

Bài giảng
Cấu tạo nguyên tử

Chương 1

CẤU TẠO VẬT CHẤT

I. Cấu tạo nguyên tử

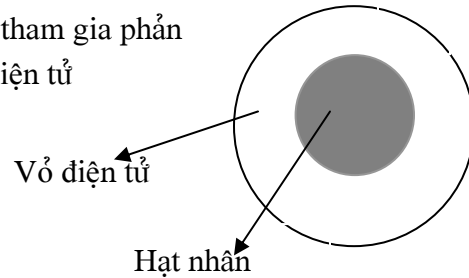
Tất cả các chất đều tồn tại ở 3 trạng thái rắn, lỏng, khí, đều được cấu tạo bằng 3 hạt cơ bản: proton, neutron và electron

- Nguyên tử: là phần nhỏ nhất của 1 phân tử có thể tham gia phản ứng hoá học. Nguyên tử gồm có hạt nhân và lớp vỏ điện tử như hình vẽ

+ Hạt nhân gồm có các hạt: Proton và Neutron

+ Vỏ nguyên tử gồm có các hạt electron chuyển

động xung quanh hạt nhân theo những quỹ đạo xác định, tùy theo mức năng lượng các điện tử mà được xếp xếp thành lớp



Về điện:

Proton và electron mang cùng trị số điện tích $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ nhưng ngược dấu nhau. Người ta kí hiệu điện tích Proton là $+q$, và của Neutron là $-q$. Hạt neutron trung hoà về điện. Vậy điện tích của hạt nhân chính là điện tích Proton còn lớp vỏ là điện tích của electron.

Về khối lượng:

Proton và Neutron mang khối lượng xấp xỉ nhau $m_p = m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1 \text{ đvc}$, còn electron có khối lượng rất bé so với khối lượng của proton hoặc neutron rất nhiều ($m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$) => khối lượng nguyên tử xem như là khối lượng hạt nhân và tính bằng tổng khối lượng Proton và Neutron.

Về số lượng:

Số hạt Proton bằng số hạt electron, do đó ở trạng thái bình thường nguyên tử trung hoà về điện. Tổng số hạt Proton và Neutron gọi là số khối kí hiệu là A , số Proton gọi là số hiệu nguyên tử kí hiệu là Z , số hiệu nguyên tử là đặc trưng tính chất vật lý của nguyên tố, số electron lớp ngoài cùng đặc trưng tính chất hoá học của nguyên tố

II. Phân tử:

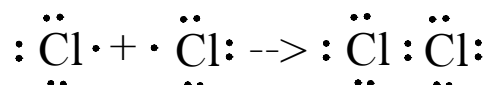
Là phần nhỏ nhất của 1 chất ở trạng thái tự do mà có thể mang đầy đủ tính chất của chất đó

Trong phân tử các nguyên tử liên kết với nhau bằng liên kết hoá học

2.1 Liên kết cộng hoá trị: là mối liên kết giữa các nguyên tử trong các phân tử hợp chất hoặc đơn chất bằng những cặp electron dùng chung.

ví dụ: Phân tử clo

Mỗi nguyên tử clo có 7 electron lớp ngoài, khi 2 nguyên tử clo lại gần nhau, mỗi nguyên tử góp 1 electron để tạo thành cặp điện tử dùng chung



- Mỗi liên kết cộng hoá trị xảy ra giữa các nguyên tử các nguyên tố hoá học có tính chất gần giống nhau ,ví dụ (Ar,He, O₂,Cl₂,H₂,H₂O,CO₂,NH₃ . . .)

- Tuỳ theo cấu trúc các phân tử đối xứng hay không đối xứng mà ta chia các phân tử ra làm 2 loại

+ Phân tử không phân cực là phân tử mà trọng tâm điện tích âm trùng với trọng tâm điện tích dương

+ Phân tử phân cực là phân tử mà trọng tâm điện tích âm và trọng tâm điện tích dương cách nhau 1 khoảng l

Để đặc trưng cho sự phân cực người ta dùng momen lưỡng cực

$$\vec{P}_e = q \cdot \vec{l}$$

Trong đó :

q : điện tích

\vec{l} : có chiều từ -q đến +q và có độ lớn là chiều dài l (khoảng cách giữa trọng tâm điện tích âm và trọng tâm điện tích dương)

2.2 Liên kết ion :

- Là mỗi liên kết được tạo nên bởi lực hút giữa ion âm và ion dương . Liên kết này chỉ xảy ra giữa các nguyên tử của các nguyên tố hoá học có tính chất khác nhau

- Đặc trưng cho dạng liên kết kim loại là liên kết giữa kim loại và phi kim để tạo thành muối . Cụ thể là halogen và kim loại kiềm gọi là muối halogen của kim loại kiềm

- Những chất rắn có cấu tạo liên kết ion thường rất bền vững về nhiệt và được tạo ra dạng tinh thể khác nhau

Ví dụ : liên kết giữa Na và Cl trong muối NaCl là liên kết ion (vì Na có 1electron lớp ngoài cùng -> dễ nhường 1 electron tạo thành Na⁺ , Clo có 7electron lớp ngoài cùng -> dễ nhận 1 e và tạo thành Cl⁻ . Hai ion trái dấu này sẽ hút lẫn nhau và tạo thành phân tử NaCl) , muối NaCl có tính chất hút ẩm , t_{nc} = 800 °C , t_{sôi} <1450°C

2.3 Liên kết kim loại :

- Kim loại chỉ có thể tồn tại dưới dạng nguyên tử riêng biệt khi ở dạng khí . Khi ở dạng thể rắn hoặc lỏng , kim loại trở thành ion dương và điện tử tự do chuyển đổi hỗn loạn . Các điện tử này gắn các ion kim loại lại với nhau tạo thành liên kết kim loại . Dạng liên kết này giải thích được những tính chất đặc trưng của kim loại :

- Tính nguyên khối (rắn) : Lực hút giữa các ion âm và các điện tử tạo nên tính nguyên khối , kim loại thường ở dạng tinh thể (mạng lực giác)

- Tính dẻo : do sự dịch chuyển và trượt lên nhau của các ion

- Do tồn tại các điện tử tự do nên kim loại thường có ánh kim , dẫn điện và dẫn nhiệt cao

2.4 Liên kết Vandecvan:

Là mỗi liên kết yếu nhất trong các liên kết thường tạo nên những chất không bền về nhiệt và cơ (dễ nóng chảy và mềm)

II. Khuyết tật trong vật rắn

Trong thực tế các mạng tinh thể có cấu trúc đồng đều hoặc không đồng đều. Tuy nhiên trong kĩ thuật ta sử dụng những vật liệu có cấu trúc đồng đều và cả không đồng đều

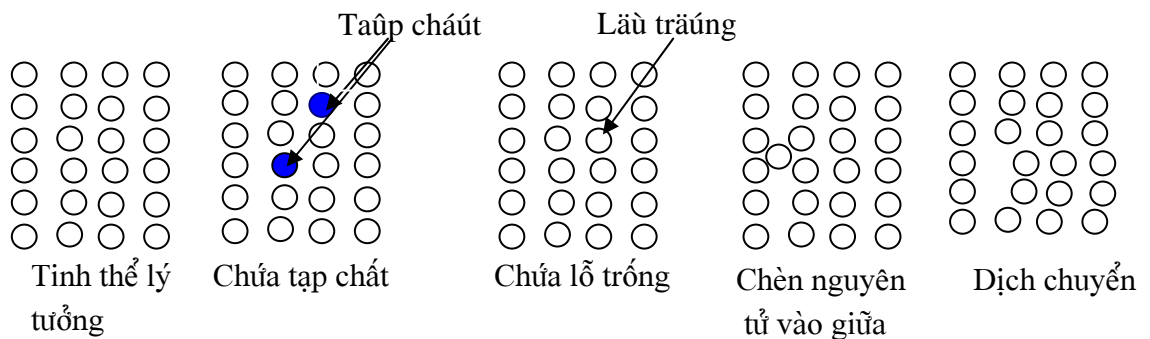
Mạng tinh thể có trường tĩnh điện biến đổi có chu kì gọi là mạng tinh thể đồng đều ngược lại gọi là không đồng đều hay gọi là khuyết tật trong vật liệu

Khuyết tật trong vật rắn : Là bất kì 1 hiện tượng nào làm cho trường tĩnh điện của mạng tinh thể mất tính chu kì

Các dạng khuyết tật trong vật rắn thường là : tạp chất , đoạn tầng , khe rãnh . . .

-Khuyết tật trong vật rắn tạo ra những tính chất vật lý đặc biệt , được ứng dụng trong kĩ thuật các vật liệu và các dụng cụ rất khác nhau

ví dụ : chất bán dẫn n-p , các hợp kim điện tử . . .

