu	γ	v^*	ε (t = 20°C, f = 50Hz)
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

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

Trong điện môi rắn kết cấu tinh thể ion là liên kết mạnh (liên kết 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 – 10. Quan hệ ε = f (t°) của tinh thể KCl

Trên hình 3 – 10 nêu ra đặc điểm quan hệ của ε theo nhiệt độ đối với tinh thể ion KCl trong trường hợp $TK_\varepsilon > 0$.

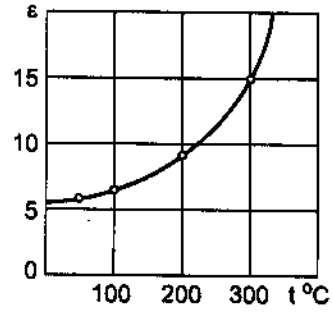
Trong bảng 3 – 8 đưa ra số liệu hằng số điện môi và hệ số nhiệt của hằng số điện môi của một số chất có kết cấu tinh thể ion khi ở nhiệt độ 20°C.

Bảng 3 – 8

TRỊ SỐ ε VÀ TK_ε CỦA CÁC TINH THỂ ION

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

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 có trị số lớn. Ví dụ : sứ cao áp có quan hệ ε với nhiệt độ biểu diễn trên hình 3 – 11.



Hình 3 – 11. Quan hệ ε = f(t°) của sứ cách điện

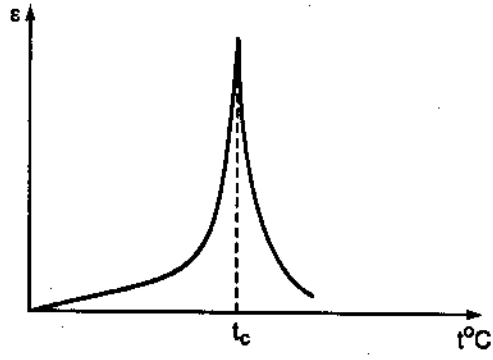
3.4.3. Hằng số điện môi của thủy tinh vô cơ

Hằng số điện môi của thủy tinh vô cơ nằm trong phạm vi tương đối hẹp vào khoảng từ 4 đến 20 tuỳ 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 ôxit kiềm (Na_2O, K_2O...) 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 :

$$\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon+2}=\frac{N}{3\varepsilon_o}(\alpha_e+\alpha_i) \qquad (3-20)$$

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 : $\alpha_i = f(t^o)$. 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 trên, hệ số nhiệt được xác định theo công thức :



Hình 3 – 12. Quan hệ ε = f (t°) của thủy tinh

$$TK_\varepsilon = -\frac{(\varepsilon-1)(\varepsilon+2)}{3\varepsilon}+\frac{N(\varepsilon+2)}{9\varepsilon\varepsilon_o}\frac{d\alpha_i}{dT} \qquad (3-21)$$

Quan hệ giữa ε của thủy tinh với nhiệt độ được biểu diễn trên hình 3 – 12. Ở vùng nhiệt độ thấp $t < t_c$ (t_c – là nhiệt độ thủy tinh hóa hay còn gọi là nhiệt độ nóng chảy) hằng số điện môi tăng lên khi nhiệt độ tăng. Tại gần nhiệt độ t_c, thủy 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 phân tử và cản trở sự phân cực nên hằng số điện môi giảm nhanh.

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

Trị số của hằng số điện môi thủy tinh vô cơ cho ở bảng 3 – 9.

Bảng 3 – 9

TRỊ SỐ CỦA HẰNG SỐ ĐIỆN MÔI THUỶ TINH VÔ CƠ

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

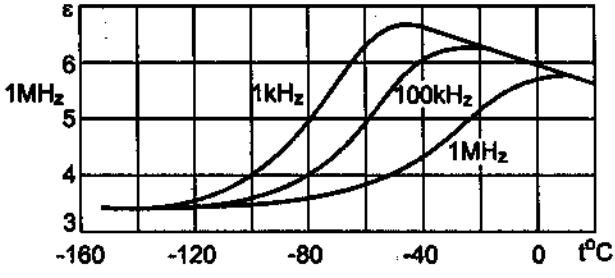
3.6.4. Hằng số điện môi của điện môi rắn hữu cơ cực tính

Điện môi rắn hữu cơ cực tính bao gồm xenlulô và các sản phẩm của nó như : giấy, bông, vải, sợi, bìa cáctông v.v... Ngoài ra còn có các chất nhựa hữu cơ được trùng hợp có các phân tử cực tính như êpốcxi, nhựa phênolfóc-manđêhyt, galôvac 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 hủy.

Hình 3 – 13 trình bày quan hệ của ε theo nhiệt độ và tần số đối với sáp galôvac.



Hình 3 – 13. Quan hệ ε = f (t°, f) của sáp galôvac

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

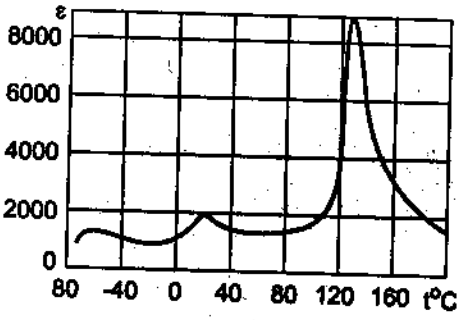
Bảng 3 – 10

Tên điện môi rắn	ε
– Nhựa phênolfócmanđêhyt	4,5
– Sáp galôvac	5,0
– Xenlulô	6,5
– Êpốcxi	3 ÷ 4
– Silic hữu cơ	3 ÷ 5

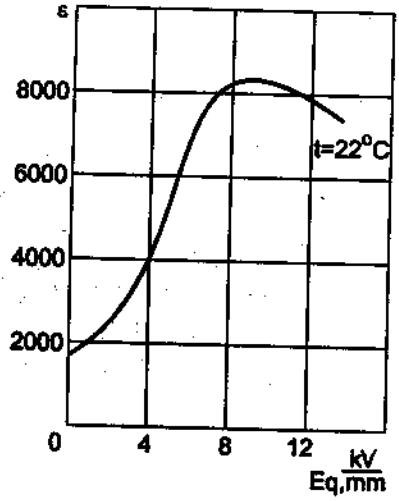
3.6.5. Hằng số điện môi của các điện môi xécnhét (có từ tính)

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 – 14 biểu diễn quan hệ của ε theo nhiệt độ của gốm titanátbari. Từ hình vẽ ta thấy có một số điểm cực đại ngay ở cả nhiệt độ thấp. Điều đó nói lên cấu trúc của tinh thể ion thay đổi khi nhiệt độ thay đổi.



Hình 3 – 14. Quan hệ ε = f(t°) của $BaTiO_3$



Hình 3 – 15. Quan hệ ε = f(E) của chất xécnhét

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 xécnhét của vật liệu không còn, đặc biệt là ε không phụ thuộc vào cường độ điện trường nữa.

Trên hình 3 – 15 trình bày quan hệ giữa ε với cường độ điện trường E của gốm xécnhét.

Bảng 3 – 11

TRỊ SỐ ε CỦA ĐIỆN MÔI XÉCNHÉC Ở t = 20°C TRONG ĐIỆN TRƯỜNG YẾU

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

3.6.6. 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 cách điện, khi biết hằng số điện môi và tỉ 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, tỉ lệ tương đối của các thành phần tương ứng là X_1 và X_2 với điều kiện là : $X_1 + X_2 = 1$.

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

$$\varepsilon^k = X_1\varepsilon_1^k + X_2\varepsilon_2^k \qquad (3-22)$$

trong đó : k là hệ số mũ nói lên đặc điểm sắp xếp của các thành phần :

a) Nếu hai điện môi đặt vuông góc với phương của điện trường (mắc nối tiếp) thì k = –1. Ta có :

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{X_1}{\varepsilon_1} + \frac{X_2}{\varepsilon_2} \qquad (3-23)$$

b) Nếu hai điện môi đặt song song với phương của điện trường (mắc song song) thì k = 1. Ta có :

$$\varepsilon = X_1\varepsilon_1 + X_2\varepsilon_2 \qquad (3-24)$$

c) Nếu hai chất trộn đều vào với nhau thì $k \to 0$. Khi đó :

$$\ln\varepsilon = X_1 \ln\varepsilon_1 + X_2 \ln\varepsilon_2 \qquad (3-25)$$

Bằng các công thức (3 – 23), (3 – 24), (3 – 25) ta có thể tính ε của tổ hợp các cách điện.

Với hai chất cách điện như vậy, công thức xác định hệ số nhiệt của hằng số điện môi của tổ hợp này như sau :

$$TK_{\varepsilon} = X_1 TK_{\varepsilon_1} + X_2 TK_{\varepsilon_2} \qquad (3 - 26)$$

Dựa vào biểu thức này ta có thể chỉ ra được quan hệ giữa ε của tổ hợp cách điện với nhiệt độ.

Câu hỏi chương III

1. Hãy nêu đặc điểm các dạng và loại phân cực xảy ra trong điện môi.
2. Hằng số điện môi của điện môi khí trung tính và cực tính phụ thuộc vào yếu tố nào ?
3. Hằng số điện môi của điện môi lỏng trung tính, cực tính phụ thuộc vào những yếu tố nào ? Giải thích ?
4. Sự phân cực trong điện môi rắn xảy ra như thế nào ?
5. Tính hằng số điện môi của tổ hợp các cách điện rắn.

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, tỏa 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 thất 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 tỉ lệ với bình phương điện áp đặt vào vật thể.

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

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

Trong đó : R – đo bằng ôm (Ω) ; I – ampe (A), U – von (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 ($\varphi + \delta = 90^o$) đồng thời cũng được gọi là góc tổn hao điện môi.

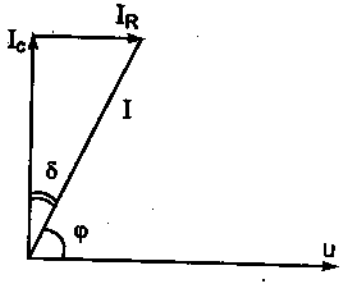
Tổn hao điện môi được tính như sau :

$$P = U.I.\cos\varphi = U.I_R = U.I_c.tg\delta =$$

$$= U.\frac{U}{X_c}\ tg\delta = U^2.\omega C.tg\delta$$

Như vậy :

$$\boxed{P = U^2.\omega C.tg\delta} \qquad (4-2)$$



Hình 4–1

Trong đó : P : Công suất tổn hao.

U : Điện áp đặt vào vật thể.

ω : Tần số góc ($\omega = 2\pi f$).

C : Điện dung của tụ.

Trong trường hợp điện môi lý tưởng, véctơ dòng điện trong sơ đồ thay thế điện môi sẽ vượt trước véctơ 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 ($tg\delta$) theo công thức 4 – 2.

Qua công thức (4–2) ta thấy giá trị tổn hao công suất tỉ lệ với $tg\delta$ 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 $tg\delta$ để xác định tính chất của vật liệu. Giá trị $tg\delta$ có thể xác định bằng các công thức sau :

$$tg\delta = \frac{I_R}{I_C} \qquad (4-3)$$

hay :

$$tg\delta = \frac{P}{Q} \qquad (4-4)$$

với Q – là công suất phản kháng.

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

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

Tổn hao điện môi thường có quan hệ với hằng số điện môi ε và tgδ của chất đó. Trị số của tích số ε.tgδ người ta gọi là hệ số tổn hao điện môi.

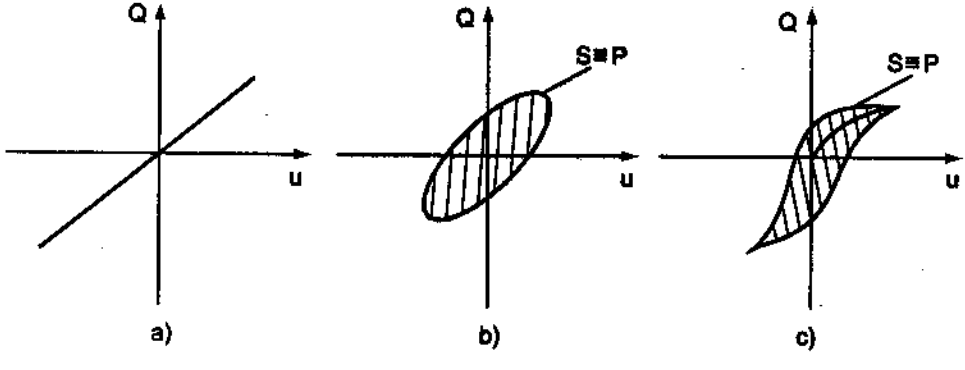
$$\varepsilon' = \varepsilon.tg\delta \qquad (4-5)$$

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

– 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, 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 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 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 (Hình 4 – 2).



Hình 4 – 2. Quan hệ Q = f(U) :
a) Điện môi không có tổn hao (Điện môi trung tính) ;
b) Điện môi cực tính ; c) Điện môi xécnhét.

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 – 2, a). 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 elíp (hình 4 – 2 b). Diện tích của hình elíp (S) tỉ lệ với năng lượng tiêu tốn trong điện môi với 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 – 2 c). Trong trường hợp này, diện tích của chu trình tỉ 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 diện 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, các bon, 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 hóa các chất khí. Sự ion hóa này càng mãnh liệt khi ở điện áp cao và tần số cao. Do vậy khi chế tạo thiết bị điện cao áp cần phải loại trừ các bọt khí bên trong vật liệu cách điện.

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 hóa ;
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.

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 đề cập) 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 :

$$tg\delta = \frac{1,8.10^{12}}{\varepsilon.f.\rho} \qquad (4-6)$$

Trong đó f – tần số của điện trường đo bằng Hz ;

ρ – điện trở suất [Ω.cm].

Tổn hao điện môi dạng này phụ thuộc vào tần số của điện trường. Tgδ giảm theo quy luật hyperbolic khi tần số tăng (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 :

$$P_T = A.e^{\left(-\frac{b}{T}\right)} \qquad (4-7)$$

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

$$P_t = P_o e^{\alpha t} \qquad (4-8)$$

Trong đó : P_t – tổn hao công suất ở nhiệt độ t^oC ;

P_o – tổn thất ở nhiệt độ 20^oC,

α – hằng số mũ của vật liệu, t – nhiệt độ, ^oC.

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

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 hủy chuyển động nhiệt của các phân tử dưới tác động của cường độ điện trường. Sự phá hủy 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 hủy vật liệu. Do vậy không nên dùng điện môi cực tính mạnh ở tần số cao trong kỹ thuật điện.

Quan hệ của tgδ 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 xoay chiều 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 xécnhét liên quan tới hiện tượng phân cực ngẫu nhiên (phân cực tự phát). Do đó tổn hao điện môi xécnhét 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 xécnhét giảm xuống. Sự hóa già về điện theo thời gian của điện môi xécnhét cũng làm giảm tổn hao điện môi.

Trong các loại 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.

3. Tổn hao điện môi do ion hóa

Tổn hao điện môi do ion hóa 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 hóa 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 v.v...

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

$$P_{\bar{I}} = Af(U - U_o)^3 \qquad (4 - 9)$$

Trong đó : A – hằng số ;

f – tần số của điện trường ;

U – điện áp đặt vào ;

U_o – điện áp tương ứng với điểm bắt đầu ion hóa.

Trị số điện áp ion hóa U_o 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 hóa tăng.

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 hóa. Khi bị ion hóa 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 a của phần này).

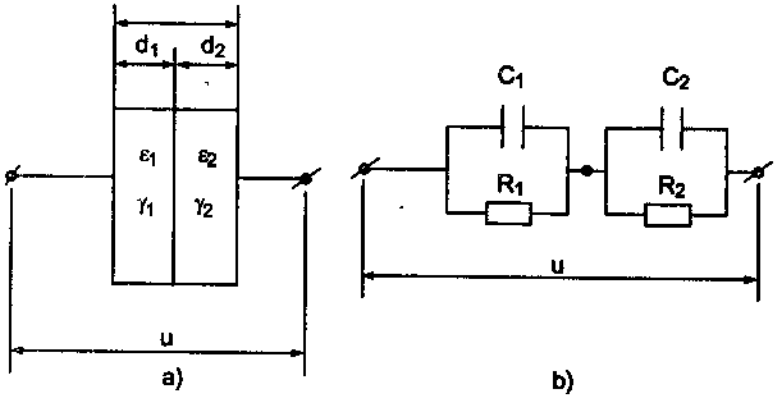
Một điều đáng chú ý và quan tâm đó là trong không khí có chứa ôxy (O_2). Khi bị ion hóa O_2 biến thành O_3 (ôzôn), nó kết hợp với nitơ và nước thành axit nitơric (HNO_3). Nếu quá trình ion hóa liên tục thì nồng độ axít HNO_3 sẽ tăng lên có thể gây nên sự ăn mòn hóa học của vật liệu và làm cho thời gian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

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



Hình 4 – 3. Sơ đồ điện môi mắc nối tiếp (a) và sơ đồ đẳng trị (b) thay thế điện môi

Phân tích sơ đồ hình 4 – 3, b dễ dàng chỉ ra đại lượng tgδ được xác định bởi công thức :

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

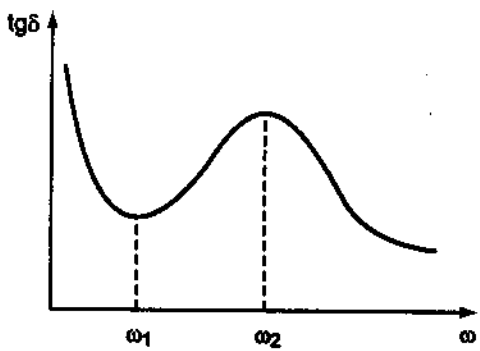
Trong đó : $m = R_1 + R_2$;

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

$M = C_1R_1^2 + C_2R_2^2$;

$N = C_2^2R_2^2C_1R_1^2 + C_1^2R_1^2C_2R_2^2$

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 0 để giải, ta được biểu thức mà từ đó thấy rõ rằng tgδ có cực tiểu và cực đại trong quan hệ của tgδ vào tần số. Điều này thấy ở hình 4 – 4. Giá trị cực đại của tgδ quan sát thấy ở tần số ω_2 :



Hình 4–4. Quan hệ tgδ = f(ω)

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

Cực tiểu ở tần số ω_1 :

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

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

Trị số tgδ của điện môi nhiều lớp khi các lớp mắc nối tiếp có thể tính sơ bộ bằng công thức sau :

$$tg\delta = \frac{\sum_{i=2}^{N} C_i tg\delta_i}{\sum_{i=1}^{N} C_i} \qquad (4-13)$$

Trong đó : $tg\delta_i$ – 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 ($I_{rò}$), dòng điện chuyển dịch do phân cực nhanh (I_{cd}) và dòng điện hấp thụ do phân cực chậm (I_{ht}). Như vậy :

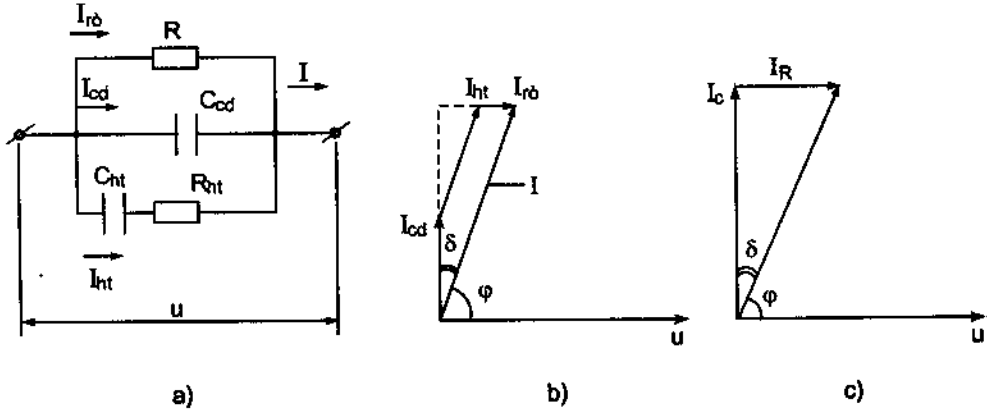
$$I = I_{rò} + I_{cd} + I_{ht} \qquad (4-14)$$

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 ($I_{rò}$) gây nên. Nhưng khi điện áp là 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 – 5, a) và biểu đồ véc tơ giữa điện áp và dòng điện (hình 4 – 5, b ; c).

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 hóa 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 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.



Hình 4 – 5. Sơ đồ thay thế điện môi (a) và biểu đồ vectơ giữa điện áp và dòng điện (b, c).

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 thỏa mãn hai điều kiện đó là :

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

2. 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 :

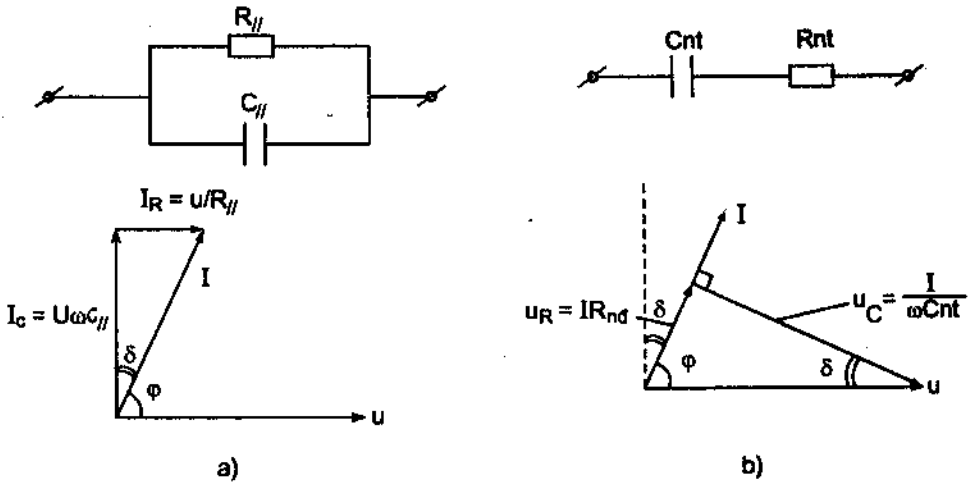
$$tg\delta_{sơ\ đồ} = tg\delta_{thực\ tế}$$

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

* Trong sơ đồ mắc song song $R_{//}$ với $C_{//}$ (hình 4 – 6, a) ta có :

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

với : $g = \dfrac{1}{R_{//}}$; $b = \omega C_{//}$.



Hình 4 – 6. a) Sơ đồ mắc song song $R_{//}$ với $C_{//}$
b) Sơ đồ mắc nối tiếp R_{nt} với C_{nt}.

Như vậy ở đây tgδ sẽ giảm đi khi tần số tăng lên. Công suất tổn hao được tính :

$$P_{//} = U.I.\cos\varphi = U^2.g = U^2.b.tg\delta = U^2\omega C\ tg\delta \qquad (4-16)$$

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

$$tg\delta = \frac{u_R}{u_C} = \omega C_{nt}.R_{nt} = \frac{R_{nt}}{X_{nt}} \qquad (4-17)$$

với $X_{nt} = \dfrac{1}{\omega C_{nt}}$. Như vậy tgδ phụ thuộc tuyến tính với tần số ω của điện áp.

Công suất tổn hao trong sơ đồ này được tính :

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

Từ điều kiện tương đương của hai sơ đồ $P_{//} = P_{nt} = P$ và $tg\delta_{sơ\ đồ} = tg\delta_{thực\ tế}$, 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 :

$$\begin{cases} C_{//} = \dfrac{C_{nt}}{1 + tg^2\delta} \\ R_{//} = R_{nt}\left(1 + \dfrac{1}{tg^2\delta}\right) \end{cases} \qquad (4-19)$$

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 :

– 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.

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 thấp không đáng kể, đặc biệt khi ở tần số cao. Ví dụ điện dẫn của không khí vào khoảng 10^{-18} $(\Omega cm)^{-1}$; hằng số điện môi $\varepsilon \approx 1$ khi ở tần số f = 50 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 tới hạn, các phân tử khí sẽ bị ion hóa, trong chất khí xuất hiện tổn hao do ion hóa. Năng lượng tổn hao do ion hóa được tính bằng công thức sau :

$$P_i = A.f.(U - U_i)^3 \qquad (4 - 20)$$

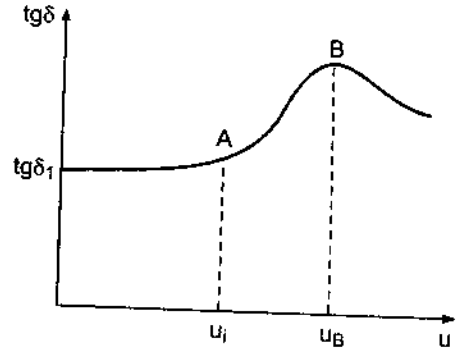
Trong đó : A – hằng số ; f – tần số ;

U_i – điện áp bắt đầu gây nên ion hóa,

U – điện áp đặt lên điện môi.

Quan hệ giữa tổn hao điện môi tgδ với điện áp được biểu diễn trên hình 4 – 7.

Trên hình 4 – 7 ta thấy tổn hao điện môi tăng lên khi điện áp tăng. Quan hệ tgδ với điện áp gọi là đường cong ion hóa. Khi điện áp $U > U_B$ các phân tử chất khí đã được ion hóa, khi đó không cần tiêu tốn năng lượng cho quá trình ion hóa nữa nên tgδ có trị số giảm.



Hình 4 – 7. Quan hệ tgδ = f(U)

Ở tần số cao, hiện tượng ion hóa 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 hủy.

Khi ion hóa ôxy của không khí biến thành ôzôn (O_3), chúng kết hợp với nitơ (N_2) và nước tạo thành axít nitơric (HNO_3). Axít HNO_3 sẽ gây nên sự phân hủy hóa 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 hóa) 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 tiết 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 :

$$tg\delta = \frac{1,8.10^{12}}{\varepsilon.f.\rho}$$

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.

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 xô vôn.

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 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 tỏa 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 trị số cực đại ở một độ nhớt nào đó.

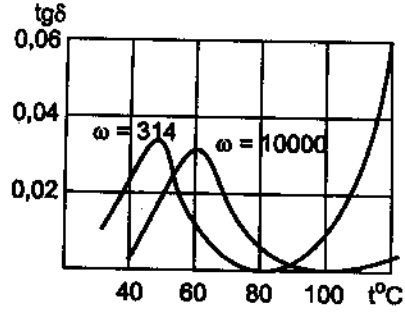
Vị trí điểm cực đại được xác định từ điều kiện :

$$\omega \approx \frac{1}{\tau_o} \qquad (4-11)$$

Trong đó : ω – tần số góc của điện áp ; τ_o – thời gian xác lập phân cực.

Thời gian phân cực chậm τ_o phụ thuộc vào độ nhớt của chất lỏng và như vậy τ_o phụ thuộc vào nhiệt độ.

Hình 4 – 8 cho ta khái niệm về sự biến thiên tgδ 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 tgδ theo nhiệt độ đồng thời cũng là đường cong (theo một tỉ lệ xích khác) quan hệ tổn hao năng lượng P theo nhiệt độ, vì P ≡ tgδ.

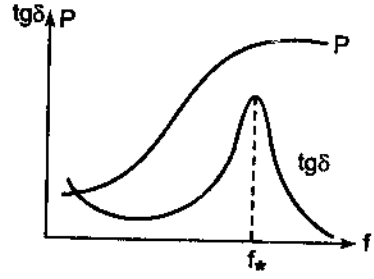


Hình 4 – 8. Quan hệ tgδ với nhiệt độ ở các tần số khác nhau của nhựa thông

Hình 4 – 8 cho ta thấy khi tăng tần số, điểm cực đại của tgδ 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 tgδ = f(t^o) 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 tgδ 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.

Trên hình 4 – 9 biểu diễn mối quan hệ giữa tgδ và P theo tần số của điện môi lỏng cực tính. Tổn hao điện môi tăng theo tần số cho đến khi 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 tgδ 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 tgδ.



Hình 4 – 9. Quan hệ giữa tgδ và P với tần số f của chất lỏng cực tính

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 tgδ 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.

Bảng 4 – 1

TRỊ SỐ tgδ CỦA MỘT SỐ ĐIỆN MÔI LỎNG

Tên điện môi	ε	tgδ ở f = 10^6 Hz và t = 20°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 xécnhét và điện môi có cấu tạo không đồng nhất.

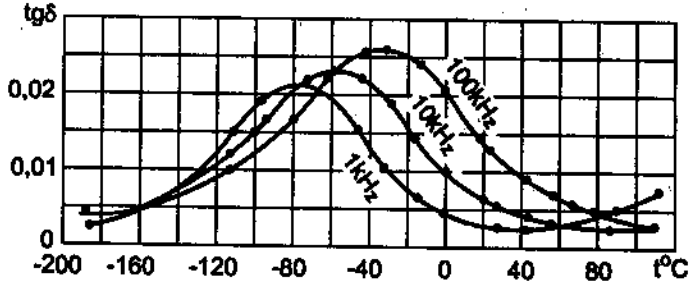
1. Tổn hao điện môi trong các điện môi có cấu tạo phân tử phụ thuộc vào loại phân tử

Nếu trong điện môi 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, politêtrafloêtilen ; teflon – 4, polistirol 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 cáctông và các chất khác, thủy tinh hữu cơ, poliamit, poliurêtan, cao su, êbônit, 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.

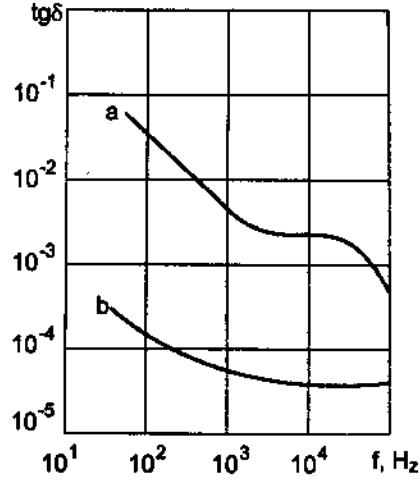
Hình 4 – 10 trình bày quan hệ tgδ theo nhiệt độ đối với giấy.



Hình 4–10. Quan hệ tgδ = f(t°) của giấy khô

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 corunđum (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 (hình 4-11).



Hình 4 – 11. Quan hệ tgδ = f(ω) của muối mỏ

a) Tinh khiết ; b) Có tạp chất.

Các điện môi có cấu tạo tinh thể ion ràng buộc không chặt chẽ bao gồm một loạt chất kết tinh, được đặc trưng bởi hai loại phân cực chậm làm tăng tổn thất điện môi. Trong các chất này có mulít là một thành phần của sứ cách điện, ôxit nhôm và khoáng xilicon nằm trong thành phần của gốm chịu lửa và các chất khác nhau : gốm, sứ, thuỷ tinh...

Đa số các loại gốm điện lượng ion tham gia vào phân cực chậm không ngừng tăng lên theo nhiệt độ. Do đó tgδ 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 thuỷ tinh vô cơ liên quan tới hiện tượng phân cực và sự tồn tại dòng điện dẫn.

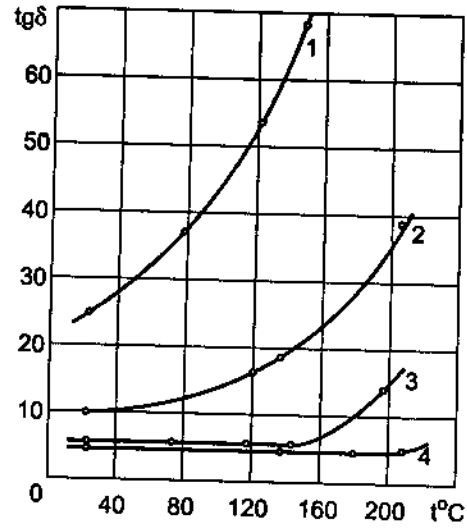
Khi nghiên cứu cơ chế tổn hao điện môi thuỷ tinh cần phân biệt :

a) Tổn hao điện môi ít phụ thuộc vào nhiệt độ và tăng tỉ lệ thuận theo độ tăng của tần số (tgδ 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 (tgδ 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 thuỷ tinh do cấu tạo của nó bị biến đổi.

Nếu thuỷ 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 4–12 cho thấy sự biến thiên của góc tổn hao điện môi theo nhiệt độ đối với thuỷ tinh có thành phần và điện dẫn khác nhau.



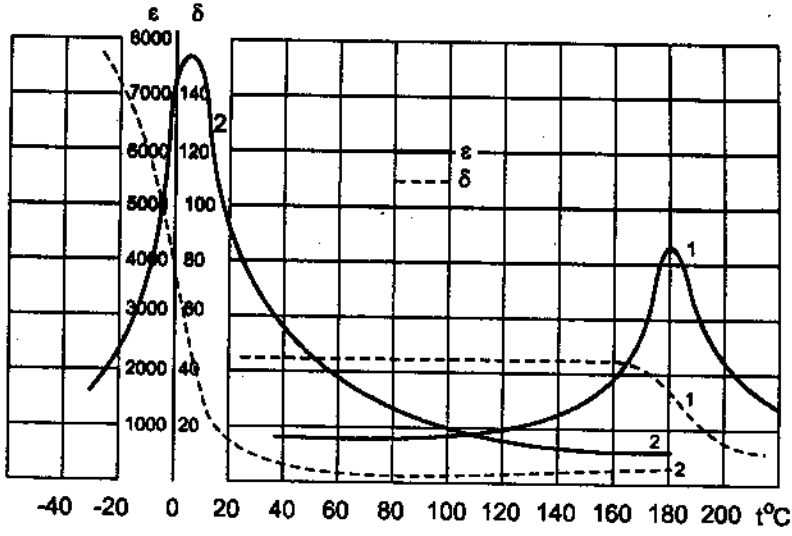
Hình 4 – 12. Quan hệ góc tổn hao điện môi δ với nhiệt độ của thủy tinh kiềm khi f = 1 MHz

1. Kính cửa sổ $\rho = 10^{13}\Omega.cm$;
2. Thủy tinh pirêch natri thường $\rho = 10^{14}\Omega.cm$;
3. Thủy tinh pirêch natri kali $\rho = 10^{16}\ \Omega.cm$;
4. Thủy tinh pirêch kali $\rho = 5.10^{16}\ \Omega.cm$.

Yếu tố chủ yếu xác định tổn hao điện môi trong thủy tinh vô cơ phụ thuộc vào cách kết hợp của các ôxit chứa trong thủy tinh, bởi vì cách kết hợp ảnh hưởng đến cấu tạo thủy tinh. Sự tồn tại ôxit kiềm (Na_2O, K_2O) trong thủy tinh khi không có ôxit của các kim loại nặng (BaO, PbO) làm tăng đáng kể tổn hao điện môi của thủy tinh. Đưa ôxit nặng vào làm giảm tgδ của thủy tinh kiềm.

3. Tổn hao điện môi trong điện môi xécnhét 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 xécnhét mất đi và phân cực tự phát cũng mất. Tổn hao điện môi trong điện môi xécnhét ít biến đổi theo nhiệt độ ở vùng phân cực tự phát và giảm đột ngột sau điểm Quyri.

Trên hình 4 – 13 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 xécnhét có thành phần khác nhau và điểm Quyri khác nhau.



Hình 4 – 13. Quan hệ giữa hằng số điện môi và góc δ với nhiệt độ của điện môi xécnhét

1, 2 – Metatitanat bari $BaO.TiO_2$ có các chất phụ thêm khác nhau

4. 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 có chứa các bọt khí ở bên trong. Ở điện áp cao các bọt khí sinh ra tổn hao điện môi do ion hóa làm ảnh hưởng tới tổn hao điện môi của điện môi đang xét.

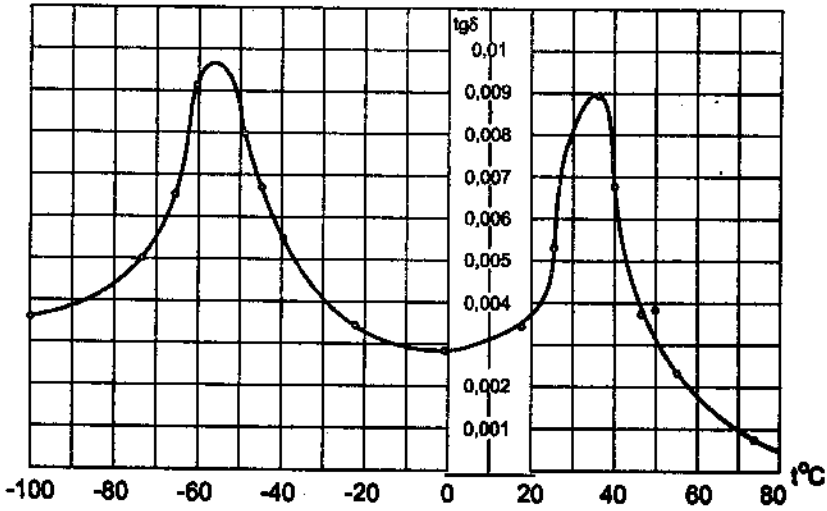
Tổn hao điện môi trong gốm có thể tăng lên nếu trong quá trình chế tạo vật liệu có các tạp chất lẫn bán dẫn với tính dẫn điện bằng điện tử. Tổn hao trong gốm cũng tăng lên do hút ẩm khi có các lỗ xốp hở.

Mica là vật liệu có cấu tạo nhiều lớp. Các lớp bán dẫn trong mica làm tăng tgδ 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 – 14 cho thấy sự biến thiên của tgδ 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) 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.



Hình 4 – 14. Quan hệ tgδ theo nhiệt độ của giấy tụ điện đã được tẩm 80% nhựa thông và 20% dầu biến thế

Trong kỹ thuật điện người ta còn sử dụng rất nhiều vật liệu không đồng nhất khác : chất dẻo, chất độn, micanít, các lớp cách điện khác nhau trong cáp điện và thiết bị điện... 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.

Câu hỏi chương IV

1. Trình bày công thức tính tổn hao điện môi ở điện áp xoay chiều và một chiều.
2. Hãy nêu các dạng tổn hao xảy ra trong điện môi ?
3. Tổn hao điện môi trong các sơ đồ thay thế được tính như thế nào ?
4. Trình bày tổn hao điện môi trong điện môi khí, lỏng, rắn.

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 hủy độ bền điện của điện môi.

Trị số điện áp mà ở đó xảy ra đánh thủng điện môi, được gọi là điện áp đánh thủng ($U_{đt}$) ; trị số tương ứng của cường độ điện trường là cường độ đánh thủng hay cường độ điện trường cách điện của điện môi ($E_{đt}$).

$$E_{đt} = \frac{U_{đt}}{h}, \left[\frac{kV}{mm}\right] \qquad (5-1)$$

Trong đó : h – chiều dày của điện môi đo bằng mm.

Cường độ điện trường cách điện của điện môi "E" = $E_{đt}$ 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 ($U_{đm}$), cần phải nhân với hệ số an toàn hay chính xác hơn là hệ số làm việc an toàn K :

$$h = K\frac{U_{đm}}{E_{đt}}, \quad [mm] \qquad (5-2)$$

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). Do 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 điện môi rắn và lỏng 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 :

1. Phải là loại khí trơ, nghĩa là không gây ra phản ứng hóa học với các chất cách điện khác trong cùng kết cấu cách điện hoặc với các kim loại của thiết bị điện.

2. Có cường độ cách điện cao. Sử dụng các chất khí có cường độ cách điện cao sẽ giảm được kích thước của kết cấu cách điện và của thiết bị.

3. Nhiệt độ hóa lỏng thấp để có thể sử dụng chúng ở trạng thái áp suất cao.

4. Phải rẻ tiền, dễ tìm kiếm và chế tạo.

5. Tản nhiệt tốt.

Ngoài nhiệm vụ cách điện của chất khí còn có nhiệm vụ làm mát (như trong máy điện) và yêu cầu phải dẫn nhiệt tốt.

Không khí là loại khí thường gặp nhất thỏa mãn được yêu cầu (4) nhưng lại không đạt yêu cầu (1) và (2), nhất là yêu cầu (1). Quá trình ion hóa trong không khí thường phát sinh các chất ôzôn, ôxitnitơ, biôxit 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 at, 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 hóa học	Cường độ cách điện tương đối so với không khí	Nhiệt độ hóa lỏng °C
Không khí		1	
Êlegaz	SF_6	2,5	– 62
Frêôn	CCl_2F_2	2,5	– 30
Têtracloruacacbon	CCl_4	6,3	+ 76

Qua bảng 5 – 1 ta thấy êlêgaz và frêôn có cường độ cách điện tương đối cao, nhiệt độ hóa 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 CCl_4 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 hóa xảy ra trong chất khí

Các chất khí không phải là chất cách điện lí tưởng chỉ chứa các phân tử trung hòa 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 điện trường và tạo nên dòng điện dẫn trong điện môi.

Các điện tích của chất khí được tạo nên bởi quá trình ion hóa 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 hóa trong một giây. Quá trình ion hóa là quá trình biến một phân tử trung hòa thành ion dương và điện tử tự do. Năng lượng cần thiết để cung cấp cho phân tử trung hòa để phân tử đó bị ion hóa gọi là năng lượng ion hóa (W_i). Ngược lại với quá trình ion hóa là quá trình kết hợp giữa các ion dương với điện tử hay ion âm để trở thành phân tử trung hòa. Năng lượng ion hóa 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 hóa sẽ được trả lại dưới dạng bức xạ với độ dài sóng xác định theo công thức :

$$h\nu = W_I + \Delta W_k \qquad (5-3)$$

$k = 6{,}5.10^{-27}$ erg.s là hằng số Pơlăng.

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 hòa nhỏ hơn năng lượng ion hóa ($W < W_i$) 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 hóa, có thể có các dạng ion hóa sau đây :

1. Ion hóa 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 hóa nếu :

$$W = \frac{mv^2}{2} \geq W_i \qquad (5-4)$$

m – khối lượng phân tử ; v – tốc độ chuyển động của phân tử.

2. Ion hóa quang. Năng lượng cần thiết để ion hóa có thể lấy từ bức xạ của sóng ngắn, với điều kiện :

$$W = h\nu \geq W_i \qquad (5-5)$$

hoặc :

$$\lambda \leq \frac{ch}{W_i} \qquad (5-6)$$

λ – độ dài sóng của sóng ngắn $\left(\lambda = \frac{c}{\nu}\right)$

ν – tần số bức xạ của sóng ngắn.

c – tốc độ ánh sáng.

3. Ion hóa nhiệt. Ở nhiệt độ cao có thể phát sinh các quá trình sau :

– Ion hóa va chạm giữa các phân tử do các phân tử chuyển động nhiệt với tốc độ lớn.

– Ion hóa do bức xạ nhiệt của khí bị nung nóng.

– Ion hóa va chạm giữa những phân tử và điện tử hình thành do hai quá trình trên.

Theo lí 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 hóa, chỉ khác nhau là xác suất nhiều hay ít. Nhiệt độ càng cao thì khả năng ion hóa càng lớn. Ở nhiệt độ bình thường xác suất này rất bé.

Xác suất ion hóa 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 hóa càng nhiều.

Năng lượng nhiệt và nhiệt độ cần thiết để xảy ra quá trình ion hóa được xác định theo công thức :

$$W = \frac{3}{2} kT \geq W_i \qquad (5-7)$$

T – nhiệt độ tuyệt đối của chất khí ;

$k = 1{,}37.10^{-16}$ erg/^{o}K – là hằng số Bônzơmal.

4. Ion hóa bề mặt. Ba dạng ion hóa trên xảy ra trong thể tích chất khí, còn dạng ion hóa 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 hóa 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 quá "hàng rào thế năng" thì nó sẽ thoát ra khỏi bề mặt điện cực.

– Bắn phá bề mặt âm cực bằng các phần tử có động năng lớn (ion dương).

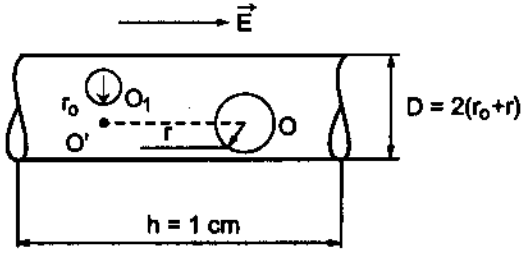
– Dùng sóng ngắn chiếu lên mặt điện cực (tia α, β, γ...)

– Tác dụng bằng điện trường cực mạnh hay còn gọi là bức xạ nguội, thường xảy ra khi cường độ điện trường khoảng 1000 kV/cm.

5.2.3. Quá trình ion hóa và hệ số ion hóa 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 hóa, 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 hóa.

Ion hóa va chạm là yếu tố cơ bản của quá trình phóng điện chất 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.



Hình 5 – 1

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 điện môi có dạng là hình trụ, chiều cao hình trụ h = 1 cm, đường kính D = 2(r_o + r). Để có va chạm giữa điện tích có bán kính r_o với phân tử khí có bán kính r thì khoảng cách giữa hai tâm của chúng nhỏ hơn hay bằng tổng hai bán kính của chúng. Khi nhiệt độ môi trường không thay đổi T = const, qua tính toán xác định được số lần va chạm của điện tử là :

$$S_e = \frac{1}{\lambda e} = A.P \qquad (5-8)$$

với :

$$A = \frac{\pi r^2}{KT}$$

Trong đó : P – áp suất khí ;

T – nhiệt độ ^oK ;

K – hằng số Bônzơman.

Như vậy, số lần va chạm của điện tử tỉ lệ thuận với áp suất khí, bán kính của phân tử khí và tỉ lệ nghịch với nhiệt độ và hằng số Bônzơman của chất khí đó.

Khi di chuyển các điện tử va chạm vào phân tử khí và gây ra sự ion hóa, đặc trưng cho quá trình ion hóa do va chạm người ta đưa ra hệ số ion hóa α và xác định α theo công thức :

$$\alpha = A.P.e^{-\frac{B.P}{E}}$$

Trong đó : E – điện trường đặt vào đầu các điện môi khí ;

P – áp suất chất khí ; – hệ số A, B tra theo bảng 5 – 3 đối với từng chất khí.

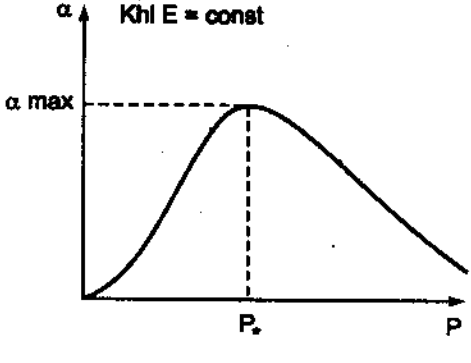
Bảng 5 – 3

HỆ SỐ A VÀ B CỦA CÁC LOẠI KHÍ

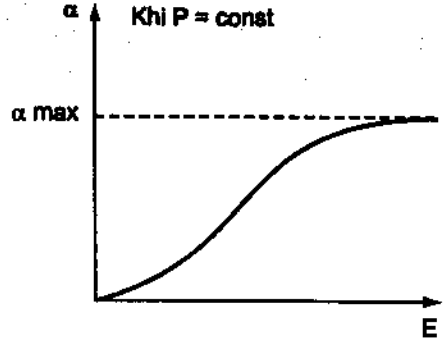
Loại khí	A (V/cm.mmHg)	B (V/cm.mmHg)	Phạm vi của E/P (V/cm.mmHg)
Không khí	14,6	365	150 ÷ 600
Không khí	8,5	250	20 ÷ 150
Ar	1,85	52	20 ÷ 510
He	4,8	9	20 ÷ 100

Hình 5 – 2 cho biết quan hệ giữa α và áp suất P của chất khí khi E = const.

Hình 5 – 3 giới thiệu quan hệ giữa α và điện trường E khi áp suất chất khí P = const.



Hình 5 – 2. Quan hệ α = f (P) khi E = const



Hình 5 – 3. Quan hệ α = f(E) khi P = const

5.2.4. Quá trình hình thành thác điện tử và sự phóng điện trong điện môi khí

Quá trình ion hóa 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 plazma nối liền giữa hai điện cực.

Chúng ta xét quá trình ion hóa chất khí giữa hai điện cực với nguồn điện áp một chiều (hình 5 – 4). Điện trường bên ngoài $\vec{E}$ có chiều từ cực dương (+) đến cực âm (–).

Bằng các giả thiết và sau khi giải các phương trình toán học người ta đã chứng minh được rằng :

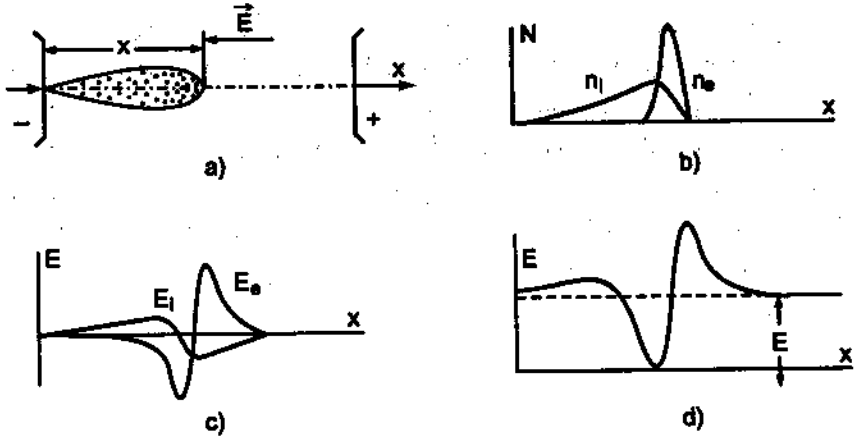
Nếu là trường đồng nhất (E = const) thì α là hằng số, do đó ta có số lượng điện tử sinh ra bởi quá trình ion hoá là :

$$n = e^{\alpha x} \qquad (5-9)$$

hoặc

$$n = n_o e^{\alpha x} \qquad (5-10)$$

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 – 4,a cho ta mô hình thác điện tử khi thác phát triển tới độ dài x.



Hình 5 – 4. Thác điện tử và sự biến dạng của trường

Do điện tử bé và nhẹ nên có tốc độ lớn và dễ khuếch tán dồn về phía đầu thác và rải trên khoảng không gian rộng. 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 – 4,b cho biết 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 – 4,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 – 4,d.

Xét về sự biến dạng của trường (hình 5 – 4,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 phô tông. Ở đầu thác trường được tăng cường cao hơn điện trường E bên ngoài, do vậy dễ dàng gây nên ion hóa phần 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 phô tông. 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 phôtông. Các phôtông này có khả năng gây nên ion hóa 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 hòa trên điện cực, kết thúc quá trình hình thành và phát triển thác điện tử. Quá trình đó 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 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 hóa 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 được phát sinh theo các khả năng sau đây :

– Sự bắn phá của ion dương vào cực âm để giải thoát điện tử (ion hóa bề mặt).

– Ion hóa 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 phát triển và hình thành sự phóng điện trong chất khí theo khả năng nào còn tùy thuộc vào áp suất của chất khí và điện áp giữa hai điện cực.

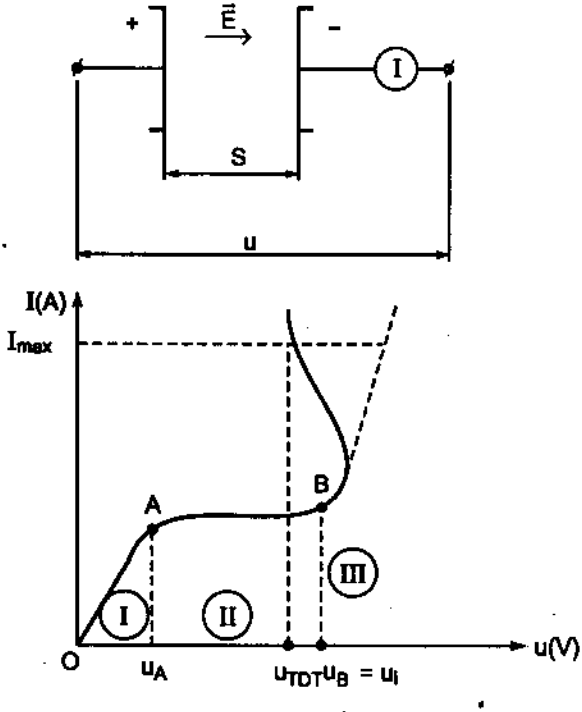
Thực tế cho ta thấy khi thác điện tích có mật độ điện tích lớn (khoảng 10^{12} ion/cm^3) và gần tiếp cận tới điện cực dương, toàn bộ điện áp giữa hai điện cực dồn đặt lên một khe hở hẹp, tại đó cường độ trường rất lớn làm bứt các ion dương từ cực dương chuyển động theo chiều ngược lại của thác điện tử. Khi chúng hoà nhập làm một sẽ gây nên phóng điện chọc thủng chất 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 1 cm 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.

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 – 5).



Hình 5 – 5. Đặc tính Von – Ampe của chất khí

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 hóa 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 $\left(E = \frac{u}{S}\right)$; lực tác dụng lên các điện tích sẽ tăng lên ($F = qE$), 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 dương và âm có thể kết hợp với nhau thành phân tử trung hòa. 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 hòa ($u = u_A + u_B$). 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 hóa 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 hòa.

– 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 hòa sẽ gây nên ion hóa 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.

Sau điểm B nếu nguồn vẫn được duy trì thì dòng điện càng tăng và điện áp giữa hai điện cực giảm tới mức cần thiết để duy trì hồ quang (u_{TDT}). Quá trình ion hóa trong giai đoạn này là quá trình tự duy trì vì nó không phụ thuộc vào nhân tố ion hóa 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 hóa 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 hóa 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 ($P_{max} = U.I_{max}$). 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 :

1. Phóng điện tỏa sáng : xảy ra khi áp suất thấp, plazma không thể có điện dẫn lớn vì số lượng phân tử khí quá ít. Phóng điện tỏa sáng thường chiếm toàn bộ khoảng không gian giữa các cực và được ứng dụng làm đèn nê ông, đèn quảng cáo, trang trí, ống phát sáng v.v...

2. 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, ôtô, thử nghiệm cường độ trường cách điện của các điện môi v.v...

3. *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 tỏa 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 điện hồ quang có nhiệt độ cao, nên trong thực tế áp dụng làm điện cực hồ quang, hàn hồ quang, hàn điểm, đấu dây điện v.v...

4. 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 xung quanh điện cực. Dạng phóng điện này là dạng phóng điện không hoàn toàn vì dòng plazma 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 hóa chất khí và quá trình kết hợp giữa 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 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 tiết 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...

5.3. 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 : 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 lí 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... Để giải thích cơ cấu của sự phóng điện chất lỏng, người ta đã đưa ra một số lí thuyết cơ bản sau :

1. *Lí thuyết về nhiệt* : Lí 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 hóa 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 lí thuyết này khi điện áp tác dụng tăng lên thì lúc đầu sẽ có sự ion hóa 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.

2. *Lí thuyết ion hóa*

Đối với các điện môi lỏng đã được lọc sạch các tạp chất, người ta giải thích sự phóng điện như sự ion hóa đối với chất khí. Song mật độ phân tử 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 hóa lớn. Chính vì vậy mà chất lỏng có cường độ cách điện cao hơn nhiều so với chất khí.

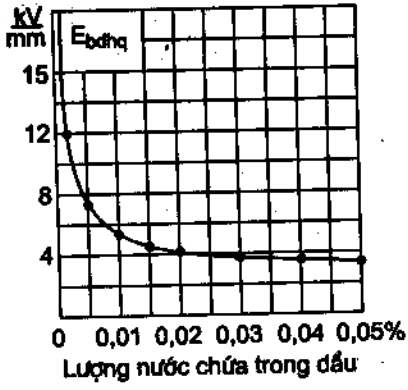
3. *Lí thuyết phóng điện do điện thuần túy* : Lí thuyết này dùng để giải thích sự phóng điện trong chất lỏng tinh khiết, nguyên nhân chủ yếu là do điện gây nên. Sự phóng điện ở trong trường hợp này là do các điện tử thoát ra từ mặt điện cực bằng kim loại dưới tác dụng của cường độ điện trường mạnh đồng thời sự phân hủy bản thân phân tử chất lỏng.

Trong thực tế kỹ thuật điện người ta thường phối hợp cả ba lí thuyết trên để giải thích sự phóng điện trong điện môi lỏng. Thực tế cho thấy, cường độ cách điện của chất lỏng phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Ví dụ : 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 (АИИ – 70, АИМ – 90, АИД – 70 của Liên Xô cũ...) với công suất khoảng 2 kVA. Mẫu dầu máy biến áp được cho vào cốc thử dầu có 2 cực phẳng hay hai nửa bán cầu đường kính ϕ 25 mm, khoảng cách giữa hai cực được căn chuẩn là 2,5 mm (khe hở dầu giữa hai cực). Điện áp tần số 50 Hz được tăng đều với tốc độ tăng 2 kV/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 trên hình 5 – 6, 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 $E_{db} \approx 4$ kV/mm, sau khi lọc sạch cẩn thận độ bền điện có thể tăng lên đến 20 – 25 kV/mm.



Hình 5 – 6. Sự biến thiên của độ bền điện E_{dt} theo lượng nước trong dầu

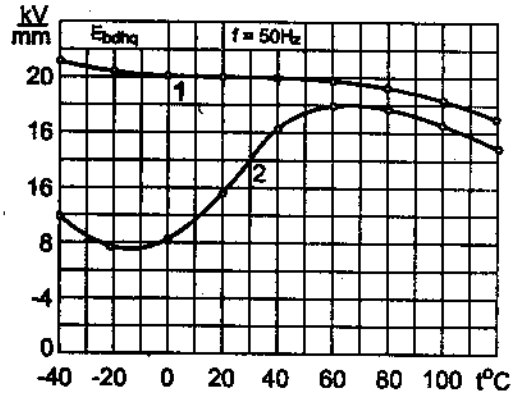
Nước trong điện môi lỏng có thể ở trạng thái hòa tan hay trạng thái nhũ tương (bọc nước). Khi có quá nhiều nước thì có trạng thái lắng đọng (vì tỉ trọng của nước là 1, của dầu MBA nằm trong khoảng từ 0,86 đến 0,88). Với cùng một lượng nước trong dầu nhưng

khi ở trạng thái hòa 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).

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 bẩn cao hơn 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 tỉ 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 dãn 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. Trên hình 5 – 7 đưa ra 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).



Hình 5 – 7. Sự biến thiên của độ bền điện dầu MBA theo nhiệt độ
1. Dầu sạch, 2 – Dầu đang vận hành có chứa nước

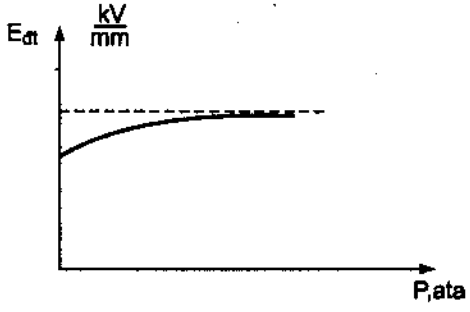
– Qua đồ thị (đường 2) ta thấy dầu MBA có cường độ điện trường cách điện lớn nhất khi dầu có nhiệt độ trong miền từ 60 ÷ 80°C. Ở miền nhiệt độ này nước có trong dầu MBA đã hòa tan đều trong dầu, làm cho độ bền điện lớn. Khi nhiệt độ tăng từ 80° ÷ 100°C độ bền điện giảm vì gần nhiệt độ sôi của nước và dầu, dễ dàng cho sự phóng điện.

Khi nhiệt độ ở trong miền nhỏ hơn 60° các phân tử dầu chuyển đẩy nước từ hòa tan sang trạng thái nhũ tương 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

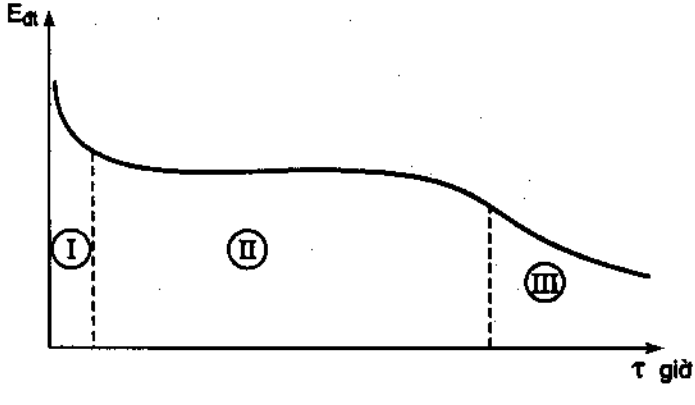
Cường độ cách điện của điện môi lỏng bình thường không phụ thuộc vào áp suất. Song khi điện môi lỏng có chứa các bọt khí thì quan hệ giữa $E_{đt}$ với áp suất được biểu diễn ở hình 5 – 8. Khi áp suất tăng thì cường độ cách điện sẽ tăng, song không tăng nhiều vì số lượng bọt khí có hạn. Thực chất ở đây chỉ là nén phần bọt khí chứa trong điện môi lỏng, quy luật này đã được xét kỹ trong phần phóng điện trong điện môi khí.



Hình 5 – 8. Quan hệ $E_{đt} = f(P)$ khi chất lỏng có chứa các bọt khí

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 (hình 5 – 9). Chất lỏng có nhiều tạp chất thì có mức độ suy giảm mạnh.



Hình 5 – 9. Quan hệ $E_{đt} = f(\tau_{giờ})$

Khi thời gian tác dụng điện áp bé ($\tau \leq 10^{-4}$ giây) các phân tử tạp chất không kịp chuyển dịch trên khoảng cách giữa các cực nên không làm ảnh hưởng tới cường độ 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 hủy, 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 v.v... dầu máy biến áp sẽ mất dần tính chất cách điện ban đầu, nó biến đổi màu, nồng độ axít 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.

Khi dầu MBA vận hành ở điện áp và nhiệt độ càng cao thì khả năng lão hóa 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 muội khói 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

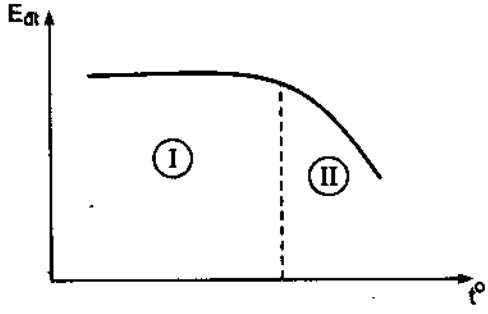
Phóng điện đánh thủng điện môi rắn phức tạp hơn nhiều so với chất khí và lỏng vì các lí do sau đây :

– Điện môi rắn sau khi bị phóng điện sẽ mất hoàn toàn tính chất cách điện, tính chất này không thể khôi phục được tức là không có tính chất thuận nghịch như chất khí và lỏng.

– Điện môi rắn thường có cấu tạo không đồng nhất ở các vị trí khác nhau.

– Điện môi rắn khác nhau về loại phân tử, kết cấu phân tử, lượng tạp chất, công nghệ gia công chế tạo v.v...

Khi xét quan hệ cường độ điện trường với nhiệt độ ta thấy : ở nhiệt độ thấp cường độ điện trường ít phụ thuộc vào nhiệt độ (vùng I của hình 5 – 10) gọi là phóng điện do điện gây nên. Ở nhiệt độ cao (vùng II của hình 5 – 10) cường độ điện trường giảm nhiều khi nhiệt độ tăng, gọi là phóng điện do nhiệt gây nên trong điện môi rắn.



Hình 5 – 10. Quan hệ $E_{đt} = f(t^o)$

Phóng điện do điện và phóng điện do nhiệt gây nên có một số điểm khác nhau 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 $10^{-7} \div 10^{-8}$ 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 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 :

1. Sự đánh thủng do điện các điện môi rắn đồng nhất vi mô.
2. Sự đánh thủng do điện các điện môi rắn không đồng nhất.
3. Sự đánh thủng do điện – hóa gây nên.
4. 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 v.v...

Việc tìm hiểu sâu các dạng đánh thủng này khá phức tạp. Vì vậy ở đây chỉ giới thiệu trị số độ bền về điện của một số điện môi rắn trong trường đồng nhất (bảng 5 – 4).

Bảng 5 – 4

TRỊ SỐ $E_{đt}$ CỦA MỘT SỐ ĐIỆN MÔI RẮN

Tên vật liệu	Độ bền điện trong trường đồng nhất tần số 50 Hz $E_{đt}$ kV/mm	Đặc điểm cấu tạo
Thủy tinh Muối mỏ Mica Giấy tẩm Polistirol	100 ÷ 300 100 ÷ 150 100 ÷ 300 100 ÷ 300 90 ÷ 120	Điện môi đồng nhất và nhiều lớp nếu trường vuông góc với các lớp
Gốm Micalếch Chất xơ có độ (Phênolfóc nealdehít, chất dẻo amin)	10 ÷ 30 10 ÷ 15 10 ÷ 15	Điện môi cấu tạo không đồng nhất có mao quản kín hoặc nhỏ nối thông với nhau
Đá hoa Gốm xốp Gỗ Giấy cáp không tẩm	4 ÷ 5 1,5 ÷ 5 4 ÷ 2,6 7 ÷ 10	

5.4.2. Phóng điện bề mặt điện môi rắn

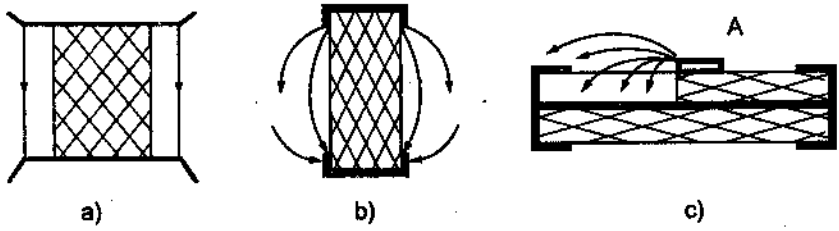
Khi điện môi rắn được đặt trong môi trường khí hay dầu MBA như : sứ cách điện đường dây, sứ dầu ra của MBA, thủy tinh cách điện thì quá trình phóng điện xảy ra men theo mặt ngoài của điện môi với trị số điện áp phóng điện bé hơn nhiều so với trị số điện áp chọc thủng của khe hở khí hay dầu, cũng như 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 – 11,a).

– Điện môi đặt trong trường không đồng nhất có thành phần trường dọc theo bề mặt (thành phần tiếp tuyến) lớn (hình 5 – 11,b).

– Điện môi đặt trong trường không đồng nhất có thành phần pháp tuyến lớn (hình 5 – 11,c).



Hình 5 – 11. Các trường hợp phóng điện dọc theo bề mặt điện môi rắn

Thực nghiệm cho ta thấy khi đặt điện môi 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 hóa, 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 xi măng, keo kết dính...), nhưng trị số điện áp phóng điện mặt ngoài vẫn bé, đó là do nguyên nhân 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 điện 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 điện 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 với nguyên nhân chính là do mặt ngoài bị ẩm và trường không đồng nhất.

Trong thực tế, trên bề mặt điện môi không chỉ 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 hòa 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 hóa học cũng khác nhau nên điện trở trên bề mặt điện môi luôn thay đổi ở các vị trí khác nhau mà sự phát nóng cũng mãnh liệt theo đường phóng điện. Ở các nơi này, do được sấy khô nên điện trở tăng lên, đồng thời cũng sẽ phải chịu phần điện áp đặt lên 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 cùng 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 chuỗ. 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, ở phía mũ trường giảm, do đó làm tăng điện áp phóng điện mặt ngoài. Trường ở cực ngầm có tăng nhưng không đăng ngại vì khả năng chọc thủng cách điện từ nó tới đế 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.

Câu hỏi chương V

1. Nêu những yêu cầu chung đối với chất khí cách điện.
2. Nêu các dạng ion hoá xảy ra trong điện môi khí.
3. Trình bày quá trình hình thành thác điện tử và sự phóng điện trong điện môi khí.
4. Trình bày đặc tính Von – Ampe và các dạng phóng điện trong điện môi khí.
5. Sự phóng điện trong điện môi lỏng được giải thích như thế nào ? Những yếu tố ảnh hưởng tới điện áp phóng điện điện môi lỏng ?
6. Nêu hiện tượng phóng điện bề mặt và biện pháp nâng cao phóng điện bề mặt điện môi rắn.

Chương VI

TÍNH CHẤT CƠ – LÍ – HÓA CỦA ĐIỆN MÔI

Khi lựa chọn vật liệu cách điện sử dụng vào một mục đích cụ thể, cần phải chú ý tới tính chất cách điện của nó trong những điều kiện làm việc bình thường và xem xét tới độ ổn định của những tính chất đó khi có sự tác động của cơ học, lí học, hóa 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 dãn nở nhiệt, khả năng chống ăn mòn hóa học, vi sinh học, thời gian lão hóa 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 lí do của việc nghiên cứu về các tính chất cơ – lí – hóa – nhiệt của điện môi.

6.1. Tính hút ẩm của điện môi

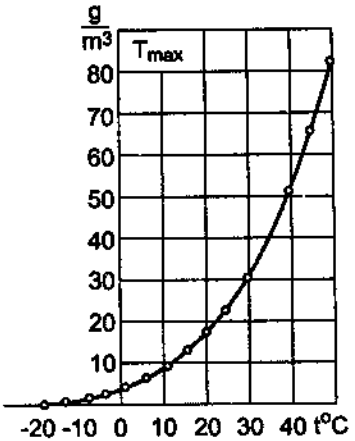
Các vật liệu cách điện nói chung ở mức độ ít hay nhiều đều hút ẩm vào bên trong từ môi trường xung quanh hay thấm ẩm tức là cho hơi nước xuyên qua chúng. Khi bị thấm ẩm các tính chất cách điện của điện môi bị giảm nhiều. Những vật liệu cách điện không cho nước đi vào bên trong nó khi đặt ở trong môi 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 :

1. Độ ẩm tuyệt đối của không khí được đánh giá bằng khối lượng (mgram) 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 hòa tuyệt đối của không khí (m_{max}) theo nhiệt độ. Như vậy

ứng với mỗi nhiệt độ sẽ có lượng hơi nước bão hòa nhất định, khi nhiệt độ càng cao lượng hơi nước bão hòa trong không khí càng lớn song không thể vượt quá một trị số nhất định vì hơi nước sẽ rơi xuống dạng sương.



Hình 6 – 1. Quan hệ giữa độ ẩm tuyệt đối bão hòa theo nhiệt độ không khí

2. Độ ẩm tương đối φ%

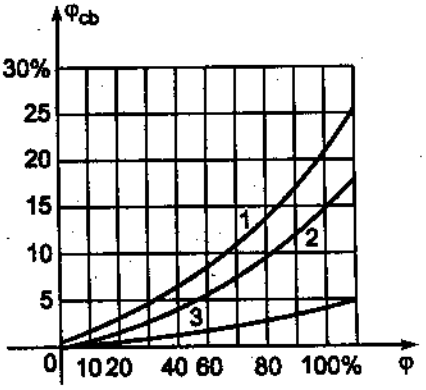
Độ ẩm tương đối của không khí được tính bằng tỉ số phần trăm giữa độ ẩm tuyệt đối với độ ẩm tuyệt đối tối đa :

$$\varphi\% = \frac{m}{m_{max}}.100\% \qquad (6-1)$$

Ở nhiệt độ bình thường $20^o \pm 5^oC$ độ ẩm của không khí được lấy bằng 60 – 70% (thường là 65%) tương đương với độ ẩm tuyệt đối là $m = 11\ g/m^3$.

6.1.2. Độ ẩm của vật liệu

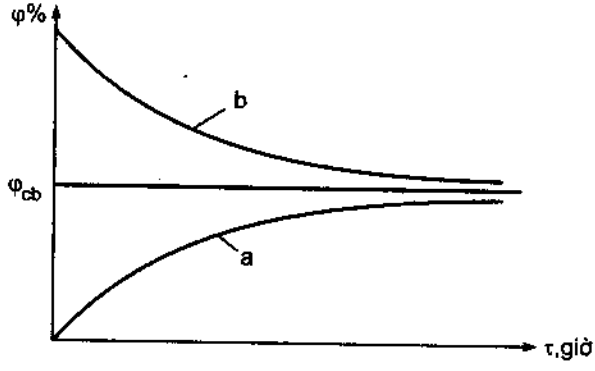
Khi vật liệu cách điện làm việc ở trong môi trường không khí với độ ẩm φ% và nhiệt độ t^oC nào đó, sau một thời gian độ ẩm của vật liệu φ là lượng hơi nước chứa trong vật liệu sẽ đạt tới giới hạn độ ẩm cân bằng tương ứng với độ ẩm của môi trường không khí. Trị số ẩm cân bằng phụ thuộc vào độ ẩm của không khí (φ%) và đặc tính hút ẩm của vật liệu cách điện. Trên hình 6 – 2 cho biết quan hệ φ_{cb} với độ ẩm của không khí đối với các loại vật liệu khác nhau : đường 1 là vật liệu tơ tự nhiên ; đường 2 – vật liệu sợi bông ; đường 3 – vật liệu là sợi polietilen.



Hình 6 – 2. Quan hệ $\varphi_{cb} = f(\varphi\%)$ đối với một số vật liệu

Nếu vật liệu tương đối 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 φ_{kk} (đường cong a, trên hình 6 – 3). 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 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, trên hình 6 – 3).



Hình 6 – 3. Sự biến đổi độ ẩm φ của vật liệu : hút ẩm (a) và sấy khô (b)

Người ta thường 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 (%)

$$\varphi_{vl} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} 100\% \qquad (6 - 2)$$

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 cáctông... 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 hóa 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 2,7A^o) 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 ánh 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 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 có chứa các chất hòa 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 ngấm 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 (cm^2) của lớp vật liệu cách điện có chiều dày h (cm) dưới tác dụng của hiệu số áp suất hơi nước P_1 và P_2 (mm cột thủy ngân) ở hai phía bề mặt vật liệu được tính bằng công thức sau :

$$m = \phi\frac{(P_1 - P_2)S}{h}\tau \qquad (6-3)$$

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, polistirol ϕ = 0,03 ; triaxetat xenlulô ϕ = 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 (hêtinắc, tectôlít) bằng côlôfan, dầu sơn v.v... dễ bị nấm mốc phá hủy nhất. Các vật liệu vô cơ như gốm, thủy tinh, mi ca, silic hữu cơ, nhựa êpốcxi, 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.

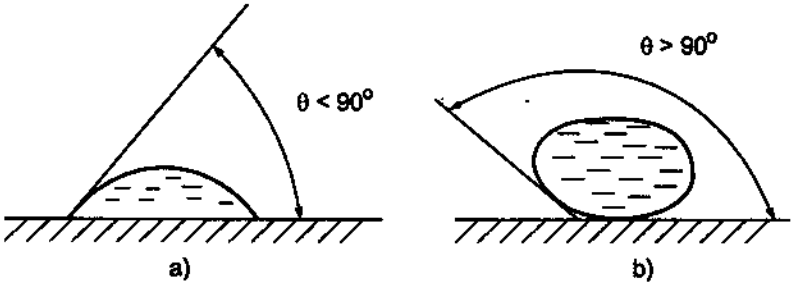
6.1.4. Sự hấp phụ nước trên bề mặt điện môi

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).

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 $\theta < 90^o$ (hình 6 – 4,a), đối với bề mặt không dính nước (kị nước) có $\theta > 90^o$ (hình 6 – 4,b).



Hình 6 – 4. Giọt chất lỏng trên bề mặt vật liệu

a) Vật liệu dính nước tốt

b) Vật liệu không dính nước

Khi bề mặt vật liệu bị 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 ở 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 rò điện bằng cách đặt thêm các gờ, tán như ở các sứ cách điện... Trong điều kiện cho phép phải làm vệ sinh để 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.

** 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/cm^2 hoặc trong hệ SI bằng N/m^2, ($1\ N/m^2 \approx 10^{-5}\ kG/cm^2$). 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 : Thủy tinh thạch anh độ bền chịu nén $\sigma_n = 20.000\ kG/cm^2$, còn khi kéo đứt thì 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 $kG.cm/cm^3$ hoặc trong hệ SI bằng J/m^2 ; $1\ J/m^2 \approx 10^{-3}\ kG.cm/cm^2$. 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, $\sigma_{vd} > 100\ kG.cm/cm^2$, còn với vật liệu gốm và micalếch chỉ khoảng $2 \div 5\ kG.cm/cm^2$. 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 :

Theo 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) – 5.500 ; kim cương – 5.000.000.

* *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.

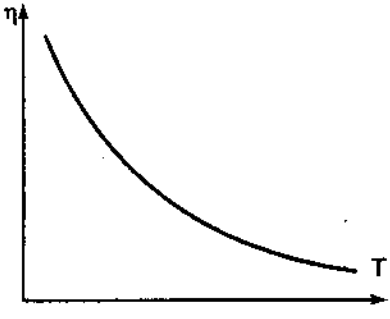
– Độ nhớt động lực học η hay còn gọi là hệ số ma sát bên trong của chất lỏng. Tốc độ chuyển động của hòn bi rắn bán kính r trong môi trường không giới hạn có độ nhớt động lực học η dưới ảnh hưởng của lực F không lớn tác động liên tục lên hòn bi là không đổi và có trị số xác định theo định luật Stốc :

$$v = \frac{1}{\eta}\frac{F}{6\pi r} \qquad (6-4)$$

– Độ nhớt động học ν bằng tỉ số độ nhớt động lực học của chất lỏng và mật độ của nó :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \qquad (6-5)$$

Tất cả các chất lỏng không bị biến đổi hóa học khi nung nóng có độ nhớt giảm nhiều khi nhiệt độ tăng (hình 6 – 5).



Hình 6 – 5. Sự biến thiên của độ nhớt theo nhiệt độ

Thông thường quy luật biến đổi độ nhớt theo nhiệt độ tương ứng với phương trình hàm số mũ :

$$\eta = A.e^{\frac{W}{KT}} \qquad (6-6)$$

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 liên quan tới hằng số phân tử chất lỏng :

$$A = \frac{6KT}{fl^3}$$

f – tần số dao động nhiệt của phân tử, bằng $10^{12} \div 10^{13}$ *l*/giây,

l – khoảng cách giữa các phân tử.

– Độ nhớt tương đối theo Angle : đây là độ nhớt đo bằng tỉ số giữa thời gian chảy từ nhớt kế Angle của 200 ml chất lỏng (ở nhiệt độ thí nghiệm cho trước) với thời gian chảy của 200 ml nước cất ở 20°C (khoảng 51 – 52 giây) :

$$\eta = \frac{\tau_t}{\tau_{H_2O}} E^o \qquad (6-7)$$

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 dãn 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 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.

Nâng cao nhiệt độ làm việc của chất cách điện có ý nghĩa rất quan trọng. Trong các nhà máy điện và thiết bị điện việc 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 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 đai, giấy, cáctông, 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 còn gồm có axetyl butiratxenlulô, triaxêtyl xenlulô và nhựa poliamít ; êmay gốc sơn nhựa dầu, tấm gỗ dán v.v..

* *Cấp E* : gồm các chất dẻo có chất độn hữu cơ và lớp nhựa liên kết chịu nhiệt loại fenol focmaldêhít và các loại tương tự khác (hêtinắc, téctôlít, bột nén có độn bột gỗ v.v...), nhựa êpốcxi 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.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 mi ca vụn, các vật liệu sợi amian và thủy tinh kết hợp với các vật liệu liên kết và tẩm hữu cơ như : các micanit (trong đó có đệm giấy hoặc vải hữu cơ), vải sơn thủy tinh, téctolít, thủy tinh dựa trên nhựa phenol focmalđehyt chịu nhiệt, hỗn hợp êpốcxi 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 ; êpốcxi 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, micalếch, xi măng amiăng không tẩm, micanhít 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 hóa 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 $tg\delta = f(t^o)$, quan hệ $E_{dt} = f(t^o)$ 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. Độ dẫn nhiệt

Độ dẫn nhiệt có ý nghĩa quan trọng, vì nhiệt tỏa 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 chất cách điện, nhiệt 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 :

$$\Delta P_N = \gamma_N \frac{dT}{dl}.\Delta S \qquad (6-9)$$

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

6.3.3. Sự dãn nở nhiệt

Sự dãn nở nhiệt của điện môi cũng như của các vật liệu khác cũng thường được quan tâm khi sử dụng chúng.

Trong bảng 6 – 3 đưa ra hệ số dãn nở nhiệt của một số điện môi thường dùng.