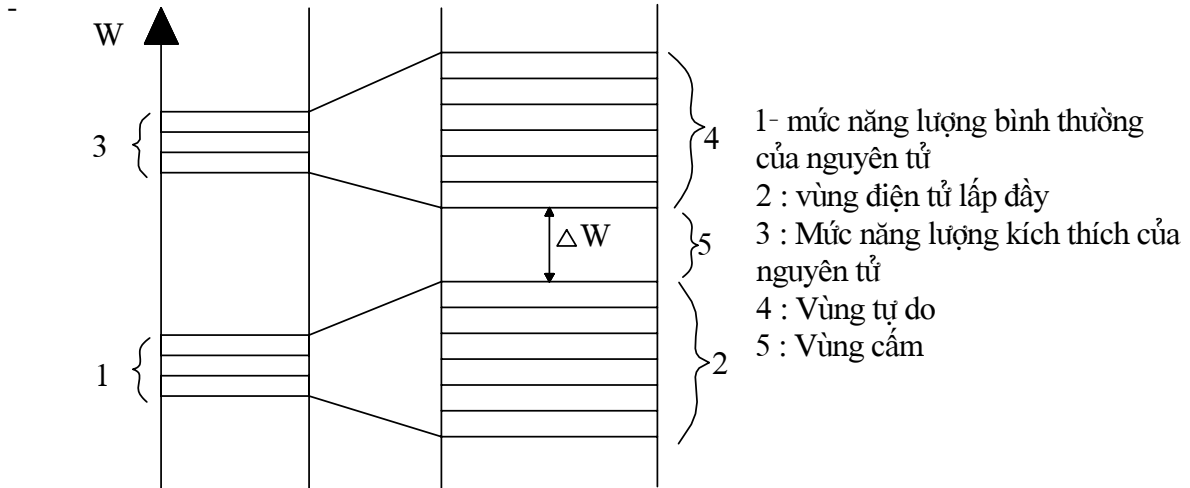


III. Lý thuyết phân vùng năng lượng

Tất cả các vật liệu đều thuộc 1 trong 3 nhóm : Bán dẫn , dẫn điện , cách điện (điện môi) .Sự khác nhau của các chất được giải thích nhờ vào lý thuyết phân vùng năng lượng

Nội dung lý thuyết phân vùng năng lượng :

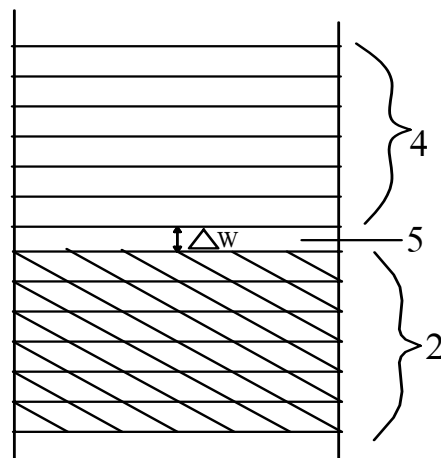
- Các nguyên tử có mức năng lượng khác xác định
- Các nguyên tử ở trạng thái bình thường (không bị kích thích) 1 số mức năng lượng được các điện tử lấp đầy còn các mức năng lượng khác điện tử chỉ có thể có mặt khi nguyên tử bị kích thích, các nguyên tử bị kích thích có xu hướng trở về trạng thái bình thường, khi trở về trạng thái bình thường sẽ phát ra năng lượng dưới dạng foton ánh sáng.
- Trong các vật rắn do các nguyên tử ở gần nhau các mức năng lượng bị xê dịch tạo thành các vùng năng lượng.



Giải thích tính chất của các nhóm :

3.1 Đối với kim loại (vật dẫn) :

- Khoảng cách giữa vùng lấp đầy và vùng tự do rất nhỏ $\Delta W \leq 0.2eV$

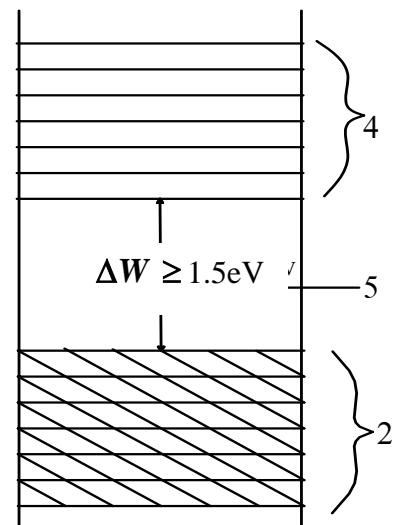


Trong trường hợp này, dưới tác dụng của chuyển động nhiệt, điện tử ở vùng lấp đầy dễ dàng nhảy lên vùng tự do và trở thành điện tử tự do tham gia dẫn điện. Vì vậy, đối với vật liệu này tính dẫn điện cao và điện trở suất $\rho = 10^{-6} \dots$

$>10^{-3} \Omega.m$

3.2 Đối với vật liệu cách điện (điện môi) :

Bề rộng vùng cấm $\Delta W \geq 1.5eV$, do đó để 1 điện tử từ vùng hoá trị lên vùng tự do phải cung cấp 1 năng lượng $\geq 3eV$. Do năng lượng yêu cầu lớn nên khó có điện tử chuyển từ vùng hoá trị lên vùng tự do, nên khả năng dẫn điện kém, thể hiện $\rho = 10^9 \dots 10^{18} \Omega.m$

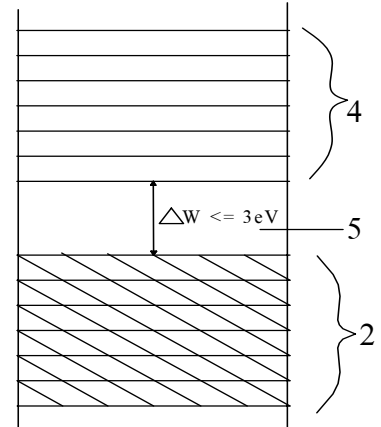


3.3 Đối với vật liệu bán dẫn :

Vật liệu này có bề rộng vùng cấm nằm giữa vật dẫn và vật cách điện $0.2 < \Delta W < 1.5 \text{ eV}$, nên ngay ở nhiệt độ bình thường một số điện tử trong vùng lấp đầy với sự tiếp sức của chuyển động nhiệt đã có thể di chuyển tới vùng tự do để hình thành tính dẫn điện của vật liệu. Dễ dàng nhận thấy rằng, số lượng điện tử ở vùng tự do phụ thuộc vào nhiệt độ. Nhiệt độ càng cao tính dẫn điện của vật liệu càng lớn.

Khi một điện tử nào đó thoát khỏi vùng lấp đầy thì tại đó hình thành "lỗ trống". Lỗ trống này lập tức được lấp kín bởi các điện tử của nguyên tử lân cận. Điện tử này sẽ để lại một lỗ trống, lỗ trống đó cũng bị tràn ngập bởi điện tử của nguyên tử lân cận khác.

Như vòngsex hình thành những cặp "điện tử -lỗ trống" trong chất bán dẫn điện. Sự di chuyển của cặp điện tử lỗ trống này sẽ tạo nên tính dẫn điện của vật liệu. Điện dẫn của loại vật liệu này nằm trong khoảng $\rho = 10^{-4} \rightarrow 10^8 \Omega$



PHẦN I
VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN
Chương 2
VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN

I. Khái niệm chung

1.1 Tính dẫn điện : vật liệu dẫn điện là vật liệu mà ở trạng thái bình thường có các điện tích tự do. Nếu đặt những vật liệu này vào điện trường thì điện tích dịch chuyển theo chiều tác dụng của điện trường và tạo thành dòng điện

Vật dẫn điện được chia thành 2 phần

Vật dẫn điện bằng điện tử: Kim loại , hợp kim và một số phi kim

Vật dẫn điện bằng ion (vật dẫn điện phân): các dung dịch axit, bazơ và muối

1.2 Điện dẫn và điện trở suất của vật dẫn điện:

Điện trở: là quan hệ giữa điện thế không đổi đặt lên vật và dòng điện chạy qua trong vật dẫn đó

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

ρ : điện trở suất của vật liệu($\Omega.m$)

l: là chiều dài dây dẫn

s: tiết diện dây dẫn

Điện dẫn: là đại lượng nghịch đảo của điện trở

$$G = 1/R \text{ (} 1/\Omega \text{)}$$

Điện trở suất ρ : là điện trở của dây dẫn chiều dài là 1 đơn vị và tiết diện là 1 đơn vị

Kí hiệu: ρ

Điện dẫn suất: là đại lượng nghịch đảo với điện trở suất của dây dẫn

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

Điện trở suất và điện dẫn suất thay đổi rất lớn theo nhiệt độ

II. Vật liệu có điện dẫn cao:

2.1 Đồng: là vật liệu quan trọng trong tất cả các loại vật liệu dùng trong kĩ thuật điện.

Điện trở suất của Đồng và các yếu tố ảnh hưởng

$$\rho = 1,682.10^6 \text{ (}\Omega.cm\text{)} \text{ và hệ số thay đổi theo nhiệt độ } \alpha = 0,0041151$$

Theo tiêu chuẩn hoá trên thị trường quốc tế ở 20°C cần có một điện trở suất $\rho = 0,017241(\Omega \cdot mm^2/m)$ và $\gamma = 58(m/\Omega \cdot mm^2)$

$$D = 8,89(kg/dm^3) \text{ và } \alpha = 0,00393(1/^\circ C)$$

- Điện trở suất của đồng bị ảnh hưởng bởi mức độ tạp chất, gia công cơ khí và xử lý nhiệt.

- Ag và Cd làm giảm rất ít điện dẫn suất nhưng tăng độ cứng của Đồng nên được dùng làm cổ góp máy điện.

- P, Si, Fe và As làm giảm nhiều điện dẫn suất của Đồng.

Về cơ khí: Sự dát mỏng, kéo khi nguội của đồng điện phân sẽ làm giảm điện dẫn suất của nó. Điện trở suất giảm đồng thời với sự giảm của đường kính.

Về xử lý nhiệt: Sự thay đổi điện trở suất tùy theo nhiệt độ nung nóng trở lại. Nung nóng giữa 200 - 300 °C sẽ cho kết quả là điện dẫn suất nhỏ hơn nhiều so với 400 - 500 °C.

Tính chất cơ học của Đồng và các yếu tố ảnh hưởng:

Tính cơ học phụ thuộc vào độ tinh khiết của đồng, phương pháp gia công, xử lý nhiệt và nhiệt độ làm việc.