Bảng 6 – 3

HỆ SỐ DÃN NỞ DÀI THEO NHIỆT ĐỘ CỦA MỘT SỐ ĐIỆN MÔI

Tên vật liệu	$\alpha_l.10^6$ (độ$^{-1}$)	Ghi chú
– Thủy tinh thạch anh	0,55	Chất vô cơ
– Sứ cao tần	4,5	
– Steatít	7	
– Phênolfócmalđêhít và các chất dẻo có độn khác	25 – 70	Chất hữu cơ
– Tẩm chất dẻo clorua polivinyl	70	
– Polistirol	60 – 80	
– Polietilen	100	

Các điện môi vô cơ có hệ số dãn 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 dãn 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 hóa học của điện môi và tính năng của nó dưới tác động của phát xạ có năng lượng cao

6.4.1. Tính chất hóa học của điện môi

Chúng ta phải nghiên cứu tính chất hóa học của điện môi vì hai nguyên nhân :

1. Độ tin cậy của vật liệu phải được bảo đảm khi làm việc lâu dài ; nghĩa là không bị phân hủy 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 v.v...). Độ bền đối với tác động của các chất này có các điện môi khác nhau thì rất khác nhau.

2. Khi sản xuất các chi tiết có thể gia công vật liệu bằng những phương pháp hóa công khác nhau – dính được, hòa tan trong dung dịch tạo thành sơn.

Độ hòa 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 hòa tan theo khối lượng lớn nhất của chất có thể hòa tan trong dung dịch (tức là theo nồng độ của dung dịch bão hòa).

Dễ hòa tan nhất là các chất có bản chất hóa học gần với dung môi và chứa các nhóm nguyên tử giống nhau trong phân tử. Các chất lưỡng cực dễ hòa tan hơn trong chất lỏng lưỡng cực, các chất trung tính – trong chất lỏng trung tính. Ví dụ hyđrocácbon không cực tính hay cực tính yếu (parafin, cao su) dễ hòa tan trong hyđrô cácbon lỏng như xăng ; nhựa lưỡng cực chứa nhóm hyđrôxít (fêno; fócmalđêhít và các nhựa khác) hòa tan dễ dàng trong rượu và các dung môi lưỡng cực khác.

Khi tăng mức trùng hợp thì độ hòa tan giảm. Các chất cao phân tử có cấu trúc mạch thẳng dễ hòa tan hơn so với cấu trúc không gian. Khi tăng nhiệt độ thì độ hòa 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.

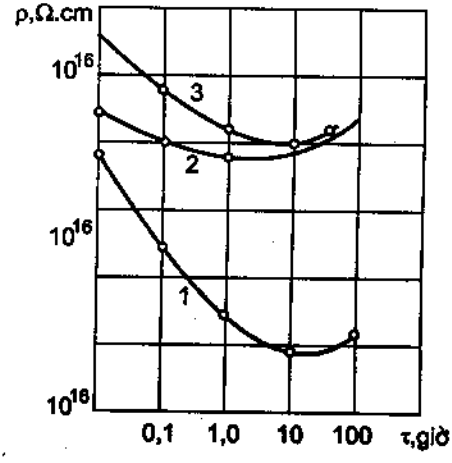
Các vật liệu bền vững đối với bức xạ phải có hai thuộc tính :

1. Khả năng hấp thụ năng lượng mà không bị ion hóa lớn.

2. Khả năng tạo mối liên kết kép với mức độ lớn hơn sự phá hủy 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 thủy 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, hóa, lí, 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 đưa 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 politêtrafloêtilen 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 độ của điện môi, do vậy khi sử dụng vật liệu cần phải thí nghiệm để có số liệu chính xác.



Hình 6–6. Điện trở suất khối của các chất đó ở nhiệt độ 20°C theo thời gian tác động phóng xạ γ với cường độ 100 R/h.

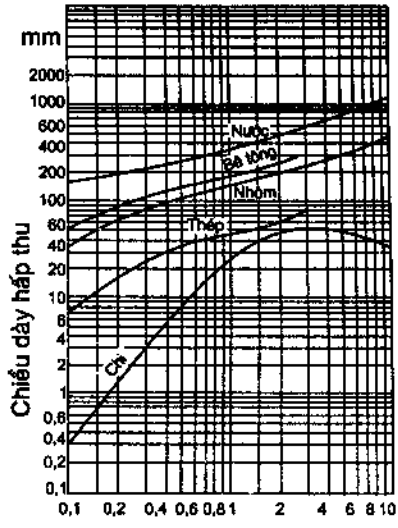
1- Polietilen ; 2. Politêtrafio - êtilen ; 3. Polistirrol

Hiện nay đang tiến hành việc ứng dụng phóng xạ trong quá trình sản xuất điện môi. Khi bức xạ polietilen bằng liều lượng khoảng 5 MR có thể nâng độ bền chịu nóng của nó từ 105°C lên đến 200°C. Mạch phân tử của polietilen 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 tgδ vẫn nhỏ hơn 5.10^4.

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 biểu diễn các đường cong quan hệ chiều dày của lớp suy giảm mười lần đối với nước và bêtonbari 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

Câu hỏi chương VI

1. Nêu tính chất hút ẩm và thấm ẩm của điện môi.
2. Trình bày những tính chất cơ học của điện môi.
3. Trình bày tính chất và phân cấp chịu nhiệt của điện môi.
4. Nêu tính chất hoá học của điện môi và tính năng của chúng dưới tác động của phát xạ có năng lượng cao.

PHÂN LOẠI VÀ NHỮNG TÍNH CHẤT CƠ BẢN CỦA CÁC 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 xécnhét, chất áp điện, điện châm v.v...).

Vật liệu cách điện gồm nhiều chủng loại khác nhau như : vật liệu cách điện thể khí, thể lỏng, thể rắn... Ngay trong mỗi loại, do đặc tính kỹ thuật và công nghệ chế tạo cũng có nhiều vật liệu cách điện khác nhau. Vì vậy, ở đây chỉ tìm hiểu những vật liệu thường gặp, tính chất cơ bản, phạm vi ứng dụng cũng như những nội dung cần quan tâm để kéo dài tuổi thọ và nâng cao khả năng cách điện của chúng.

Chương VII

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 các 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 tẩm 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.

Tính chất cách điện của chất khí đã được nghiên cứu ở những chương trước, còn những tính chất lí hóa chung của không khí đã được biết rõ trong các giáo trình vật lí và hóa học nên không cần nghiên cứu 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.

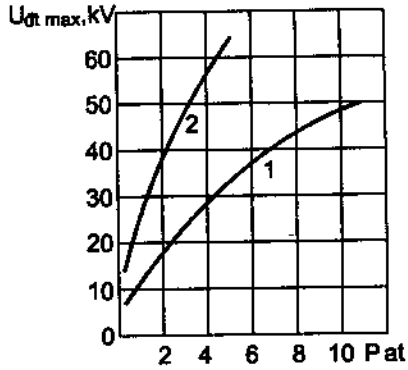
Bảng 7 – 1

SO SÁNH ĐẶC TÍNH CỦA KHÔNG KHÍ VỚI CÁC CHẤT KHÍ

Các đặc tính tương đối	Không khí	Nitơ (N_2)	Cácbonic (CO_2)	Hyđrô H_2
– Tỉ trọng	1	0,97	1,52	0,07
– Nhiệt dẫn suất	1	1,08	0,64	6,69
– Tỉ nhiệt	1	1,05	0,85	14,35
– Hệ số tỏa nhiệt từ vật rắn sang khí	1	1,03	1,13	1,61
– Độ bền điện	1	1,00	0,9	0,60

Ở bảng 7 – 1 ta thấy so với không khí thì cường độ cách điện của các chất khí đều kém hơn. Song nitơ (N_2) 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, đồng thời không chứa ôxy là chất có thể gây ra ôxy hóa các vật liệu khi tiếp xúc với nó.

Hiện nay có một số chất khí chủ yếu là các hợp chất halôgen (flo, clo v.v..) có khối lượng phân tử và tỉ trọng cao, năng lượng ion hóa lớn, có cường độ cách điện cao hơn hẳn so với không khí. Ví dụ florua lưu huỳnh SF_6 hay còn gọi là khí êlêgaz có độ bền điện lớn hơn không khí khoảng 2,5 lần. Trên hình 7 – 1 cho các trị số điện áp đánh thủng (giữa hai điện cực phẳng để tạo nên điện trường không đồng nhất) của không khí và khí êlegaz theo áp suất P. Êlêgaz nặng hơn không khí năm lần và có nhiệt độ sôi (ở áp suất bình thường) là -64^oC (209^oK) và trong nhiệt độ bình thường có thể nén tới 20 at vẫn không hóa lỏng. Êlêgaz không độc, chịu được tác dụng hóa học, không bị phân hủy khi đốt nóng tới 800^oC ; 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.

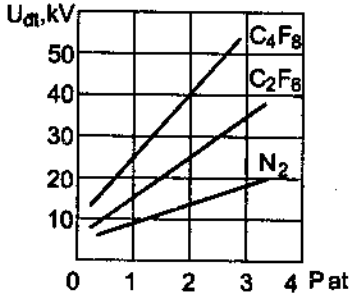


Hình 7 – 1. Quan hệ giữa $U_{đt}$ với áp suất của không khí (1) và khí êlegaz (2) trong trường đồng nhất và khoảng cách cực S = 3,8 mm.

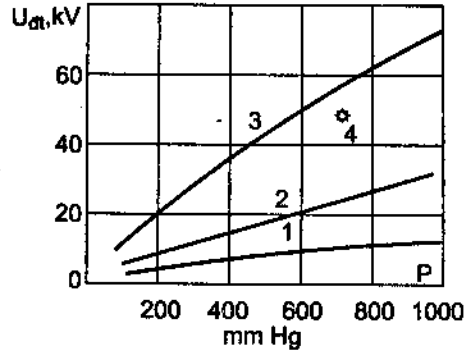
Khí frêôn (CCl_2F_2) có độ bền điện gần bằng khí êlêgaz nhưng nhiệt độ sôi của nó chỉ bằng -28^oC (245^oK) và ở nhiệt độ bình thường nó chỉ có thể chịu nén tới 6 at. Khí frêôn ăn mòn một số vật liệu hữu cơ thể rắn, đây là điều cần lưu ý khi dùng loại khí này trong tủ lạnh, máy điều hòa, máy làm lạnh v.v....

Hiện nay người ta đã nghiên cứu và chế tạo nhiều loại hyđrô – cácbon flo hóa, đó là những hyđrô cacbon trong đó tất cả các nguyên tử hyđrô được thay thế bằng nguyên tử flo. Trong điều kiện bình thường một số các chất đó là chất khí (ví dụ : têtraflometan CF_4 có nhiệt độ hóa lỏng là -128^oC và nhiệt độ hóa rắn là -184^oC ; hexafloêtan C_2F_2 có nhiệt độ hóa lỏng -78^oC và nhiệt độ hóa rắn -100^oC ; decaflobutan C_4F_{10} hóa lỏng ở -2^oC và hóa rắn ở -80^oC), còn một số chất khác (C_7F_{14} ; C_7F_8 ; C_8F_{16}, $C_{14}F_{24}$...) lại là chất lỏng.

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 êlegaz, frêôn hay các chất khí kể trên lẫn vào 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.



Hình 7 – 2. Quan hệ điện áp đánh thủng N_2, C_2F_6 và C_4F_8 theo áp suất P at (thí nghiệm điện cực là 1 quả cầu ϕ19 mm 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 ϕ12,5 mm khoảng cách cực 5 mm)

Trong kỹ thuật điện thì khí hyđrô 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 hyđro sẽ làm chậm sự hóa già các chất cách điện hữu cơ trong dây quấn và loại trừ khả năng hỏa hoạn trong trường hợp bị ngắn mạch ở bên trong máy điện, đồng thời khí hyđrô làm cải thiện điều kiện làm việc của chổi than. Do làm mát bằng khí hyđrô 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 hyđrô. Nhưng khí hyđrô dễ kết hợp với oxy theo tỉ 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 hoặc không được để khí hyđrô tiếp xúc với khí (khí hyđrô làm việc trong chu trình kín).

Hiện nay người ta còn dùng khí trơ như argon, nêon 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. Hêli 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.

Chương VIII

VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN THỂ LỎNG

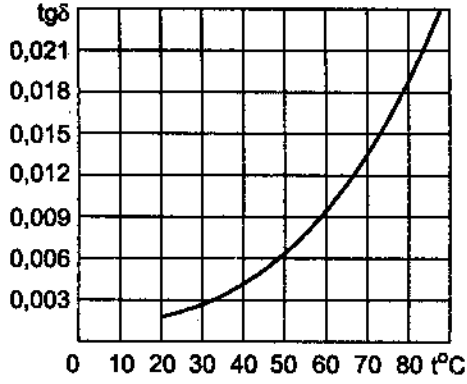
8.1. Dầu mỏ cách điện (dầu máy biến áp)

Trong số các vật liệu cách điện thể lỏng thì dầu biến áp được ứng dụng nhiều nhất vào kỹ thuật điện. Dầu biến áp có hai chức năng chính – Một là, dầu lấp đầy các lỗ xốp trong vật liệu cách điện gốc sợi và khoảng trống giữa các dây dẫn của cuộn dây, 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 máy 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 là chất lỏng dễ cháy nên nhiệt độ chớp cháy của dầu biến áp quy định không được thấp hơn +135°C. Nhiệt độ đông đặc của dầu không được cao hơn – 45° (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 tgδ (ở tần số 50 Hz) 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 tgδ theo nhiệt độ của dầu biến áp được trình bày trên hình 8 – 1 ; quan



Hình 8 – 1. Quan hệ tgδ với nhiệt độ của dầu biến áp (ở tần số 50 Hz)

hệ này có dạng giống như quan hệ $tg\delta = f(t^o)$ của những điện môi lỏng không cực tính.

Một trong những đặc tính đặc biệt quan trọng có nhiều ý nghĩa thực tiễn là độ bền điện của dầu biến áp. Trị số độ bền điện của dầu biến áp rất nhạy cảm 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 dầu ($\varepsilon_{dầuMBA} = 2,2$), 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. Có nhiều biện pháp lọc nước làm khô dầu như : lọc dầu qua phin lọc của máy lọc nén, lọc dầu bằng phương pháp ly tâm và ly tâm có bộ phận gia tăng nhiệt độ, xử lí bằng các chất hấp phụ, phun dầu nóng vào thùng kín chứa đầy nitơ để cho nước bốc hơi mạnh ra khỏi dầu v.v...

Trên bảng 8 – 1 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 $\phi = 25$ mm, khoảng cách giữa các cực là 2,5 mm, điện áp thử nghiệm xoay chiều tần số 50 Hz.

Bảng 8 – 1

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

Tỉ trọng của dầu máy biến áp là 0,87 – 0,89 G/cm^3. Những đặc tính nhiệt của dầu : tỉ nhiệt : 0,43 ÷ 0,58 (calo/gđộ) ; 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 dãn nở nhiệt khối của dầu vào khoảng 0,00065 (độ$^{-1}$).

Trong quá trình làm việc dầu biến áp trong các thiết bị điện bị hóa già, các tính chất của dầu bị giảm đi, màu của dầu trở nên sẫm hơn. Khi bị hóa già trong dầu có chứa các axit, các chất nhựa hòa tan hay bị lắng xuống đáy thùng. Axít mới sinh ra ở trong dầu sẽ phá hủy cách điện của dây quấn và ăn mòn kim loại.

Tốc độ hóa già của dầu tăng lên trong trường hợp sau :

a) Khi có không khí lọt vào, bởi vì hiện tượng hóa già dầu gắn liền với hiện tượng ôxy hóa dầu bằng ôxy của không khí ; đặc biệt sự hóa già dầu phát triển mạnh khi tiếp xúc với ôzon.

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 hóa già.

d) Khi có tác dụng của ánh sáng.

e) Khi có tác dụng của cường độ điện trường cao.

Khi bị hóa già trong điện trường ở một 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 hóa. Khả năng không sinh ra khí khi bị hóa 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 hóa 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 tách được những thành phần do hiện tượng hóa 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 xiphông 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 tỉ 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 tỉ trọng nên chảy xuống dưới 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 hóa 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 ôxi (bảo vệ bằng nitơ). Cũng có thể cho thêm chất cản hóa hay còn gọi là chống ôxy hóa vào dầu biến áp như chất amiđôpyrin với khối lượng 0,3 kg cho 1 lít dầu. Amiđôpyrin hòa 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 hóa 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 màu sẫm lên mặt ngoài của các đầu vào bằng thủy tinh để giữ cho dầu khỏi bị tác dụng của ánh sáng.

8.2. 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 tgδ của dầu tự do ở nhiệt độ +100°C không được lớn hơn 0,002 với tần số 1 kHz và phải nhỏ hơn 0,005 với tần số 50 Hz. Độ bền điện của dầu tụ được làm sạch trong chân không phải có trị số lớn hơn 20 kV/mm.

8.3. Dầu cáp điện

Dầu cáp 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 cáp cũng dùng làm cách điện trong các cáp điện áp cao 110, 220 kV. Dầu cáp có nhiều loại khác nhau.

Để tẩm cáp có chứa dầu loại vỏ chì hoặc nhôm làm việc ở điện áp rất cao (110 kV và cao hơn) người ta dùng dầu nhớt được tẩy sạch và nhất là giải phóng hết các loại khí đã hòa tan vào dầu. Nhờ có thiết bị bổ sung đặc biệt nên trong thời gian vận hành áp suất của dầu trong cáp phải được duy trì ở mức độ nhất định (1 + 3 at), 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 cáp có áp suất cao phải có độ nhớt động học như sau : ở 0°C không quá 5.10^5 cm^2/giây, ở 20°C không quá 8.10^4 cm^2/giây, ở 50°C không nhỏ hơn 5.10^3 cm^2/giây, ở 100°C không nhỏ hơn

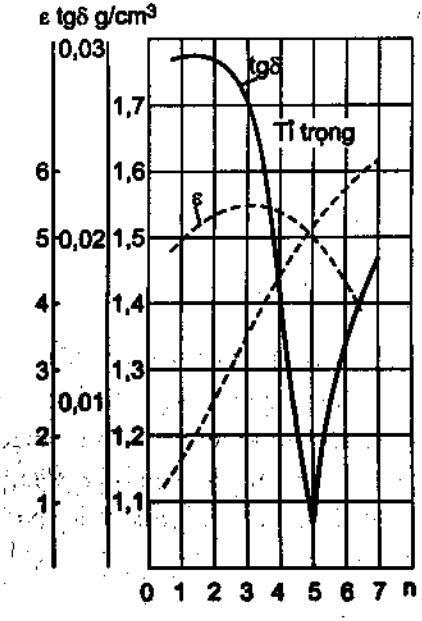
11.10^{12} cm^2/giây. Lượng tro trong dầu không quá 0,001%, nhiệt độ chớp cháy không thấp hơn 180°C, độ bền điện không nhỏ hơn 20 kV/mm ; tgδ không lớn hơn 0,003 khi ở tần số 50 Hz và 100°C.

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 35 kV. Để tăng thêm độ nhớt người ta có côlôfan hòa tan vào trong dầu để tạo thành hỗn hợp dầu côlôfan, loại này cũng được dùng để tẩm cáp.

8.4. 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.

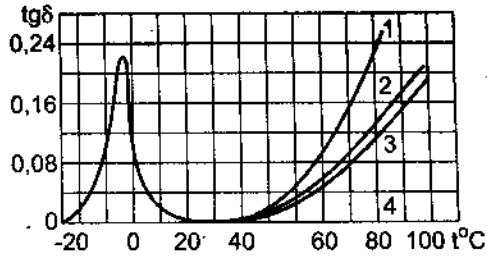
a) Hydrô cacbon clo hóa nhận được từ các hydrô cacbon khác nhau bằng cách cho những nguyên tử clo thay thế các nguyên tử hydrô trong một số phân tử của chúng (hoặc trong toàn bộ). Sản phẩm của sự clo hóa điphênyl được sử dụng rộng rãi nhất. Phân tử của nó $C_{12}H_{10}$ ($H_5C_6 - C_6H_5$) gồm có hai gốc phênyl. Những điphênyl được clo hóa có công thức chung $C_{12}H_{10} - Cl_n$ là những phân tử cực tính ; những quan hệ của ε và tgδ (ở tần số thấp và nhiệt độ bình thường) cũng như tỉ trọng của chất lỏng theo trị số n được thể hiện trên hình 8 – 2. Trong thực tế dùng các vật liệu là những hỗn hợp của các điphênyl đồng phân với mức độ clo hóa khác nhau và mang một tên chung là "ascaren". Ở Liên Xô (cũ) đã sản xuất được vật liệu mang tên là xôvôn.



Hình 8 – 2. Quan hệ ε và tgδ và tỉ trọng điphênyl vào số nguyên tử clo trong phân tử (n)

Xôvôn gần giống pentaclođiphênyl về thành phần hóa học $C_{12}H_5Cl_5$, nghĩa là trong phân tử của điphênyl $C_{12}H_{10}$ 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 (ε ≈ 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.

Sự biến thiên theo nhiệt độ của tgδ dầu xôvôn sạch được biểu diễn ở hình 8 – 3.



Hình 8 – 3. Quan hệ tgδ = f(t°) của dầu xôvôn (với f = 50 Hz).

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 xôvôn đắt tiền hơn dầu mỏ. Khi làm việc trong điện trường mạnh xôvôn ổn định hơn dầu mỏ. Nhược điểm của tụ điện khi tẩm bằng xôvôn là điện dung của tụ giảm khi nhiệt độ thấp hơn 0^oC.

Xôvôn là một chất lỏng không màu, trong suốt và có tỉ trọng vào khoảng 1,5 G/cm^3 tức là nặng hơn dầu mỏ rất nhiều, vì vậy nó không được dùng trong các máy biến áp. Nếu xôvôn đã được pha loãng bằng triclobenzen $C_6H_3Cl_3$ được gọi là xôvôn dùng trong máy biến áp. Dầu xôvôn và xôvtôn đều không cháy được vì vậy máy biến áp ngâm trong dầu xôvtôn sẽ an toàn về mặt phòng cháy.

Xôvôn (hoặc xôvtôn) 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^oC đến $+100^oC$, đó là hỗn hợp polietilxilôcxan có cấu trúc mạch thẳng : $(C_2H_5)_3 - Si - O - [- (C_2H_5)_2 - Si - O -]_n - Si - (C_2H_5)_3$ và loại có cấu trúc mạch vòng :

$$[- (C_2H_5)_2 - Si - O -]_n$$

với trị số n = 7 hoặc n = 8.

Chất lỏng silic hữu cơ có nhiệt độ bốc cháy không thấp hơn 150^oC và nhiệt độ đông đặc không cao hơn – 60^oC. Nó có điện trở suất ρ không nhỏ hơn $2,5.10^{14}$ Ω.cm (ở 20^oC) và không nhỏ hơn $1,0.10^{14}$ Ω.cm (ở 100^oC) ; $\varepsilon = 2,4 \div 2,8$; tgδ không lớn hơn 0,0003 (ở 1000 Hz và 20^oC) và không lớn hơn 0,0008 (ở 1000 Hz và 100^oC) ; độ bền điện không nhỏ hơn 18 kV/mm (ở 50 Hz và 20^oC).

– 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 dãn 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 mỏ 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 hydrô cacbon không cực tính có tính chất tốt hơn dầu mỏ, như đặc tính cách điện, độ bền nhiệt, độ bền hóa già, độ bền khí đều tốt hơn. Ví dụ poliizo butilen 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 mỏ hoặc bằng vadơlin.

– Octol là hỗn hợp các polimevaizome của izôbutilen có khối lượng phân tử từ 400 đến 1500 có tỉ trọng 0,850 ÷ 0,875 G/cm^3 ; ở nhiệt độ + 70°C có độ nhớt đạt tới 1,5.10^2 ÷ 3,5.10^2 (cm^2/giây) ; ε = 2,3 ; tgδ = 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 10 kV.

Ngày nay các chất lỏng tổng hợp đặc biệt có thành phần là hydrô cacbon (ví dụ như đơdexinbenzol, triđexinbenzol) được sử dụng trong những loại cáp làm việc ở điện áp siêu cao (275 kV và cao hơn).

Câu hỏi chương VII, VIII

1. Nêu tính chất và công dụng của một số chất khí đang được sử dụng rộng rãi trong kĩ thuật điện.
2. Trình bày đặc tính và công dụng của dầu máy biến áp.
3. Nêu đặc tính và công dụng của một số vật liệu cách điện lỏng tổng hợp.

Chương IX

VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN THỂ RẮN

9.1. 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 những tính chất và khả năng ứng dụng của các vật liệu hữu cơ, chúng ta phải tìm hiểu cấu tạo, phân loại và các tính năng của chúng.

9.1.1. Cấu tạo và phân loại điện môi hữu cơ

Vật liệu hữu cơ gọi là các hợp chất của cácbon (C) với các nguyên tố khác. Cácbon có khả năng tạo ra một số lớn các hợp chất hóa học với nhiều loại cấu trúc phân tử rất khác nhau. Cụ thể là cácbon tham gia vào sự tạo thành các chất có "khung" phân tử hình chuỗi xích, hình nhánh hoặc mạch vòng. "Khung" ấy chỉ gồm các nguyên tử cácbon hoặc ngoài nguyên tử cácbon còn các nguyên tố khác dính vào giữa các nguyên tử cácbon 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, có thể là một vài nguyên tử đến hàng chục, đôi khi đến hàng trăm nguyên tử. Trong các chất này có frêon, hyđrô cácbon của dầu mỏ, xôvôn chúng ta đã nghiên cứu ở các phần trước.

Số lượng lớn 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, các kích thước hình học của chúng lớn đến mức chúng không hòa tan được, hoặc nếu có hòa tan thì dung dịch cũng giống như hệ keo.

Trong tự nhiên chúng ta gặp một số vật liệu thuộc loại các vật liệu cao phân tử với tầm quan trọng rất lớn đối với kỹ thuật, ví dụ như xenlulôza, tơ tằm, các anbumin, cao su v.v... Về các loại vật liệu này chúng ta sẽ xem xét ở các chương sau.

Dựa theo nguồn gốc của các vật liệu cao phân tử người ta có thể phân chúng thành hai loại :

– Loại thứ nhất là những vật liệu nhân tạo, được sản xuất ra bằng cách chế biến hóa học những chất cao phân tử có sẵn trong thiên nhiên (ví dụ xenlulôza chế biến thành estexenlulôza).

– Loại thứ hai 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.

Về mặt hóa học, đa số các liên kết cao phân tử 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 mônome.

Phản ứng tạo thành polime từ mônome 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 sang cả trạng thái rắn ; độ hòa tan giảm v.v...

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 nên tỉ số giữa kích thước chiều dài với 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 $1,5.10^{-4}$ cm và chiều ngang là $1,5.10^{-7}$ cm ; những phân tử của các polime tự nhiên như xenlulôza và cao su có chiều dài khoảng $10^{-5} - 10^{-7}$ 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 polime không gian rất khác nhau. Thông thường các polime đường thẳng khá mềm và co dãn tốt ; khi nhiệt độ tăng lên vừa phải thì phần lớn các polime đường thẳng hóa dẻo và sau đó nóng chảy. Các polime không gian rất cứng, chúng chỉ hóa dẻo ở nhiệt độ rất cao và có khi chưa đạt tới nhiệt độ hóa dẻo thì nhiều loại polime không gian đã bị phá hủy về mặt hóa học (bị cháy, phồng rộp lên v.v..). Các polime đường thẳng thường có khả năng hòa tan trong những dung môi thích hợp ; còn các polime không gian thì rất khó hòa tan, thậm chí có nhiều loại không thể hòa 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 thì 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 cũng chia thành hai nhóm : các vật liệu nhiệt dẻo và các vật liệu nhiệt cứng.

Ở nhiệt độ thấp, những vật liệu nhiệt dẻo có trạng thái rắn, nhưng khi được đốt nóng chúng trở thành mềm (dẻo) và dễ biến dạng. Chúng có thể hòa tan trong những dung môi thích hợp. Tính chất đặc biệt của các vật liệu nhiệt dẻo là khi bị nung nóng tới nhiệt độ tương ứng với trạng thái dẻo 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 hòa tan và nếu được đốt nóng 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 hòa tan và tính nóng chảy.

Từ nội dung vừa nêu ở trên ta thấy được sự khác nhau về bản chất hóa 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 bị nung nóng, ví dụ như polistirol. Các vật liệu nhiệt cứng là những vật liệu chuyển sang cấu trúc mang đặc tính của polime không gian khi bị đốt nóng, ví dụ như stirol được bổ sung thêm divinyl benzôn thì trở thành vật liệu nhiệt cứng.

Nếu như chất cách điện khi vận hành cần phải chịu được ảnh hưởng của nhiệt độ cao mà không hóa dẻo, không biến dạng và giữ được độ bền cơ cao, hoặc 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 sau :

– Co dãn tốt hơn và ít giòn hơn so với vật liệu nhiệt cứng ;

– Ít bị hóa già nhiệt.

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 hóa 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 ; sức bền cơ của chúng cũng cao hơn so với các polime không cực tính khi bậc trùng hợp như nhau. Những hyđrocácbon cao phân tử thực tế là những chất không cực tính có độ hút nước rất nhỏ.

9.1.2. Nhựa cách điện

Nhựa là 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 hóa học cũng như tính chất vật lý. Ở nhiệt độ thấp, nó là những chất vô định hình như dạng thủy tinh với một độ giòn nhất định. Khi ở nhiệt độ cao nhựa mềm ra, trở thành dẻo và sau đó hóa 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 hòa tan trong nước và ít hút ẩm, nhưng chúng lại hòa tan trong các dung môi hữu cơ thích hợp. Thông thường nhựa có tính kết dính và khi chuyển từ trạng thái lỏng sang trạng thái rắn, nhựa sẽ gắn chặt vào vật rắn tiếp xúc với nó.

Nhựa được sử dụng khá rộng rãi trong nhiều ngành kỹ thuật. 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.

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 hóa học, nhựa tổng hợp được chia nhỏ thành nhựa trùng hợp và nhựa trùng ngưng (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, nhựa ngưng tụ có nhược điểm là khi hóa cứng sẽ sinh ra nước và các chất phân tử thấp lẫn trong nhựa làm cho tính chất cách điện của nhựa kém đi.

Dưới đây sẽ xét cụ thể một số loại nhựa được sử dụng trong kỹ thuật điện.

A – NHỰA TỔNG HỢP

1. Pôliêtilen

Pôliêtilen 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 axít và kiềm. Pôliêtilen được dùng rộng rãi trong cuộc sống hàng ngày. Hàng năm trên thế giới sản xuất ra khoảng 2 triệu tấn pôliêtilen, trong đó có trên 10% pôliêtilen 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 pôliêtilen bị hạn chế vì khi bị đốt nóng độ bền cơ giảm nhanh và sẽ có hiện tượng ôxy hóa nếu có không khí lọt vào.

Những tính chất của pôliêtilen được trình bày ở bảng (9 – 1).

2. Pôliprôpilen

Pôliprôpilen là một chất trùng hợp mới có tỉ trọng 0,90 – 0,91 G/cm^3, rất dẻo (độ dãn dài khi đứt là 500 – 700%. Tính chất cách điện của nó tương đương với pôliêtilen, nhưng độ bền nhiệt cao hơn nhiều. Nhiệt độ hóa dẻo của pôliprôpilen vào khoảng 165 đến 170°C.

3. Pôliizôbutilen

Pôliizôbutilen là chất trùng hợp của izôbutilen $H_2C = C(CH_3)_2$, cao phân tử (có khối lượng phân tử tới 400000). Pôliizôbutilen 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. Tỉ trọng của pôliizôbutilen là 0,91 – 0,93 G/cm^3 ; có độ bền hóa học và độ hút ẩm nhỏ gần giống như pôliêtilen và pôliprôpilen,

Để tăng thêm độ cứng người ta thường trộn pôliizôpilen với các chất trùng hợp khác như pôliêtilen. Độ thấm ẩm của pôliizôbutilen rất nhỏ, nên gần đây người ta chế tạo polime tổng hợp thay thế cho các vỏ bọc của cáp là chì hay nhôm mà trước đây thường dùng.

4. Pôlistirol

Pôlistirol nhận được bằng cách trùng hợp stirol. Stirol được tạo ra bằng phương pháp tổng hợp hoặc nó là sản phẩm phụ khi chưng 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. Pôlistirol trong suốt, giống như thủy tinh dạng khối mang hình dạng của bình chứa nó hoặc là trong nhũ tương nước (pôlistirol nhũ tương).

Pôlistirol khối rất sạch, nó có thể đem chế biến như chất dẻo hoặc cũng có thể gia công bằng cơ khí. Pôlistirol nhũ tương có tính chất cách điện và tính chịu nhiệt thấp hơn pôlistirol khối song không nhiều, nó được dùng để sản xuất bột ép, sơn v.v..

Tính chất của pôlistirol cho ở bảng 9 – 1.

Nhược điểm của pôlistirol là :

– Ở 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 hyđrô cácbon lỏng ;

– Tính chịu nhiệt không cao (nhiệt độ hóa dẻo ở khoảng 70 – 80°C), thấp hơn nhiều so với pôliêtilen.

Để giảm những nhược điểm này người ta thường pha thêm vào pôlistirol loại cao su tổng hợp, nhưng trị số tgδ của vật liệu tạo ra vẫn còn cao.

Công dụng của pôlistirol là dùng làm điện môi trong kỹ thuật cao tần và siêu cao tần, vì có tổn hao điện môi bé. Nó còn dùng làm vỏ bọc các cuộn dây, các chi tiết và cách điện cáp cao tần. Pôlistirol cũng được dùng làm sơn, hỗn hợp cách điện, màng mỏng để chế tạo tụ điện... (vì có điện trở cách điện cao và tgδ bé).

5. Pôlivinylclorít

Pôlivinylclorít là điện môi cực tính có tính năng kém hơn các polime trung tính. Ví dụ, ở nhiệt độ bình thường tgδ của pôliclovinyl lớn hơn pôlistirol khoảng 100 lần. Độ ẩm có ảnh hưởng rất nhỏ đến điện trở suất khối của pôliclovinyl ($\rho_v > 5.10^{15}$ Ω.cm khi φ = 90%) nhưng lại ảnh hưởng rõ rệt đến điện trở suất mặt của vật liệu. Pôliclovinyl rất bền đối với tác dụng của nước, kiềm, các axít 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, sản xuất ra bình ăc quy v.v...

Để làm cho pôliclovinyl 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.

Ngoài ra người ta còn clo hóa thêm cho policlovinyl để làm tăng độ hòa tan của nó (trong sản xuất sơn, sợi tổng hợp).

6. Pôliacrilat

Pôiacrilat là chất trùng hợp các este của axít acrilic.

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 monome este mà chúng có những tính chất cơ : độ bền, độ rắn, độ dẻo khác nhau.

Chất trùng hợp phổ biến nhất trong các pôliacrilat là pôlimetilmetacrilat.

Người ta còn gọi nó là "thủy tinh hữu cơ" đó 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 hydrô, kết hợp với nguyên tố cácbon (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 pôlitêtrafloêtilen. Nó được điều chế bằng cách trùng hợp têtrafloêtilen $F_2C_2 = C_2F_2$.

Vì có cấu tạo đối xứng nên phân tử pôlitêtrafloêtilen không cực tính. Ở Liên Xô (cũ) gọi là nhựa teflon – 4, ở các nước khác gọi là nhựa teflon, nhựa đai flon v.v...

Teflon – 4 có độ bền nhiệt cao (khoảng + 250°C), điều đó có thể giải thích là do sự liên kết giữa 2 nguyên tố 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 về mặt hóa học, có thể còn trội hơn vàng và bạch kim. Teflon – 4 hoàn toàn không cháy được, 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 xử lý mặt ngoài bằng dung dịch natri kim loại trong amôniac không có nước ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ hóa lỏng của amôniac. Teflon – 4 là vật liệu hữu cơ duy nhất được xếp vào cấp chịu nhiệt là cấp C.

Một số đặc tính của nhựa teflon – 4 :

– Nhựa teflon – 4 là vật liệu trong suốt màu trắng hoặc xám nhạt ; tỉ trọng của nó (2,1 – 2,3 G/cm^3) lớn hơn tỉ 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/cm^2 ; ứng suất dai va đập lớn hơn 100 kG/cm^2 ; độ bền chịu uốn là 110 – 140 kG/cm^2 ; độ cứng theo Brinen là 3 – 4 kG/mm^2.

Theo tính chất cách điện thì teflon – 4 được xếp vào loại tốt nhất các điện môi đã biết, đặc biệt là khi làm việc trong môi trường tần số cao và siêu cao (trong giải tần số từ 50 đến 10^{10} Hz thì ε của nó đạt tới 1,9 ÷ 2,2 ; tgδ = 0,0001 – 0,0003 ; ρ = 10^{18}Ω.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.

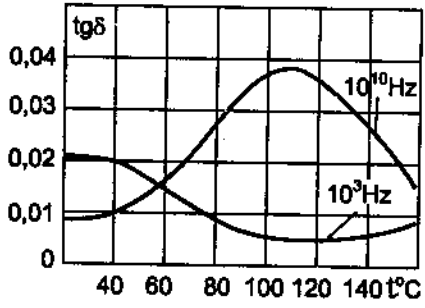
– Trong những điều kiện nhất định nhựa teflon – 4 có thể chế biến thành tấm, chế tạo thành các sản phẩm có hình dạng khác nhau như hình chiếc lá, màng dẻo dùng cách điện cho cáp v.v.. Những tính chất này của teflon – 4 cho phép sử dụng trong những trường hợp cần thiết và quan trọng khi cách điện, đồng thời chịu tác dụng của nhiệt độ cao hoặc thấp, các môi trường có hoạt tính hóa học hơi ẩm cao v.v... Vì teflon – 4 có giá thành cao nên nó không được sử dụng rộng rãi. Cần chú ý, khi ở nhiệt độ cao hơn + 375°C teflon – 4 bắt đầu thải ra khi flo là loại khí độc và hoạt tính hóa học.

8. Pôlitrifrocloêtilen (Teflon – 3)

Nhựa teflon – 3 là loại nhựa có những tính năng kém hơn teflon – 4 nhưng công nghệ chế tạo lại đơn giản hơn.

Teflon – 3 có tỉ trọng là 2,14 G/cm^3 ; độ bền chịu kéo 300 – 400 kG/cm^2 ; độ dãn dài tương đối khi đứt 125 – 200% ; độ bền uốn 600 – 800 kG/cm^2 ; ứng suất dai va đập 20 – 30 kG/cm^2 ; độ cứng theo Brinen 10 – 13 kG/mm^2. Độ bền nhiệt của teflon – 3 kém hơn teflon – 4, nhiệt độ hóa dẻo của teflon – 3 vào khoảng + 190°C.

Vì cấu tạo phân tử không đối xứng nên teflon – 3 là điện môi cực tính, do vậy quan hệ của tgδ với nhiệt độ ở tần số khác nhau được biểu diễn trên hình 9 – 1. Ở tần số thấp hằng số điện môi là 3,3 ; khi tần số f = 1 MHz là 2,7 ; điện trở suất khối ρ = 10^8 Ω.cm. Nhiệt độ phân hủy cao hơn + 315°C. Độ bền hóa học của teflon – 3 rất cao song vẫn thấp hơn teflon – 4, nhưng độ bền bức xạ lại cao hơn teflon – 4.



Hình 9 – 1. Quan hệ tgδ = f(t°) của teflon – 3 khi tần số là 10^3 và 10^{10}Hz

9. Nhựa tổng hợp nhiệt dẻo

a) Nhựa pôliamit

Nhựa pôliamít có độ bền cơ và độ dẻo rất cao ; chỉ hòa tan trong một số chất điện môi như crezol và trong phenol nóng chảy.

Pôliamít được sử dụng rộng rãi để chế tạo sợi tổng hợp, màng dẻo và các chất dẻo. Pôliamit có tính hút ẩm tương đối cao, dễ biến dạng ở nhiệt độ cao, kém bền đối với phóng xạ và ánh sáng.

b) Pôliurêtan

Poliurêtan dùng để làm dây êmay, chịu được nhiệt độ cao hơn so với dây dẫn bọc bằng sơn pôlivinylaxetal nhưng lại kém hơn dây bọc bằng pôlieste. Đặc điểm cơ bản của các dây êmay tráng pôliurêtal là chúng có khả năng tráng thiếc mà không cần cạo sạch lớp êmay. Có thể nhúng ngay đầu dây dẫn chưa cạo sạch lớp ngoài 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 rađiô, những thiết bị máy tính ... Nhược điểm của nó là tính dẻo nóng khá cao, điều này gây nguy hiểm có cách điện khi xảy ra ngắn mạch.

10. Nhựa fênol fomanđêhyt

Người ta có thể chế tạo ra nhựa fênolfomanđêhyt loại nhiệt cứng và nhiệt dẻo. Cứ một phân tử gam fênol thì có ít nhất một phân tử gam fomanđêhyt 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 amôniac (đối với nhựa cách điện). Loại xúc tác này sẽ không để lại tạp chất có tính điện phân trong nhựa.

Bakêlít là chất cách điện nhiệt cứng tốt. Vật liệu cách điện bằng bakêlít có độ bền cơ học cao, ít co dãn, nhưng có 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 fênol và fomanđêhyt dùng chất xúc tác là axít clohydríc 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 hòa tan. Novôlac được dùng rộng rãi trong sản xuất ra chất dẻo (bột ép).

Người ta sản xuất nhựa cacbamitfomandehyt và nhựa melamin fomanđêhyt bằng cách đa ngưng tụ fomanđêhyt cùng với cacbamit $(NH_2)_2CO_2$, 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 Pôlieste

Pôlieste là sản phẩm của sự đa ngưng tụ các loại rượu và axit khác nhau (hoặc anhyđrít của chúng). Nhựa pôlieste bao gồm nhiều loại và có các tính chất khác nhau. Các loại nhựa thu được từ các loại rượu hai nguyên tử glicol có hai nhóm hyđrôxít – OH trong phân tử và từ các axít hữu cơ hai gốc có hai nhóm cácboxit – COOH trong phân tử là những chất có tính nhiệt dẻo. Còn loại nhựa thu được từ rượu ba nguyên tử và loại axít có ít nhất hai gốc là những chất có tính nhiệt cứng.

Nhựa glíptan nhận được bằng cách đa ngưng tụ rượu ba nguyên tử glixerin $H_2C.OH - CHOH - CH_2.OH$ và anhyđrit ftalat có nhiệt độ đông rắn và thời gian lớn hơn so với bakêlít. Gliptan có ưu điểm trội hơn bakêlít là có tính đàn hồi, độ dính, độ bền hóa già vì nhiệt và độ bền chống sự tạo vết.

Trong công nghiệp điện, nhựa gliptan được dùng để dán mica thành băng mica hay micanít và để tấm cách điện trong máy điện và thiết bị điện.

Một chất trùng hợp nhiệt dẻo đáng quan tâm trong công nghiệp điện là pôlietilentereftalat.

Đây là vật liệu rất quý được dùng để chế tạo sợi tổng hợp, băng dẻo để cách điện cho các dây êmay và dùng vào các mục đích khác.

12. Nhựa êpoxi

Nhựa êpoxi được đặc trưng bởi sự có mặt của nhóm êpoxi.

Nó là một chất lỏng nhớt có thể hòa tan trong axêtôn và trong các dung môi thích hợp khác. Nhựa êpoxi 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 hóa cứng là sự trùng hợp thuần túy 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 loại chất đóng rắn mà sự hóa cứng của êpoxi có thể diễn ra ở nhiệt độ bình thường hay phải đun nóng từ $80^o - 150^oC$ và áp suất bình thường hay áp suất cao. Khi đóng rắn ở áp suất cao, 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 (bám vào nhiều loại vật liệu khác nhau như chất dẻo, thủy tinh, sứ, kim loại..., đó 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..

13. Nhựa silic hữu cơ (silicon)

Trong thành phần của nhựa silicon, ngoài cácbon là chất đặc trưng cho polime hữu cơ còn có silic. Silic là một trong những thành phần cấu tạo quan trọng nhất của nhiều điện môi vô cơ như là mica, amiăng, một số thủy tinh, vật liệu gốm v.v.. Trong cấu tạo phân tử của silicon có khung silic ôxy làm nền tảng. Polime silic hữu cơ là chất nhiệt dẻo.

Tính chất cách điện của các hợp chất hữu cơ khá cao, ngay 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, amian v.v..) ở dạng micanit, vải sơn thủy tinh... làm chất kết dính là hợp lý. Hỗn hợp silic hữu cơ không ngấm nước, nên phủ chúng lên các vật liệu xenlulô, gốm hay vật liệu khác sẽ làm giảm độ ngấm ẩm của các chất đó.

Vật liệu silic hữu cơ khá đắt tiền, do vậy nên hạn chế sử dụng chúng trong thực tế. Vật liệu này có độ bền thấp.

14. Ete xenlulo

Etexenlulo là polime nhân tạo, nhận được bằng cách xử lý hóa học polime thiên nhiên và xenlulô. Khi sản xuất ra ete xenlulô thì các nguyên tử hyđrô trong các nhóm hyđroxyl sẽ được thay thế toàn bộ hoặc một phần bởi các nhóm nguyên tử khác nhau. Nếu các nhóm nguyên tử ấy là những gốc hyđrocácbon thì chúng ta thu được chất gọi là etexenlulô, nếu các nhóm nguyên tử ấy là gốc axit thì thu được estexenlulô.

So với xenlulo thiên nhiên thì ete xenlulô ưu việt hơn ở chỗ chúng là vật liệu nhiệt dẻo tiêu biểu, nóng chảy được và có khả năng hòa tan trong những dung môi thích hợp. Vì vậy, rất thuận lợi cho việc chế biến lại ; este xenlulo được dùng rộng rãi vào việc sản xuất sợi dệt nhân tạo, màng mỏng, sơn, chất dẻo. Ngoài ra, vì các nhóm hyđrôxyl có cực tính mạnh đã được thay thế bằng các nhóm có cực tính yếu hơn nên este xenlulô, nhất là etexenlulô có tính chất của điện môi cực tính yếu, tính chất cách điện tốt hơn và ít ngấm nước so với xenlulô tự nhiên, song có nhược điểm là chịu nhiệt kém.

Bảng 9–1

ĐẶC TÍNH CỦA CÁC LOẠI NHỰA TỔNG HỢP ĐIỂN HÌNH

Phân loại nhựa theo bản chất lý hóa của chúng				Tên nhựa	Tỉ trọng G/cm^3	Giới hạn bền kéo, kG/cm^2	Độ dãn dài tương đối khi kéo đứt, %	Độ chịu nóng, ^oC	Nhiệt dẫn suất $\frac{W}{độ\ cm}$	Hệ số dãn nở nhiệt theo chiều dài TKl 10^5, $\left(\frac{1}{^oC}\right)$	Độ thấm nước sau 24 giờ, %	ρ,Ω.cm	ε	tgδ	E, kV/m
Hữu cơ	Trùng hợp	Nhiệt dẻo	Trung tính	Pôlietilen	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
				Pôlistirol	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
				Pôlitetrafloêtilen	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
		Nhiệt cứng	cực tính	Pôlivinylclorít	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
	Đa trị			Pôlimetylmeta – crilát	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
Hữu cơ, cơ bản				Pôliamit	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
				Epôcxi	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
				Phênolfócmal-dehyt	1,25–1,3	500–550	1–1,5	110–180	2	4–7	0,15	10^{13}–10^{14}	5–6,5	0,01–0,1	10–20
				Pôlieste	1,1–1,45	250–700	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

B – NHỰA THIÊN NHIÊN

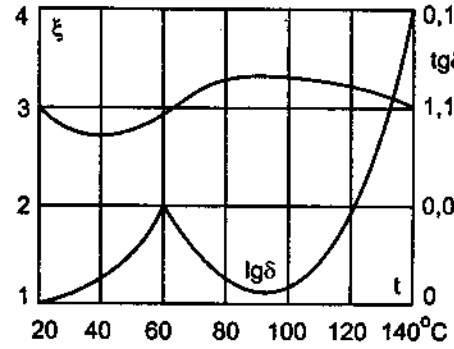
1. Cánh kiến : Loại nhựa này do một số côn trùng tiết ra trên các cành cây ở các sứ nóng thuộc vùng nhiệt đới. Người ta thu nhặt cánh kiến theo kiểu thủ công, làm sạch bẩn và nấu chảy. Đây là những lớp dạng vảy cá mỏng và giòn, màu vàng nhạt hoặc màu nâu. Thành phần chủ yếu của cánh kiến là những axít hữu cơ phức tạp. Cánh kiến dễ hòa tan trong rượu, cồn nhưng không hòa tan trong hyđrôcácbon.

Cánh kiến có các đặc tính cách điện như sau : $\varepsilon = 3,5$; $\rho_v = 10^{15} - 10^{16}$ Ω.cm ; $tg\delta = 0,01$; $E_{đt} = 20 \div 30$ kV/mm. Ở 50 – 60°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 hòa 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 micanít. Khi không có cánh kiến người ta thay bằng nhựa gliptan và các loại nhựa tổng hợp khác.

2. 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 có tính chất cách điện như sau ; $\rho = 10^{14} - 10^{15}$ Ω.cm ; $E_{đt} = 10 \div 15$ kV/mm và có hằng số điện môi ε và tgδ phụ thuộc vào nhiệt độ như hình 9 – 2, đặc trưng cho điện môi cực tính. Nhiệt độ hóa dẻo của các loại colofan khác nhau vào khoảng 50° – 70°C. Colofan ôxy hóa từ từ trong không khí, khi đó nhiệt độ hóa dẻo của nó tăng nhưng độ hòa tan lại giảm đi.



Hình 9 – 2. Quan hệ ε và tgδ theo nhiệt độ khi f = 50 Hz của colofan

Colofan hòa tan trong dầu mỏ được dùng vào việc ngâm tẩm cáp, ngoài ra nó cũng được dùng để sản xuất ra rezinat là chất làm khô cho sơn dầu.

3. Nhựa côpan

Nhựa côpan là loại nhựa khó nóng chảy, có đặc điểm là bóng, rất cứng và tương đối khó hòa tan. Người ta dùng nhựa côpan làm chất phụ gia cho sơn dầu nhằm tăng độ cứng màng sơn.

Hổ phách thuộc về loại côpan được khai thác trong tự nhiên. Hổ phách có $\rho = 10^{17} - 10^{19}$ Ω.cm ; ε = 2,8 ; tgδ = 0,001. Hổ phách dùng để làm đầu vào của các thiết bị cần có điện trở rất cao.

9.1.3. 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 loài thực vật khác nhau.

Trong số các loại dầu đó cần đặc biệt chú ý tới dầu khô. Dưới tác dụng của nhiệt độ, ánh sáng và khi tiếp xúc với ôxy của không khí cũng như dưới tác dụng của các yếu tố khác dầu khô có khả năng chuyển sang trạng thái rắn. 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 hòa tan ngay cả khi được đun nóng trong hydrocacbon nặng như dầu máy biến áp, vì vậy, chúng có tính chất chịu dầu. Nhưng đối với những hydrocácbon thơm (benzen) thì chúng kém bền hơn. Khi đốt nóng lớp màng đã cứng lại vẫn không hóa dẻo, vì vậy dầu khô là loại nhiệt cứng. Những loại dầu khô phổ biến và hay dùng nhất trong kỹ thuật điện là dầu gai, dầu trẩu, và dầu thầu dầu.

1. Dầu gai là một chất lỏng, màu vàng thu được từ các hạt gai. Tỉ trọng của nó là 0,93 – 0,94 G/cm^3, nhiệt độ đông đặc khoảng – 20°C.

2. 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. Tỉ trọng của dầu trẩu là 0,94 G/cm^3, 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 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.

3. Dầu thầu dầu. Loại dầu này thu được từ hạt thầu dầu dùng để tẩm tụ điện giấy. Tỉ trọng của dầu thầu dầu là 0,95 – 0,9 G/cm^3, 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 – 20 kV/m.

Khác với dầu gai và dầu trẩu, dầu thầu dầu không hòa tan trong etxăng nhưng lại hòa tan trong rượu êtyl. Khác với dầu mỏ, dầu thầu dầu không làm cho cao su thông thường bị phồng lên.

9.1.4. Nhựa đường

Nhựa đường là hỗn hợp phức tạp của các hydrocácbon có chứa thêm ôxy và lưu huỳnh đó là những chất không định hình với những tính chất đặc trưng phức hợp. Chúng có màu đen hoặc màu sẫm. Nhựa đường hòa tan trong hydrocácbon, riêng với các hydrocácbon thơm (như benzen, toluen ...) thì càng dễ tan ; nhưng không hòa 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 tỉ trọng gần 1 G/cm^3.

Dựa 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.

– Nhựa đường thiên nhiên (khoáng sản) thường gọi là nhựa đường atfan.

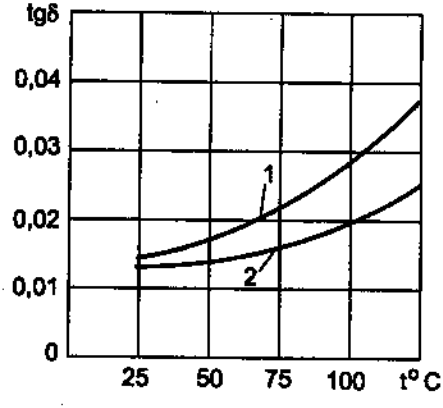
Những lớp quặng atfan gắn liền với những lớp khoáng dầu mỏ vì trong điều kiện tự nhiên atfan cũng được tạo thành từ dầu mỏ.

Trong kỹ thuật cách điện người ta sử dụng nhựa đường có nhãn hiệu БН–III, БН – IV và БН – V được điều chế từ dầu mỏ và còn sử dụng loại đặc biệt có tính chịu nóng ký hiệu B và Г. Nhiệt độ hóa dẻo của các loại nhựa đường nêu trên cho trong bảng 9 – 2.

Bảng 9-2

Ký hiệu loại nhựa đường	БН – III	БН – IV	БН – V	B	Г
Nhiệt độ hóa dẻo, °C	50	70	90	110	125

Nhiệt độ hóa 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 (hình 9 – 3). Có thể nâng cao nhiệt độ hóa dẻo của nhựa đường bằng phương pháp thổi luyện, tức là cho luồng không khí mạnh đi qua nhựa đường nóng chảy.



Hình 9 – 3. Quan hệ tgδ = f(t°) ở tần số 50 Hz đối với nhựa đường БН – V đường 1, ký hiệu Г – đường 2

Nhựa đường là những chất cực tính yếu với $\varepsilon = 2,5 \div 3,0$, $tg\delta \approx 0,01$;

$E_{đt}$ = 10 ÷ 25 kV/mm ; $\rho_v = 10^{15} \div 10^{16}$ Ω.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, đổ vào các đầu cáp điện áp cao v.v...

9.1.5. Điện môi sáp

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 thì 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 tỉ trọng 0,85 – 0,90 G/cm^3 và có nhiệt độ nóng chảy 50 – 55°C.

Hằng số điện môi của parafin ε = 2,1 ÷ 2,2 ; khi nhiệt độ tăng thì ε giảm ; tgδ của parafin có trị số nhỏ 0,0003 ÷ 0,0007, nhưng ρ_v có trị số lớn hơn 10^{16} Ω.cm. Parafin không bị dính nước ρ_s lớn hơn 10^{15} Ω ngay cả khi ở độ ẩm cao. Parafin là chất kị nước . Độ bền điện của parafin vào khoảng 20 – 25 kV/mm.

Ở nhiệt độ bình thường parafin có tính ổn định hóa học cao, nhưng ở nhiệt độ cao lại dễ bị ôxy hóa 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, tẩm gỗ, bìa cáctông, ngâm các cuộn dây làm việc ở nhiệt độ thấp và trong môi trường ẩm.

Parafin không tan trong nước và rượu, nhưng lại hòa tan trong những hydrocácbon lỏng như dầu mỏ, etxăng benzen. Khi dung môi bốc hơi parafin 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 hydro cácbon rắn của dãy mêtan với công thức chung là C_nH_{2n+2}.

Serezin được sản xuất ra bằng cách làm sạch quặng sáp mỏ (ozokerít), là sản phẩm của sự chuyển hóa 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 và nổi lên trên bề mặt. Phương pháp này đơn giản nên chỉ thu được 50%, còn lại ozokerit nằm ở trong cặn bã. Phương pháp tốt hơn là chiết ozokerít bằng etxăng. Để thu được serezin người ta làm sạch ozokerít bằng axít 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°C) và bền hơn đối với sự ôxy hóa. Ngoài ra điện trở suất của serezin lớn hơn và tgδ nhỏ hơn so với 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 là những hydro cácbon 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°C đến 130°C. Do vậy có thể nâng cao hiệu suất làm việc của tụ điện.

4. Galovac

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 các tụ điện giấy có thể tăng điện dung của tụ lên 25 – 30% so với tụ cùng loại được tẩm bằng sáp không cực tính. Khác với tính chất của sáp, galovac không bị ôxy hóa khi được đốt nóng và không cháy.

Galôvac có một số nhược điểm sau ;

– Ở nhiệt độ trên +40°C thì tgδ tăng lên rõ rệt và lớn hơn nhiều so với serezin,

– Ở nhiệt độ bình thường $\rho = 10^{13} - 10^{14}$ Ω.cm. Tỉ trọng của galovac khoảng 1,5 G/cm^3. Galovac là chất độc, hơi của nó gây tác hại đến niêm mạc và gây ra bệnh ngoài da. Vì vậy, các phòng làm việc tiếp xúc với galovac cần phải có hệ thống thông gió tốt và hạn chế sử dụng galovac 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 hydrocácbon rắn và lỏng thu được từ dầu mỏ.

Vazelin cách điện có những tính chất như sau :

– Điện trở suất ρ_v không thấp hơn 5.10^{14} Ω.cm ở 20°C và không dưới 5.10^{11} Ω.cm ở 100°C.

– Ở tần số 1 kHz tgδ ứng với các nhiệt độ 20°C sẽ có giá trị không quá 0,0002 và 100°C sẽ có giá trị không quá 0,002 ; ở tần số 50Hz và nhiệt độ 20°C thì $E_{đt}$ không nhỏ hơn 20 kV/mm, ở 60°C độ nhớt không nhỏ hơn 28.10^{-4} m^2/giây.

9.1.6. 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 đông rắn lại, khi dùng thì ở trạng thái rắn. Vì vậy 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 hòa 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 phải đun nóng đến nhiệt độ cần thiết để thu được chất có độ nhớt thấp thích hợp.

Dựa 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, chất cách điện có độ bền điện và độ dẫn nhiệt cao hơn nhiều. Vì thế khi được sơn 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.

– *Sơn phủ* dùng để tạo ra trên bề mặt của vật liệu một lớp màng nhẵn bóng, chịu ẩm và có độ 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 là : 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 hòa tan, 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 dùng để quét trực tiếp lên kim loại nhằm tạo ra trên bề mặt của nó lớp cách điện (cách điện dây êmay, lá tôn silic 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 cácbon (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 micanít) hoặc để gắn vật liệu cách điện vào kim loại. Ngoài 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 ; tạo ra một lớp phủ khá dày trên các chi tiết, các mối nối hoặc cụm chi tiết kỹ thuật điện. Trong các trường hợp khác nhau các hợp chất làm đầy bảo vệ chất cách điện chống ẩm và chống lại tác dụng của các chất có hoạt tính hóa học, tăng cường điện áp phóng điện và cải thiện sự tỏa nhiệt, truyền nhiệt v.v...

1. Sơn

Tùy theo chế độ sấy mà người ta chia sơn thành hai loại :

– *Sơn sấy nóng* : là loại sơn rất lâu khô ở nhiệt độ thấp nên phải sấy ở nhiệt độ cao (thường cao hơn 100°C).

– *Sơn sấy nguội* : 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. Chúng ta sẽ khảo sát một số loại sơn cách điện quan trọng thường dùng trong kỹ thuật điện.

– *Sơn bakêlit* : là dung dịch bakêlít hòa tan trong rượu. Đây là loại sơn tẩm và sơn dán, màng sơn bền về cơ học nhưng kém dẻo và có khuynh hướng hóa già do nhiệt rõ rệt. Nó được dùng rộng rãi trong việc sản xuất hêtinắc và téctolít để chế tạo chất cách điện của các thiết bị điện cao áp.

– *Sơn gliptan* : là dung dịch nhựa gliptan trong hỗn hợp rượu, hyđrocácbon lỏng và các dung môi khác ; nó là loại sơn nhiệt cứng có khả năng bám dính rất chặt được dùng để dán micanít v.v.. Màng sơn gliptan 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 hóa học ; được dùng làm sơn phủ để bảo vệ cách điện khi làm việc trong điều kiện không khí có chứa hơi axit.

– *Sơn polistirol* : 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 hòa tan trong rượu, được dùng làm sơn dán trong công nghệ sản xuất micarit 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*. Trong các loại sơn xenlulô thì sơn nitrô xenlulô có công dụng lớn nhất. Màng sơn nitrô 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 nitrô lên kim loại thường phải quét 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 nitrô.

Riêng trong kỹ thuật điện người ta dùng sơn nitrô để tẩm vỏ bọc dây dẫn bằng sợi bông dùng trên ôtô và máy bay (mặt ngoài của lớp cách điện bằng cao su) để giữ cho cao su khỏi bị ảnh hưởng của ózôn, dầu và xăng.

– *Sơn dầu* : Nền của các loại sơn dầu là dầu khô mà chủ yếu là dầu gai và dầu trẩu. Ngoài ra sơn dầu còn chứa chất làm khô để đẩy mạnh quá trình sấy khô và dung môi dễ bay hơi, làm giảm độ nhớt của sơn.

Người ta dùng hydrocácbon làm dung môi cho sơn dầu (xăng, dầu hỏa, đôi khi kèm hỗn hợp hydrocácbon 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 thường. Tuy nhiên, khi tăng hàm lượng chất làm khô trong sơn dầu sẽ làm cho màng sơn bị hóa già nhiệt khá nhanh khi chịu tác dụng lâu dài của nhiệt độ cao (màng sơn trở nên giòn và ở bên trong xuất hiện những vết nứt, chúng 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 thấp, thì 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, tẩm dây quấn máy biến áp làm việc trong điều kiện ngâm trong dầu mỏ nóng. Vì loại sơn này là sơn nhiệt cứng nên khi màng sơn đã cứng lại thì chịu dầu tốt. Tuy nhiên nó kém chịu ẩm hơn sơn dầu bitum màu đen.

– *Sơn bitum đen* : Do có bitum trong thành phần của loại sơn này nên đã làm cho sơn lỏng và màng sơn có màu đen. So với sơn dầu thì sơn bitum rẻ tiền hơn, tạo ra được màng sơn ít háo nước hơn. Có tính cách điện cao hơn và ít bị hóa già. Màng của sơn bitum thực tế không chịu được dầu và dễ hòa tan trong hydrôcácbon nhẹ, đặc biệt là hydrocácbon thơm. Khi bị đốt nóng thì màng sơn có khuynh hướng hóa 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 bi tum.* 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. Loại sơn này mang tính chất trung gian giữa sơn thuần bitum và sơn dầu thuần túy. Nhờ có dầu khô nên màng của loại sơn này dễ uốn hơn, ít chịu ảnh hưởng của dung môi và ít bị hóa dẻo khi đốt nóng so với màng sơn thuần bitum.

– *Sơn dầu nhựa* : Đây là loại sơn dầu có cho thêm nhựa thiên nhiên hoặc nhựa tổng hợp. Người ta sử dụng rộng rãi các loại sơn này trong một số trường hợp sau đây :

– Tẩm dây quấn của máy biến áp dầu nhằm nâng cao tính chịu dầu và độ bền cơ học ;

– Tẩm dây quấn khi phải chịu tác dụng của hơi axít và clo.

– Tẩm vật liệu cách điện có chứa nhựa phênol focmandehyt nhằm giảm khả năng hình thành vết xước.

Trong bảng 9 – 3 trình bày các 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 còn dùng nhiều loại sơn gốc nhựa tổng hợp khác.

Bảng 9 – 2

TÍNH CHẤT CỦA MỘT SỐ LOẠI SƠN CÁCH ĐIỆN

Đặc tính	Số hiệu (ký hiệu đã quy ước) của sơn					
	447	БТ – 99	БТ – 95	ГФ – 95	ГФ – 95ГС	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 bền 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 150°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						
a) Trong điều kiện bình thường	55	50	60	55	30	50
b) Ở nhiệt độ 90°C	25	20	25	30	–	25 (ở 200°C)
c) Sau khi ngâm 24h trong nước ở 20°C	22	12	20	20	10	–

2. Hợp chất cách điện

Theo công dụng, hợp chất 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 công suất của thiết bị được tăng thêm.

Hợp chất cách điện cáp có một ý nghĩa lớn trong kỹ thuật cáp ; bao gồm các hợp chất sau :

a) *Hợp chất tẩm* (chất tẩm cáp) dùng để tẩm cách điện giấy cáp được chế tạo từ dầu mỏ 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, nhằm tránh thấm ẩm vào cách điện của cáp và tăng điện áp đánh thủng giữa các lõi cáp được tách riêng cũng như giữa các lõi cáp với vỏ của hộp nối. Vỏ nối được dùng để giữ chỗ nối tránh bị hư hỏng do tác động cơ học. Chất đổ vào cáp là bitum hoặc hỗn hợp dầu mỏ ; là nhựa thông hay êpôcxi v.v..

Một hợp chất quan trọng nữa là hợp chất polieste gốc là nhựa polieste không bão hòa cùng với chất làm loãng "mạnh" styrol, metylmetacrylát và các mônome không bão hòa khác ; chất xúc tác làm rắn của peoxyt hữu cơ. Thông thường hợp chất polieste co ngót khá nhiều khi đóng rắn (khoảng 6%).

9.1.7. Màng dẻo

Màng dẻo là một trong các sản phẩm làm bằng polime hữu cơ có độ bền điện và độ bền cơ cao, được sản xuất thành từng cuộn. Màng dẻo dùng làm chất cách điện cho máy điện, dây cáp, dây quấn, làm điện môi của tụ điện và nhiều trường hợp khác.

Chúng ta sẽ tìm hiểu một số loại màng dẻo và các tính chất của chúng.

1. Màng làm bằng etexenlulô sử dụng phổ biến trong kỹ thuật và đời sống : phim ảnh, vật liệu dùng để đóng gói v.v... Màng dẻo được làm bằng triaxetat xenlulô dùng trong kỹ thuật cách điện, có chiều dày là 0,025 ; 0,04 và 0,07 mm. Giới hạn độ bền kéo loại này là 900 kG/cm^2 và độ dãn khi đứt không nhỏ hơn 12% ; hằng số điện môi $\varepsilon = 3,6$, $tg\delta = 0,007$, độ hút ẩm 6%. Khi chiều dày là 0,04 mm thì điện áp đánh thủng không nhỏ hơn 3,5 kV, khi chiều dày là 0,07 mm thì điện áp đánh thủng 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 120°C (cấp chịu nhiệt E).

2. Màng dẻo tổng hợp cực tính polietilen tereftalat : có chiều dày từ 0,04 mm đến 0,35 mm. Loại màng dẻo này có đặc tính cơ và cách điện tốt,

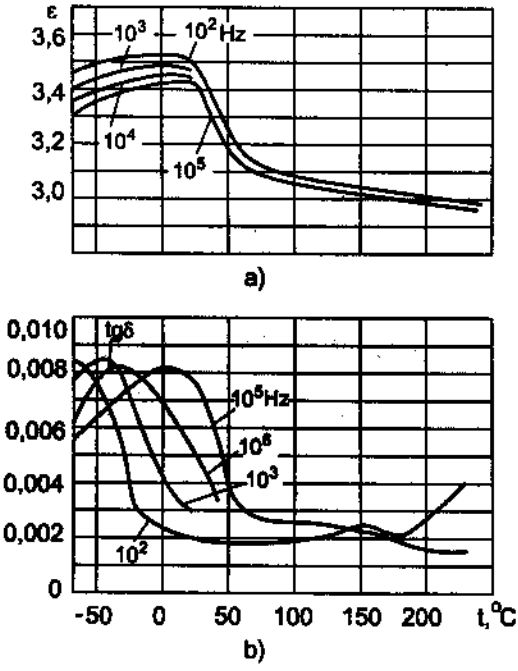
bền vững về hóa học và về nhiệt ; có độ bền chịu vầng quang điện (ôzôn) trội hơn so với các loại màng triaxetat, pôliêtilen ; polistirol... Các đặc tính của nó như sau : tỉ trọng 1,3 – 1,40 G/m^3 ; giới hạn bền kéo 1500 – 3000 kG/cm^2 ; độ dãn dài tương đối khi đứt 50 ÷ 100% ; $\rho = 10^{17} \div 10^{18}$ Ω.cm ; ε = 3,3 ; tgδ = 0,002 (ở tần số 50 Hz) ; nhiệt độ làm việc trong khoảng từ – 60°C đến + 150°C.

3. Màng polivinylclorít : có giới hạn bền kéo trong khoảng 600 ÷ 800 kG/cm^2 ; độ hút ẩm nhỏ nhưng độ bền nhiệt không cao.

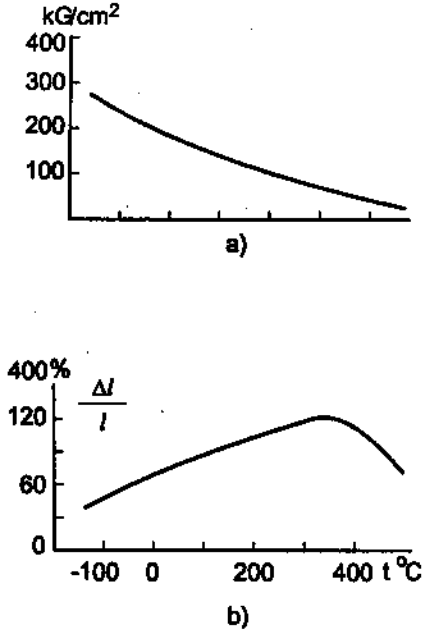
4. Màng poliamit : có giới hạn bền kéo tới 1500 kG/cm^2 với độ dãn dài tương đối khi đứt 150 – 400%.

5. Màng policacbonat : có tỉ trọng 1,26 G/cm^3, giới hạn bền kéo 550÷900 kG/cm^2 ; độ dãn dài tương đối khi đứt 85 – 110% ; $\rho = 10^{16} \div 10^{17}$ Ω.cm ; ε = 2,9 ; tgδ = 0,0015 (ở tần số 50 Hz) ; $E_{đt}$ = 60 – 90 kV/mm (với chiều dày của màng là 0,1 mm).

6. Màng poliimit (capton) : có độ bền nhiệt cao nhất, nhiệt độ làm việc lâu dài là 230°C và ngắn hạn là 400°C, tỉ trọng 1,42 G/cm^3. Quan hệ của ε và tgδ với nhiệt độ được biểu diễn ở hình 9 – 4 đặc tính cơ học của nó với nhiệt độ biểu diễn trên hình 9 – 5.



Hình 9 – 4. Quan hệ ε và tgδ với nhiệt độ ở các tần số khác nhau của màng poliimit



Hình 9 – 5. Sự biến thiên của giới hạn bền kéo (a) và độ dãn dài tương đối khi đứt (b) của màng poliimit.

7. 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/cm^2 và độ bền điện 100 – 150 kV/mm. Tuy nhiên độ bền nhiệt của nó lại thấp.

8. Màng politetrafloêtilen có độ bền nhiệt cấp C, độ bền điện cao, độ hút ẩm nhỏ.

9. Màng bằng chất stiroflếc 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.

9.1.8. 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, cáctông, 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 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. Sau đây sẽ tìm hiểu một số vật liệu thường gặp.

1. Gỗ : Gỗ có giá thành 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/cm^2 ; khối lượng biến động trong khoảng từ 0,5 đến 0,7 – 0,8 G/cm^3, rất ít khi đạt tới 1,0 G/cm^3. Thông thường 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 hút ẩm cao làm cho tính chất cách điện của gỗ giảm đi nhiều khi bị 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 mấu 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 vv...

2. Giấy và cáctông

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.

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, 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.

Vì chất cách điện của cáp có tẩm chất nhớt bị hóa già nên loại cáp này chỉ làm việc lâu dài trong điện trường có cường độ thấp : 3 – 4 kV/mm. Cáp loại này chỉ dùng với điện áp không vượt quá 35 kV. Với điện áp cao hơn người ta sử dụng cáp dầu và cáp nén khí. Trong các loại cáp này có cường độ điện trường 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 mica.

** 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 ÷ 1,0 G/cm^3, giấy tụ II là : 1,17 ÷ 1,25 G/cm^3. Chiều dày định mức tính bằng µm, nhãn loại I : 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 22 và 30 ; 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 750 mm.

Những đặc tính của giấy làm tụ điện có chiều dày 15 μm cho ở bảng 9 – 4.

Bảng 9–4

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
– tgδ 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 1 m^2 không quá	100	130	10	15	30

Giấy có khối lượng riêng cao được dùng trong các tụ điện làm việc dưới điện áp một chiều vì có trị số độ bền điện ngắn hạn và dài hạn cao, đồng thời còn có lợi về điện dung C nữa. Loại giấy kém chắc chắn có tgδ 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 hóa già của giấy tẩm dưới tác dụng lâu dài của điện trường, cường độ điện trường làm việc trong tụ điện giấy có tẩm chất lỏng bằng 25 – 35 kV/mm với điện áp một chiều và bằng 12 – 15 kV/mm với điện áp xoay chiều tần số 50 Hz.

– *Giấy băng mica.* Loại giấy này được dùng làm nền trong sản xuất băng mica cách điện ; nó được chế tạo bằng xơ dài sợi thành từng cuộn rộng 450 hoặc 900 mm. Chiều dày của giấy là 20 ± 2 μm và trọng lượng một mét vuông giấy bằng $17 \pm {}^{3}_{1}$ gam. Khi đem nhúng vào sơn thì độ bền cơ của loại giấy này giảm đi một chút, nó rất xốp nên không khí và hơi 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 làm cách điện ở trong không khí (lót vào rãnh của máy điện, các lõi cuộn dây, các vòng đệm v.v...).

– 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.

* *Phíp :* Khi 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.

Màu của phíp có thể là màu đen, nâu, đỏ v.v.. đó là màu của giấy dùng để sản xuất ra phíp. Tính chất cơ của phíp khá tốt ; $\sigma_{kéo} = 550 \div 750$ kG/cm^2 ; $\sigma_{nén} = 1500 - 2000$ kG/cm^2 ; $\sigma_{uốn} = 800 \div 1000$ kG/cm^2 ; ứng suất dai va đập vào khoảng 20 – 30 kG.cm/cm^2. Phíp dễ gia công, có thể cưa, cắt, bào, tiện, ren, vít được ; với chiều dày 6 – 8 mm thì đập được. Ngâm phíp vào nước nóng nó sẽ mềm đến mức có thể định hình được. Tỉ trọng của phíp là 1 – 1,5 G/cm^2 ; tỉ 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 (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. Để 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 hủy 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 polimetyl metacrilát (thủy tinh hữu cơ) thay cho phíp để làm vật liệu dập hồ quang trong các chống sét ống.

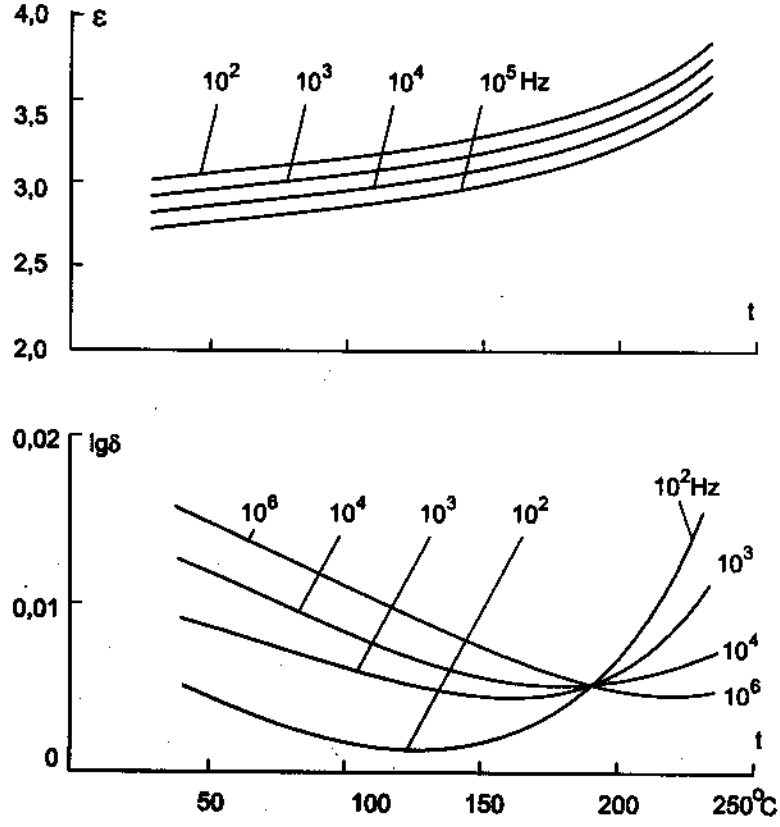
Giấy làm bằng hỗn hợp của xenlulô với xơ polietilen có ε, tgδ và độ háo nước nhỏ hơn nhưng độ bền cơ lớn hơn so với giấy bằng xenlulô. Loại giấy hỗn hợp này được dùng nhiều trong cách điện của cáp điện áp cao.

* *Giấy bằng xenlulô đã được axetyl hóa*, tức là chuyển một phần thành phần axetylxenlulô có ε, tgδ và độ háo nước nhỏ hơn và có tính chịu nhiệt cao. Giấy làm bằng xenlulô đã được xianoctyl hóa 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 poliamit 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 giấynày có chiều dày từ 0,05 đến 0,75 mm và có độ bền điện khoảng 35 kV/mm, khi đốt nóng tới 200°C cũng biến đổi ít.

Quan hệ của ε và tgδ giấy "nomec" với nhiệt độ và tần số được trình bày ở hình 9 – 6.



Hình 9 – 6. ε và tgδ của giấy "nomec" phụ thuộc vào t° và tần số f

3. Vật liệu dệt

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 cơ từ phía ngoài vào. Vải còn được dùng vào việc sản xuất vải sơn cách điện và chất dẻo nhiều lớp loại téctolít, ống lồng cách điện trong máy biến áp cao áp...

Một số loại vải và băng thường dùng :

– Vải và băng bằng sợi bông.

– Lụa tơ tằm tự nhiên.

– Vật liệu bằng xơ tổng hợp.

Bảng 9 – 5 nêu các đặc tính cơ của xơ hữu cơ.

Bảng 9 – 5

ĐẶC TÍNH CƠ CỦA XƠ HỮU CƠ

Tên loại xơ	Độ bền kéo đứt, kG/cm^2	Độ dãn 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 nailon	55– 60	20 – 25
Xơ polietilen tetraftalat	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 sơ nitron là polime của acrinitryl có độ bền cơ, độ đàn hồi và độ chịu nhiệt cao (nhiệt độ hóa dẻo của nó trên 235°C).

4. Vải sơn cách điện

Tùy theo loại sơn tẩm mà có vải sơn cách điện với các 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 – 50 kV/mm, loại bằng tơ 55 ÷ 90 kV/mm. Khối lượng riêng của vải màu vàng cũng như màu đen gần bằng 1,1 G/cm^3, lụa sơn cách điện 0,9 ÷ 1,0 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 – 60 kV/mm. Vải sơn cách điện màu đen ít háo 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 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 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 1000 mm, chiều dày của vải cách điện là 0,15 ÷ 0,24 mm, lụa cách điện là 0,08 ÷ 0,15 mm.

Khi tẩm giấy bằng sơn thu được giấy sơn cách điện ; có thể dùng thay cho vải sơn sẽ rẻ hơn nhưng độ bền cơ nhỏ và độ dãn 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.

9.1.9. 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, sẽ nhận được hình dáng đã định trước của khuôn ép để chế tạo ra sản phẩm. Trong kỹ thuật điện người ta thường dùng chất dẻo để làm vật liệu cách điện cũng như để làm vật liệu kết cấu thuần túy.