Cd, Al, Sn, Ni, Zn sẽ làm tăng sức bền cơ khí khi kéo. Đồng sẽ dễ gãy khi có mặt ôi ở trong đồng.

Ở trạng thái ủ nhiệt thì : $\delta_k \approx 22(KG/mm^2)$

2.2 Nhôm:

Nhôm là vật liệu kỹ thuật quan trọng trong kỹ thuật điện. Nhôm có điện dẫn cao trọng lượng bé, tính chất vật lý và hoá học có khả năng dùng làm dây dẫn điện.

Nhôm có nhược điểm có khả năng dát mỏng, vuốt uốn dễ dàng nên dễ gia công.

Khả năng chịu kéo nén và chạm của nhôm kém, dễ bị ăn mòn

Điện trở suất của nhôm tinh khiết ở nhiệt độ 20°C là $0,0263(\Omega mm^2/m)$

Điện dẫn suất $38(m/\Omega \cdot mm^2)$

Sức bền cơ khí của nhôm phụ thuộc vào các yếu tố: mức độ tinh khiết, phương thức gia công, xử lý nhiệt và nhiệt độ làm việc

Để sử dụng nhôm làm dây dẫn người ta phải kết hợp với thép để tăng cường độ bền cơ khí cho dây dẫn

2.3 Sắt

- Sắt là kim loại rẻ, dễ sản xuất có sức bền cao và cũng được dùng để làm vật dẫn

- Điện trở suất cao hơn đồng và nhôm $0,1(\Omega mm^2/m)$

- Thép (Sắt có chứa cacbon và các nguyên tố khác) có điện trở suất cao và ở dòng điện xoay chiều trong thép có hiệu ứng bề mặt và có tổn hao do từ trễ.
- Để làm vật dẫn thường dùng loại thép mà có 0,1-0,15% cacbon, có giới hạn chịu kéo 70-75kg/mm², độ giãn khi đứt 5-8% còn điện dẫn bé hơn nhiều so với đồng.
- Thép dễ bị ăn mòn hoá học ở nhiệt độ thường nhất là làm việc trong môi trường có độ ẩm cao

III. Vật liệu dẫn điện thấp

- Vật liệu này thường được sử dụng để làm điện trở, hệ số biến đổi điện trở suất theo nhiệt độ phải bé để đảm bảo sự làm việc ổn định của điện trở đối với sự biến đổi nhiệt độ
- Phân loại:
 - + Vật liệu dùng làm điện trở chính xác cho các dụng cụ đo
 - + Vật liệu dùng làm biến trở khởi động
 - + Vật liệu dùng ở các khí cụ sưởi nóng và sun nóng

3.1 Mangannin:

Dùng cho các thiết bị nung và làm các điện trở mẫu. Nó là hợp kim gốc đồng, có thể kéo thành sợi hoặc tạo thành các băng dày.

3.2 Constantan

Hợp kim của đồng và Niken, tùy hàm lượng của Niken mà hợp kim này có ρ khác nhau

- Có thể kéo thành sợi hoặc băng giống Mangannin
- Constantan dùng để làm các biến trở, phần tử của các dụng cụ nung
- Dùng để làm cặp nhiệt ngẫu.

3.3 Hợp kim Crôm- Niken

- Làm các phần tử trong bếp nung, lò điện, mỏ hàn
- Hợp kim này có thể kéo thành sợi hoặc băng

3.4 Hợp kim Crôm - Nhôm

Hợp kim Crôm - Nhôm là hợp kim rất rẻ dùng để chế tạo các thiết bị nung lớn, lò công nghiệp

PHẦN II
Chương 3
VẬT LIỆU BÁN DẪN

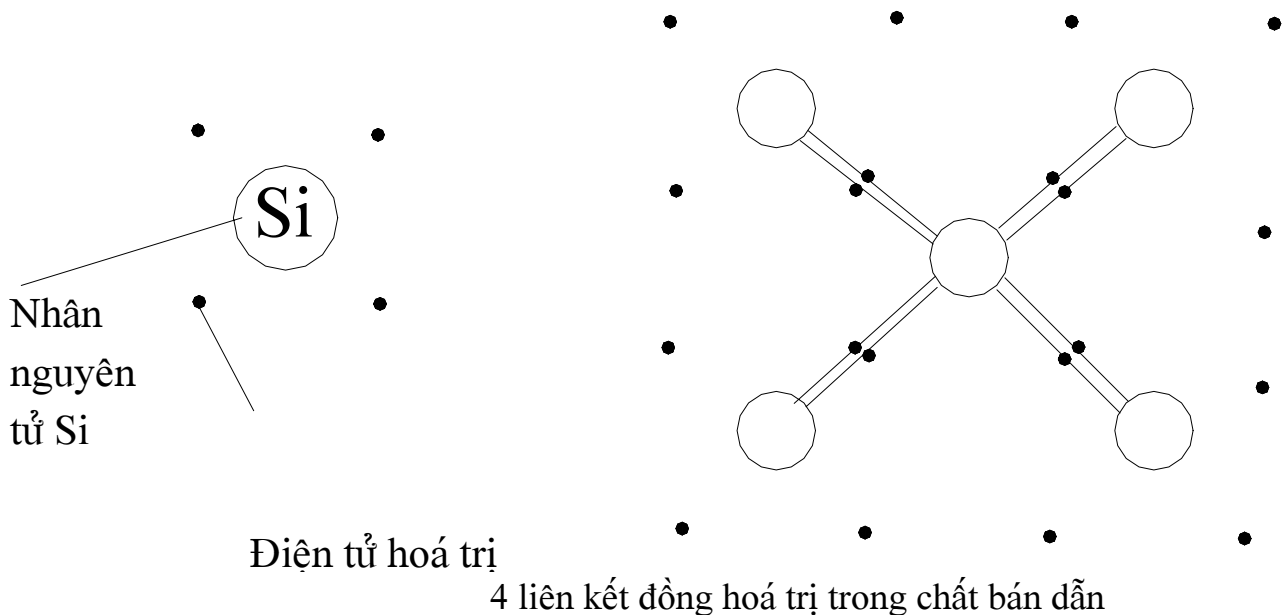
I Khái niệm chung:

Theo lý thuyết phân vùng năng lượng, vùng cấm nằm trong phạm vi $0,02\text{eV} < \Delta E < 1,5\text{eV}$ \Rightarrow năng lượng của điện tử nằm ở vùng hoá trị thoả mãn điều kiện trên thì điện tử sẽ vượt qua vùng lấp đầy và lên vùng dẫn và tạo tính dẫn điện của vật liệu. Năng lượng của điện tử còn tùy thuộc vào các yếu tố tác động vào (nhiệt độ , điện trường..) mà năng lượng của điện tử sẽ khác nhau

Như vậy: ở điều kiện này vật liệu là chất dẫn điện nhưng ở điều kiện khác nó lại là chất cách điện

II Tính dẫn điện của vật liệu bán dẫn

- Các nguyên tố hoá học trong nhóm 4 (Si, Ge,...có cấu trúc tinh thể).
- Ở nhiệt độ 0°K không tồn tại các điện tử tự do \Rightarrow không dẫn điện. Nếu ta đem đốt nóng hoặc chiếu chùm tia phóng xạ vào mạng tinh thể \Rightarrow phá vỡ liên kết và trở

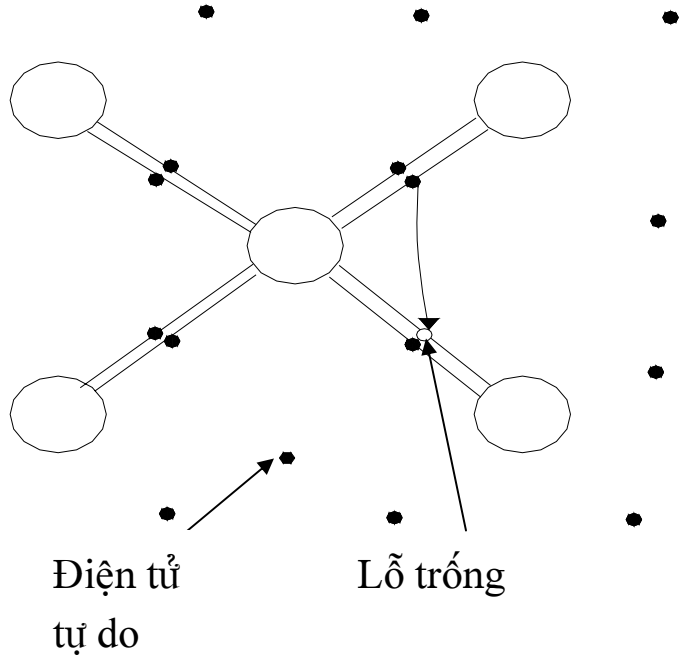


thành điện tử tự do và lỗ trống . Lỗ trống này sẽ bị điện tử khác nhảy vào và xuất hiện lỗ trống mới \Rightarrow tính dẫn điện bằng điện tử và lỗ trống.

III Vật liệu bán dẫn tinh khiết và không tinh khiết :

3.1 Vật liệu bán dẫn tinh khiết:

- Muốn trở thành dẫn điện, những electron hoá trị phải có năng lượng lớn hơn năng lượng vùng cấm:
làm tăng nhiệt độ của tinh thể lên



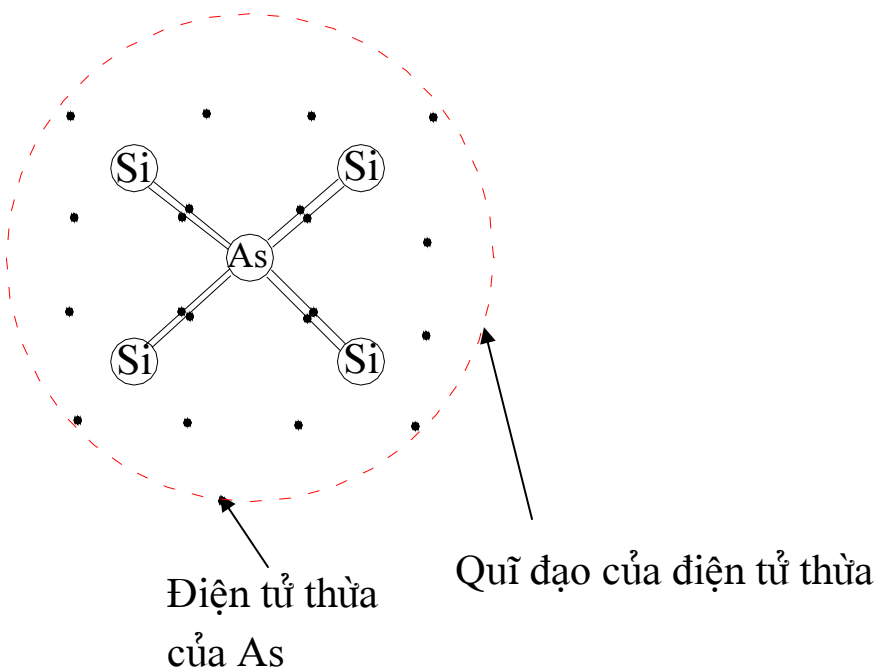
- Khi có một điện tử ở vùng dẫn thì sẽ có 1 lỗ trống mang điện tích dương ở vùng hoá trị. Sự lấp đầy lỗ trống hình thành dòng chảy lỗ trống cùng chiều với E đồng thời với quá trình chuyển động ngược chiều của điện tử tự do ở vùng dẫn. Như vậy sự xuất hiện 2 dòng chuyển động trên làm cho vật liệu từ không có khả năng dẫn điện bây giờ trở thành dẫn điện

3.2 Vật liệu bán dẫn có tạp chất :

3.2.1 Vật liệu bán dẫn loại n

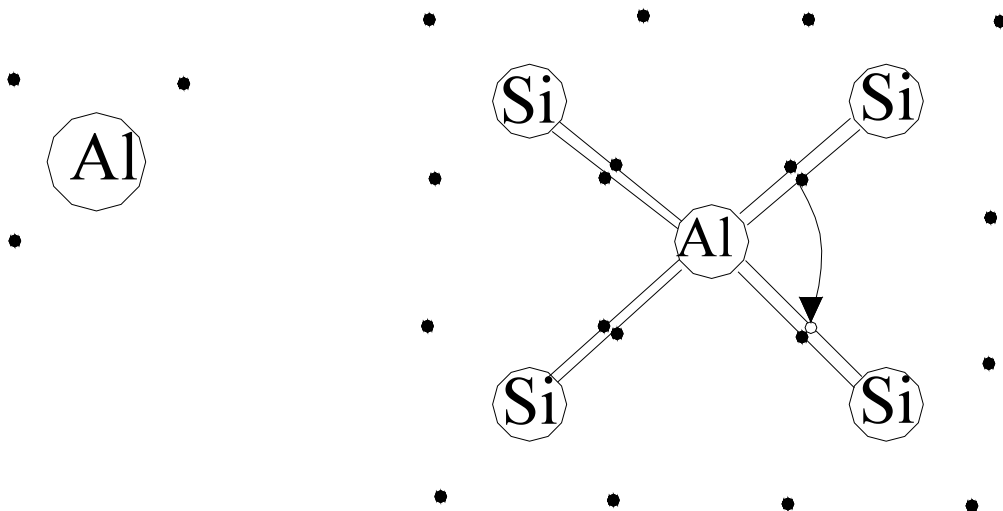
- Dẫn điện chủ yếu bằng điện tử.
- Pha thêm tạp chất hoá trị V vào Si, Ge.

- Điện tử hoá trị chưa tham gia liên kết, chuyển động xung quanh hạt nhân có bán kính rất lớn 1,33nm nên chịu lực hút hạt nhân bé. Chỉ một tác động nhỏ của nhiệt độ hoặc điện trường thì điện tử này sẽ nhảy lên vùng dẫn để tham gia vào dẫn điện. Do đó vật liệu này trở thành dẫn điện bằng điện tử chím đa số



3.2.2 Vật liệu bán dẫn loại p

- Dẫn điện bằng lỗ trống chếm đại đa số
- Pha vào tạp chất có hoá trị III như Bo, Al, Ad,...
- Trong 4 môi liên kết có một liên kết bị thiếu một điện tử hay hình thành lỗ trống mang điện tích dương. => lấp đầy lỗ trống => sự dịch chuyển từ vị trí này sang vị trí khác. Như vậy, trong chất bán dẫn loại này chủ yếu là lỗ trống tham gia dẫn điện nên gọi là chất bán dẫn loại p



PHẦN III

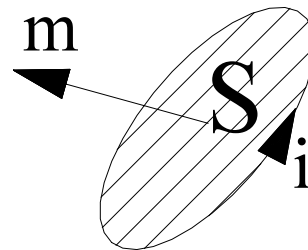
Chương 4

VẬT LIỆU TỪ

I Khái niệm:

- Nguyên nhân chủ yếu gây nên từ tính của vật liệu là do các điện tích chuyển động ngẫu nhiên theo 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 .

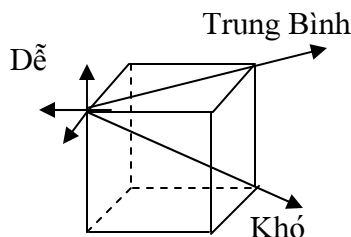
- Các điện tử chuyển động xung quanh hạt nhân tạo nên dòng điện cơ bản mà nó được đặc trưng bằng mômen từ \mathbf{m} . Mô men từ \mathbf{m} tính bằng tích của dòng điện cơ bản với 1 diện tích S được giới hạn bởi đường viền cơ bản: $\mathbf{m} = \mathbf{i} \cdot S$. Chiều vectơ \mathbf{m} được xác định theo qui tắc vụn nút chai và theo phương thẳng góc với diện tích S . Mô men từ của vật thể là kết quả tổng hợp của tất cả các mômen từ cơ bản đã nêu trên



- Ngoài các mômen quỹ đạo mà chúng ta nêu trên, các điện tử này còn quay xung quanh các trục của nó, do đó còn tạo nên các mômen gọi là mômen spin . Các spin này đóng vai trò quan trọng trong việc từ hoá vật liệu sắt từ

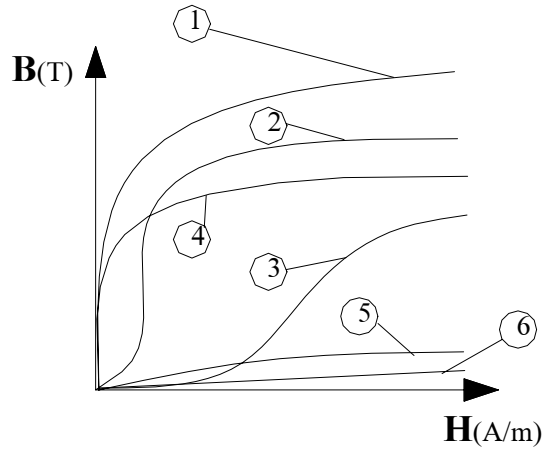
- Khi nhiệt độ dưới nhiệt độ curri, việc hình thành các dòng xoay chiều này có thể nhìn thấy được bằng mắt thường, được gọi là vùng từ tính, vùng này trở nên song song thẳng hàng cùng một hướng(các mômen spin hướng song song nhau). Như vậy vật liệu sắt từ thể hiện chủ yếu sự phân cực từ hoá tự phát khi không có các từ trường đặt bên ngoài

- Quá trình từ hoá của vật liệu sắt từ dưới tác dụng của từ trường ngoài dẫn đến làm tăng những khu vực mà mô men từ của nó tạo góc nhỏ nhất với hướng của từ trường, giảm kích cỡ các vùng khác và sắp xếp thẳng hàng các mô men từ tính theo hướng từ trường bên ngoài. Sự bão hoà từ tính sẽ đạt được khi nào sự tăng lên của khu vực dừng từ lại và mômen từ tính của tất cả các phần tinh thể nhỏ nhất được từ tính hoá tự sinh trở thành cùng hướng theo hướng của từ trường



Hướng từ hóa dễ và khó trong đơn tinh thể Sắt

- Khi từ hoá dọc theo cạnh hình khối, nó mở rộng theo hướng đường chéo, nghĩa là co lại theo hướng từ hóa, hiện tượng đó gọi là hiện tượng từ giao
Đường cong từ hoá của vật liệu sắt từ thể hiện như hình vẽ



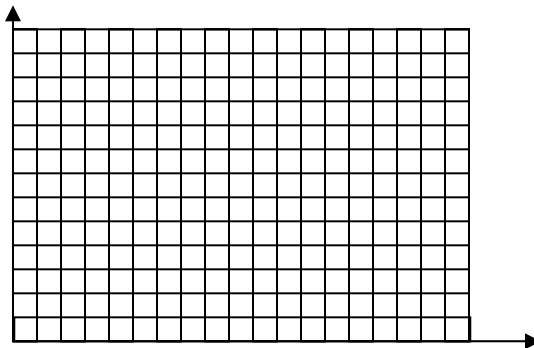
- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Sắt đặc biệt tinh khiết | 2. Sắt tinh khiết (99,98%Fe) |
| 3. Sắt kỹ thuật tinh khiết (99,92%Fe) | 4. Pécmanlô (78%Ni), |
| 5. S-Niken | 6. Hợp kim sắt - Niken(26%Ni) |