Chất dẻo nhiều lớp :

1. Hêtinắc : được sản xuất ra bằng cách ép nóng giấy đã được tẩm bakêlít.

Hêtinắc có khối lượng riêng từ 1,25 đến 1,4 G/cm^3, độ bền điện cao khoảng 20 – 25 kV/mm ; ε = 5 – 6.

Hêtinắc được sử dụng trong việc chế tạo các thiết bị và dụng cụ điện cao áp và hạ áp. Ngoài ra hêtinắc cũng được dùng trong kỹ thuật thông tin.

2. Téctôlít : Các tấm này cũng tương tự như hêtinắc nhưng được chế tạo bằng vải tấm chứ không phải bằng giấy tẩm.

Trong thời gian gần đây đã chế tạo 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, êpốcxi, nhựa poliimít, nhựa silic hữu cơ và các loại nhựa khác. Thành phẩm tạo thành là tổ hợp cách điện compozít có 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 thủy tinh được trình bày trong bảng 9 – 6.

Bảng 9 – 6

Các đặc tính	Hêtinắc		Téctolít	Téctolít thủy 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, ^oC không thấp hơn	150	150	125	185
Điện trở suất khối ρ_V (Ω.cm), không nhỏ hơn	10^{11}	10^{10}	10^9	10^{10}

9.1.10. 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 protít và các axít béo. Khi làm đông tụ mủ cao su và thải hết tạp chất, tách riêng ra được cao su.

Về thành phần hóa học, cao su thiên nhiên là hyđro cácbon 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 :

$$\ldots - CH_2 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{C} = CH - CH_2 - CH_2 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{C} = CH - CH_2 - \ldots$$

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, 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 hóa 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 hóa

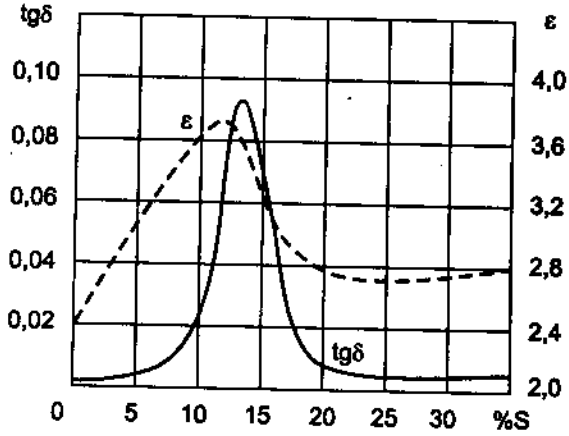
Sau khi lưu hóa với lưu huỳnh, tính chịu nhiệt, chịu lạnh của cao su tốt hơn, làm tăng độ bền cơ và độ bền với dung môi. Tùy theo lượng lưu huỳnh cho thêm vào cao su mà thu được các sản phẩm khác nhau.

Cao su được dùng rộng rãi trong công nghiệp điện để làm chất cách điện cho các dây dẫn trong thiết bị điện, 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 mỏ, bị phồng rộp lên khi ngâm trong dầu mỏ, 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 hóa già nhanh ; cao su bị hóa 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 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 bằng 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 $\rho = 10^{16}\ \Omega.cm$; $\varepsilon = 2,1$; $tg\delta = 0,002$. Sau khi lưu hóa với lưu huỳnh các đặc tính ε và $tg\delta$ sẽ thay đổi tùy theo tỉ lệ hàm lượng của lưu huỳnh (hình 9 – 7).

Cao su cách điện thường có $\rho_v \approx 10^{15}$ Ω.cm ; ε = 3 ÷ 7 ; tg δ = 0,02 ÷ 0,10 ; $E_{đt}$ = 20 ÷ 30 kV/mm.



Hình 9 – 7. ε và tgδ của cao su lưu hóa phụ thuộc vào hàm lượng lưu huỳnh

Để làm cách điện êbônít 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 ácquy v.v...

3. Cao su tổng hợp

Người ta dùng rượu cồn, dầu mỏ 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...

a) Cao su butađien : là loại cao su tổng hợp phổ biến nhất.

Dùng cao su butađien để thay thế cao su thiên nhiên hoặc hợp chất của nó để sản xuất cao su dẻo cũng như sản xuất êbônít. 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^oC (không cho thêm chất lưu hóa) các liên kết kép bị đứt cục bộ, do đó cao su butađien được trùng hợp bổ sung và chuyển thành escapon, là chất có đặc tính cơ gần giống êbônít nhưng có độ bền nhiệt cao hơn và ít chịu được tác dụng của axít 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 : $\rho_v = 10^{17}$ Ω.cm ; $\rho_s = 10^{16}$ Ω ; ε = 2,7 ÷ 3,0 ; tgδ = 5.10^{-4} ; điều này được giải thích là do bản chất không

cực tính của polime không gian có thành phần toàn là hydrocácbon. 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

Là loại cao su cực tính tuy có đặc tính cách điện thấp, nhưng lại rất bền đối với tác dụng của dầu, etxăng, ôzôn và các chất ôxy hóa 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 hóa già nhiệt và ít thấm khí.

d) Cao su butađien – stirol

Là loại cao su có đặc tính cách điện gần giống như cao su tự nhiên. Nó có tính chịu dầu và chịu etxăng cao.

đ) Cao su butyl : được sản xuất bằng cách đồng trùng hợp izobutilen $H_2C = C(CH_3)_2$ cùng với một lượng nhỏ izopren hoặc butiđien.

Cao su butyl có độ bền nhiệt khá cao. Độ thấm khí của cao su butyl nhỏ hơn cao su thiên nhiên 10 ÷ 20 lần. Có độ đàn hồi khá thấp, nhưng ở nhiệt độ -60^oC vẫn đàn hồi và đó là đặc tính chịu lạnh tốt của cao su butyl. Nhược điểm của loại cao su này là không chịu được dầu mỏ, nó bị phồng rộp lên hay tan một phần khi ngâm vào dầu mỏ.

e) Cao su silic hữu cơ (Kí hiệu CKT)

Cao su CKT có độ bền nhiệt cao (khoảng + 250^oC) và chịu lạnh tốt (ở -70^oC đến -100^oC vẫn giữ được tính dẻo), các đặc tính cách điện tốt, nhưng lại có đặc tính cơ thấp, kém bền đối với tác dụng của dung môi và rất đắt tiền.

f) Chất đàn hồi giống như cao su

Trong kỹ thuật cách điện người ta còn sử dụng một số polime để làm chất dẻo giống như cao su đạt kết quả tốt. Các polime này là những chất nhiệt dẻo và không thể lưu hoá được.

Các polime không cực tính được dùng trong cách điện cáp cao tần phải có tgδ rất nhỏ.

Người ta thường cho thêm poliizobutilen vào polietilen để tăng thêm tính đàn hồi.

Cũng có thể dùng politetrafloetilen để sản xuất ra chất cách điện đàn hồi dùng cho tần số cao, có độ bền nhiệt cao và tgδ nhỏ. Politriflocloêtilen cũng có một số công dụng khi dùng làm chất đàn hồi có tính nhiệt dẻo.

9.2. 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 lại 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 nó thành các nhóm sau đây :

1. Thủy tinh.
2. Vật liệu cách điện bằng gốm, sứ.
3. Mica và các vật liệu trên cơ sở của mica.
4. Amian và vật liệu chứa amian.
5. Vật liệu xécnhét điện, áp điện và êlectret.
6. Cách điện ôxít và cách điện florua...

9.2.1. Thủy tinh

Thủy tinh là những chất vô cơ không định hình và là hệ phức tạp của nhiều loại ôxit khác nhau. Trong thành phần của thủy tinh ngoài những ôxit tạo thành thủy tinh (SiO_2, B_2O_3) còn có các loại oxit 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 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 G/cm^3.

– Độ bền nén của thủy tinh lớn hơn nhiều so với độ bền kéo : $\sigma_{nén} = 6000 \div 21000$ kG/cm^2 ; $\sigma_{kéo} = 100 \div 300$ 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 cho thêm các chất phụ khác vào SiO_2, nhất là ôxít kim loại kiềm thì nhiệt độ hóa dẻo của thủy tinh bị giảm đi rất nhiều. Hệ số dãn nở dài của thủy tinh (α_l) có thành phần cấu tạo khác nhau sẽ biến đổi từ $0,55.10^{-3}$ độ$^{-1}$ đến khoảng 15.10^{-16} (độ$^{-1}$) . 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 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 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 pha lê).

Trên thực tế thủy tinh silicát chịu được tác dụng của các axít chỉ trừ axít 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 thắp sáng bằng điện.

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 hòa 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 Ω. 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} Ω ; thủy tinh thạch anh tăng lên 10^{13} Ω.

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 500 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 thu được thủy tinh. Nếu cho chất nóng chảy nguội từ từ thì xác suất chuyển sang trạng thái kết tinh tăng lên ; nếu làm nguội nhanh, 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 hóa 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 phương pháp hóa học làm kết tủa trên mặt ngoài của thủy tinh.

2. Các loại thủy tinh

Dựa theo công dụng của thủy tinh trong kỹ thuật điện mà người ta có thể phân thành các loại sau đây :

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 ở mạch dao động của thiết bị cao tần. Đối với loại thủy tinh này thì ε càng cao và tgδ 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 v...).

c) *Thủy tinh bóng đèn* dùng làm bóng đèn, chân đèn thắp 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, môlipđen 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 thuỷ tinh đục, dễ nóng chảy, dùng để phủ lên mặt ngoài của nhiều loại sản phẩm khác nhau.

e) *Thủy tinh có chất độn* là những chất dẻo được ép nóng bằng thủy tinh và bột mica, gọi là thủy tinh mica.

f) *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 compozít dùng vào các mục đích khác.

Xét theo thành phần hóa học thì thủy tinh silicát dùng cho kỹ thuật có thể chia thành ba nhóm.

a) *Thủy tinh kiềm* không có ôxít nặng hoặc chỉ chứa rất ít các loại ôxít đó. Nhóm này gồm có thủy tinh làm cửa kính, chai lọ và những loại tương tự khác.

b) *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 tgδ nhỏ.

c) *Thủy tinh vô kiềm* (thuỷ tinh thạch anh thuần khiết). 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 hình dáng bề ngoài, 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. 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, sau đó đem nung nóng trong lò tới nhiệt độ thích hợp men sẽ nóng chảy ra và bao quanh vật thành lớp thủy tinh bền vững.

Men màu nâu dùng để tráng lên các điện trở được sản xuất bằng các nguyên liệu sau : môônôxít chì PbO – 27% ; axít boríc H_3BO_3 – 70% ; bioxit măngan MnO_2 – 3%. Nhiệt độ hóa dẻo của men này vào khoảng 600°C. Khi chịu tác dụng lâu dài của nước thì nó trắng ra và bị hòa 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.

Men thủy tinh dùng làm vật liệu cách điện, thực chất là tráng men lên các điện trở. Điện trở ấy là một cuộn dây (bằng hợp kim nicrôm hoặc constantan)

quấn quanh lõi sứ, sau đó được tráng men. Lớp men nóng chảy phủ trên cuộn dây, 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 ôxít hóa bởi ôxy của không khí.

Ngoài ra trong công nghệ chế tạo thiết bị điện người ta còn dùng men thủy tinh để 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 thủy tinh còn được dùng làm điện môi trong một số loại tụ điện.

4. Xơ thủy tinh

Thủy tinh dày là một vật liệu giòn, nhưng thủy tinh mỏng có độ dẻo cao hơn. Xơ bằng thủy tinh có đường kính 4 ÷ 7 μm, có độ dẻo khá tốt có thể gia công theo phương pháp dệt vải.

Người ta dùng sợi thủy tinh để dệt thành vải, băng và ống mềm bằng thủy 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 thủy tinh dùng để cách điện thường dày từ 0,025 đến 0,28 mm. Có thể dùng vải thủy tinh tẩm sơn chịu nóng thu được téctolít thủy 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) ; kém mềm hơn sợi hữu cơ và kém bền khi bị mài mòn, vì vậy cách điện 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, lõi và vỏ ngoài bằng thủy tinh có thành phần và cấu tạo khác nhau, từ đó 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 ; qua nhiều lần phản xạ như vậy, tia sáng 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 chấp 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 μm ; người ta đặt vài chục ngàn sợi thủy tinh như thế vào trong một ống dẫn ánh sáng đường kính khoảng 5 – 6 mm.

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 là không trong suốt, nhưng có đặc tính cách điện và cơ rất tốt.

Quá trình chế tạo các sản phẩm bằng xital như sau :

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.

Các sản phẩm đó được đi qua nhiệt luyện hai cấp : cấp thứ nhất trong nhiệt độ 500° – 700^oC tạo ra mầm kết tinh ; cấp thứ hai trong nhiệt độ 900° – 1100^oC. Đó là thời điểm 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 và có kích thước từ 0,05 đến 1 μm. Độ co khi kết tinh đạt tới 1 – 2%. Những chất kích thích kết tinh được dùng là : TiO_2, FeS, các florua và fotfát của kim loại kiềm thổ. Thành phần cấu tạo của loại xital có chứa TiO_2 vào khoảng như sau : SiO_2 : 40 – 56% ; B_2O_3 : 18 – 30% ; MgO : 5 – 14% ; TiO_2 : 9 – 17%.

Những đặc tính điển hình của xital : khối lượng riêng 2,3 – 3,0 G/cm^3 ; nhiệt độ hóa dẻo ; 1000 – 1450^oC ; $\sigma_{uốn}$ = 1500 – 2600 kG/cm^2 ; nhiệt dẫn suất 0,016 ÷ 0,040 W/cm độ ; $\rho_v = 10^{10} \div 10^{13}$ Ω.cm ; ε = 6 ÷ 7 ; tgδ = 0,01 ở tần số 1 MHz.

9.2.2. Vật liệu cách điện bằng gốm, sứ

Vật liệu gốm là những vật liệu vô cơ, được dùng để sản xuất ra các sản phẩm có hình dáng bất kỳ, sau đó được đưa vào nung ở nhiệt độ cao. Khi nung chất gốm diễn ra quá trình hóa, lý phức tạp làm cho thành phẩm sau khi nung có được những tính chất cần thiết.

Kỹ thuật mạ kim loại lên đồ gốm giúp cho việc 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 loại đất sét đặc biệt, đó 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 (SiO_2) và fenspat để chế tạo ra sứ cách điện.

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. Lớp men bao ở mặt ngoài của sứ ngăn không cho hơi ẩm và nước thấm vào ; 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. Bề mặt của sứ tráng men rất nhẵn nên bụi và các chất bẩn khác ít bám vào, khi mưa sẽ được rửa sạch. Ngoài ra men còn làm giảm 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, đó là những đầu mối phá hủy sứ khi chịu tải trọng cơ học. Do vậy, tráng men lên đồ sứ làm tăng thêm một cách đáng kể độ bền cơ học cho sản phẩm sứ cách điện.

2. Giới thiệu một số cách điện bằng sứ

Vật liệu cách điện bằng sứ rất đa dạng :

– Sứ đường dây gồm có sứ treo dùng cho điện áp cao hơn 35 kV ; sứ đỡ dùng cho điện áp thấp hơn ;

– Sứ trong các trạm điện là các loại sứ đỡ và sứ xuyên ;

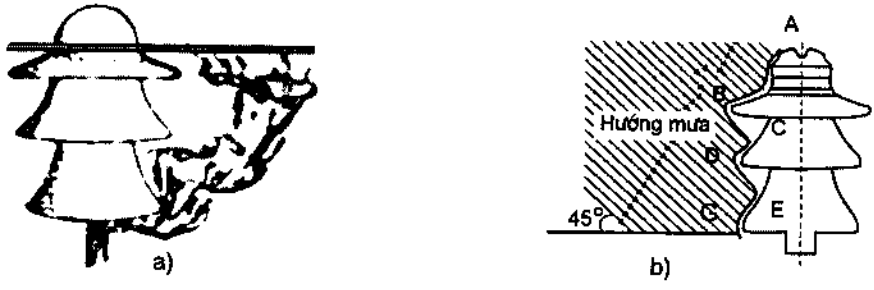
– Sứ tham gia vào kết cấu của các thiết bị như máy biến áp, máy cắt dầu ; dao cách ly, chống sét van ;

– Sứ định vị gồm có các sứ puli ; những linh kiện ở đui đèn trong công tắc, cầu chì, cầu dao, phích cắm, sứ thông tin v.v...

Đặc tính điện quan trọng nhất của sứ cách điện điện áp cao là trị số điện áp phóng điện giữa hai điện cực. Do sứ cách điện có chiều dày lớn và cường độ cách điện cao, nên khó có thể xảy ra phóng điện chọc thủng sứ mà chỉ 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 (hình 9 – 8a). 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 4,5 ÷ 5,5 mm/phút, mưa rơi theo góc 45° so với mặt phẳng ngang của sứ (hình 9 – 8b) (ở 20°C ρ của nước phải nằm trong giới hạn từ 9.10^3 đến 11.10^3 Ω.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%).



Hình 9 – 8. Đường phóng điện khi thử nghiệm phóng điện
a) Khi khô ; b) Khi ướt

Điện áp đánh thủng của sứ phải lớn hơn điện áp phóng điện khô. Người ta xác định điện áp đánh thủng khi nhúng sứ thử nghiệm vào trong dầu cách điện. Khi thử nghiệm sứ treo, cần xác định điện áp đánh thủng cho từng bát sứ một ; điện áp phóng điện khô được xác định cho cả toàn bộ chuỗi sứ.

a) Sứ cách điện đường dây

Khi 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 phần lớn 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 nghiệm quy định được trị số quá điện áp nội bộ tính toán. Trên cơ sở đó sẽ tiến hành chọn cách điện của đường dây.

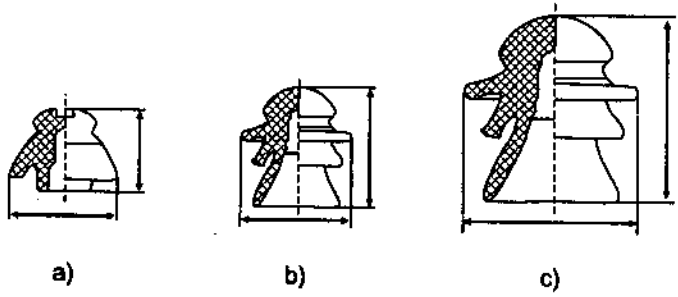
– Đối với yêu cầu của quá điện áp khí quyển, phải giải quyết sao cho hợp lý về kinh tế, kỹ thuật. Các đường dây 110 kV trở lên yêu cầu này dễ dàng thỏa mãn, chỉ cần có các biện pháp bảo vệ chống sét tương đối đơn giản là đủ đảm bảo cho đường dây có mức chịu sét cao. Ngược lại, với đường dây có điện áp từ 35 kV trở xuống, để thỏa 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 để hạn chế sự cố do sét gây ra như : nối đất cột điện, dùng cuộn dập hồ quang v.v...

Cách điện đường dây gồm thành phần điện môi (sứ, thủy 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 35 kV trở xuống thường dùng loại cách điện có chân sắt, đây là loại cách điện đỡ vì dây dẫn được đặt trên cách điện.

Hình 9 – 9 trình bày cấu tạo của cách điện đỡ bằng thủy tinh và sứ.



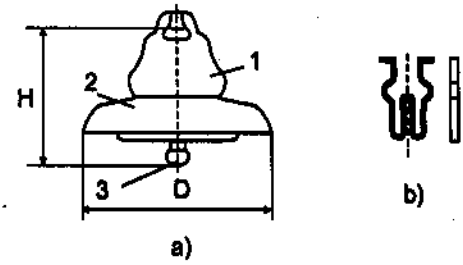
Hình 9 – 9. Sứ đường dây kiểu đứng
a) Sứ ШС – 10 ; b) Sứ ШД – 10 ; Sứ ШД – 20

Bảng 9 – 6

KÍCH THƯỚC HÌNH HỌC VÀ ĐẶC TÍNH ĐIỆN VÀ CƠ CỦA CÁC LOẠI CÁCH ĐIỆN CÓ CHÂN SẮT

Loại cách điện	Kích thước		Độ bền cơ giới đảm bảo khi uốn, kg	Điện áp phóng điện			
				Tần số 50, kV		Xung kích +1,5/40, kVmax	
	H mm	D mm		Khô	Ướt	Ở 2μs	50%
ШС С – 6	94	126	1400	50	28	109	83
ШС – 6 (thủy tinh)	91	126	1300	50	28	–	–
ШД – 6	108	100	1300	52	30	108	75
ШД – 10	110	147	1400	60	34	130	101
ШД – 10 (thủy tinh)	110	150	1800	60	36	–	–
ШД – 10	125	112	1900	62,5	38	117	90
ШД – 20	190	185	3500	68	64	170	132
ШД – 35	270	250	6000	129	95	270	179

b) 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 đó. Hình 9 – 10 mô tả kết cấu cách điện treo.



Hình 9 – 10. Sứ treo
a) Sứ treo ; 1. Mũ sứ ; 2. Sứ cách điện
3. Lõi bằng kim loại; b) Bộ chốt

Mũ sứ và thanh kim loại được chế tạo bằng gang mềm được gắn vào điện môi bằng xi măng poóc 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 vào 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 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 9 – 7 cho kích thước và đặc tính của các loại sứ treo.

Bảng 9 – 7

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
П – 4,5	170	270	6,0	4,5	7,0	110	75	40
ПС – 4,5	120	225	4,0	4,5	9,0	135	75	40
П – 8,5	240	320	12,3	8,5	11,0	125		
ПС – 8,5	160	270	5,5	8,5	15,0	135		
П – 11	215	350	1,2	11	14,5	125		
ПС – 11	170	270	6,9	11	18,0	135		
ПС – 16	190	320	9,0	16	25,0	150		
ПС – 4,5*	130	255	3,0	4,5	7,0	87	62	40

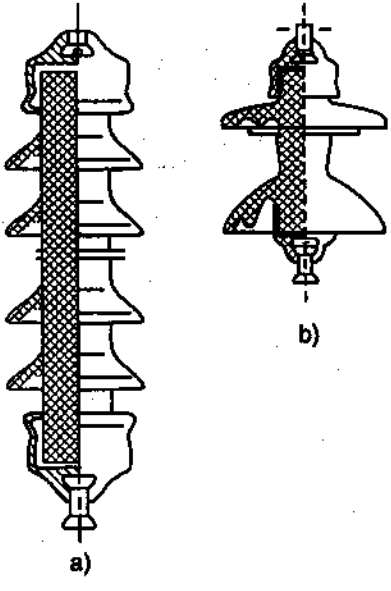
Số lượng bát sứ trong một chuỗi sứ được xác định theo điện áp làm việc của đường dây tải điện. Ví dụ đường dây 110 kV chuỗi sứ có 7 bát, đường dây 220 kV : có 12 – 13 bát. Bảng 9 – 8 cho kết quả chọn cách điện ở các cột trung gian của các đường dây có điện áp từ 35 kV trở lên dùng cột sắt hoặc bê tông.

Bảng 9 – 8

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 П – 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, kVmax	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 được 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 9 – 11). Loại sứ này có một thanh liền bằng sứ trên đó có mũ sứ được gắn bằng xi măng. Nếu dùng ở điện áp 110 kV 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



Hình 9 – 11. Thanh sứ treo đường dây có vỏ hình chuông đơn giản (a) và vỏ hình chuông mở rộng bề mặt (b)

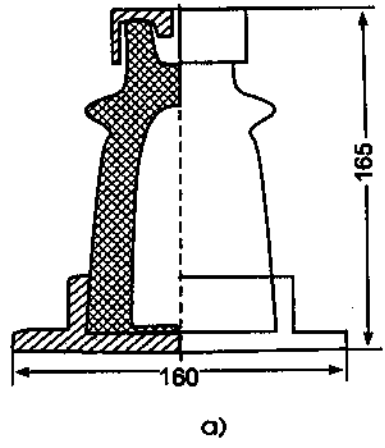
điện compozít có thể dùng cho đường dây cao áp 110 kV, 220 kV có kết cấu đơn giản, gọn và nhẹ hơn nhiều so với sứ và thủy tinh).

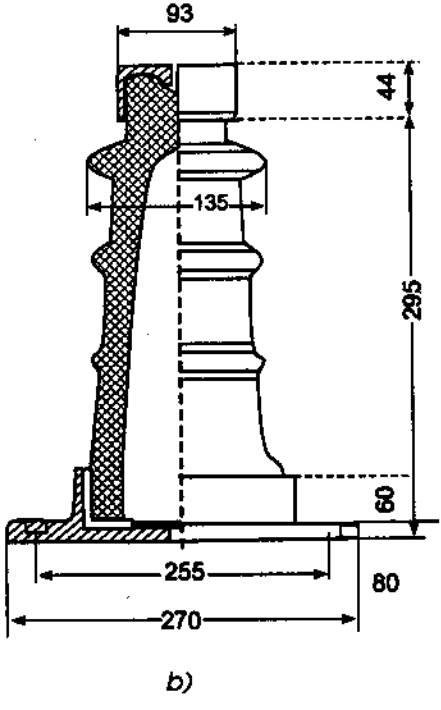
c) Sứ cách điện dùng trong trạm biến áp và nhà máy điện

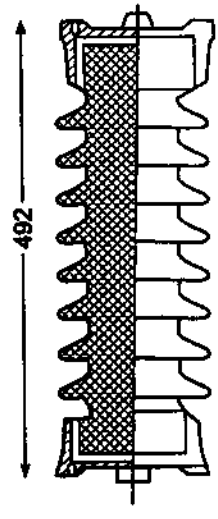
** Cách điện đỡ*

Cách điện đỡ gồm : kiểu thanh và kiểu có chân sắt. Cách điện kiểu thanh dùng trong nhà, điện áp 3 – 10 kV và 35 kV ; là loại sứ đỡ bên trong rỗng theo kết cấu đơn giản nhất (hình 9 – 12). 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, 750 kg, 1250 kg và 2000 kg.

Hình 9 – 12 minh họa cách điện đỡ kiểu thanh.





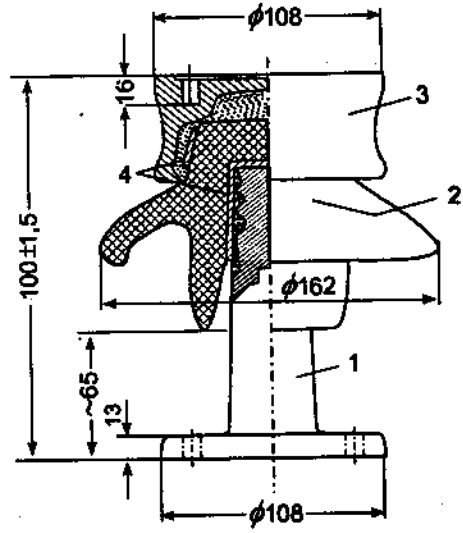


Hình 9 – 12. *Cách điện đỡ kiểu thanh*
a) Điện áp 6 kV (OA – 6) ; b) Điện áp 35 kV dùng trong nhà ;
c) Điện áp 35 kV dùng ngoài trời

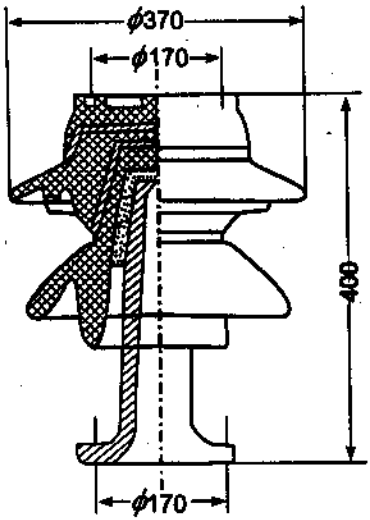
Loại dùng ngoài trời được chế tạo tới điện áp 35 kV (hình 9 – 12c) khi cần dùng ở cấp điện áp cao hơn sẽ phải ghép nối bởi nhiều phần tử điện áp thấp.

** Cách điện đỡ có chân sắt :*

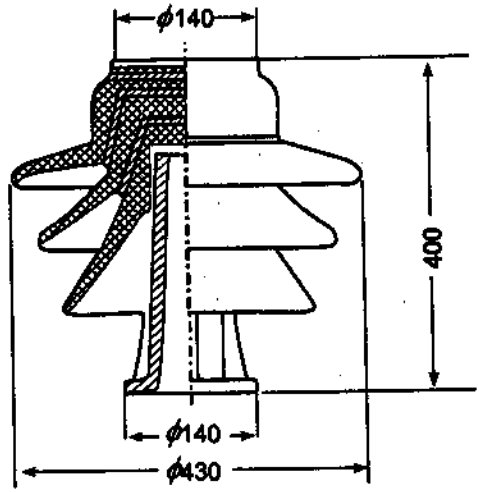
Loại này thường đặt ngoài trời, có kết cấu tương tự với loại có chân sắt của đường dây, chỉ khác là chúng có đai kim loại ở đầu sứ để bắt dây dẫn. Hình 9 – 13 cho cấu tạo và kích thước các loại sứ cách điện có chân sắt 10 kV và 35 kV. Khi dùng ở điện áp 110 kV sẽ ghép nối 3 phần tử 35 kV và ở điện áp 150 kV sẽ ghép 5 phần tử (loại ЩТ – 35).



a)



b)



c)

Hình 9 – 13. *Cách điện kiểu đỡ có chân sắt*

a) Điện áp 10 kV ;

b) ЩТ – 35 ;

c) ИЩД – 35.

Bảng 9 – 9

CÁC ĐẶC TÍNH CỦA CÁCH ĐIỆN ĐỠ CÓ CHÂN SẮT

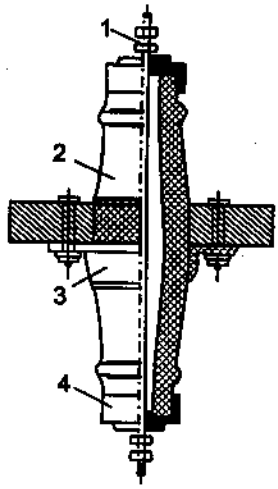
Loại cách điện đỡ	Điện áp định mức, kV	Kích thước (mm)		Độ bền cơ giới đảm bảo chịu uốn/kg	Điện áp phóng điện tần số 50, kV		Điện áp phóng điện xung kích, kVmax	
		Độ cao	Đường kính bé nhất		Khô	Ướt	50%	Tại 2μS
OA – 3	3	135	73	375	43	–	62	88
OA – 6	6	165	86	375	50	–	75	100
OБ – 6	6	185	106	750	55	–	82	108
OB – 10	10	225	130	1250	63	–	105	145
OД – 10	10	235	150	2000	66	–	112	145
ИШД – 10	10	210	250	2000	70	34	125	160
ЩД – 35	35	400	370	1250	140	85	205	270
ИШД – 35	35	400	430	2000	150	88	230	320
3 Ш Т – 35	110	2100	370	300	330	240	575	910
4 ИШД – 35	150	1600	430	325	500	250	700	1180
5 ИШД	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 v.v...

Hình 9 – 14 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 đấu 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 hóa sẽ làm tăng suất điện dung mặt và xúc tiến quá trình phóng điện theo bề mặt sứ (mặt ngoài).



Hình 9 – 14. 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

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 ÷ 3,3 kV/cm.

– Điện trường phóng điện ướt tần số công nghiệp : 2,6 ÷ 2,3 kV/cm.

– Điện trường phóng điện xung kích cực tính dương : trị số bé nhất (50%) : 7 ÷ 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 ÷ 7 kV/cm.

d) Sứ định vị : 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 dùng xăng rửa sạch cẩn thận, đôi khi cần phải dùng đến giấy ráp mịn để đánh nhưng sau khi làm sạch cần bôi vazơlin kỹ thuật lên nơi đã cạo.

c) 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 đây (hiện nay ít dùng sứ này).

3. Điện môi bằng gốm

Sứ được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện, trong các 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.

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 sẽ xét tới một số vật liệu tiêu biểu có tầm quan trọng trong thực tế.

a) *Sứ cao tần và 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 ; của sứ siêu cao tần nhỏ hơn 0,001. Sứ siêu cao tần có độ bền cơ học (độ bền uốn 1500 – 2000 kG/cm^2 ; độ bền kéo đứt 450 – 600 kG/cm^2, độ bền nén 6000 – 8000 kG/cm^2) lớn hơn sứ thông thường rất nhiều.

b) *Aluminôxít* 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}, tgδ nhỏ ; rất bền về cơ học ($\sigma_{kéo}$ = 1000 – 1500 kG/cm^2 ; $\sigma_{nén}$ = 11 000 ÷ 20 000 kG/cm, ứng suất dai va đập 5 – 7 kG.cm/cm^2). Hằng số điện môi ε = 10 và nhiệt dẫn suất của aluminôxít lớn hơn sứ cách điện khoảng 10 – 20 lần.

Ở Mỹ và một số nước sản xuất ra vật liệu "lucalôc" 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 lucalôc khoảng 2000°C.

c) *Steatit* là loại gốm được sản xuất trên cơ sở khoáng hoạt thạch $3MgO.4SiO_2.2H_2O$. Như vậy thông thường gốm chủ yếu là silicát nhôm, còn gốm steatít chủ yếu lại là silicát magiê. Hoạt thạch là loại chất khoáng dễ nghiền nhỏ nên trong sản xuất gốm steatít 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 (~ 2,10^{-4}) và đặc tính cơ tốt ($\sigma_{kéo}$ = 400 – 500 kG/cm^2, $\sigma_{uốn}$ = 1200 – 1600 kG/cm^2 ; $\sigma_{nén}$ = 6000 ÷ 8000 kG/cm^2). Một ưu điểm nữa của steatít 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 tráng) TiO_2.

e) *Rutin* : là một chất kết tinh có hằng số điện môi theo hướng trục kết tinh chính rất cao : $\varepsilon = 173$. 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 của 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 khoảng từ 55 đến 160. Ngoài ra còn sản xuất ra những vật liệu có hằng số điện môi thấp hơn ; $\varepsilon = 12 \div 15$ nhưng ít phụ thuộc vào nhiệt độ.

f) *Gốm xécnhét* là một nhóm vật liệu đặc biệt có hằng số điện môi khá cao nhưng lại biến đổi nhiều khi nhiệt độ thay đổi. Xécnhét 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 trên của gốm xécnhét 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 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 titanatbari.

Một phương pháp tiên tiến mới trong việc sản xuất ra sản phẩm có kích thước chính xác và có thể cơ khí hóa 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 :

– Vật liệu gốm cao tần dùng cho tụ điện

– Vật liệu gốm thấp tần dùng cho tụ điện.

– 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, chia nhỏ chúng ra thành các bậc sau đây :

– Bậc thứ nhất : từ – 60 đến + 85°C

– Bậc thứ hai : từ – 60 đến 125°C

– Bậc thứ ba : từ – 60 đến 155°C

– Bậc thứ tư : từ – 60 đến + 300°C.

Ký hiệu quy ước của vật liệu phải 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 hóa học chịu nóng cao

Một hợp chất có tên gọi là "gốm không ôxy hoá' trong thành phần có các nitrua, sunfua, cácbua khác nhau – đó là những hợp chất của nhiều nguyên tố khác nhau với nitơ, lưu huỳnh và các bon ; ngoài ra còn một số là chất bán dẫn (SiC). Các hợp chất bonitrua (NB), Silic – nitrua (N_4Si_3), nhôm nitrua (NAl) là những điện môi có thể dùng làm vật liệu cách điện có tính chịu nóng cao. Người ta điều chế ra bonitrua (borazon) bằng cách cho amôniac NH_3 tác dụng với B_2O_3 hoặc với BCl_3. Bonitrua 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°C đã bị ôxy hóa ; nước sôi và axít yếu làm phân hủy bonitrua và tạo ra H_3BO_3 và NH_3. Nhiệt độ nóng chảy của bonitrua cao hơn 3000°C.

Ngay trong nhiệt độ cao bonitrua vẫn có đặc tính cách điện cao. Nhiệt dẫn suất của bonitrua ở nhiệt độ 1000°C là ; 0,12 ÷ 0,24 W/cm.độ, cao hơn nhiệt dẫn suất bất kỳ một loại điện môi nào khác.

9.2.3. Mica và các vật liệu trên cơ sở của mica

Mica là vật liệu cách điện vô cơ có tính năng đặc biệt đó là 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 : cách điện của các máy điện cao áp công suất lớn (trong đó có máy phát điện tuabin hơi và tuabin nước cỡ lớn, động cơ điện dùng trong tàu điện, tàu thủy v.v..) 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.

Mica biotít màu đen dễ gãy vụn và không bền, không có tính chất cách điện nên ta không xét đến.

Mica muscôvít 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 ánh, màu nâu, màu đen tuyền, tuy nhiên cũng có khi gặp loại flogopít có màu sáng hơn.

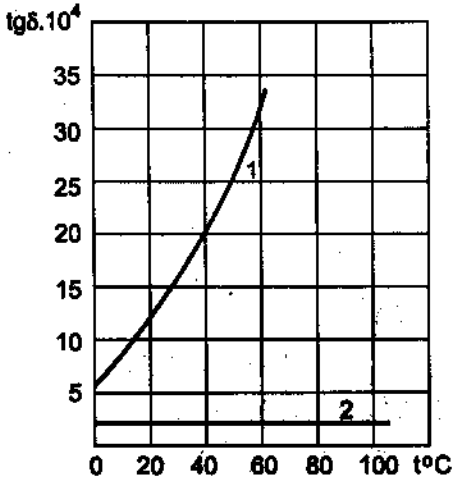
Đặc tính cách điện của mica muscôvít tốt hơn và cao hơn so với flogopít ; ngoài ra nó có độ bền cơ cao hơn, rắn hơn, dễ uốn và co dãn hơn flogopít. Các trị số về khối lượng riêng, ρ, tgδ của muscôvít và flogopít cho trong bảng 9 – 10.

Bảng 9 – 10

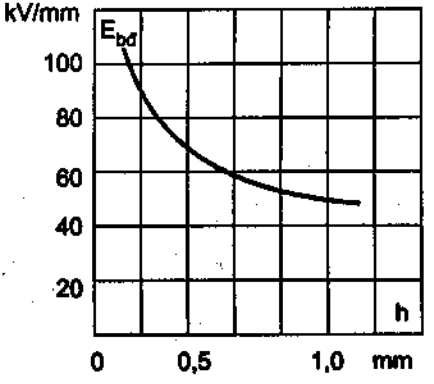
ĐẶC TÍNH CỦA MICA

Loại mica	Khối lượng riêng, G/cm^3	ρ,Ω.cm	tgδ.10^4 ở tần số		
			50 Hz	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 9 – 15 và 9 – 16 biểu diễn mối quan hệ của tgδ vào nhiệt độ và độ bền điện vào chiều dày của tấm muscôvít.



Hình 9 – 15. tgδ của mica muscovít phụ thuộc vào nhiệt độ ở tần số 50 Hz (1) và 2 MHz (2)



Hình 9 – 16. Độ bền điện (trong trường không đồng nhất) của mica muscovít phụ thuộc vào chiều dày

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 10^9 Ωcm ; tgδ ≈ 0,1.

Muscôvít chịu mài mòn tốt hơn flogopít. Điều đó có giá trị quan trọng đối với micanít dùng cho vành góp ; loại micanít được chế tạo bằng muscôvít này

ít bị chổi than của máy điện làm mòn hơn là chất đồng dùng làm vành góp. Loại micanít bằng flogopít dùng cho vành góp cũng bị mài mòn 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 bị kém đi. Mica chỉ bị nấu chảy ra khi ở nhiệt độ 1250 – 1300°C.

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

Mica đã được bóc ra thành bốn nhóm theo chiều dày của chúng :

Nhóm I... 0,01 ÷ 0,02 mm
Nhóm II ... 0,02 ÷ 0,03 mm } 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 chất khoáng lẫn và các chất bẩn, 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 9 – 11).

Bảng 9 – 11

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

Loại mica được sử dụng rộng rãi làm chất cách điện trong máy điện, trong công nghiệp điện và công nghiệp radio là 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 thắp sáng, các vòng đệm dập bằng mica trong các loại khí cụ khác nhau v.v...

1. Micanít

Micanít là loại vật liệu được sản xuất thành từng tấm hoặc từng cuộn do những cánh mica 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. Nền 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. Micanít 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 micanít có một lượng lớn là mica (không nhỏ hơn 50% tính theo trọng lượng) nên micanít 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 micanít chịu nóng (không chứa chất hữu cơ) được xếp vào cấp chịu nhiệt C là mica tinh chất.

a) Mica dùng cho vành góp. Dùng loại micanít 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.