Theo đường cong từ hoá này thì độ từ thẩm được xác định theo công thức

$$\mu_r = \frac{B_m}{Hm}$$

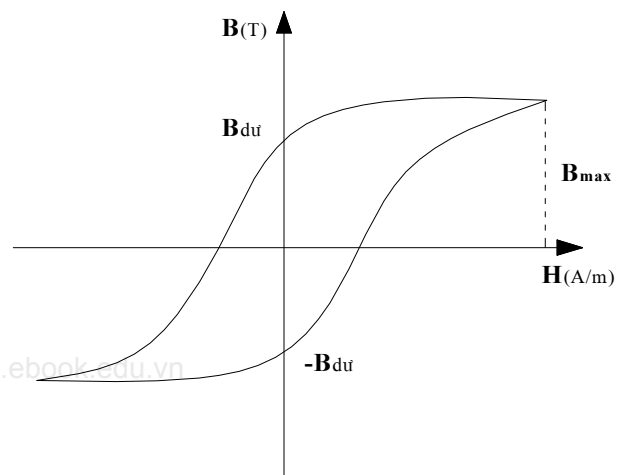
Độ từ thẩm là đại lượng cảm ứng từ B và cường độ điện trường H ở điểm xác định trên đường cong từ hóa cơ bản. Trong

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



Độ từ thẩm phụ thuộc vào nhiệt độ

- Nếu chúng ta từ hoá một vật liệu sắt từ trong một từ trường bên ngoài và



sau đó bắt đầu giảm lực từ hoá thì nó sẽ trễ sau một lực từ hoá gọi là hiện tượng từ trễ.

Việc ước tính tổn thất từ trễ trên một chu kì trong một đơn vị thể tích được tính theo công thức kinh nghiệm dưới đây

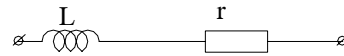
$$W_{HI} = \eta B_{\max}^n$$

η : là hệ số đặc trưng đối với vật liệu. B_{\max} là cảm ứng từ cực đại trong 1 chu kì

$$n: = 1,6 \div 2$$

- Công suất tiêu thụ trong vật liệu từ

$$P_H = \eta \cdot f \cdot B_{\max}^n \cdot V$$



f : là tần số xoay chiều và V là thể tích của vật liệu sắt từ

- Tổn thất công suất vì dòng xoáy có thể được tính theo công thức

$$P_{ed} = \xi \cdot f^2 \cdot B_{\max}^2 \cdot V$$

Trong mạch từ xoay chiều, có thể được thay thế bằng mạch L-R nối tiếp nhau(L thể hiện sự cảm ứng và r1 thể hiện tất cả các dạng tổn thất, C của cuộn và điện trở của cuộn không chú ý đến) tổn hao công suất có thể được tính theo tg δ

$$\text{tg } \delta = \frac{r1}{\omega \cdot L}$$

- Đối với một số chất có cấu trúc tinh thể, sự sắp xếp theo đường thẳng không song song với các spin cùng hướng phổ biến nào đó với hướng khác, thích hợp với cực tiểu thế năng trong hệ thống. Những chất này gọi là chất nhiễm sắt từ (những oxit của sắt mà gọi là ferit)

II Vật liệu từ mềm:

- Độ thấm từ cao, lực kháng từ nhỏ, tổn thất trễ của các vật liệu này nhỏ làm cho chúng thích ứng với các lõi của máy biến áp, các thiết bị đo lường và một số ứng dụng khác, ở vị trí mà nó được yêu cầu đến cảm ứng cao nhất với tổn thất công suất thấp nhất. Để giảm bớt tổn thất do dòng điện xoáy trong các mạch từ của máy biến áp, các lõi thường được phủ chồng lên một lớp vật liệu từ mềm mỏng có sơn vecnicách điện nhằm làm tăng điện trở suất

- Các loại sắt từ mềm thường gặp:

Sắt (thép carbon thấp): sắt thổi chứa một lượng nhỏ tạp chất (C, sulfua, Mn, Si...và các yếu tố khác làm giảm đi những tính từ tính của nó. Điện trở suất của nó tương đối thấp, thép thổi phần lớn dùng cho các lõi từ. Vật liệu này còn có tên

Armco và được sản xuất theo nhiều cấp độ khác nhau (thép điện carbon thấp, tấm điện, sắt thuần khiết)

Vật liệu	Tạp chất		Các		
			Độ thấm từ		Lực kháng từ HC(A/m)
	C	O ₂	Ban đầu	Lớn nhất	
Sắt thỏi	0,02	0,06	250	7000	64
Sắt điện phân	0,02	0,01	600	15000	28
Sắt cacbonyl	0,005	0,005	3300	21000	6,4
Sắt điện phân nóng chảy lại chân không	0,01			61000	7,2
Sắt tinh chế trong hydro	0,005	0,003	6000	200000	3,2
Sắt tinh chế cao trong hydro			20000	340000	2,4
Tinh thể đơn của sắt tinh khiết nhất được ủ râm trong hydro				1430000	0,8

Thép điện có nhiều loại khác nhau việc tăng thêm Si nhằm tăng điện trở suất của nó và vì thế làm giảm tổn thất dòng xoáy. Đồng thời làm tăng độ thấm ban đầu và giảm lực kháng từ và tổn thất năng lượng do từ trễ

Mật độ và điện trở suất của thép điện phụ thuộc vào thành phần Si

Cấp độ thép	Mức độ hợp kim thép với Si	Thành phần Si	Mật độ (Mg/m ³)	Điện trở suất (($\mu\Omega.m$))
1	Hợp kim thấp	0,8 ÷ 1,8	7,80	0,25
2	Hợp kim vừa	1,8 ÷ 2,8	7,75	0,40
3	Hợp kim cao	2,8 ÷ 3,8	7,65	0,50
4	Hợp kim cực cao	3,8 ÷ 4,8	7,55	0,60

- Tấm thép Si thành phần cao được dùng cho các lá dát mỏng của máy biến áp trong công nghiệp điện tử
- Đặc tính cơ bản của thép điện:

Cảm ứng từ B với một chỉ số đặc trưng cường độ trường từ (kA/m)

Tổng tổn thất năng lượng trên một đơn vị trọng lượng được thể hiện như bản sau

Loại thép	Chiều dày thép (mm)	$B_{2,5}-B_{30}$ (T) Không dưới	$P_{1/150}-P_{1,5/50}$ (W/kg) không trên	$B_{0,5}-B_{2,5}$ (T) Không dưới	$P_{0,75/400}-P_{1/400}$ (W/kg) không trên
ϑ 11-ϑ 043A cuốn nóng	0,35 □ 1	1,44 □ 2	0,9 □ 1,34		
ϑ 1100 - ϑ 3200	0,5	1,48 □ 2	1,5 -7,5		
ϑ 310 - ϑ 330A	0,35- 0,5	1,75-2	0,5-2,45		
ϑ 44&ϑ 340	0,1- 0,35			1,19-1,7	6-19

III Vật liệu từ cứng:

- Xuất phát từ thành phần , trạng thái và kĩ thuật sản xuất các vật liệu này được chia làm các loại sau

+ Thép hợp kim được tôi cứng

+ Hợp kim đúc

+ Nam châm dạng bột

+ Ferit từ cứng

- Những hợp kim biến dạng đàn hồi và các băng từ

Đặc tính của nam châm vĩnh cửu là lực kháng từ, cảm ứng từ dư và năng lượng cực đại của nam châm vĩnh cửu toả ra không gian. Độ thấm từ của nam châm vĩnh cửu thấp hơn nam châm mềm, lực kháng từ càng cao thì độ thấm từ càng thấp

Thép hợp kim tôi cứng là vật liệu đơn giản nhất và có sẵn để sản xuất những nam châm vĩnh cửu. Nó là hỗn hợp của tungsten, crom, molybden và cobalt. Tính chất từ được bảo đảm bởi xử lý nhiệt

Hợp kim đúc: là hợp kim có 3 nguyên tố Al-Ni-Fe gọi là alni, chúng có một năng lượng lớn . Cobalt và silic được thêm vào hợp kim này nhằm cải thiện thêm từ tính. Tính chất từ tính phụ thuộc vào kết cấu tinh thể và kết cấu từ.

Nam châm bột: cũng từ hợp chất Al-Ni-Fe nhưng không có chất kết dính. Nam châm đầu tiên có chất kết dính được gọi là nam châm gốm kim loại và nam châm thứ hai không có chất kết dính gọi là nam châm nhựa kim loại

Ferit nam châm cứng: bao gồm các ferit bari, coban và vài loại khác, phổ biến nhất là ferit bari. Lực kháng từ ở nam châm ferit bari lớn hơn lực kháng từ của nam châm alnín nhưng chúng có lực từ ban đầu và cảm ứng dư thấp hơn nam châm Al-Ni.

Phần IV

VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

- Khi đặt điện môi trong điện trường, trong điện môi diễn ra 2 hiện tượng cơ bản sau:

+ Trên bề mặt điện môi xuất hiện các điện tích trái dấu với điện tích trên bề mặt bản cực.

Hiện tượng này gọi là hiện tượng phân cực điện môi.

+ Trong điện môi xuất hiện sự chuyển dời của các điện tích tự do tạo thành dòng điện có trị số nhỏ chạy từ bản cực này sang bản cực kia. Hiện tượng này gọi là hiện tượng dẫn điện của điện môi.

Ngoài ra, do ảnh hưởng của 2 hiện tượng cơ bản trên, trong điện môi còn diễn ra 2 hiện tượng:

+ Khi có điện trường đặt vào sẽ làm cho một phần năng lượng điện sẽ biến thành nhiệt năng, sau một thời gian làm điện môi đốt nóng lên. Hiện tượng này gọi là hiện tượng tổn hao điện môi.

+ Ở điều kiện t^0, P, f nhất định, điện môi có 1 điện áp giới hạn, nếu ta đặt vào điện môi đó 1 điện áp vượt quá nó thì sẽ xảy ra hiện tượng đánh thủng điện môi. Khi đó điện môi mất tính cách điện

- Dựa vào U_{dt} ta xác định được độ bền điện của điện môi E_{bd} , E_{bd} là khả năng chịu đựng của vật liệu khi điện áp đặt vào mà không bị phá huỷ, nó đặc trưng bằng cường độ điện trường tại điểm đánh thủng

$$E_{bd} = E_{dt} = \frac{U_{dt}}{h}$$

h : bề dày điện môi tại điểm đang đánh thủng ,

U_{dt} : điện áp đánh thủng

Chương 5

SỰ PHÂN CỰC ĐIỆN MÔI

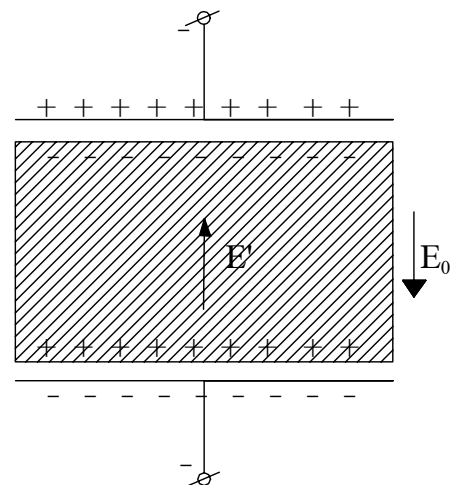
I. Khái Niệm Chung

1.1 Sự phân cực điện môi :

1.1.a Định nghĩa : Phân cực điện môi là sự dịch chuyển có giới hạn các điện tích liên kết hoặc sự định hướng của các lưỡng cực dưới tác dụng của điện trường

1.1.b Cơ chế phân cực điện môi

Các phân tử không phân cực bình thường không có cực tính nhưng dưới tác dụng của cường độ điện trường, lớp vỏ điện tử và hạt nhân sẽ dịch chuyển theo tác dụng của điện



trường (lớp vỏ điện tử chuyển động ngược chiều điện trường, hạt nhân chuyển động cùng chiều điện trường), điện trường càng lớn thì sự dịch chuyển càng mạnh làm cho phân tử bị phân cực.

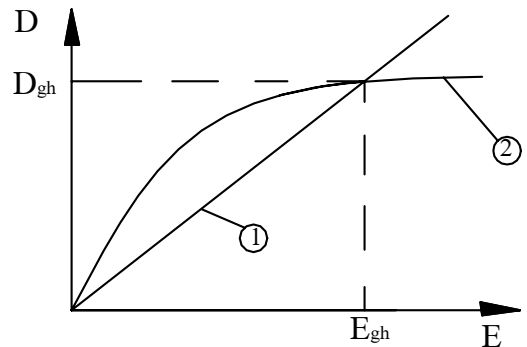
Các chất có cấu tạo lưỡng cực: bình thường các lưỡng cực chuyển động hỗn loạn theo chuyển động nhiệt, khi có tác dụng của cường độ điện trường các lưỡng cực định hướng 1 phần theo chiều điện trường.

Các chất có cấu tạo ion: dưới tác dụng của cường độ điện trường các ion sẽ dịch chuyển theo chiều tác dụng của điện trường.

Kết quả, trên bề mặt điện môi sẽ xuất hiện các điện tích trái dấu với điện tích trên bản cực, và tạo bên trong điện môi một cường độ điện trường phụ E' ngược chiều với điện trường ngoài. Đây chính là quá trình tích điện của tụ điện.

+ Đa số các điện môi có đặc điểm: Giữa cảm ứng điện D và cường độ điện trường E tạo ra bên trong điện môi phụ thuộc tuyến tính $\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E}$

+ Ngoài ra có 1 số điện môi khi \vec{E} thay đổi thì cảm ứng điện \vec{D} cũng biến đổi không tuyến tính với \vec{E} . Khi \vec{E} tăng đến 1 giá trị nào đó thì D không thay đổi. Những chất này gọi là điện môi "Xenhit" muối xenhit : $\text{NaK C}_4\text{H}_4\text{O}_6(\text{H}_2\text{O})_6$



1 : Khi E và D quan hệ tuyến tính
2 : Quan hệ phi tuyến của E và D (điện môi xenhit)

1.2) Hằng số điện môi:

Trong tụ điện, môi trường giữa 2 điện cực là điện môi. Khi đặt lên tụ điện 1 điện áp U thì trên bản cực sẽ có 1 điện tích Q . Giữa Q và U ta có quan hệ sau

$$Q = C \cdot U \text{ với } C \text{ là điện dung của tụ điện (1)}$$

Trong đó Q gồm 2 thành phần :

$$Q = Q_0 + Q'$$

Q_0 : là điện tích trên bản cực của tụ điện khi điện môi bên trong tụ là chân không

Q' : thành phần điện tích tăng thêm trên bề mặt bản cực do quá trình phân cực ở bên trong điện môi tạo ra

Từ đó người ta đưa ra tỷ số giữa Q và Q_0 , tỷ số đó gọi là hằng số điện môi tương đối

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_0} = \frac{Q_0 + Q'}{Q_0} = 1 + \frac{Q'}{Q_0} \geq 1 \quad (2)$$

$\implies \epsilon$: bất kì một chất nào cũng lớn hơn 1, trừ trường hợp điện môi là chân không $\epsilon = 1$.

Hằng số điện môi tuyệt đối: $\epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9}$ (F/m)

$$\begin{aligned} \text{Từ (1) và (2) ta có : } \varepsilon &= \frac{Q}{Q_0} \Rightarrow Q = \varepsilon \cdot Q_0 \Rightarrow C \cdot U = \varepsilon \cdot C_0 \cdot U \\ \Rightarrow \varepsilon &= \frac{C}{C_0} \end{aligned}$$

Vậy ta định nghĩa : Hằng số điện môi của 1 chất điện môi nào đó được xác định bằng tỷ số giữa điện dung tụ điện có điện môi làm bằng chất đó và điện dung của tụ điện có cùng kích thước nhưng điện môi là chân không.

1.3 Các dạng phân cực điện môi :

1.3.1 Phân loại theo thời gian phân cực:

Dựa theo thời gian phân cực có 2 dạng phân cực sau :

Dạng phân cực nhanh: Bao gồm các dạng phân cực được thực hiện trong điện môi dưới tác dụng của điện trường một cách tức thời, đàn hồi hoàn toàn và không gây tổn hao năng lượng.

Dạng phân cực chậm: Bao gồm các dạng phân cực được thực hiện trong điện môi dưới tác dụng của điện trường một cách chậm chạp, có thời gian, và phát tán năng lượng làm điện môi nóng lên.

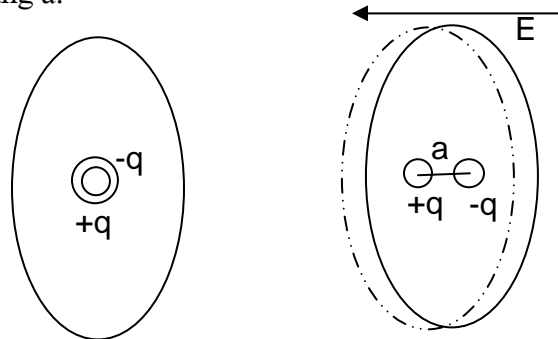
1.3.2 Phân loại theo phần tử tham gia phân cực:

Dựa theo phần tử tham gia phân cực, ta có các loại phân cực sau:

1.3.2.1 Phân cực điện tử nhanh :

Là sự dịch chuyển đàn hồi và sự định hướng của lớp vỏ điện tử của nguyên tử trong phân tử hoặc ion.

Ví dụ: ở nguyên tử khi chưa đặt điện trường, điện tử chuyển động xung quanh hạt nhân, tâm của điện tích âm trùng với tâm điện tích dương. Khi đặt điện trường vào thì điện tử sẽ dịch chuyển ngược chiều với điện trường, hạt nhân dịch chuyển cùng chiều điện trường. Kết quả tâm điện tích dương và âm lệch nhau một khoảng a .



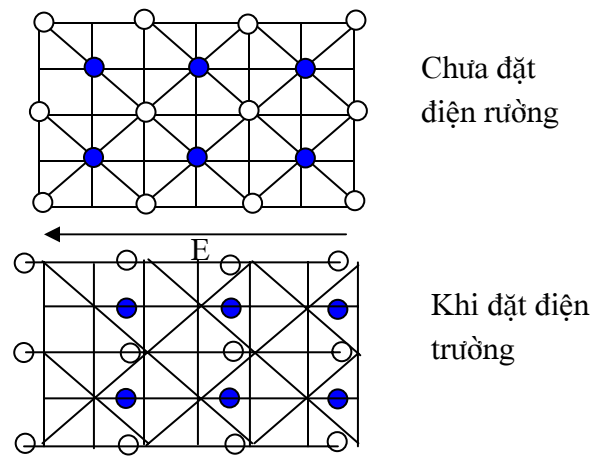
Đặc điểm:

- Thời gian phân cực diễn ra rất bé $t = 10^{-15}$ (s)
- Quá trình phân cực không phát tán năng lượng ,không tổn hao => thuộc dạng phân cực thứ nhất
- Những chất có phân cực điện tử chủ yếu thì $\varepsilon = n^2$ (n hệ số khúc xạ ánh sáng)
- Khi nhiệt độ tăng thì sự phân cực tăng
- Phân cực điện tử thường xảy ra đối với chất khí

1.3.2.2 Phân cực ion nhanh

Phân cực ion đặc trưng cho các điện môi có cấu trúc tinh thể ion, được tạo ra nhờ sự dịch chuyển đàn hồi của các ion liên kết dưới tác dụng của điện trường ngoài, nhờ dịch chuyển đàn hồi mà không phát tán năng lượng.