Nhờ có hàm lượng chất dính kết nhỏ và lực nén lớn trong thời gian ép nên loại micanít này có đặc tính cơ tốt, đặc biệt là nó 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.

b) Micanít dùng để lót. Người ta dùng loại micanít này để làm những tấm lót cách điện theo nhiều dạng khác nhau và dùng làm vòng đệm (long đen)...

Micanít dùng cho vành góp và dùng để lót là loại micanít 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) Micanít dùng để tạo hình. Ở nhiệt độ bình thường loại micanít này cũng cứng, nhưng khi được đốt nóng thì có thể dập theo một hình dáng nào đó. Hình dáng này vẫn giữ nguyên hình khi đã nguội. Người ta dùng loại micanít 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.

d) Micafôn là một loại đặc biệt của micanít dùng để tạo hình có một mặt là lớp đệm bằng giấy, bằng vải thủy tinh hoặc bằng mạng thủy tinh. Micafon còn 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.

đ) Micanít mềm. Loại micanít này có thể uốn 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).

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 1/3 cánh 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 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 đệm bằng lụa mỏng hoặc bằng vải thủy tinh. Tất cả các loại băng mica đều là 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, nên bảo quản trong bao bì được bịt kín ; trong môi trường đã bão hòa 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 các dụng cụ nung nóng bằng điện và trong nhiều trường hợp khác, khi cách điện bằng micanít phải làm việc tới nhiệt độ vài trăm độ thì dùng micanít chịu nhiệt loại không chứa các chất hữu cơ. Những lá micanít loại này dày khoảng 0,3 – 1,0 mm, được chế tạo bằng một loại biến thể chịu nhiệt của micaflogrpít, chất kết dính sử dụng vào đây là dung dịch amoni (amofos) ; micanít được nhiệt luyện theo một phương pháp riêng trong quá trình chế tạo. Người ta còn sản xuất một loại micanít chịu nhiệt khác, trong đó thủy tinh dễ nóng chảy được dùng làm chất kết dính.

2. Sludinít

Sluđinít có đặc tính gần giống như mica nhưng ưu việt hơn là toàn bộ bề mặt của lá vật liệu chỗ nào cũng có những tính chất giống nhau, chiều dày lá đồng đều.

Vật liệu sludinít có nhược điểm là tính chịu ẩm và độ dãn 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 bằng các hạt vụn

Mica vụn rửa sạch, 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 thành phôi 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 muscôvít và flogopít 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 sludoplát, 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 tạo ra các chi tiết cách điện cần thiết cho các thiết bị điện.

4. Mica tổng hợp

a) *Thủy tinh mica.* Thủy 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 va 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 thủy tinh tốn nhiều công lao động, đòi hỏi phải có lò điện công suất lớn, máy ép thủy lực và khuôn ép bằng thép không gỉ.

Trong công nghiệp rađiô, thủy tinh mica được dùng để chế tạo để 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. Ngoài ra, nó còn được 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 thủy tinh mica.

Các đặc tính của thủy tinh mica : khối lượng riêng 2,6 – 3,0 G/cm^3, nhiệt độ làm việc cho phép 300 – 350°C ; giới hạn bền kéo 300 – 700 kG/cm^2, $\sigma_{nén}$ = 1000 – 4000 kG/cm^2 ; $\sigma_{uốn}$ = 700 ÷ 1400 kG/cm^2 ; ứng suất dai va đập 2 – 5 kG.cm/cm^2 $\alpha_l = (8 - 9).10^{-6}$ (độ $^{-1}$) ; $\rho_v = 10^{12} \div 10^{14}$ Ω.cm ; $\rho_s = 10^{10} \div 10^{12}$ Ω ; ε = 6 ÷ 8,5 ; $TK_\varepsilon = 3.10^{-4}$ độ$^{-1}$, tgδ (ở 1 MHz) là 0,003 ÷ 0,01. Độ bền điện (ở 50 Hz) là 10 – 20 kV/mm.

Mica thủy tinh chịu được ẩm, nhưng kém bền đối với tác dụng của các axít clohyđric, nitơric, cũng như đối với chất kiềm. Khi thủy tinh mica bị rõ

có khả năng hút ẩm làm cho phẩm chất cách điện bị giảm đi. Người ta còn sản xuất ra thủy tinh mica bằng flogopít 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.

9.2.4. Amiăng và vật liệu có amiăng

1. 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 xenpen tinit) : $3MgO.2SiO_2.2H_2O$.

Giới hạn bền kéo của xơ amiăng là 300 – 400 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 có độ chịu axít 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 $10^{10} \div 10^{12}$ Ω.cm.

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 sợi, 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 chế để không làm giảm tính chịu nhiệt. Cách điện "amiăng đen ta" 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).

2. Ximăng amiăng

Ximăng amiăng được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện, là một chất dẻo được ép nguội. Thành phần chủ yếu là những chất vô cơ, trong đó chất độn là xơ amiăng, còn chất kết dính là ximăng.

Ximăng amiăng được sản xuất ra thành tấm, ống và các sản phẩm theo hình mẫu, có đặc tính cơ không cao lắm nhưng chịu được nhiệt độ cao, chống

được tác dụng của tia lửa điện và hồ quang điện. Vì vậy xi măng amiăng dùng làm bảng phân phối và tấm chắn ngăn cách các buồng dập hồ quang.

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 xi măng amiăng và các sản phẩm khác, mặt khác 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.

9.2.5. Vật liệu xécnhét điện, áp điện và eléctrét

Vật liệu xécnhét điện là loại vật liệu có sự phân cực rất đặc biệt, có các đặc điểm sau :

– 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 xécnhét phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ. Các tính chất xécnhét chỉ có trong một phạm vi nhiệt độ nhất định, khi vượt quá nhiệt độ tới hạn nào đó thì tính chất xécnhét sẽ bị mất đi.

Dưới đây ta đi xét một số đặc tính của loại vật liệu này.

1. Muối xécnhét điện

Muối xécnhét là loại vật liệu có thành phần muối kép của natri cali và axít vinic ($NaKC_4H_4O_6.4H_2O$). Tinh thể của nó có dạng khối lăng trụ, đáy mười cạnh.

Hằng số điện môi của muối xécnhét 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^oC và $+ 22,5^oC$ và tính chất xécnhét chỉ xuất hiện trong phạm vi nhiệt độ ấy ($-15^oC \div 22,5^oC$), ngoài phạm vi nhiệt độ này không phát hiện các tính chất xécnhét.

Muối xécnhét có độ bền cơ không cao, nó hòa tan một phần trong nước. Do tính chất không đẳng hướng nên chỉ có thể gia công (cắt) muối xécnhét

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 xécnhét (xem phần sứ và gốm đã nêu ở trên).

Loại vật liệu gốm titanatbari ($BaTiO_3$) là loại vật liệu có tính chất xécnhét. Titanat bari là loại điện môi đẳng hướng, nghĩa là tính chất xécnhét 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/cm^3, không bị tác dụng của độ ẩm và tính chất của nó cũng không thay đổi sau khi ngâm vào trong nước.

Trong kỹ thuật điện, vật liệu xécnhét 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 xécnhét 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.

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, 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 hóa già nhân tạo ở nhiệt độ cao, làm như vậy sự biến thiên tần số của bộ cộng hưởng thạch anh sẽ không quá 10^{-6}.

4. Êléctret là loại vật liệu sau khi được phân cực sẽ giữ được trạng thái điện hóa trong thời gian dài (tương tự như nam châm vĩnh cửu). Tính chất điện

hóa lâu dài thường thấy trong các điện môi hữu cơ nhưng cũng thấy ở rất nhiều loại vật liệu gốm eléctret và các êlectret đơn tinh thể (lưu huỳnh).

Mật độ điện tích mặt êléctret trong khoảng $10^{-8} + 10^{-10}$ culông/cm^2 và sự phân cực đủ có thể là $10^{-8} + 10^{-5}$ culông/cm^2.

Trong êléctret 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 êléctret thay đổi theo thời gian.

Mặt khác, áp suất và độ ẩm của không khí có ảnh hưởng nhiều đến bề mặt êléctret đã điện hóa.

Điện trở trong các hệ thống eléctret 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.

Êléctret được dùng để chế tạo ra micrôphôn do các chấn động cơ, đo độ bức xạ, đo áp suất khí quyển và độ ẩm, đây là các dụng cụ đo không cần dùng nguồn điện.

9.2.6. Cách điện ôxít và cách điện florua

Một số kim loại khi bị ôxy hóa có thể tạo ra trên bề mặt của chúng một lớp ôxít có tính cách điện.

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.

– 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, trong bộ phóng điện, 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 có khối lượng riêng cao (khoảng 3,2 G/cm^3) và mỏng không quá 1 μm. Người ta thu được nó bằng cách ôxy điện hóa nhôm trong chất điện phân yếu không hòa 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.

Nhược điểm của lớp cách điện bằng ôxít nhôm 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 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 rất cao vì hằng số điện môi của màng ôxít nhôm cao : $\varepsilon = 10$.

Sự ôxy hóa 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 là hợp chất hóa 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 hyđroflorua 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°C trong không khí, còn lại florua đồng khi bị nung quá 250°C trong không khí sẽ gây phản ứng với ôxy tạo thành ôxít đồng (CuO). Mặt khác florua đồng 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.

Câu hỏi chương IX

1. Nêu cấu tạo đặc tính, khả năng ứng dụng của các loại điện môi hữu cơ.
2. Nêu đặc tính, công dụng của một số loại nhựa tổng hợp và nhựa thiên nhiên.
3. Hãy nêu đặc điểm, tính chất, công dụng của các loại điện môi vô cơ.

Phần thứ hai. VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN, VẬT LIỆU BÁN DẪN, VẬT LIỆU TỪ

Chương X

VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN

10.1. 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 trở cao dùng trong các dụng cụ đốt nóng bằng điện, đèn thắp 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, vì vậy các vật liệu này có điện dẫn điện tử hay còn gọi là vật dẫn loại một.

– Vật dẫn loại hai (các chất điện phân) là các dung dịch của axít, bazơ và muối. Cơ cấu của sự dẫn điện loại này là do sự chuyển dịch của các phần 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 cường độ điện trường vượt quá một giá trị giới hạn nào đó đủ gây ion hóa quang và ion hóa

va chạm thì chất khí đó trở thành vật dẫn có điện dẫn ion và điện tử. Khi bị ion hóa 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, cần quan tâm tới các tính chất cơ bản sau :

– Điện dẫn suất hay điện trở suất của vật liệu $\left(\gamma = \frac{1}{\rho}\right)$;

– 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 dãn dài tương đối khi đứt.

* *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 :

$$I = n_o q_e S.v_{tb} \qquad (10-1)$$

trong đó : n_o – là mật độ điện tử tự do của vật dẫn ;

q_e – 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 gọi K – là độ linh hoạt của các điện tử $\left(K = \frac{v}{E}\right)$ thì có biểu thức của định luật Ôm như sau :

$$I = n_o q_e S.K.E \qquad (10-2)$$

$$j = n_o q_e K E ; \qquad j = \gamma.E \qquad (10-3)$$

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 :

$$\rho = R.\frac{S}{l} \qquad (10-4)$$

Đơn vị của điện trở suất là : $\Omega.mm^2/m$. Trong hệ SI điện trở suất có thứ nguyên là Ω.m.

Quan hệ giữa các đại lượng này như sau :

$$1\ \Omega.m = 10^6\ \Omega.mm^2/m = 10^6\ \mu\Omega m$$

$$1\ \Omega.mm^2/m = 1\ \mu\Omega.m.$$

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 10 – 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.

* *Hệ số nhiệt của điện trở suất :*

Điện trở suất của kim loại phụ thuộc vào 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 :

$$\rho_t = \rho_o\,(1 + \alpha_\rho.\Delta t) \qquad (10 - 5)$$

Bảng 10 – 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/cm³	Nhiệt độ nóng chảy, °C	Nhiệt dung riêng, W/(m.độ)	Nhiệt dẫn riêng, W/(m.độ)	Hệ số nhiệt độ dãn nở dài, $\alpha_l.10^6$, độ$^{-1}$	Điện trở suất, $\Omega.mm^2/m$	Hệ số nhiệt điện trở suất, độ$^{-1}$, α_ρ	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	21	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
Zirconi	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	72	11.9	0.11	0.0038	4.82

Bảng 10-1 (tiếp theo)

Kim loại	Khối lượng riêng, g/cm^3	Nhiệt độ nóng chảy, ^oC	Nhiệt dung riêng, W/ (m.độ)	Nhiệt dẫn riêng, W/ (m.độ)	Hệ số nhiệt độ dãn nở dài, $\alpha_l.10^6$,độ$^{-1}$	Điện trở suất, $\Omega.mm^2/m$	Hệ số nhiệt điện trở suất, độ$^{-1}$, α_p	Công thoát điện tử, eV
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	–
Inđi	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

ở đây : ρ_t – điện trở suất của vật liệu đo ở nhiệt độ t^o

ρ_o – điện trở suất ở nhiệt độ ban đầu (t_o)

α_p – 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.

* *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 Viđeman Frautx, giữa nhiệt dẫn suất và điện trở suất có quan hệ với nhau theo công thức sau :

$$\frac{\lambda_u}{\gamma} = aT \qquad (10-6)$$

Hệ số a đối với đa số kim loại giống nhau :

$$a = 3\left(\frac{k}{e}\right)^2 = 2{,}23.10^{-8} \qquad (10-7)$$

nếu $K = 1{,}38.10^{-23}$ J/độ và $e = 1{,}6.10^{-19}$ C

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 10 – 2.

Bảng 10 – 2

HẰNG SỐ VIĐEMAN FRAUTX CỦA MỘT SỐ KIM LOẠI

Kim loại	$a.10^8$ $w^2/độ^2$	Kim loại	$a.10^8$ $w^2/độ^2$
– Nhôm	2,5	– Chì	2,1
– Đồng	2,5	– Thiếc	2,25
– Bạc	2,6	– Platin	2,35
– Kẽm	2,9	– Sắt	2,45

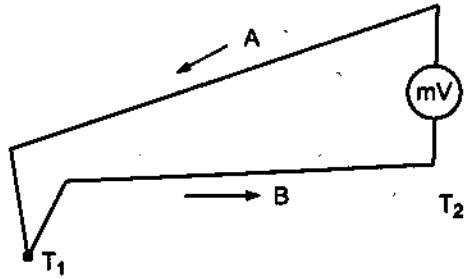
* *Sức nhiệt động.* Khi cho hai kim loại khác nhau tiếp xúc thì giữa chúng phát sinh hiệu điện thế. Nguyên nhân sinh ra hiệu điện thế tiếp xúc là do công thoát điện tử của kim loại khác nhau (xem bảng 10 – 1), đồng thời do số điện tử tự do khác nhau mà áp lực khi điện tử ở kim loại khác nhau có thể không giống nhau. Theo thuyết điện tử, hiệu điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại A và B bằng :

$$u_{AB} = u_B - u_A + \frac{KT}{e}\ln\frac{n_{oA}}{n_{oB}} \qquad (10-8)$$

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 dao động trong phạm vi từ vài phần mười von 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 10 – 1) thì trong trường hợp này sẽ phát sinh sức nhiệt điện động (s.n.đ.đ).



Hình 10 – 1. Sơ đồ cấu tạo cặp nhiệt điện

$$u = u_{AB} + u_{BA} =$$

$$= u_B - u_A + \frac{KT_1}{e}\ln\frac{n_{oA}}{n_{oB}} + u_A - u_B + \frac{KT_2}{e}\ln\frac{n_{oB}}{n_{oA}} \qquad (10-9)$$

Từ đó ta có :

$$u = \frac{K}{e}(T_1 - T_2)\ln\frac{n_{oA}}{n_{oB}} = A(T_1 - T_2) \qquad (10-10)$$

Biểu thức nhận được (10 – 10) chứng tỏ s.n.đ.đ là hàm số của hiệu nhiệt độ.

Người ta dùng hai dây dẫn có s.n.đ.đ. 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.đ.đ nhỏ đối với đồng để không gây ra sai số khi đo. Có những cặp nhiệt ngẫu đổi dấu sđđ trong quá trình đốt.

* *Hệ số nhiệt độ dãn nở dài của vật dẫn kim loại*

Hệ số dãn nở nhiệt theo chiều dài của vật dẫn kim loại :

$$\alpha_l = TK_l = \frac{1}{l_t}\frac{dl}{dT} \ (\text{độ}^{-1}) \qquad (10-11)$$

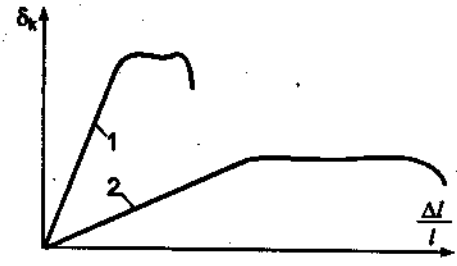
Trong kỹ thuật cần phải chú ý đến hệ số α_l để tính toán hệ số nhiệt độ của vật dẫn :

$$\alpha_R = \alpha_\rho - \alpha_l \qquad (10-12)$$

Giữa các trị số của hệ số dãn 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 10 – 1).

* *Tính chất cơ học của vật dẫn :* Thông thường đặc tính cơ được đặc trưng bằng giới hạn bền kéo và độ dãn dài tương đối khi đứt $\Delta l/l$.

Trên hình 10 – 2 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,đường thứ hai ứng với dây đã được ủ. Ảnh hưởng của



Hình 10 – 2. Quan hệ giữa ứng suất cơ khi kéo dây dẫn với độ dãn dài tương đối.
1. Dây sản xuất bằng cách kéo nguội ;
2. Dây đã được ủ

việc ủ dây làm giảm giới hạn bền kéo 1,5 ÷ 2 lần và tăng độ dãn dài tương đối khi đứt lên 15 – 20 lần.

10.2. 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)

Đồng được sử dụng rộng rãi làm vật dẫn bởi nó có các ưu điểm sau :

– Điện trở suất nhỏ (trong tất cả các kim loại chỉ có bạc có điện trở suất nhỏ hơn đồng một ít) ;

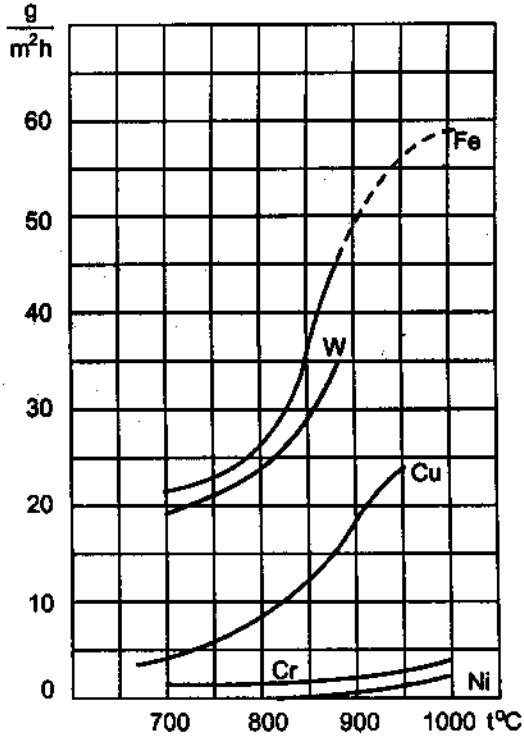
– Độ bền cơ tương đối cao ;

– Trong nhiều trường hợp đồng có tính chất chống ăn mòn tốt (đồng bị ôxy hóa tương đối chậm so với sắt ngay cả khi có độ ẩm cao ; đồng chỉ bị ôxy hóa mạnh ở nhiệt độ cao (hình 10 – 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.

Khi chế tạo dây dẫn, thỏi đồng lúc đầu được cán nóng thành dây có đường kính 6,5 – 7,2 mm, sau đó dây được rửa sạch 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.



Hình 10–3. Quan hệ giữa tốc độ ôxi hoá với nhiệt độ của sắt, vonfram, đồng, crôm, niken (trong không khí)

Đồng tiêu chuẩn là đồng ở trạng thái ủ, ở 20^oC có điện dẫn suất 58 $m/\Omega.mm^2$, nghĩa là $\rho = 0,017241\ \Omega.mm^2/m$. Người ta thường chọn số liệu này làm gốc để đánh giá điện dẫn suất của các kim loại và hợp kim khác.

– Tính chất cơ của dây dẫn bằng đồng cho trong bảng 10 – 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.

Bảng 10 – 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 38 $m/\Omega.mm^2$
Độ dãn 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	$\Omega.mm^2/m$	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, phốtpho, beri, crôm, magiê, cađmi 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/mm^2 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.

Tính chất một số hợp kim đồng sử dụng trong kỹ thuật điện cho ở bảng 10 – 4.

Bảng 10 – 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 dãn dài tương đối khi đứt, %
Đồng thanh cadmi (0,9% Cd)	ủ kéo nguội	95 83 ÷ 90	Đến 31 Đến 73	50 4
Đồng thanh (0,8%Cd, 0,6% Sn)	ủ kéo nguội	55 ÷ 60 50 ÷ 55	29 đến 73	55 4
Đồng thanh (2,5%Al ; 2% Sn)	ủ kéo nguội	15 ÷ 18 15 ÷ 18	37 đến 97	45 4
Đồng thanh phốt pho (7% Sn, 0,1%P)	ủ kéo nguội	10 ÷ 15 10 ÷ 15	40 105	60 3
Đồng thau (70%Cu, 30% Zn)	ủ kéo nguội	25 25	32 ÷ 35 đến 88	60 ÷ 70 5

3. Nhôm

Sau 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, tính chất vật liệu và hóa học cho ta khả năng dùng nó làm dây dẫn điện.

Nhôm có màu bạc trắng là kim loại tiêu biểu cho các kim loại nhẹ (nghĩa là kim loại có khối lượng nhỏ hơn 5 G/cm^3). Khối lượng riêng của nhôm đúc gần bằng 2,6 G/cm^3, nhôm cán là 2,7 G/cm^3, nhẹ hơn đồng 3,5 lần. Hệ số nhiệt độ dãn nở dài, nhiệt dung và nhiệt độ nóng chảy của nhôm đều lớn hơn đồng.

Ngoài ra nhôm còn có một số ưu, nhược điểm sau :

Nhược điểm :

– Cùng một tiết diện và độ dài, nhôm có điện trở cao hơn đồng 1,63 lần.

– Khó hàn nối hơn đồng, chỗ nối tiếp xúc không hàn dễ hình thành lớp ôxít có điện trở cao, phá hủy chỗ tiếp xúc.

– Khi cho nhôm và đồng tiếp xúc nhau, nếu bị ẩm sẽ hình thành pin cục bộ có trị số suất điện động khá cao, dòng điện đi từ nhôm sang đồng phá hủy mối tiếp xúc rất nhanh.

Ưu điểm :

– Giá thành hạ ;

– Trọng lượng nhẹ nên được dùng để chế tạo các đường dây tải điện trên không ; những đường cáp này để có điện trở nhỏ, đường kính dây càng phải lớn nên giảm được hiện tượng phóng điện vầng quang.

Nhôm tinh khiết có thể thay thế chì để làm vỏ cáp.

* *Các nhãn hiệu của nhôm :* Nhôm sử dụng trong kỹ thuật điện có tạp chất trong thành phần không quá 0,5%, được kí hiệu Al. Nhôm tinh khiết hơn với nhãn hiệu là AB00 (không quá 0,03% tạp chất) được sử dụng để sản suất nhôm lá, các điện cực và vỏ tụ điện điện phân. Nhôm có độ tinh khiết cao hơn nữa là AB000 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 magan.

Công nghệ gia công nhôm như cán, kéo và ủ cũng tương tự như đối với đồng. Nhôm có thể cán thành lá rất mỏng từ 6 – 7 μm dùng làm cực bản trong các tụ điện giấy.

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 $\Omega.mm^2/m$), còn loại thép là sắt với tạp chất cácbon và một số chất khác 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 ÷ 0,15% cácbon, giới hạn bền kéo 70 – 75 kG/mm^2, độ dãn dài tương đối khi đứt ; 5 – 8%, điện dẫn suất nhỏ hơn đồng sáu – bảy 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 bề cơ của nó.

Thép cũng dùng làm vật liệu dẫn điện dưới dạng thanh dẫn, đường ray tàu 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 – 150 kG/mm^2 và độ dãn dài tương đối 4 – 5%.

Nhược điểm của thép là khả năng chống ăn mòn kém ngay 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.

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 dẫn điện khác trong thiết bị phân phối chế tạo bằng vật liệu lưỡng kim.

10.3. 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 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 ôxít ;

– 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 phôi từ bột vonfram dưới áp lực lớn, thiêu kết trong khí hyđrô để có độ bền tốt nhưng lại xốp, sau đó thấm bạc hay đồng nóng chảy để tăng điện dẫn.

2. Môlípđen

Môlípđen là kim loại, nhìn bề ngoài cũng gần giống như vonfram. Môlípđen dùng nhiều trong kỹ thuật chân không ở nhiệt độ thấp hơn so với vonfram. Các chi tiết nung bằng môlípđen phải làm việc trong chân không hay trong môi trường khử.

Các đặc tính cơ bản của môlípđen cho trong bảng 10 – 1.

Trong công nghiệp môlípđen dùng nhiều nhất là loại M4 – môlípđen tinh khiết và MK – môlípđen có pha kiềm silic. Môlípđen MK có độ bền cơ cao ở nhiệt độ cao. Môlípđen được dùng làm tiếp điểm điện. Để phân biệt môlípđen với vonfram cần dựa vào khối lượng riêng : môlípđen 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 môlípđen. Hiện tượng này được giải thích là sự ôxy hóa môlípđen 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 15 kG/mm^2, độ dãn 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. Vàng là vật liệu quý hiếm, đắt tiền nên trong kỹ thuật chỉ sử dụng khi rất cần thiết.

4. Bạc

Bạc là kim loại có màu trắng không bị ôxy hóa 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 20 kG/mm^2, độ dãn 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 có độ ẩm và nhiệt độ cao, bạc có khuynh hướng chui vào bên trong điện môi mà nó được gắn vào. Độ bền hóa 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 ôxy và rất bền vững đối với thuốc thử hóa học. Bạch kim rất dễ gia công cơ khí, kéo thành sợi mảnh và tấm

mỏng. Giới hạn bền kéo sau khi ủ khoảng 15 kG/mm^2 ; độ dãn 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).

Sợi platin đặc biệt mảnh, đường kính gần 0,001 mm, dùng để treo hệ thống động trong các đồng hồ điện và các dụng cụ đo có độ nhạy cao.

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 – inđi, nó không bị ôxy 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 với các chất phụ silic, măngan v.v...

Niken không những được dùng trong kỹ thuật điện chân không, mà 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 hóa bề mặt.

Chì có điện trở suất cao. 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, axít clohyđric, axít sunfuaric và một số hóa chất khác. Tuy nhiên axít nitơric và axít axêtic, các chất hữu cơ mục nát, vôi và một vài hợp chất khác lại phá hủy 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 và các hợp chất của nó rất độc. Hiện nay vỏ chì của các sản phẩm cáp được thay thế bằng chất dẻo polivinilclorua.

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/mm^2.

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 được dùng làm lớp mạ bảo vệ, có thành phần trong đồng thau và điện cực pin. Ngoài ra kẽm 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 khuyếch tán trong chân không ở nhiệt độ khoảng 600°C.

10. Cađmi

Cađmi là kim loại màu trắng bạc. Cađmi luôn có trong quặng kẽm và được điều chế như một sản phẩm phụ của kẽm, sau đó được tinh chế bằng điện phân.

Cađmi được dùng trong kỹ thuật điện chân không để sản xuất tế bào quang điện. Cađmi có trong thành phần của nhiều loại thuốc hàn, đồng thanh dùng trong sản xuất pin và dùng làm chậm trong lò phản ứng hạt nhân.

11. Thủy ngân

Thủy ngân là kim loại duy nhất ở trong trạng thái lỏng khi nhiệt độ bình thường.

Thủy ngân được dùng làm catốt lỏng trong chỉnh lưu thủy ngân, trong đèn thủy ngân và 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. 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 chú ý đến an toàn.

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.

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.

* Chất hàn mềm là hợp kim chì – thiếc có từ 18% đến 90% thiếc, điện dẫn suất các chất hàn có trị số từ 9 đến 13% điện dẫn suất của đồng tinh khiết, hệ số dãn nở dày bằng $(26 - 27).10^{-6}$ độ$^{-1}$.

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 cađmi, 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 trong bảng 10 – 5.

13. Chất giúp chảy

Vật liệu phụ để mối hàn được đảm bảo gọi là chất giúp chảy, chúng cần phải :

– Hòa 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 hóa ;

– Giảm lực căng mặt ngoài chất hàn nóng chảy ;

– Cải thiện tính chảy và dính của chất hàn với bề mặt được hàn.

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

1. *Chất giúp chảy hoạt tính hay chất giúp chảy axít*

Thành phần cơ bản của chúng là chất hoạt tính, đó là axít clohyđric, các hợp chất florua và clorua của các kim loại v.v... Các chất giúp chảy này hòa 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 mạnh chất hàn 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.

Bảng 10 – 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, ^oC	
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 – 227	Đồng, hợp kim của đồng, bạc, sắt mạ kẽm
Chất hàn chì – thiếc – cađmi	Từ ПОСК – 47 đến ПОСК – 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 – cađmi	$ПС_pK$	Sn – 30%, Pb – 63% Cd – 5%, Ag – 2%	–	–	225	Như trên
Hợp kim Vuđ	–	Sn – 12,5%, Pb – 25%, Cd – 11,5%, Bi – 50%	–	–	60,5	Sử dụng trong trường hợp mối hàn cần nhiệt độ hàn đặc biệt thấp.
Chất hàn thiếc – cađmi – kẽm	–	Sn – 40 – 55% Cd – 20%, Zn – 25% Al – 15%	–	–	200 – 250	Nhôm và các hợp kim của nó
Chất hàn đồng – kẽm	ПМЦ – 36 ПМЦ – 54	Cu – từ 36 đến 54% Zn – còn lại	7,7 – 8,3	– 22	825 – 860	Đồng, đồng hợp kim, thép
Chất hàn đồng – bạc – kẽm	Từ $ПС_p$ – 25 đến $ПС_p$ – 70	Cu – từ 26 đến 40% Ag – từ 25 đến 70% Zn – từ 4 đến 35%	8,9 – 9,8	28 – 35	720 – 765	Đồng, và hợp kim của nó, bạc, platin, vonfram, thép

2. Chất giúp chảy không có axít – Loại này có nhựa thông và những chất giúp chảy gốc nhựa thông cùng với những chất phụ không hoạt tính như cồn, glyxêlin.

3. Chất giúp chảy hoạt hóa gồm các chất giúp chảy mà thành phần chủ yếu là nhựa thông và các chất hoạt hóa phụ như một lượng nhỏ axít nitơric, axínitơrít điêtital... nhờ hoạt tính cao, chất giúp chảy hoạt hóa cho phép hàn sau khi khử hết dầu mỡ mà không cần khử ôxi.

4. Chất giúp chống gỉ

Thành phần chủ yếu của nó là axít phôtphoric, với các hợp chất hữu cơ và dung môi phụ khác nhau, cũng có các chất chống gỉ thành phần chủ yếu là các axít hữu cơ. Phần sót lại của các chất giúp chảy này không gây ăn mòn.

10.4. 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_ρ càng nhỏ càng tốt. Hợp kim làm dụng cụ đốt nóng bằng điện cần chịu đựng được nhiệt độ làm việc lâu dài trong không khí khoảng 1000°C.

Ngoài ra hợp kim phải chế tạo được dây dẫn mảnh, trong các dụng cụ đo điện, đường kính dây dẫn chỉ vài phần trăm milimét. Các hợp kim dùng trong các dụng cụ thông dụng như biến trở, bếp điện, mỏ hàn v.v.. cần phải rẻ tiền. Trong các hợp kim dùng vào các mục đích kể trên thì phổ biến nhất là loại hợp kim gốc là đồng (Cu) : maganin và conxtantan, ngoài ra còn dùng hợp kim crôm – niken, sắt – crôm làm gốc với chất phụ là nhôm.

Những đặc tính cơ bản của hợp kim điện trở cao cho trong bảng 10 – 6.

2. Hợp kim làm cặp nhiệt điện

Để sản xuất cặp nhiệt điện ta dùng các hợp kim sau :

1. Copen (56% Cu và 44% Ni).

2. Alumen (95% Ni còn lại là Al, Si và Mg).

3. Crômen (90% Ni và 10% Cr).

Bảng 10 – 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, Ω.mm^2/m	α_ρ độ$^{-1}$	s.n.đ.đ. với đồng, μV/độ	Nhiệt độ làm việc cho phép, ^oC	Giới hạn bền kéo, kG/mm^2	Độ dãn 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:														
$X_{15}H_{60}$	–	1,5	55–61	15–18	–	còn lại	8,2–8,3	1,0–1,2	(1÷2).10^{-4}	–	1000	65–70	25–30	Hợp kim "nicrom"
$X_{20}H_{80}$	–	1,5	75–78	20–23	–	còn lại	8,4–8,5	1,0–1,1	(1÷2).10^{-4}	–	1100			
Hợp kim crom – nhôm														
$X_{13}IO_4$	–	0,7	0,6	12–15	3,5–5,5	còn lại	7,1–7,5	1,2–1,35	(1÷12). 10^{-4}	–	850	~70	~20	Hợp kim "fecran" và "croman"
$X_{25}IO_5$	–	0,7	0,6	23–27	4,5–6,5	còn lại	6,9–7,3	1,3–1,5	6,5.10^{-5}	–	1200	~80	10–15	

4. Platinorođi (90% Pt và 10% Rh).

Các cặp nhiệt điện được sử dụng để đo ở các nhiệt độ sau :

* Platinorođi – platin – đến 1600°C ;

* Đồng – conxtantan và đồng – côpen – đến 350°C ;

* Sắt – conxtantan ; sắt – côpen 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.

10.5. 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 nói để tạo điện trở biến đổi theo áp lực của âm thanh. Từ than có thể làm các điện trở có trị số cao, cầu phóng điện cho mạng thông tin, trong kỹ thuật điện chân không. Bảng 10 – 7 giới thiệu một số đặc tính cơ bản của điện cực than.

Bảng 10 – 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 hóa	2	0,03 – 0,3	20 – 50	60 – 70	15

Các đặc tính quan trọng của chổi than với các kí hiệu khác nhau cho trên bảng 10 – 8. Than bột dùng trong ống nói 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.

Bảng 10 – 8

Các đặc tính	Loại chổi than				
	T và УГ	Г	ЭГ	M và МГ	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, $\Omega.mm^2/m$	18 – 60	10 – 46	10 – 45	0,05 – 1,2	0,5 – 0,9

Câu hỏi chương X

1. Nêu tính chất cơ bản của vật liệu dẫn điện, giải thích cụ thể từng tính chất đó.
2. Nêu các ưu, nhược điểm của một số vật liệu có điện dẫn cao và ứng dụng của chúng trong kĩ thuật.

Chương XI

VẬT LIỆU BÁN DẪN

11.1. 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. Bảng 11 – 1 cho biết trị số điện trở suất của vật dẫn, bán dẫn và điện môi khi phân loại vật chất kỹ thuật điện.

Bảng 11 – 1

ĐIỆN TRỞ SUẤT CỦA CÁC LOẠI VẬT LIỆU KỸ THUẬT ĐIỆN Ở 20°C, ĐIỆN ÁP MỘT CHIỀU

Loại vật liệu	ρ, Ω.cm	Số bậc trị số của ρ	Dấu α_ρ 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	$10^{+9} \div 10^{+18}$	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... Vì vậy tính chất điều khiển được điện dẫn là cơ sở của nguyên lý làm việc các nhiệt điện trở (tecmisto), quang điện trở, điện trở phi tuyến (varisto), điện trở cảm biến v.v..

Chất bán dẫn có hai loại điện dẫn là điện dẫn "điện tử" (n) và điện dẫn "điện tử – lỗ" (p), nên 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 hệ thống điều khiển đó 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, khuyếch đại và phát sóng.

Các hệ thống bán dẫn có thể dùng để biến đổi các dạng năng lượng khác thành năng lượng điện 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 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 điểm catôt trong đèn inhitron để đo cường độ từ trường (hiệu ứng Holl), 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 hóa học và bán dẫn phức tạp (bán dẫn gốm). Hiện tại đã nghiên cứu bán dẫn thủy tinh và bán dẫn lỏng.

Tất cả các loại bán dẫn đơn giản cho trong bảng 11 – 2. Các chất giécmani, silic và sêlen có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong kỹ thuật hiện đại.

Bán dẫn hợp chất hóa học là hợp chất của các nguyên tố thuộc các nhóm khác nhau trong bảng tuần hoàn Mendêléép tương ứng với dạng tổng quát $A^{IV}B^{IV}$ (SiC) $A^{III}B^{V}$ (*InSb, GaAs...*) $A^{II}B^{VI}$ (*CdS, ZnSe...*) và một vài ôxít (CuO) 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 cácbit 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 các ưu điểm sau :

– Thời gian làm việc lâu dài ;

– Kích thước và trọng lượng nhỏ ;

– Cấu trúc đơn giản và chắc chắn, độ bền cơ tốt (chịu đựng được chấn động rung và va đập).

– 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 ;

– Có thể sản xuất hàng loạt theo dây truyền tự động hóa, đem lại hiệu quả kinh tế cao.

11.2. Điện dẫn của bán dẫn

11.2.1. Các bán dẫn thuần

Theo lý thuyết phân vùng năng lượng của vật chất, bề rộng vùng cấm của các chất bán dẫn có trị số khoảng 1 ÷ 3 eV. Trong bảng 11 – 2 đưa ra số liệu bề rộng vùng cấm của một số chất bán dẫn.

Bảng 11 – 2

CÁC NGUYÊN TỐ BÁN DẪN VÀ BỀ RỘNG VÙNG CẤM

Nguyên tố	Thuộc nhóm (bảng tuần hoàn Menđeléép)	Bề rộng vùng cấm, eV
Bo	III	1,1
Silíc	IV	1,12
Giécmani	IV	0,72
Phốtpho	V	1,5
Asen	V	1,2
Lưu huỳnh	VI	2,5
Sêlen	VI	1,7
Telua	VI	0,36
Iốt	VII	1,25

Theo sơ đồ năng lượng của bán dẫn, tương ứng với nhiệt độ T nào đó ở vùng dẫn đã có một vài điện tử chuyển qua và tạo nên vùng hóa 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 :

$$n_{oi} = P_{oi} \; ; \; n_{oi} + P_{oi} = 2n_{oi} \qquad (11 - 1)$$

Chỉ số i ở nồng độ điện tử và lỗ trống – kí hiệu các hạt mang điện của bán dẫn thuần. Trong trường hợp này, điện dẫn suất bằng :

$$\gamma = en_{oi}u_n + eP_{oi}u_p \qquad (11 - 2)$$

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 :

$$n_{oi} = 2N_{td}e^{-\frac{\Delta W}{2KT}} \qquad (11 - 3)$$

và nồng độ lỗ trống sẽ bằng :

$$P_{oi} = 2N_{ht}e^{+\frac{\Delta W}{2KT}} \qquad (11-4)$$

Ở đây Δw_- bề rộng vùng cấm của bán dẫn ; N_{td}, N_{ht} – số mức trong đơn vị thể tích của bán dẫn trong vùng tự do (vùng dẫn) và vùng hóa 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 (11 – 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.

11.2.2. 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 bán dẫn hợp chất hóa 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 nứt 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 vào dải dẫn hoặc lấy điện tử từ vùng hóa trị của chất bán dẫn – đây là tạp chất cho và nhận.

Hạt mang điện có nồng độ lớn hơn trong chất bán dẫn gọi là hạt mang điện cơ bản, hạt có nồng độ nhỏ hơn là không cơ bản. Như vậy, trong bán dẫn loại n, điện tử là hạt mang điện cơ bản, lỗ mang điện không cơ bản. Trong bán dẫn loại p thì hạt dẫn điện cơ bản là lỗ, 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.

11.2.3. Tạp chất thế

Giécmani và silíc là các nguyên tố thuộc nhóm IV trong bảng tuần hoàn Menđêlêép có cấu trúc kim cương, mỗi nguyên tử được bao quanh bởi bốn nguyên tử lân cận ; cấu trúc có liên kết cộng hóa 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. Điện tử hóa 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 hóa học và hóa trị), thì hệ thống liên kết hóa trị ở nút đó của tinh thể bị phá hoại.

Các nguyên tố 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 InSb, thì Pb là tạp chất cho, nhưng thay thế nguyên tử Sb trong mạng AlSb, nó là tạp chất nhận. Sự thay thế của các nguyên tố trong thành phần hợp chất bán dẫn bằng các nguyên tố khác (cũng trong các nhóm III và V) không gây sự biến đổi rõ rệt về điện dẫn của các bán dẫn này.

11.2.4. 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. Việc đưa nguyên tử Li có kích thước lớn vào giữa các nút sát nhau của mạng Ge chỉ có thể thực hiện sau khi ion hóa nó do sự liên kết yếu điện tử hóa 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 ôxi 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 Ge 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.

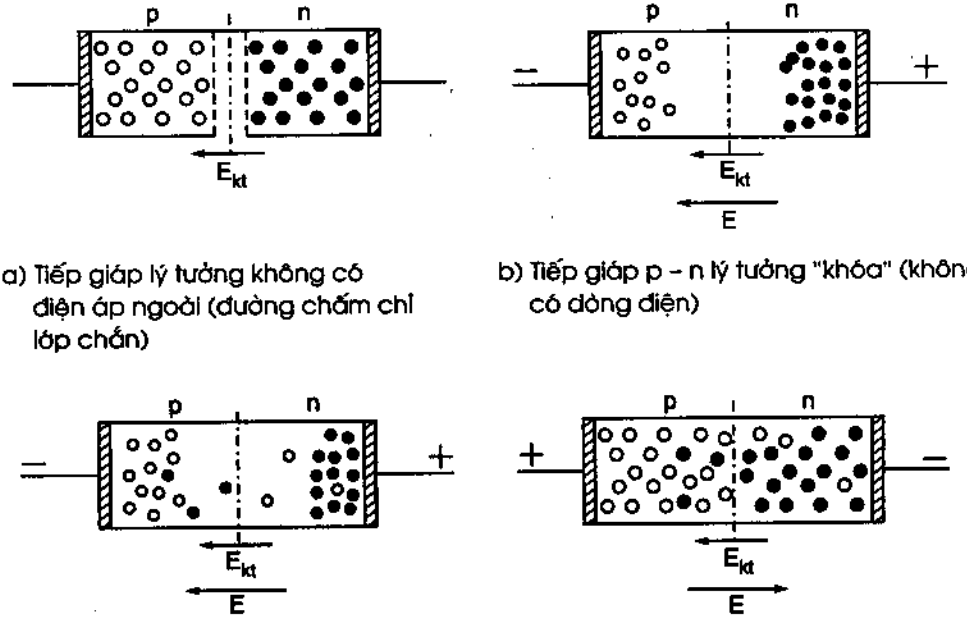
Nguyên tử kim loại chỉ có thể đưa vào giữa các nút khít nhau của mạng ion trong trường hợp kích thước của chúng được giảm rất nhiều bằng cách loại bớt điện tử lớp ngoài cùng. Các điện tử ấy tạo nên điện dẫn loại n.

Các ion của nhiều á kim có bán kính lớn không thể đưa vào giữa các nút ion của hợp chất được.

11.3. 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 11–1. Hình 11–1, minh họa phiến bán dẫn có một nửa là bán dẫn loại p, còn nửa kia là loại n. Từng nửa một hoàn toàn trung hòa 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.



a) Tiếp giáp lý tưởng không có điện áp ngoài (đường chấm chỉ lớp chắn)

b) Tiếp giáp p – n lý tưởng "khóa" (không có dòng điện)

b') Qua tiếp giáp có dòng điện "thuận" trị số lớn

c) Tiếp giáp p – n thực khi "khóa" có dòng điện ngược do các hạt không cơ bản

Hình 11 – 1. Nguyên lý chỉnh lưu dòng điện xoay chiều bằng tiếp giáp p – n

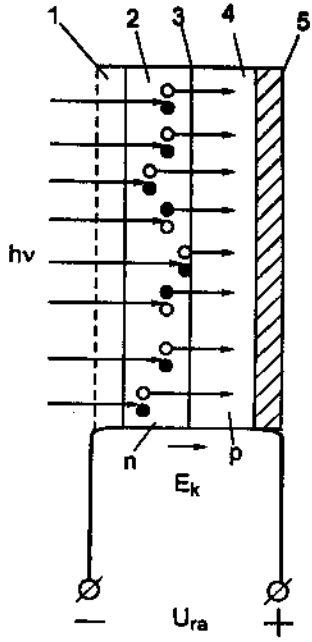
Vì nồng độ điện tử tự do trong vùng n lớn hơn vùng p và nồng độ lỗ thì ngược lại, dưới tác dụng nhiệt một số điện tử khuếch tán sang vùng p, một số lỗ sang vùng n. Lúc này trong vùng p ở gần tiếp giáp tích điện âm, còn vùng n ở gần tiếp giáp tích điện dương và tạo nên trường khuếch tán (Hình 11–1,a),

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 11 – 1, b). Khi thay đổi cực tính điện áp ngoài, trường ngoài có chiều ngược với trường khuếch tán, tiếp giáp bão hòa điện tích, điện trở của nó giảm đột ngột, nghĩa là sẽ có dòng điện một chiều trị số lớn chạy qua nó (hình 11 – 1,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 11 – 1,b' có vẽ trường hợp khi tiếp giáp khóa 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.



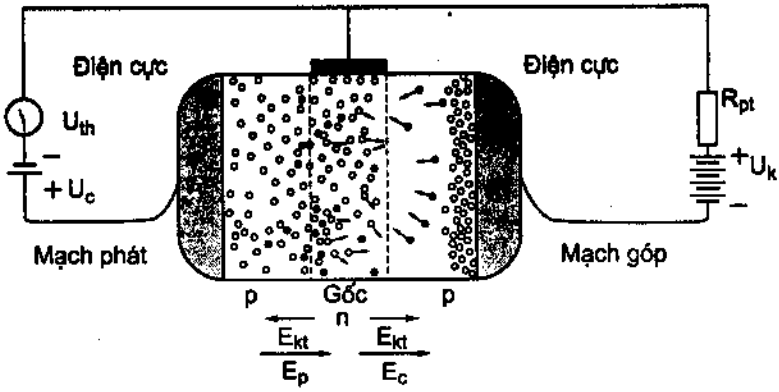
Hình 11 – 2. Sơ đồ hình thành sức quang điện động khi chiếu sáng tiếp giáp p – n

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

Khi chiếu ánh sáng lên tiếp giáp p – n như trên hình 11 – 2, các lượng tử phát xạ năng lượng hv 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). Do vậy, điện cực (5) tích điện dương, điện cực (1) tích điện âm. Hệ thống này gọi là tế bào quang điện bán dẫn có lớp chắn.

Tranzito (triot 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 11 – 3. Sơ đồ nguyên lý triốt mặt p – n – p

Hình 11 – 3 vẽ sơ đồ nguyên lý triốt p – n – p. Bán dẫn loại n như Ge được làm nóng chảy giữa hai lớp kim loại, ví dụ inđi (có hóa 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 khóa của tiếp giáp p – n điện trở phụ tải R_{pt}. Dòng điện chạy trong mạch này tạo bởi các phần 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 11 – 3). 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 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 mối 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 ; sự giảm nhiệt độ mối hàn nguội so với mối hàn nóng có thể tới vài chục độ.

11.4. Một số nguyên tố có tính chất bán dẫn dùng trong kỹ thuật

11.4.1. Giécmani

Kết quả điều chế hóa học nguyên liệu ban đầu cho ta tetraclorua giécmani ; tiếp tục điều chế thành điôxyt giécmani (GeO_2) dưới dạng bột trắng. Điôxít giécmani được khử trong lò hyđrơ ở nhiệt độ 650 – 700°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 axít và đúc thành thỏi. Giécmani thỏi dùng làm nguyên liệu để điều chế giécmani đặc biệt tinh khiết 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.

Nhưng tính chất vật lý của giécmani cho trong bảng 11 – 3.

Bảng 11 – 3

TÍNH CHẤT CỦA GE VÀ SI

G	Đơn vị đo	Giécmani	Silic
Trọng lượng nguyên tử	–	72,6	28,06
Thể tích nguyên tử	–	13,5	11,7
Thông số mạng	A°	5,66	5,42
Khối lượng riêng ở 20°C	g/cm^3	5,3	2,3
Hệ số nhiệt độ dãn nở dài (0 – 100°C)	$độ^{-1}$	$6,0.10^{-6}$	$4,2.10^{-6}$
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	$3,04.10^3$	$46,3.10^3$
Hệ số sức căng bề mặt (ở nhiệt độ nóng chảy)	din/cm	600	720

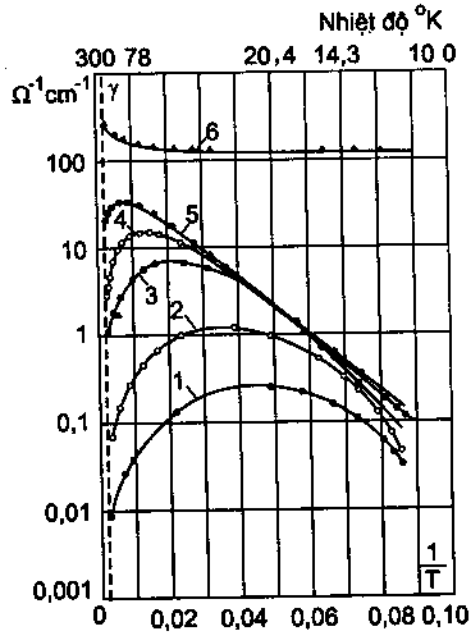
Bảng 11–3 (tiếp theo)

Tính chất	Đơn vị đo	Giécmani	Silic
Điện trở suất riêng ở 20°C	Ωcm	68	~ 200000
Nồng độ riêng các hạt dẫn cơ bản	cm^{-3}	$2,5.10^{13}$	$\sim 10^{10}$
Bề rộng vùng cấm	eV	0,72	1,12
Độ linh động của điện tử	$cm^2/V.s$	3960	1400
Độ linh động của lỗ trống	"	1900	500
Công thoát điện tử	eV	4,8	4,3
Thế ion hóa 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

Hình 11 – 4 biểu diễn sự quan hệ giữa 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, hình vẽ còn cho ta thấy khi nồng độ tạp chất lớn (đường 6) sẽ có bán dẫn thoái hóa.

Sự phụ thuộc của quang điện dẫn vào bước sóng của giécmani cho trên hình 11 – 5. Quang điện dẫn lớn nhất đạt được ở bước sóng 1,3 – 1,5 μm trong vùng tia hồng ngoại, khi bước sóng lớn năng lượng lượng tử không đủ để kích thích quang điện dẫn và giécmani cho dải sóng điện từ này đi qua hoàn toàn.

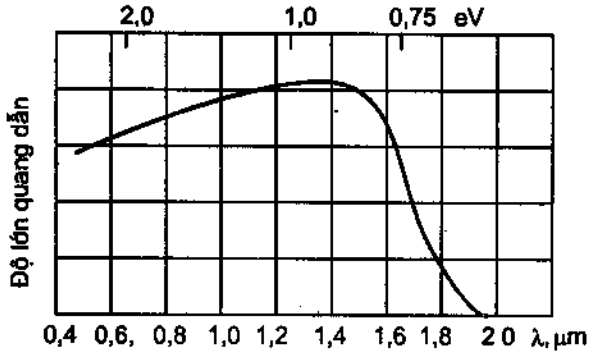
Giécmani được dùng để sản xuất chỉnh lưu dòng điện xoay chiều với các công suất khác



Hình 11 – 4. 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) 8.10^{12} cm^{-3} ; 2) 8.10^{13} cm^{-3} ;
3) $1,2.10^{15}$ cm^{-3} ; 4) 7.10^{15} cm^{-3} ;
5) 6.10^{16} cm^{-3} ; 6) 8.10^{16} cm^{-3}.

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, nhân đôi đại lượng trong các dụng cụ tính toán kỹ thuật v.v...



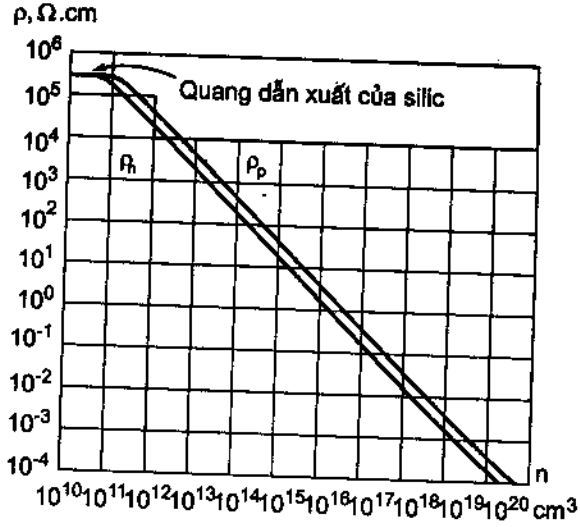
Hình 11 – 5. Sự phụ thuộc của quang điện dẫn Ge vào quang phổ

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 gần 0,5 μs (micro 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°C ; khi nhiệt độ tăng gần giới hạn trên thì dòng điện thuận chiều trong điốt tăng lên hai lần, dòng điện ngược chiều tăng ba lần. Khi làm lạnh đến –60°C được dòng điện thuận chiều 70 – 75%. Dụng cụ giécmani cần được bảo vệ chống ẩm của không khí.

11.4.2. Silic (Si)

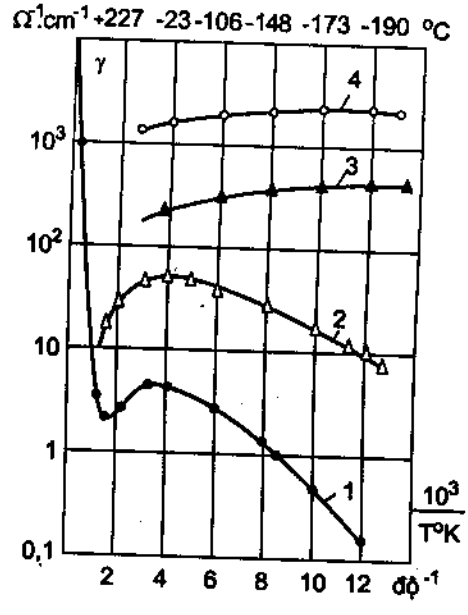
Silic thường được điều chế bằng cách khử têtraclorua silic bằng hơi kẽm ($SiCl_4$ là chất lỏng bay hơi mạnh) ở nhiệt độ 1000°C trong môi trường kín. Quá trình gia công tiếp theo silic giống như giécmani, nhưng gặp nhiều khó khăn hơn vì nhiệt độ nóng chảy của silic cao hơn nhiều so với giécmani và gần với nhiệt độ hóa mềm của thủy tinh thạch anh. Ngoài ra silic gây phản ứng với cácbon, vì thế ở vùng nóng chảy không đặt thuyền grafít mà phải đặt thẳng đứng mẫu. Khi nóng chảy theo vùng thì phần dưới không bị tách khỏi phần trên, vì sức căng bề mặt lỏng của silic lớn.



Hình 11 – 6. Quan hệ của điện trở suất silic điện tử và lỗ trống với nồng độ hạt dẫn điện

Điện dẫn của silic cũng như giécmani phụ thuộc rất nhiều vào tạp chất chứa trong nó. Hình 11 – 6 cho quan hệ giữa điện trở suất của silic điện tử và lỗ trống với nồng độ hạt dẫn điện. Hình 11 – 7 cho quan hệ giữa điện trở suất của silic điện tử với nhiệt độ. Đường cong của silic có điện dẫn lỗ trống cũng có dạng tương tự.

Silic được dùng để sản xuất dụng cụ bán dẫn tương tự như giécmani : điốt, triốt, tế bào quang có lớp chắn, cảm biến hiệu ứng Holl v.v... Giới hạn nhiệt độ làm việc của các dụng cụ silic kể trên phụ thuộc vào mức thuần khiết của vật liệu, có thể đến 120 – 200°C hoặc cao hơn nhiều so với giécmani.



Hình 11 – 7. Quan hệ của điện dẫn suất silic loại n với nhiệt độ. Nhiệt độ trong phòng mẫu có nồng độ phốt pho là :

1) $1,7.10^{16}$ cm^{-3} ; 2) $2,7.10^{17}$ cm^{-3} ;

3) $4,7.10^{18}$ cm^{-3} ; 4) $4,7.10^{19}$ cm^{-3}.

11.4.3. Selen

Selen là nguyên tố ở nhóm VI bảng tuần hoàn Menđêlêép 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, tinh thể, màu sắc khác nhau.

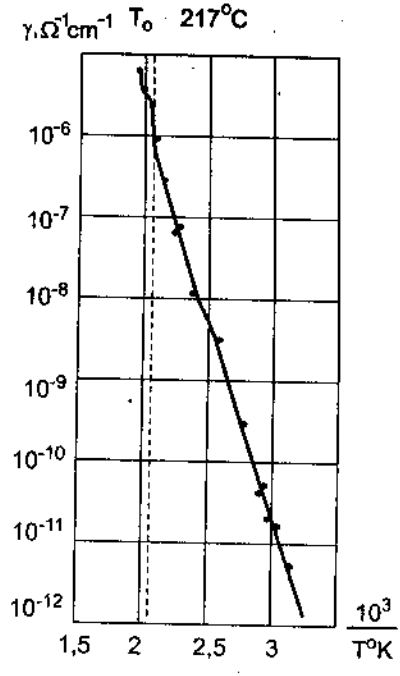
Selen tinh thể màu xám cấu tạo sáu cạnh, có các tính chất nêu trong bảng 11 – 4. Từ bảng 11 – 4 ta thấy điện trở suất của selen dao động trong phạm vi rất rộng, nó phụ thuộc vào loại nồng độ tạp chất, nhiệt độ và độ chiếu sáng.

Bảng 11 – 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^oC
– Độ cứng	–	2	Theo thang đo khoáng vật
– Nhiệt độ nóng chảy	^oC	217 – 220	
– Hệ số nhiệt độ dãn nở dài	$độ^{-1}$	50.10^{-6}	Trong khoảng từ 20 ÷ 100^oC
– Nhiệt dung riêng	J/g.độ	0,33	Trong khoảng từ 15 ÷ 217^oC
– Nhiệt dẫn riêng	W/cm.độ	0,004	
– Nhiệt nóng chảy	J/g	64,2	
– Nhiệt bay hơi	,,	881	
– Nhiệt độ sôi	^oC	680 – 690	Theo các số liệu nghiên cứu khác nhau
– Hệ số sức căng bề mặt	din/cm	105,3	ở 220^oC
– 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^oC
– 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	,,	$\sim 5.10^{-3}$	
– Nồng độ lỗ trống	cm^{-3}	3.10^{14}	
– Thế ion hóa sơ cấp	V	9,75	

Quan hệ giữa điện trở suất của selen tinh khiết với nhiệt độ được minh họa trên hình 11 – 8.

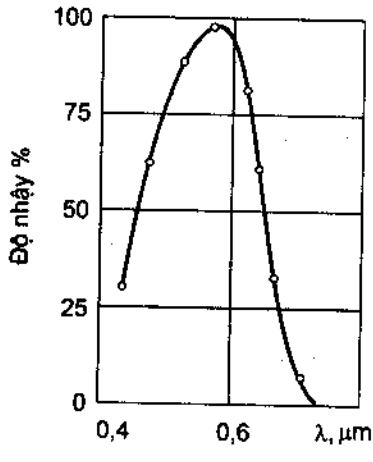


Hình 11 – 8. Quan hệ giữa điện dẫn suất của selen tinh khiết với nhiệt độ

Nồng độ các tạp chất halôgen (clo, brom, iốt) nhỏ hơn 5.10^{-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, tạo ra selen tinh thể có tính dẫn điện thuận chiều thỏa mãn yêu cầu. Trên bề mặt lớp selen (dày 30 – 80 μm) đặt điện cực thứ hai bằng hợp kim của bismút, cađmi và thiếc có nhiệt độ nóng chảy 105 – 110°C, sau đó gia công bằng điện để tạo ra lớp selua cađmi bán dẫn loại n. Lớp chắn của chỉnh lưu selen chính là lớp giới hạn giữa selen và selua cađmi. 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.



Hình 11 – 9. 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 11 – 9) và có thể bằng 50 μA/μm. Hình 11 – 9 cho ta thấy tế bào selen có độ nhạy nằm trong phần hẹp của quang phổ nhìn thấy. Hiệu suất tế bào quang selen nhỏ gần 0,2%.

11.5. Các hợp chất hóa học bán dẫn và các vật liệu dẫn suất 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 dùng làm vật liệu kỹ thuật điện.

11.5.1. Cácbít silic

Đây là hợp chất của các nguyên tố nhóm IV trong bảng tuần hoàn Menđêlêép là silic và các bon ($A^{IV}B^{IV}$) theo công thức SiCx ($x \approx 1$). Cácbít 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.

Cácbít silic kỹ thuật được sản xuất trong các lò điện khi khử điôxít silic (cát thạch anh) bằng các bon. 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 μm.

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.

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 varixto 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..

Varixto 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.

Sự hóa 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.

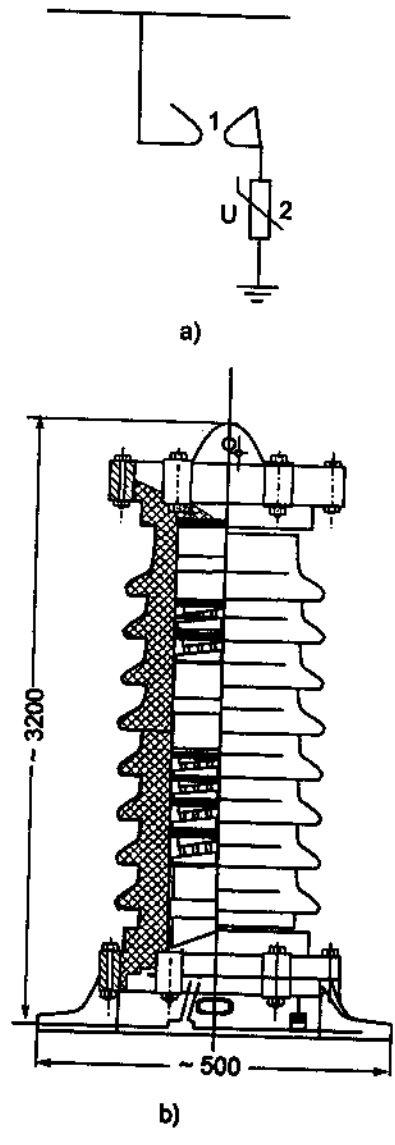
Varixto dùng trong chống sét van được sản xuất thành tấm có đường kính từ 40 đến 150 mm, bề dày từ 10 đến 50 mm. Varixto làm bằng cácbit silic có chất kết dính là đất sét gọi là tirit ; nếu dính kết bằng thủy tinh lỏng gọi là vilít.

Chống sét van là bộ phóng điện có một hay nhiều khe hở phóng điện lắp nối tiếp với varixto (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 thể hiện trên hình 11 – 10. Khi có sóng quá điện áp trên đường dây thì khe hở bị phóng điện chọc thủng, các đĩa varixto 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 μs (micrô 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 varixto 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.



Hình 11 – 10. Sơ đồ nguyên lý (a) và dạng bên ngoài (b) của chống sét van.

Varixto có thể sản xuất dạng *rông đen* và xếp thành cọc. Chúng có thể mắc nối tiếp hoặc song song. Ngoài ra varixto còn sản xuất thành từng thanh, loại này có điện áp làm việc cao hơn.

Các điện trở phi tuyến – varixto được sản xuất với điện áp từ 3 đến 1500 V, dòng điện làm việc từ 0,1 đến 1000 mA, hệ số phi tuyến từ 2 đến 7 và công suất tổn hao từ 0,1 đến 200 W.

Hiện nay, trong kĩ thuật varixto được sử dụng rộng rãi, 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... varixto cũng được dùng rộng rãi trong máy tính.

11.5.2. 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 fotfua, asenua và antimonua là các chất được nghiên cứu nhiều nhất và có công nghệ sản xuất cũng không phức tạp lắm.

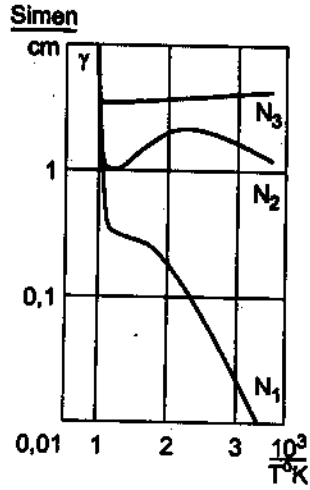
Sau đây sẽ nghiên cứu một vài vật liệu quan trọng nhất.

1. Galiasenua

Hợp chất này có vùng cấm lớn hơn giécmani và silic. Độ linh hoạt điện tử cao hơn giécmani và silic, độ linh hoạt lỗ trống thì xấp xỉ như silic. Đối với hợp chất thì kẽm, cađmi, đồng là các chất nhận, mức của những chất này nằm cao hơn giới hạn trên vùng hóa trị từ 0,08 đến 0,37 eV. Lưu huỳnh, selen, telua cũng như các nguyên tố trong nhóm IV bảng tuần hoàn Menđêlêép, 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 hòa bởi vì chúng đưa vào mạng cặp nguyên tử thay thế cả Ga và As.

Hình 11 – 11 biểu diễn mối quan hệ của điện dẫn suất gali asenua loại p có nồng độ tạp chất khác nhau với nhiệt độ. Theo mức tăng của nồng độ tạp chất vật liệu chuyển sang trạng thái có đặc tính như bán dẫn thoái hóa.

Galiasenua 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 11 – 11. Quan hệ giữa điện dẫn suất của galiasenua loại p có nồng độ tạp chất khác nhau ($N_3 > N_2 > N_1$) với nhiệt độ

2. Antimonua Inđi thu được bằng cách nấu chảy theo tỉ lượng inđi và antimoan tinh khiết cao. Vật liệu thu được phải làm sạch theo phương pháp phân vùng chảy, đơn tinh thể thu được bằng cách kéo.

Inđi antimonua 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 suất điện động Holl và các bộ lọc quang học. Ngoài ra, InSb dùng làm máy phát nhiệt điện, máy làm lạnh.

11.5.3. 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 (Bi_2S_3) và cađmi 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.

– Cađmi 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 11 – 6.

Bảng 11 – 6

TÍNH CHẤT CỦA CÁC SUNFUA

Hợp chất	Bề rộng vùng cấm, eV	Độ linh hoạt điện tử, cm^2/V.giây	Nhiệt độ nóng chảy, ^oC
PbS	0,37	400	1114
Bi_2S_3	1,25	–	685
CdS	2,1	200	1750
Cu_2O	0,22 ÷ 0,39	–	–
ZnO	3,2	100 ÷ 1000	–
TiO_2	3	1	–

Các đặc tính cơ bản của điện trở quang ϕCK – 1 và ϕCK – 2 cho trong bảng 11 – 7.

Bảng 11 – 7

CÁC ĐẶC TÍNH CƠ BẢN CỦA CÁC ĐIỆN TRỞ QUANG

Các tính chất	Đơn vị đo	Trị số		Chú thích
		ϕC–K–1	ϕC–K–2	
Diện tích làm việc	mm^2	28,8	28,8	
Dòng điện khi độ chiếu sáng 200*lx*	μA	1500	600	với điện áp ϕC–K–1 – 50V ϕC–K–2 – 100V
Dòng điện khi tối	μA	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, báo tín hiệu ánh sáng, báo hiệu khi có khói và kiểm tra mức đốt cháy nhiên liệu, dùng trong các 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 dòng điện 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 đồng cũng là một loại sunfua phát quang điện. Bề rộng vùng cấm của ZnS gần 3,6 eV, vì thế nó gần như điện môi.

2. Các ôxit

Đồng ôxít (Cu_2O) có màu đỏ thẫm chỉ có thể là bán dẫn loại p. Đồng ôxít kết tinh dạng lập phương. Điện dẫn của đồng ôxít 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 hóa với bề mặt bị phủ một lớp ôxit đồng. Khi chế tạo chỉnh lưu ôxit đồng thì lấy một phiến đồng bằng đồng đỏ đặc biệt tinh khiết đem đặt vào trong lò có môi trường ôxy hóa 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 ôxít ; bên trong màu đỏ thẫm (Cu_2O) và bên ngoài màu xám tối (CuO) có điện dẫn nhỏ được khử bằng cách tẩy, 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 ôxy hóa yếu để tạo tiếp xúc. Phiến đồng này mắc vào mạch dòng điện xoay chiều có thể làm chỉnh lưu. Đồng ôxít giáp với đồng gốc gồm có loại tạp chất đồng "cho" nghĩa là bán dẫn tạp loại n ; sau đó đến lớp ôxít đồng tinh – lớp khóa, lớp dày nhất là lớp ôxít thừa ôxy là tạp chất "nhận" tạo thành lớp bán dẫn loại p.

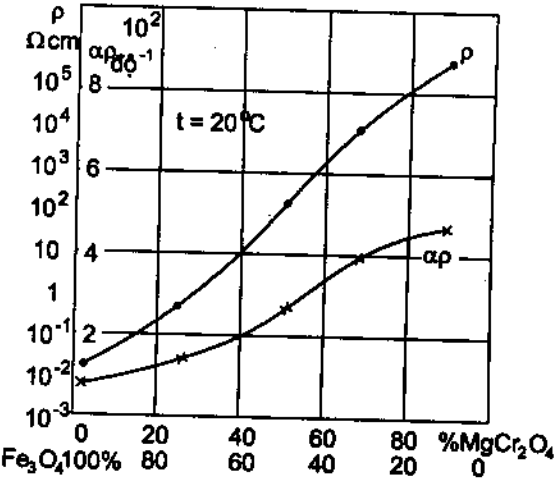
Mật độ dòng điện thuận chiều cho phép đối với chỉnh lưu ôxít đồng có thể bằng 100 mA/cm^2 ; điện áp ngược lớn nhất không được quá 8V nghĩa là thấp nhất trong các loại chỉnh lưu đã nghiên cứu.

Các chỉnh lưu đồng ôxít 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 ôxít đồng hóa già, thể hiện ở sự giảm trị số dòng điện thuận.

Sự hóa già của các chỉnh lưu mới điều chế đặc biệt mạnh, vì vậy trước khi dùng cần hóa già nhân tạo ở nhiệt độ tăng cao với mục đích tăng tính ổn định khi lắp đặt vào thiết bị làm việc.

* Các loại ôxít bán dẫn khác nhau như : kẽm ôxít (ZnO), đioxit khử không hoàn toàn TiO_2. Kẽm ôxít với lượng kẽm thừa so với thành phần hợp thức là bán dẫn tạp loại p.

Ngoài những ôxít đơn giản, trong thực tế còn sử dụng hệ ôxít 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 $MgO.Cr_2O_3$ với hàm lượng các thành phần (Hình 11 – 12).



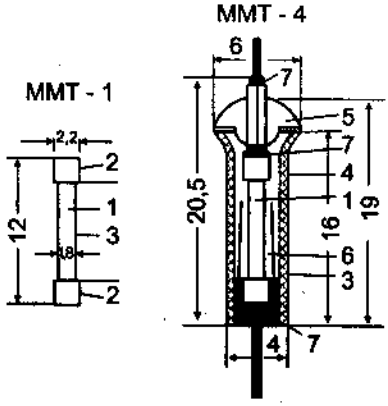
Hình 11 – 12. Quan hệ của điện trở suất và hệ số nhiệt của ôxít bán dẫn phức tạp với hàm lượng các thành phần ở 20°C.

Hình 11 – 12 cho ta thấy giá trị điện trở suất của các mẫu này khi thay đổi hàm lượng ôxít có thể khác nhau hàng triệu lần ; và giá trị ρ càng lớn thì α_ρ cũng càng cao.

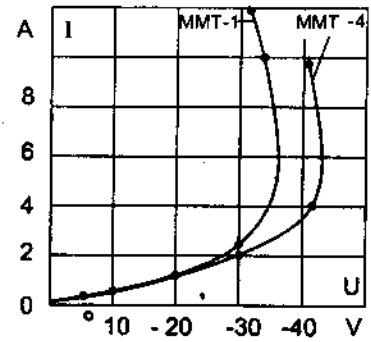
Các ôxít bán dẫn dùng để chế tạo nhiệt điện trở, chỉnh lưu (TiO_2) và các thiết bị khác.

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.

Có thể lấy nhiệt điện trở đồng – mãngan MMT – 1 và MMT – 4 làm ví dụ cho loại điện trở nhiệt. Cấu tạo của nó biểu diễn trên hình 11 – 13 ; đặc tính Von–Ampe của MMT biểu diễn trên hình 11 – 14.



Hình 11 – 13. 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 11 – 14. Đặc tính Von–Ampe của các nhiệt điện trở MMT – 1 và MMT – 4 lấy trong không khí yên tĩnh ở 20°C.

Điện trở nhiệt MMT – 1 là loại làm việc ở chỗ kín khô, loại 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 200000Ω 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 từ $-100^{o}C$ đến $120^{o}C$. 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 kĩ 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 nhánh hệ số dương của các phần tử nhiệt, dung môi rắn 0,25 PbS. 0,5 PbSe. 0,25 Pb.Te ; 0,3 PbS. 0,7 PbSe v.v... dùng để chế tạo nhánh hệ số âm của phần tử nhiệt.

Câu hỏi chương XI

1. Nêu khái niệm chung về bán dẫn.
2. Trình bày đặc tính của loại bán dẫn thuần, bán dẫn tạp.
3. Nêu tính chất vật lí của một số nguyên tố có tính chất bán dẫn dùng trong kĩ thuật.

Chương XII

VẬT LIỆU TỪ

12.1. Khái niệm chung về tính chất từ của vật liệu từ tính

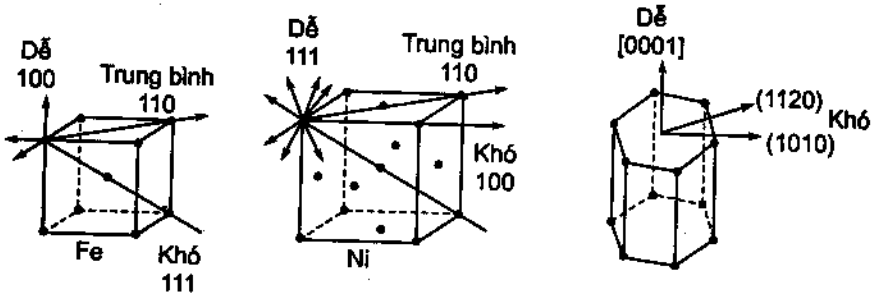
Vật liệu từ tính như các chất sắt từ và hợp chất hóa học ferít là loại có giá trị lớn trong kĩ thuật điện. Nguyên nhân chủ yếu gây nên từ tính của vật liệu là do các điện tích luôn luôn chuyển động ngầm theo các quỹ đạo kín tạo nên những dòng điện vòng. Cụ thể hơn đó là sự quay của các điện tử xung quanh 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.

Tính chất đặc trưng cho trạng thái sắt từ của các chất là có độ nhiễm từ tự phát ngay khi không có từ trường ngoài. Mặc dù trong chất sắt từ có những vùng từ hóa 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 $10^{-2} - 10^{-6}$ cm^3, 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 hóa dị hướng nghĩa là theo các trục khác nhau mức từ hóa khó hay dễ cũng khác nhau. Hình 12 – 1 biểu diễn hướng từ hóa dễ, trung bình và khó trong các đơn tinh thể của ba nguyên tố sắt từ cơ bản : sắt, niken và côban. Hình 12 – 1 cho thấy hướng từ hóa 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 là hướng khó từ hóa.

Trong trường hợp các chất sắt từ đa 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 kĩ thuật để nâng cao đặc tính từ của vật liệu theo hướng xác định.



Hình 12 – 1. Hướng từ hóa dễ và khó trong đơn tinh thể
a) Sắt ; b) Niken ; c) Coban

Quá trình từ hóa 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 véctơ mômen từ hóa 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 hòa.

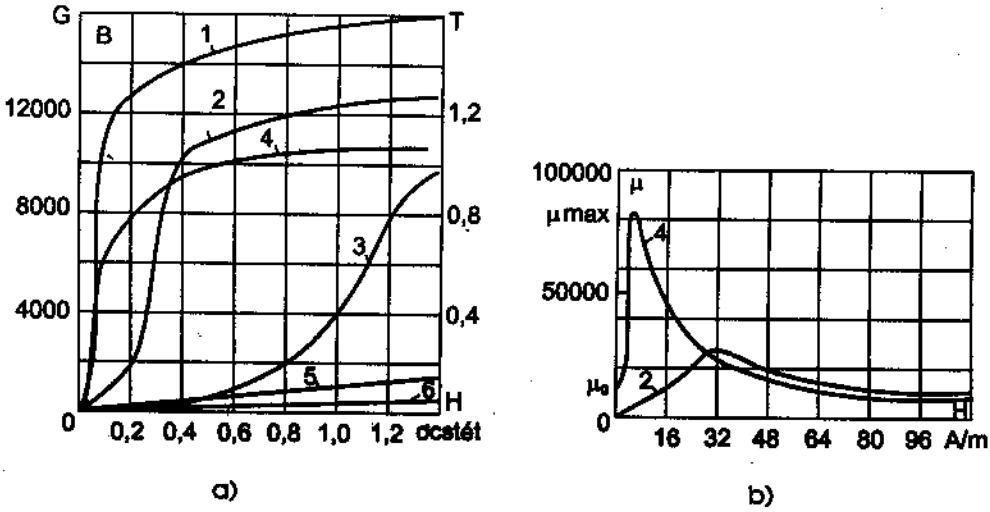
Khi từ hóa chất sắt từ đơn tinh thể thì kích thước của chúng có thay đổi. Hiện tượng đó gọi là từ giảo. Đại lượng từ giảo của đơn tinh thể sắt khác nhau theo các hướng khác nhau trong tinh thể. Khi từ hóa theo hướng cạnh lập phương đơn tinh thể sắt được kéo dài theo hướng đường chéo, nghĩa là co lại theo hướng từ hóa. Hiện tượng từ giảo có thể thấy ở các vật liệu đa tinh thể. Trong ba nguyên tố sắt từ cơ bản (Fe, Ni, Co) thì niken có độ từ giảo lớn nhất. Dấu biến dạng từ giảo của 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 hóa vật liệu sắt từ có thể đặc trưng bằng đường cong từ hóa B = F(H), có dạng tương tự đối với tất cả các vật liệu sắt từ.

Hình 12 – 2, a biểu diễn đường cong từ hóa cơ bản của một số vật liệu từ.

Độ từ thẩm là tỉ số của đại lượng cảm ứng từ B và cường độ từ trường H ở điểm xác định trên đường cong từ hóa cơ bản (hình 12 – 2, b) trong hệ SI hằng số $\mu_o = 4\pi.10^{-7}$ H/m.

Trên hình 12 – 2, a trục dọc bên trái đặt giá trị cảm ứng từ tính theo gaus, bên phải tính theo hệ SI – tesla (T) ; 1 gaus = 10^{-4}T. Trên trục ngang là cường độ từ trường H đơn vị là ơcstet, theo hệ SI là A/m ; 1 ơcstet = 79,6 A/m ≈ 80 A/m. 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 ta có thể dẫn các đặc tính của các vật liệu từ trong một hệ thống đơn vị.



Hình 12 – 2. Đường cong từ hóa (a) và độ từ thẩm μ(b)

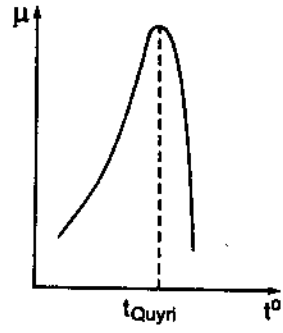
1 – Sắt đặc biệt tinh khiết ; 2 – Sắt tinh khiết (99,98% Fe) ;
3 – Sắt kĩ thuật tinh khiết (99,92% Fe) ; 4 – Pêcmalôi (78% Ni) ; 5 – Niken ;
6 – Hợp kim sắt – Niken (26% Ni)

Độ từ thẩm μ_{bd} khi H = 0 gọi là độ từ thẩm ban đầu, đó là trị số của nó trong trường yếu khoảng 0,001 ơcstet. 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 hòa từ độ từ thẩm tiến tới bằng 1.