Ví dụ: tinh thể ion NaCl:



Đặc điểm:

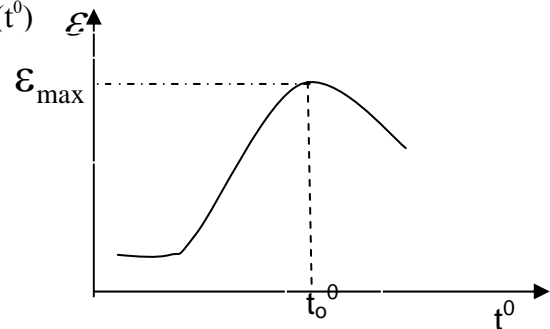
- Thời gian phân cực diễn ra rất bé $t = 10^{-12}$ (s)
- Do diễn ra tức thời, không phát tán năng lượng nên phân cực ion thuộc dạng phân cực thứ nhất.
- Khi nhiệt độ tăng thì phân cực càng tăng
- Phân cực ion thường thấy ở chất có cấu tạo ion liên kết chặt chẽ

1.3.2.3 Phân cực lưỡng cực chậm :

Phân cực này được tạo nên bởi sự định hướng 1 phần của lưỡng cực dưới tác dụng của cường độ điện trường trong khi đang chuyển động nhiệt hỗn loạn.

Đặc điểm:

- Thời gian phân cực lớn
- Tổn hao năng lượng nên thuộc dạng phân cực chậm
- Khi nhiệt độ thay đổi thì phân cực cũng thay đổi nhưng quan hệ giữa nhiệt độ và phân cực rất phức tạp thể hiện qua quan hệ $\epsilon = f(t^0)$



1.3.2.4 Phân cực ion chậm :

Phân cực được tạo nên bởi các chuyển động thừa của các nút ion dưới tác dụng của điện trường trong khi đang chuyển động nhiệt hỗn loạn quanh vị trí cân bằng

- Quá trình phân cực này có thời gian và tổn hao năng lượng nên thuộc dạng phân cực chậm.
- Đây là phân cực đặc trưng cho các chất có liên kết ion không chặt chẽ

1.3.2.5 Phân cực điện tử chậm

Phân cực này được tạo nên bởi các điện tử khuyết tật do tạp chất,

- Thời gian phân cực lớn và tiêu tốn năng lượng
- Thuộc dạng phân cực thứ hai

- Những chất có phân cực điện tử chậm có chiết suất ánh sáng lớn nên $\epsilon = n^2$ lớn

1.3.2.6 Phân cực kết cấu :

Là phân cực phụ xảy ra trong các vật liệu rắn có cấu tạo không đồng nhất và có tạp chất. Bản chất của sự phân cực này là sự dịch chuyển của các ion liên kết yếu dưới tác dụng của điện trường bên ngoài, tạo thành điện tích không gian trên ranh giới tiếp xúc giữa các miền khác nhau.

Loại phân cực này thường xảy ra ở tầng số thấp và kèm theo tổn hao năng lượng lớn, xảy ra có thời gian => phân cực kết cấu thuộc dạng phân cực thứ hai.

II Hằng số điện môi của chất khí :

Chất khí có đặc điểm sau :

Mật độ phân tử bé, khoảng cách giữa các phân tử lớn do đó sự phân cực trong chất khí không đáng kể. Nói chung $\epsilon = 1$

Sự phân cực trong chất khí chủ yếu là phân cực điện tử nhanh, $\epsilon \approx n^2$ với n là hệ số khúc xạ ánh sáng

Bảng số liệu về ϵ của 1 số khí

Tên gọi khí	Bán kính phân tử (A°)	n	n ²	ϵ (t°=20°C P=1atm)
He	1,12	1,000035	1,00007	1,000072
H ₂	1,35	1,00014	1,00028	1,00027
O ₂	1,82	1,00027	1,00054	1,00055
CO ₂	2,3	1,0005	1,001	1,00096

Mối quan hệ giữa hằng số điện môi và áp suất $\epsilon = f(P)$

P(at)	k ²	CO ₂	N ₂
1	1,00058	1,00098	1,0006
20	1,0108	1,02	1,0101
40	1,0218	1,05	1,055

Mối quan hệ giữa hằng số điện môi và nhiệt độ $\epsilon = f(t°)$

t°C	ϵ
60	1,00052
20	1,00058
-60	1,00081

Nhận xét:

Bán kính phân tử càng lớn thì ϵ càng lớn

Áp suất càng lớn thì ϵ càng lớn

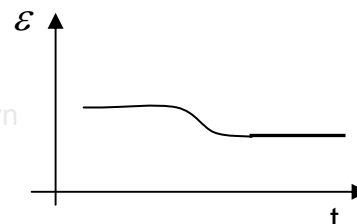
Nhiệt độ tăng thì ϵ giảm (do mật độ phân tử giảm)

III Hằng Số Điện Môi Lỏng

3.1 Đối với chất lỏng trung hoà (không có cực tính):

Đối với những chất này chủ yếu là phân cực điện tử nhanh vì vậy ϵ tỷ lệ với n²

Khi nhiệt độ tăng thì ϵ giảm vì khi nhiệt độ tăng mật độ phân tử giảm



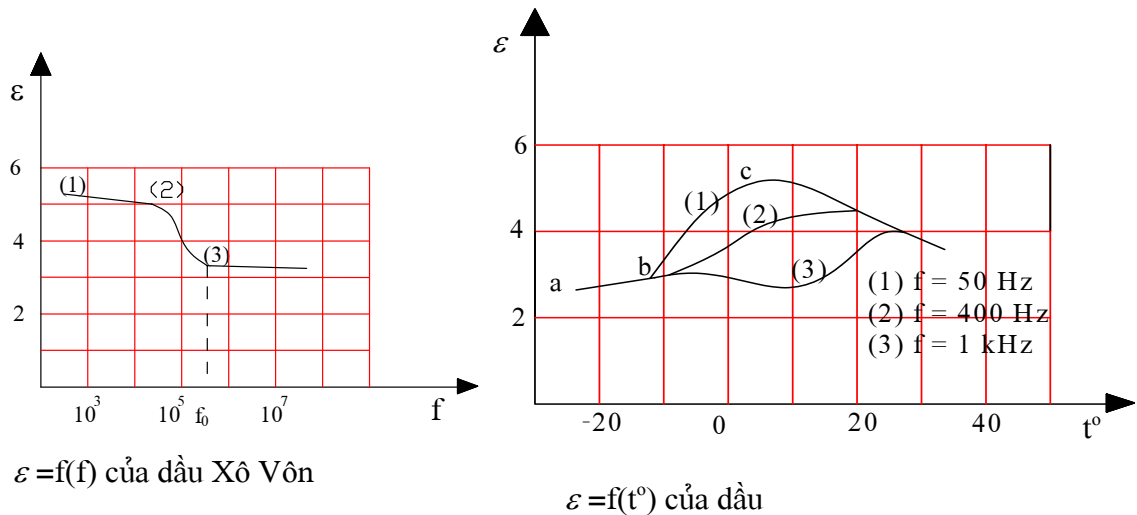
Bảng số liệu ϵ của chất lỏng trung hoà và cực tính yếu

Tên chất	n^2	ϵ
Benzen	2,25	2,18
Tôluen	2,25	2,294
Cacbon tetra Clorua	3,125	2,163

Nhận xét : Đối với chất lỏng trung hoà hay có cực tính yếu thì $\epsilon < 2,5$

3.2 Điện môi lỏng có cực tính :

- Sự phân cực của các chất lỏng có cực tính được xác định đồng thời bởi phân cực điện tử và phân cực lưỡng cực chậm
- Phân tử có cực tính càng mạnh (momen phân cực càng lớn) thì hằng số điện môi càng cao
- Một số chất có hằng số điện môi lớn (rượu, H₂O), không thể xem các chất này cách điện được mà là những chất dẫn điện yếu bằng ion
- Quan hệ giữa ϵ và nhiệt độ rất phức tạp
- Quan hệ giữa ϵ với tần số f



- Hằng số điện môi của một số chất lỏng

Tên chất lỏng	ϵ (t = 20 °C ; P = 1 atm)
Thầu dầu	4,5
Xô vôn	5,0
Xov tôn	3,2

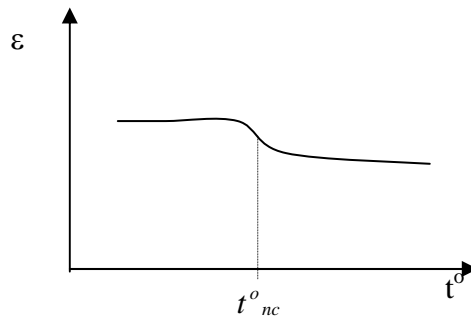
IV Hằng số điện môi của chất rắn:

Do chất rắn có cấu tạo đa dạng và phức tạp hằng số điện môi có giá trị nằm trong phạm vi rộng

4.1 Chất rắn có cấu tạo phân tử trung hoà :

Chủ yếu là phân cực điện tử nhanh $\epsilon \approx n^2$

Khi nhiệt độ tăng, ϵ giảm (do chất rắn giãn nở vì nhiệt nên mật độ phân tử giảm)