Hệ số từ thẩm động μ~ – là đại lượng đặc trưng cho vật liệu sắt từ trong từ trường xoay chiều, nó là tỉ số giữa biên độ cảm ứng từ với biên độ cường độ từ trường :

$$\mu_{\sim} = \frac{B_{max}}{H_{max}} \qquad (12 - 1)$$

Với sự tăng của tần số từ trường xoay chiều, độ từ thẩm động giảm vì quán tính của các quá trình từ.



Hình 12 – 3. Quan hệ của μ vật liệu sắt từ với nhiệt độ

Độ từ thẩm của vật liệu sắt từ phụ thuộc vào nhiệt độ (hình 12 – 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, côban 1131°C. Khi nhiệt độ vượt quá điểm Quyri các vùng từ hóa tự phát bị phá hủy do chuyển động nhiệt, 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).

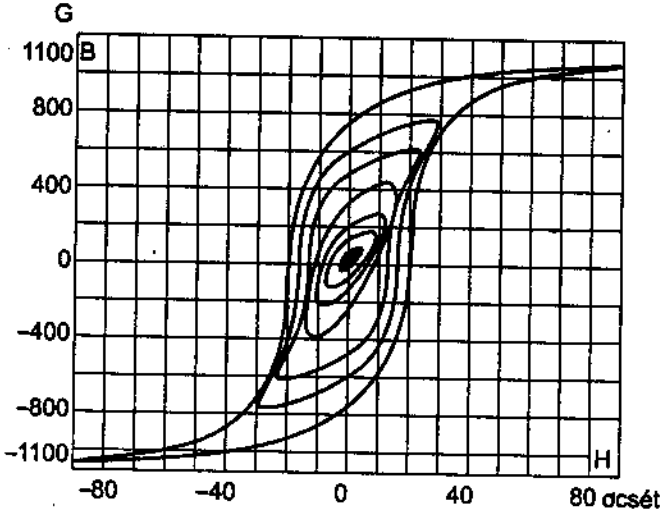
$$TK_{\mu} = \alpha_{\mu} = \frac{1}{\mu_t} \cdot \frac{d_{\mu}}{dt} \ (\text{độ}^{-1}) \qquad (12 - 2)$$

Nếu tiến hành từ hóa vật liệu sắt từ trong từ trường ngoài, sau đó bắt đầu ở một điểm nào đó trên đường cong từ hóa cơ bản, giảm cường độ từ trường thì cảm ứng từ cũng giảm, nhưng không theo đường từ hóa 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 hóa lại ; 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 hóa của mẫu, đó là vòng từ trễ của chu trình từ hóa.

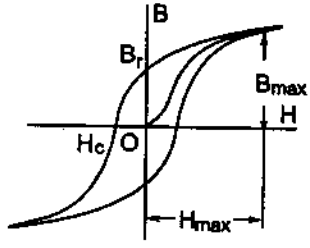
Thay đổi giá trị cường độ từ trường ngoài ta có thể vẽ được họ đường cong từ trễ như trên hình 12 – 4. Chọn trong số các chu trình này một chu trình giới hạn, khi sự từ hóa vật liệu đạt đến độ bão hòa B_{max} (hình 12 – 5).

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.



Hình 12 – 4. Các vòng từ trễ ứng với các giá trị giới hạn cường độ từ trường ngoài khác nhau

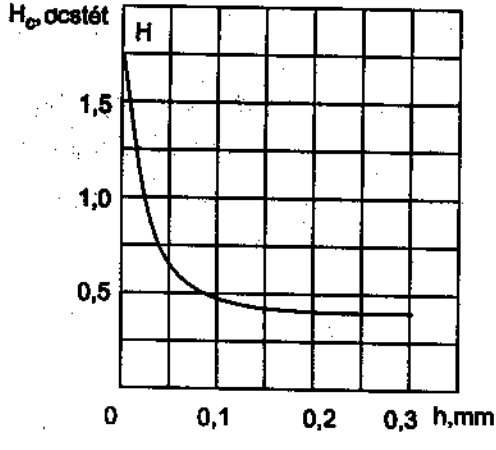


Hình 12 – 5. Đường cong từ hóa ban đầu và vòng từ trễ giới hạn của vật liệu sắt từ

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 giảm 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 giảo 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 của đômen và sự định hướng các mômen từ của nó theo hướng của trường. Ứng suất trong tăng, độ từ thẩm sẽ giảm và lực kháng từ sẽ tăng. Ứng suất trong phát sinh 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. Hình 12 – 6 cho biết mối quan hệ giữa lực kháng từ của thép máy biến áp với bề dày của nó khi thành phần không đổi và nhiệt độ bằng 20°C.



Hình 12 – 6. Quan hệ giữa lực kháng từ của thép MBA với bề dày tấm thép

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 và kích thước hạt. Do sự biến dạng mạng tinh thể nên lớp bề mặt của các hạt có lực kháng từ tăng lên. Trong trường hợp có cấu trúc hạt mịn, tổng diện tích mặt của hạt lớn hơn so với cấu tạo hạt khô. 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 tới sự nhiễm tạp chất trong vật liệu ; ví dụ có ôxi trong sắt tinh khiết, tạp chất hay các chất phụ côban, 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 từ trường, ta có thể thu được vật liệu sắt từ cứng.

Quá trình từ hóa 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 hóa 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 tỉ 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 :

$$P_{h,l} = \eta B_{max}^{n} \qquad (12-3)$$

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 :

$$P_h = \eta f B_{max}^{n} V \qquad (12-4)$$

trong đó, 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 :

$$P_f = \xi f^2 . B_{max}^2 V \qquad (12-5)$$

Với 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_f phụ thuộc vào bậc hai của tần số, P_h chỉ tỉ lệ vào bậc nhất nên ở tần số cao, cần tính trước P_f – nghĩa là tính tổn hao dòng điện xoáy.

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 kĩ 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.

12.2. 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.

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.

12.2.1. Sắt

Trong sắt kĩ thuật tinh khiết thường có một lượng nhỏ cácbon, lưu huỳnh, măngan, silic và các nguyên tố khác làm ảnh hưởng tính chất từ của sắt. Vì điện trở tương đối thấp nên sắt tinh khiết kĩ thuật được sử dụng tương đối ít, chủ yếu làm mạch từ từ thông không đổi.

Thép lá kĩ thuật điện cácbon thấp. Đó là một trong nhiều dạng của sắt kĩ thuật tinh khiết được sản xuất thành tấm mỏng từ 0,2 đến 4 mm. Trong thành phần có không quá 0,04% cácbon và không quá 0,6% 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 ơcstet.

Bảng 12 – 1 nêu các tính chất từ của sắt tinh khiết mang các nhãn hiệu khác nhau theo chỉ số hàm lượng tạp chất. Hình 12 – 2 biểu diễn đường cong từ hóa của một số loại sắt này.

Bảng 12 – 1

THÀNH PHẦN VÀ TÍNH CHẤT CỦA SẮT VỚI CÁC NHÃN HIỆU KHÁC NHAU

Vật liệu	Thành phần tạp chất, %		Tính chất từ		
	Các bon	Ôxi	Độ từ thẩm		Lực kháng từ H_k (ơcstet)
			Ban đầu $\mu_{bđ}$	Lớn nhất μ_{max}	
Sắt kĩ thuật tinh khiết	0,02	0,06	250	7000	0,8
Sắt điện phân	0,02	0,01	600	15000	0,35
Sắt cácbonyl	0,005	0,005	3300	21000	0,08
Sắt điện phân được luyện lại trong chân không	0,01	–	–	61000	0,09
Sắt được luyện trong hyđrô	0,005	0,003	6000	200000	0,04
Sắt được luyện trong hyđrô đặc biệt kĩ lưỡng	–	–	20000	340000	0,03
Sắt tinh khiết đơn tinh thể ủ trong hyđrô đặc biệt kĩ lưỡng	–	–	–	1430000	0,015

12.2.2. Thép

Thép lá kĩ 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.

Thép lá kĩ thuật điện ở Liên Xô (cũ) chia thành các loại sau :

Э11, Э12, Э13 ;

Э21 ; Э22 ;

Э31 ; Э32 ;

Э41 ; Э42 ; Э43 ; Э43A ; Э44 ; Э45 ; Э46 ; Э47, Э48

Э310 ; Э320 ; Э330 ; Э330 A ; Э340 ; Э370 ; Э380 ;

Э1100 ; Э1200 ; Э1300 ; Э3100 ; Э3200.

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 (bảng 12 – 2).

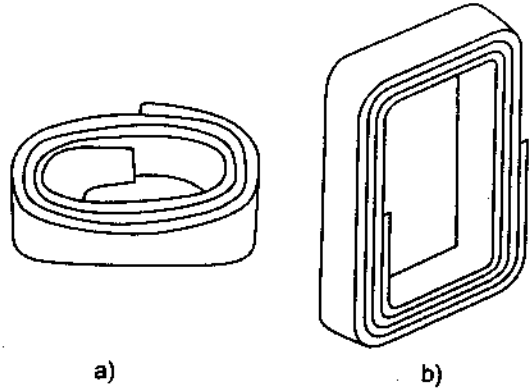
Bảng 12 – 2

SỰ PHỤ THUỘC CỦA KHỐI LƯỢNG RIÊNG VÀ ĐIỆN TRỞ SUẤT THÉP LÁ KĨ THUẬT ĐIỆN VÀO HÀM LƯỢNG SILIC

Con số thứ nhất nhãn thép	Mức hợp kim hóa silic của thép	Hàm lượng Si, %	Khối lượng riêng, g/cm^3	Điện trở suất, Ω.mm^2/m
1	Hợp kim hóa yếu	0,8 – 1,8	7,80	0,25
2	Hợp kim hóa trung bình	1,8 – 2,8	7,75	0,40
3	Hợp kim hóa tăng cao	2,8 – 3,8	7,65	0,50
4	Hợp kim hóa 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 hóa lại (ở tần số 50 Hz) 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 hóa ở tần số 400 Hz 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_{bd} của chúng được đảm bảo. Con số 7,8 chỉ đặc điểm chủ yếu của độ từ thẩm trong cường độ trường trung bình từ 0,03 đến 10 A/cm. Cuối cùng con số 0 thứ ba chỉ 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 cuốn của máy biến áp (hình 12 – 7). Sử dụng các thép này làm máy biến áp điện lực giảm được trọng lượng và kích thước. Máy biến áp 20 – 25% và máy biến áp trong vô tuyến điện giảm 40%.



Hình 12 – 7. Lõi thép băng :
a) Kiểu ôvan ; b) Kiểu chữ nhật

Các kích thước thường dùng nhất của thép lá kĩ thuật điện cho ở bảng 12 – 3.

Bảng 12 – 3

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 kĩ 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 1 kg thép đặt trong từ trường xoay chiều, được ký hiệu bằng chữ P với con số ở dạng phân số ; tử số giá trị biên độ cảm ứng từ tính theo kilôgam, mẫu số là tần số tính bằng héc.

Bảng 12 – 4 cho các giá trị cảm ứng từ giới hạn và suất tổn hao đối với một số nhãn thép kĩ thuật điện.

Bảng 12 – 4

GIÁ TRỊ GIỚI HẠN CẢM ỨNG TỪ VÀ SUẤT TỔN HAO THÉP KĨ THUẬT ĐIỆN

Nhãn hiệu thép	Dày	$B_{25} - B_{300}$ k.gaus, không nhỏ hơn	$P_{10/50} - P_{15/50}$ W/kg, không lớn hơn	$B_5 - B_{25}$ kgaus, không nhỏ hơn	$P_{7,5} + P_{10/400}$ W/kg, không lớn hơn
Э11 – Э43A (cán nóng)	0,35 – 1	14,4 – 20	0,9 – 14,4	–	–
Э1100 – Э3200	0,5	14,8 – 20	1,5 – 7,5	–	–
Э310 – Э330A	0,35 – 0,5	17,5 – 20	0,5 – 2,45	–	–
Э44 và Э 430	0,1 – 0,35	–	–	11,9 – 17	6 – 19

Cảm ứng từ của các loại thép lá kĩ thuật khác cho ở bảng 12 – 5.

Bảng 12 – 5

GIÁ TRỊ CẢM ỨNG TỪ CỦA MỘT SỐ LOẠI THÉP KĨ THUẬT

Nhãn hiệu thép	Bề dày mm	$B_{0,002} - B_{0,009}$ gaus không nhỏ hơn	$B_{0,1} - B_{10}$ gaus không nhỏ hơn
Э45 và Э46	0,2 – 0,35	1,2 – 8,8	–
Э47 và Э48	0,2 – 0,35	–	0,3 – 1,3
Э370 và Э380	0,2 – 0,5	–	1,4 – 1,7

12.2.3. 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 giảo.

Bảng 12 – 6

CÁC TÍNH CHẤT CƠ BẢN CỦA CÁC HỢP KIM CÓ ĐỘ TỪ THẨM CAO

Các hợp chất	Nhãn hiệu	Đặc tính của hợp kim	Bề dày, mm	$\mu_{bđ}$	μ_{max}	H_K oestet	B_{max} kgaus	$\rho, \Omega.mm^2/m$
Pécmalôi nhiều niken	79HM 88HXC 79HM	Hợp kim có độ từ thẩm cao và điện trở suất cao	0,02 đến 2,5	14000 đến 50000	60000 đến 300000	0,01 đến 0,06	7 – 7,5	0,55 – 0,63
Pécmalôi ít niken	45H, 50H 50HП 60HП 38HC 42HC 50HCX	Hợp kim có độ từ thẩm được nâng cao, từ cảm bão hòa, điện trở suất được nâng cao và cao	0,02 đến 2,5	400 đến 3200	12000 đến 100000	0,1 đến 0,45	9,5 đến 15	0,25 đến 0,9
Alusife	–	Hợp kim giòn, độ từ thẩm cao, điện trở suất cao	–	20000	117000	0,022	11	0,81

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 dùng 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 nhất 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 12 – 6.

12.2.4. 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% Al, 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 12 – 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 – 3mm.vì 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 cácbonyl sắt để sản xuất lõi ép cao tần.

12.3. Vật liệu từ cứng

Theo thành phần, trạng thái và phương pháp chế tạo vật liệu từ cứng được chia thành các loại sau :

1. Thép hợp kim hóa, được tôi đến trạng thái máctenxít ;

2. Hợp kim từ cứng đúc ;

3. Bột nam châm ;

4. Ferit từ cứng.

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 thẩm của vật liệu này thấp hơn vật liệu từ mềm, lực kháng từ càng cao thì độ từ thẩm càng nhỏ.

12.3.1. Thép hợp kim hoá được tôi 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 hóa với các chất phụ như vonfram, crôm, môlipđen, côban. Thành phần và tính chất của thép này cho trong bảng 12 – 7.

Các tính chất cho trong bảng 12 – 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 trong nước sôi 5 giờ.

12.3.2. Hợp kim từ cứng đúc

Hợp kim ba nguyên tố Al – Ni – Fe, thường gọi là kim Aluni có năng lượng từ lớn. Khi cho thêm côban hay silic thì tính chất từ của hợp kim tăng lên. Hợp kim aluni có chất phụ silic gọi là alunisi, hợp kim aluni có côban gọi là alunicô. Hợp kim alunicô có hàm lượng cô ban lớn nhất gọi là macnicô.

Bảng 12 – 7

THÀNH PHẦN VÀ TÍNH CHẤT THÉP MACTENXÍT LÀM NAM CHÂM VĨNH CỬU

Nhãn hiệu	Thành phần hóa học %					Các tính chất từ (không nhỏ hơn)	
	C	Cr	W	Co	Mo	Cảm ứng từ dư Bd, kgaus	Lực kháng từ H_k, đcstet
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
E7B6	0,68 – 0,78	0,30 – 0,50	5,20 – 6,20	–	–	10,0	62
EX5K5	0,90 – 1,05	5,50 + 6,50	–	5,50 – 6,5	–	8,5	100
EX9K15M	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 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, alnicô và macnicô 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, tính chất từ của chúng cho ở trong bảng 12 – 8. Trong số này có 4 hợp kim cũ và 7 hợp kim mới.

Bảng 12 – 8

TÍNH CHẤT TỪ CỦA CÁC HỢP KIM LÀ NAM CHÂM VĨNH CỬU

Nhãn hiệu hợp kim	Bd, T	H_k, kA/m	B_L, T	H_L, kA/m	$B_L H_L$, J/m	Hệ số tối $B_L \cdot H_L$ / $B_d \cdot H_k$	Chú thích
ЮНД4	0,50	40	0,30	24	7.200	0,36	AH 3 aluni
ЮНД12	0,50	52	0,29	30	8.700	0,34	
ЮНД8	0,60	44	0,37	28	10.350	0,39	
ЮНДК15	0,75	48	0,43	28	12.050	0,33	AHK_o2
ЮНДК18	0,90	55	0,57	34	19.350	0,38	AHK_o3
ЮНДК35Т5	0,80	87	0,50	56	28.000	0,40	
ЮНДК24Т2	1,10	58	0,77	38	29.400	0,46	
ЮНДК24	1,23	44	0,95	34	32.250	0,59	AHK_o4
ЮНДК24Б	1,20	51	0,85	37	31.400	0,52	
ЮНДК25А	1,33	54	1,14	46	52.500	0,74	
ЮНДК25БА	1,28	62	1,05	50	52.500	0,67	

Các hợp kim ЮНДК24, ЮНДК15 được dùng nhiều nhất. Các hợp kim ЮНД4, ЮНДК24 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 ЮНДК24 được sử dụng khi cần từ tính rất cao theo một hướng, còn hợp kim ЮНДК15 dùng khi cần từ tính tương đối cao và không cần tính dị hướng từ.

12.3.3. 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 có kính 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/cm^2.

Nam châm kim loại bột kinh tế nhất khi sản xuất tự động hóa 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.

12.3.4. Ferít từ cứng

Trong số các ferít từ cứng được biết nhiều nhất là ferít bari $BaO6Fe_2O_3$. 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.

Nam châm bari được sản xuất ở dạng rông đen và đĩa mỏng. Chúng có tính ổn định cao đối với tác dụng của từ trường ngoài, chịu được lắc, va đập. Khối lượng riêng ferít bari là 4,4 – 4,9 g/cm^3 nhỏ hơn hợp kim sắt – niken đúc 1,5 lần, cho nên nam châm nhẹ hơn. Điện trở suất ferítbari : $10^6 \div 10^9$ Ω.cm, nghĩa là lớn hơn điện trở suất hợp kim từ cứng kim loại đúc hàng triệu lần. Nam châm ferit 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 ($\alpha_B \approx 0,2\%$ độ$^{-1}$) nghĩa là lớn hơn nam châm đúc. Ngoài ra nó có tính chất từ không thuận nghịch sau khi được làm lạnh từ nhiệt độ trong phòng đến nhiệt độ thấp (– 60°C), sau đó lại làm nóng đến nhiệt độ ban đầu.

12.4. Các vật liệu từ có công dụng đặc biệt

12.4.1. 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 giảo bão hòa rất cao.

– Loại hợp kim thứ nhất có tên gọi là pecminva – là hợp kim của ba nguyên tố Fe – 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 3 ơcstét với cảm ứng từ 1000 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 izôpécmơ, trong thành phần của nó có sắt, niken và nhôm hay đồng. Izôpécmơ có độ từ thẩm 30 – 80, trị số này biến đổi rất ít trong trường với cường độ đến vài ơcstét.

– 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 là 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 giảo cao có Fe – Cr, Fe – Co và Fe – Al. Các hợp kim này dùng làm lõi máy phát dao động âm ở tần số âm thanh và siêu âm. Độ từ giảo các hợp kim này có dấu dương và $\Delta l/l$ dao động trong giới hạn $(10 - 70).10^{-6}$. Để chế tạo vật liệu này còn có thể dùng niken lá mỏng rất tinh khiết với độ từ giảo âm.

– Nhóm thứ tư thuộc loại hợp kim sắt – côban có từ cảm bão hòa rất cao, đến 24000 gaus. Điện trở của hợp kim này không lớn. Hợp kim có tên gọi là pecmenđuyara với hàm lượng Co từ 50 đến 70%.

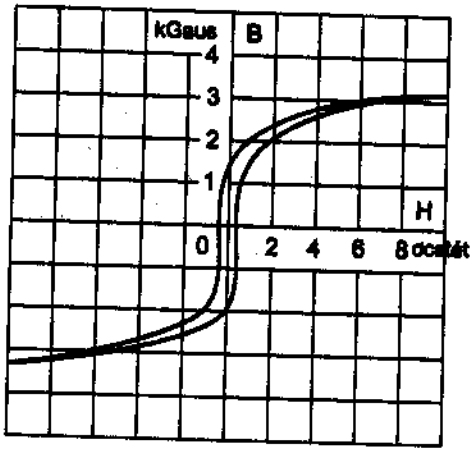
Permenđuyara có giá thành cao nên chỉ dùng ở các thiết bị đặc biệt, trong các bộ phận của loa điện động, màng ống điện thoại, dao động ký v.v..

12.4.2. Ferít

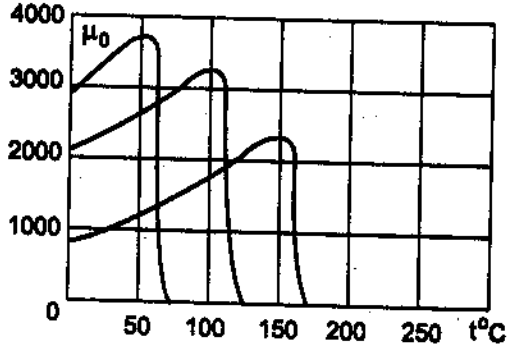
Ferít là gốm từ có điện dẫn điện tử không đáng kể, do đó nó có thể xếp vào loại bán dẫn điện tử. Trị số điện trở suất lớn hơn sắt $10^6 - 10^{11}$ lần, do đó năng lượng tổn hao ở vùng tần số tăng cao và cao tương đối nhỏ cùng với tính chất từ tương đối tốt làm cho ferít được dùng rất rộng rãi ở tần số cao. Người ta chia ferít thành 3 loại : Ferít từ mềm, ferít cao tần, ferít có vòng từ trễ chữ nhật.

1. Ferít từ mềm

Hình 12 – 8 biểu diễn 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 ơcstét. Ferít với trị số μ lớn có trị số tổn hao lớn và tăng nhanh khi tần số tăng.



Hình 12 – 8. Vòng từ trễ của ferít niken – kẽm có độ từ thẩm cao



Hình 12 – 9. 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

Trên hình 12 – 9 ta thấy, $\mu_{bđ}$ 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. Bảng 12 – 9 đưa ra một vài tính chất vật lý của ferít.

Bảng 12 – 9

CÁC ĐẶC TÍNH VẬT LIỆU CỦA FERÍT

Mật độ	Nhiệt dung riêng, J(g.độ)	Nhiệt dẫn riêng W/(cm.độ),	Hệ số dãn nở nhiệt theo chiều dài, αl. độ$^{-1}$	Điện trở suất ρ, Ω.cm
3 – 5	0,7	~5.10^{-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.

Bảng 12 – 10

TÍNH CHẤT CỦA MỘT VÀI FERÍT

Nhãn hiệu ferit	H_{max} A/m	B_{max} T	$B_{dư}$ T	H_k A/m	Hệ số nhiệt độ của từ thẩm ban đầu		Tần số sử dụng giới hạn, MHz	Nhiệt độ làm việc giới hạn, °C	Điện trở suất, Ωm
					$\alpha_{\mu bđ}.10^6$ độ$^{-1}$	Trong khoảng nhiệt độ, °C			
100 HM	800	0,4	0,13	8	2		0,2	110	0,5
100 HM	800	0,38	0,15	12	3	+20 ÷ +60	0,3	110	0,5
100 HM	800	0,25	0,12	8	3		0,2	170	10
100 HH	800	0,23	0,12	64	5		2	120	10^3
100 HH	2400	0,18	0,10	120	4		3	120	10^3
100BЧ	7200	0,25	0,18	520	17	– 60 ÷ +125	20	400	10^7
100BЧ	7200	0,19	0,09	96	22	+20 ÷ +60	100	450	10^7
100BЧ	15200	0,21	0,13	95	50	– 60 ÷ +125	180	450	10^6
100BЧ	8000	0,22	0,02	1600	60	+20 ÷ +100	300	450	10^6

Hiện nay người ta thường sử dụng các nhóm ferít hỗn hợp măngan – kẽm, niken – kẽm, liti – kẽm.

Nhãn hiệu của các ferít từ mềm được dùng phổ biến nhất có ý nghĩa như sau : trị số μ_{bd} 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 vắn 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 B4, 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 СВЧ (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 12 – 10.

2. Ferít từ cao tần

Ngoài ferít từ mềm, ở tần số cao có thể dùng thép lá kĩ thuật điện hoặc pecmalôi cán nguội và điện môi từ.

Bề dày tấm thép đạt tới 25 – 30μm, còn pécmalôi là hợp kim mềm hơn có thể mỏng tới 2 – 3 μm. 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 cácbonyl, pecmalôi, alusife v.v.. Chất kết dính cách điện là nhựa fenol – foócmalđêhyt, 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 kĩ thuật máy tính để làm bộ nhớ.

Vật liệu và các sản phẩm của nó có một loạt yêu cầu đặc biệt. 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 tỉ số giữa cảm ứng 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 $H_{max} = 5H_k$. Hệ số K_{cn} càng gần tới 1 càng tốt.

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 12 – 11.

Bảng 12 – 11

Dạng vật liệu hay lõi thép	H_K A/cm	B_d T	K_{cn}	μ	S_q $C.10^{-8}$/cm	Điểm Quyri, °C	Ghi chú
Các loại ferit	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°C đến 60°C thì lực kháng từ của các ferít giảm 1,5 – 2lần, 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.

12.4.3. Gang và thép kết cấu

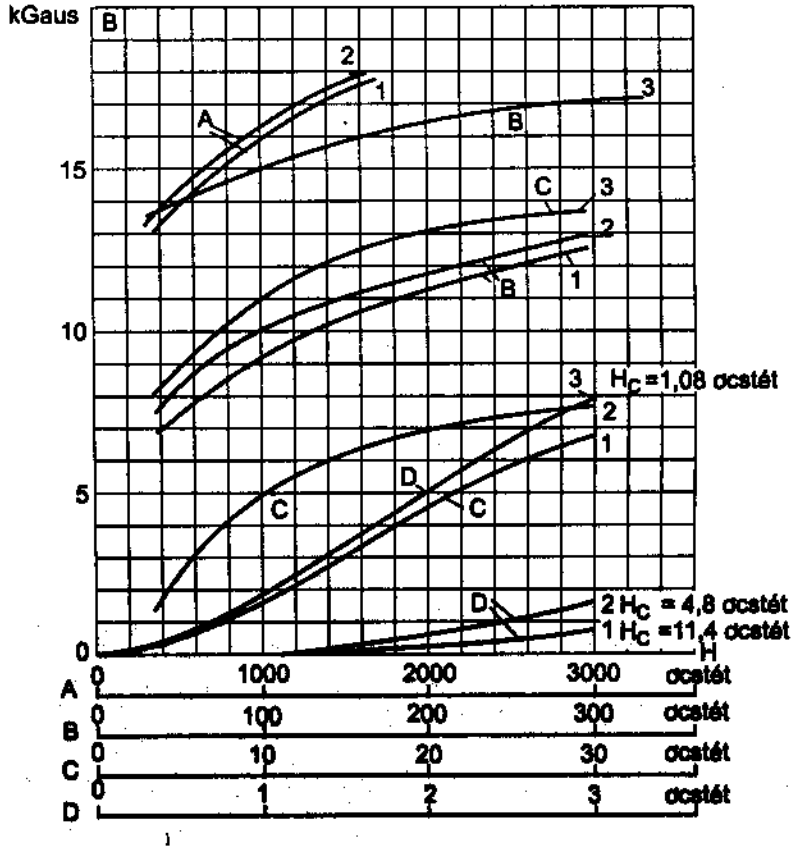
Các vật liệu này được dùng trong chế tạo máy điện, thiết bị điện và dụng cụ cần có đặc tính cơ tốt và khả năng áp dụng rộng rãi các phương pháp công nghệ gia công.

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 các bon và thép hợp kim ; loại thứ hai là thép không từ tính, gang không từ tính.

1. Gang xám : Có 3,2 – 3,5% các bon, silic, măngan, phốtpho, lưu huỳnh. Giới hạn bền uốn khoảng 40 – 45 kG/mm^2. Đường cong từ hóa gang xám và gang rèn, một biến thể của gang xám cho trên hình 12 – 10. 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, bệ 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.



Hình 12 – 10. 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 ;

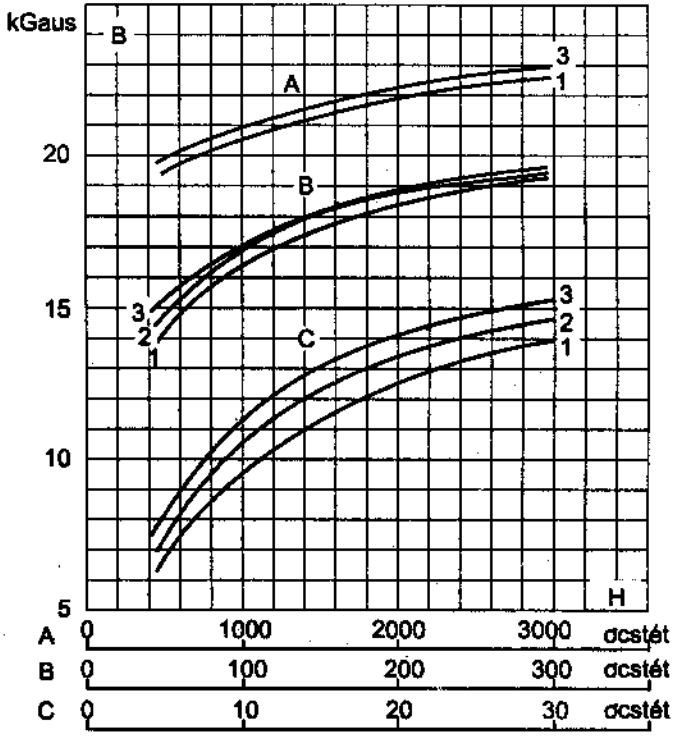
4. Như trên : 0,22%C (Fe_3C), 3,38C ; 1,2% Si ; 0,32% Mn ;

5. Gang rèn : 1,1% C (Fe_3C) ; 2,26% C ; 0,56% Si ; 0,24% Mn.

2. Thép cácbon

Để đúc các sản phẩm và được ủ chậm ở 850 – 900°C với hàm lượng các bon 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, đó là thép được hợp kim hóa với niken ; vanađi ; crôm, môlipđen. Sản phẩm chế tạo bằng thép hợp kim hóa sau khi tôi để khử ứng suất cần ủ ở 650 – 700°C. Giới hạn bền uốn của thép hợp kim hóa khoảng 50 – 95 kG/mm^2. Đường cong từ hóa thép biểu diễn trên hình 12 – 11.



Hình 12 – 11. *Tính chất từ của thép các bon rèn dập và crom niken, thép đúc làm thân máy điện.*

1. Rôtorèn của máy phát tuabin hơi ; thép crom – niken tốt ;
2. Cực từ rèn của máy điện lớn, thép các bon đã ủ ;
3. Vỏ đúc máy điện một chiều, thép các bon 0,2% C đã được ủ.

3. 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 măngan 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 $\rho = 1,4\ \Omega.mm^2/m$. Độ bền uốn $\sigma_{uốn} = 25 - 35\%\ kG/mm^2$.

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 ưu việt hơn hợp kim màu về mặt giảm tổn hao dòng điện xoáy.

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...

4. Thép không từ tính

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 Fe.

Giới hạn bền uốn của thép này đạt tới 70 – 80kG/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.

Câu hỏi chương XII

1. Nêu khái niệm chung về tính chất từ của vật liệu từ tính.
2. Trình bày đặc tính và công dụng của vật liệu từ mềm.
3. Nêu thành phần, tính chất, công dụng của vật liệu từ cứng.

MỤC LỤC

Trang

Lời giới thiệu 3
Lời nói đầu 4

Chương I
CẤU TẠO VÀ PHÂN LOẠI VẬT LIỆU

I - Cấu tạo của vật liệu 5
II - Phân loại vật liệu 11
Câu hỏi chương I 12

Phần thứ nhất - *VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN* 13

Chương II
TÍNH DẪN ĐIỆN CỦA ĐIỆN MÔI

2.1. Khái niệm chung về điện dẫn của điện môi 14
2.2. Điện dẫn của điện môi 16
2.3. Điện dẫn của điện môi khí 18
2.4. Điện dẫn của điện môi lỏng 20
2.5. Điện dẫn của điện môi rắn 23
2.6. Điện dẫn mặt của điện môi rắn 27
Câu hỏi chương II 30

Chương III
SỰ PHÂN CỰC CỦA ĐIỆN MÔI

3.1. Khái niệm về sự phân cực và hằng số điện môi 31
3.2. Các dạng và loại phân cực xảy ra trong điện môi 32
3.3 Phân loại điện môi theo dạng phân cực 33
3.4. Hằng số điện môi của chất khí 34
3.5. Hằng số điện môi của điện môi lỏng 38
3.6. Hằng số điện môi của điện môi rắn 43
Câu hỏi chương III 49

Chương IV
TỔN HAO TRONG ĐIỆN MÔI

4.1. Khái niệm về tổn hao điện môi 50
4.2. Các dạng tổn hao trong điện môi 53
4.3. Tổn hao điện môi trong các sơ đồ thay thế 58
4.4. Những yếu tố ảnh hưởng tới tổn hao điện môi 61
4.5. Tổn hao điện môi trong điện môi khí 61
4.6. Tổn hao điện môi trong điện môi lỏng 62
4.7. Tổn hao điện môi trong điện môi rắn 65
Câu hỏi chương IV 69

Chương V
SỰ PHÓNG ĐIỆN TRONG ĐIỆN MÔI

5.1. Khái niệm 70
5.2. Sự phóng điện trong điện môi khí 71
5.3. Sự phóng điện trong điện môi lỏng 82
5.4. Sự phóng điện trong điện môi rắn 86
Câu hỏi chương V 91

Chương VI

TÍNH CHẤT CƠ - LÝ - HOÁ CỦA ĐIỆN MÔI

6.1. Tính hút ẩm của điện môi 92
6.2. Tính chất cơ học của điện môi 97
6.3. Tính chất nhiệt của điện môi 100
6.4. Tính chất hoá học của điện môi và tính năng của nó dưới tác động của phát xạ có năng lượng cao 104
Câu hỏi chương VI 106

Chương VII

VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN THỂ KHÍ 108

Chương VIII

VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN THỂ LỎNG

8.1. Dầu mỏ cách điện (dầu máy biến áp) 111
8.2. Dầu tụ điện 114
8.3. Dầu cáp điện 114
8.4. Điện môi lỏng tổng hợp 115
Câu hỏi chương VII, VIII 117

Chương IX

VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN THỂ RẮN

9.1. Điện môi hữu cơ cao phân tử 118
A - Nhựa tổng hợp 121
B - Nhựa thiên nhiên 130
9.2. Điện môi vô cơ 153
Câu hỏi chương IX 180

Phần thứ hai - *VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN, VẬT LIỆU BÁN DẪN, VẬT LIỆU TỪ* 181

Chương X

VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN

10.1. Phân loại và các tính chất cơ bản của vật liệu dẫn điện 181
10.2. Vật liệu có điện dẫn cao 187
10.3. Các kim loại khác, thuốc hàn và chất làm chảy 191
10.4. Các hợp kim có điện trở cao và hợp kim làm cặp nhiệt 197
10.5. Than kĩ thuật điện 199
Câu hỏi chương X 200

Chương XI

VẬT LIỆU BÁN DẪN

11.1. Khái niệm chung về bán dẫn 201
11.2. Điện dẫn của bán dẫn 203
11.3. Tiếp giáp điện tử - lỗ trống 206
11.4. Một số nguyên tố có tính chất bán dẫn dùng trong kĩ thuật 209
11.5. Các hợp chất hoá học bán dẫn và các vật liệu dẫn suất cùng gốc 215
Câu hỏi chương XI 222

Chương XII

VẬT LIỆU TỪ

12.1. Khái niệm chung về tính chất từ của vật liệu từ tính 223
12.2. Vật liệu từ mềm 229
12.3. Vật liệu từ cứng 234
12.4. Các vật liệu từ có công dụng đặc biệt 238
Câu hỏi chương XII 245
Mục lục 246

Chịu trách nhiệm xuất bản :

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI

Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập VŨ DƯƠNG THỤY

Biên tập nội dung :

TRẦN NGỌC KHÁNH

Trình bày bìa :

TÀO THU HUYỀN

Sửa bản in :

NGUYỄN THU HẰNG

Chế bản :

MINH CHÂU

***GIÁO TRÌNH* VẬT LIỆU ĐIỆN**

Mã số : 7K551T5 - DAI

In 2.000 bản, khổ 16 x 24cm, tại Xí nghiệp In ACS Hải Phòng

Số XB : 21/367-05. In xong và nộp lưu chiểu tháng 2 năm 2005

CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH ĐẠI HỌC - DẠY NGHỀ
HEVOBCO
Địa chỉ : 25 Hàn Thuyên, Hà Nội

INTERNATIONAL QUALITY AWARD
PLATINUM
2004
NGÔI SAO BẠCH KIM
CHẤT LƯỢNG
QUỐC TẾ

TÌM ĐỌC GIÁO TRÌNH DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐÀO TẠO HỆ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP - DẠY NGHỀ CỦA NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

(NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ)

1. **An toàn điện** — *TS. Nguyễn Đình Thắng*
2. **Kĩ thuật điện** — *GS. TS. Đặng Văn Đào*
3. **Máy điện** — *TS. Nguyễn Hồng Thanh*
4. **Kĩ thuật lắp đặt điện** — *TS. Phan Đăng Khải*
5. **Điện dân dụng và công nghiệp** — *Vũ Văn Tẩm*
6. **Cung cấp điện** — *TS. Ngô Hồng Quang*
7. **Đo lường các đại lượng điện và không điện** — *GVC. Nguyễn Văn Hòa*
8. **Lý thuyết mạch điện** — *PGS. TS. Lê Văn Bảng*
9. **Vật liệu điện** — *TS. Nguyễn Đình Thắng*
10. **Truyền động điện** — *PGS. TS. Bùi Đình Tiếu*
11. **Trang bị điện** — *GVC. Nguyễn Văn Chất*
12. **Sửa chữa điện dân dụng và công nghiệp** — *KS. Bùi Văn Yên - KS. Trần Nhật Tân*
13. **Linh kiện điện tử và ứng dụng** — *TS. Nguyễn Viết Nguyên*
14. **Điện tử dân dụng** — *ThS. Nguyễn Thanh Trà*
15. **Điện tử công suất** — *Trần Trọng Minh*
16. **Mạch điện tử** — *TS. Đặng Văn Chuyết*
17. **Kĩ thuật số** — *TS. Nguyễn Viết Nguyên*
18. **Kĩ thuật điều khiển động cơ điện** — *Vũ Quang Hồi*
19. **Kỹ thuật xung - số** — *TS. Lương Ngọc Hải*
20. **Điện tử công nghiệp** — *Vũ Quang Hồi*
21. **Kinh tế và quản trị doanh nghiệp (kinh tế và TCQLSX)** — *TS. Ngô Xuân Bình - TS. Hoàng Văn Hải*

Bạn đọc có thể tìm mua tại các Công ti Sách - Thiết bị trường học ở các địa phương hoặc các Cửa hàng sách của Nhà xuất bản Giáo dục:

Tại Hà Nội : ***25 Hàn Thuyên, 81 Trần Hưng Đạo, 187 Giảng Võ, 23 Tràng Tiền.***
Tại Đà Nẵng : ***15 Nguyễn Chí Thanh.***
Tại Thành phố Hồ Chí Minh : ***104 Mai Thị Lựu, Qu***

gt vật liệu điện
1 004083 100373
21.500 VNĐ

8 934980 523681

Giá: 21.500đ