Hằng số điện môi của một số chất rắn

Chất rắn	n	n ²	ε[t = 20° C]
Parafin	1,43	2,06	1,9 ÷ 2,2
Polistirol	1,55	2,4	2,4 ÷ 2,6
Lưu huỳnh	1,96	3,62	3,6 ÷ 4,0

4.2 Chất rắn có cấu tạo ion liên kết chặt chẽ:

Có phân cực điện tử nhanh và ion nhanh

Hầu hết đều có hệ số nhiệt độ ($T_{Kε} = \frac{1}{ε} \cdot \frac{dε}{dt} > 0$), riêng một số chất có chứa Titan có hệ số

$T_{Kε} < 0$ và có giá trị lớn

Chất	Đặc điểm	ε	T _{Kε}
NaCl	$T_{Kε} < 0$	6	150.10 ⁻⁶
Al ₂ O ₃		10	100.10 ⁻⁶
TiO ₂	$T_{Kε} < 0$		-750.10 ⁻⁶
CaOTiO ₂			-1500.10 ⁻⁶

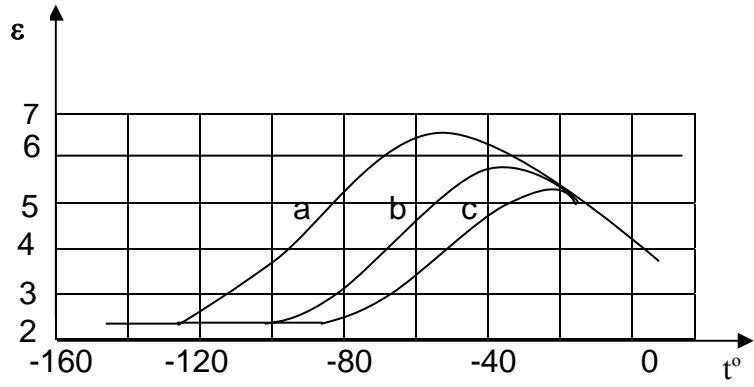
4.3 Điện môi rắn có cấu tạo ion liên kết không chặt chẽ :

- Phân cực điện tử nhanh và phân cực ion chậm
- Có hằng số nhiệt độ $T_{Kε} > 0$ và có giá trị không cao

4.4 Điện môi rắn có cấu tạo từ các phân tử cực tính :

- Phân cực điện tử và phân cực lưỡng cực chậm
 - Hằng số điện môi: Phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ và tầng số giống như chất lỏng lưỡng cực
- Các chất thuộc loại này bao gồm : Xenlulô và các sản phẩm chế biến từ giấy , xơ ,đay ..., các chất trùng hợp cao phân tử có cực tính và Sapgalovac và nước đá
- Đặc tính $ε = f(t)$ của Sap galovac

- a: $f=10\text{kHz}$
- b: $f=100\text{kHz}$
- c: $f=1\text{MHz}$



Chương 6

TÍNH DẪN ĐIỆN CỦA ĐIỆN MÔI

I Khái Niệm Chung

1.1 Bản chất vật lý sự dẫn điện trong vật chất:

-Định nghĩa dòng điện: là sự chuyển dịch có hướng của các điện tích dưới tác dụng của điện trường.

-Thiết lập công thức để tính mật độ dòng điện trong vật chất:

giả thuyết: xét một đơn vị thể tích vật chất có mật độ điện tích là n và điện tích mỗi hạt là q .

=> tổng điện tích trong một đơn vị thể tích là $n.q$

*khi chưa đặt điện trường vào vật liệu: các điện tích sẽ dịch chuyển hỗn loạn dưới tác dụng nhiệt với vận tốc V_t

*Khi đặt vào vật chất đó một cường độ điện trường vuông góc với một mặt khối vật chất:khi đó các hạt sẽ chịu tác dụng một lực $\vec{F} = q.\vec{E}$ nên điện tích sẽ dịch chuyển với vận tốc V

*Như vậy khi đặt vào một điện trường E thì hạt điện tích sẽ dịch chuyển với vận tốc là V_e

Theo định nghĩa về mật độ dòng điện ta có:

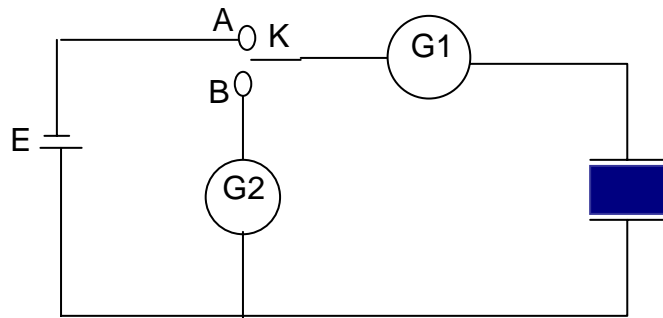
$$J = n.q.V_e$$

Như vậy: bản chất của sự dẫn điện trong vật chất là sự dịch chuyển của các hạt mang điện trong điện trường. Muốn có sự dẫn điện thì vật chất đó phải có điện tích tự do và phải có điện trường tác dụng vào

1.2 Các loại dòng điện trong điện môi:

-Thí nghiệm đo dòng điện trong điện môi:

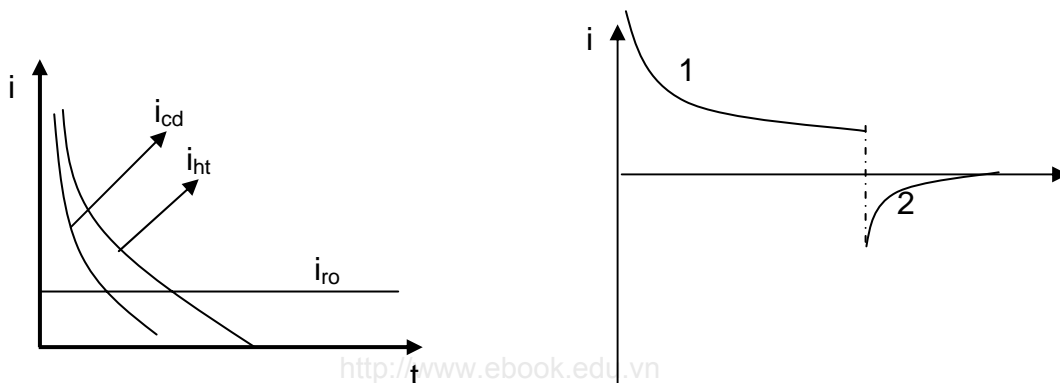
1.2.1 Sơ đồ thí nghiệm:



1.2.2 Tiến hành thí nghiệm:

Đóng khoá K vào vị trí A, điện kế G1 cho ta vẽ được dòng điện như đường số 1

Đóng khoá K vào vị trí B, điện kế G2 cho ta vẽ được dòng điện như đường số 2



1.2.3 Phân tích kết quả thí nghiệm:

Phân tích dòng 1: dòng 1 có dạng giảm dần từ một giá trị lớn đến một giá trị xác lập. Như vậy ta có thể phân tích dòng này gồm 2 thành phần: thành phần tắt dần theo thời gian và thành phần không đổi theo thời gian

1.2.3.1 Thành phần tắt dần theo thời gian: khi đặt bất kì một điện môi vào trong điện trường thì trong điện môi xảy ra sự phân cực và dòng phân cực sẽ tắt dần theo thời gian. Như vậy thành phần này chính là dòng phân cực có hai loại dòng phân cực:

Dòng chuyển dịch (I_{cd}): là dòng do hiện tượng phân cực nhanh gây nên (do sự dịch chuyển các điện tích trong phân tử, nguyên tử). Dòng này không gây nên tổn thất và tắt nhanh theo thời gian

Dòng hấp thụ (I_{ht}): là dòng điện do hiện tượng phân cực chậm gây nên. Dòng này gây nên tổn thất điện môi vắn dần theo thời gian nhưng chậm hơn so với dòng chuyển dịch

Như vậy dòng phân cực là tổng hai dòng này $I_{pc} = I_{cd} + I_{ht}$

Sau thời gian phân cực dòng này sẽ không còn nữa. Ở điện áp 1 chiều I_{pc} tồn tại ngay lúc đóng nguồn vào còn ở điện áp xoay chiều sẽ tồn tại trong suốt thời gian tồn tại điện áp

1.2.3.2 Thành phần không đổi theo thời gian: Thành phần này do các điện tích tự do có sẵn trong điện môi, dưới tác dụng của điện trường các điện tích này dịch chuyển. Dòng điện tích này không đổi theo thời gian và gọi là dòng rò. Dòng này tồn tại trong suốt thời gian tồn tại điện trường và gây nên tổn thất điện môi.

Như vậy tổng dòng điện trong điện môi $I = I_r + I_{pc}$ là đường 1 trên hình vẽ. Khi sự phân cực kết thúc thì $I = I_r$

Khi làm việc lâu dài dưới tác dụng của điện áp trong thời gian dài, dòng điện chạy qua điện môi có thể tăng hoặc giảm theo thời gian, tùy theo cấu tạo của điện môi. Nếu dòng điện tăng dần theo thời gian thì điện môi sẽ phá hủy dần tính chất cách điện của nó.

1.3 Điện trở cách điện của điện môi : (R_{cd})

- Điện trở cách điện R_{cd} là đại lượng đặc trưng cho khả năng cách điện của vật liệu. R_{cd} được xác định bằng tỷ số giữa điện áp đặt vào khối điện môi và dòng rò qua khối điện môi đó.

$$R_{cd} = \frac{U}{I_{r0}}$$

Do dòng chạy qua khối điện môi $I = I_{r0} + I_{pc}$

$$\Rightarrow R_{cd} = \frac{u}{i - \sum i_{pc}} = \frac{u}{i_{r0}}$$

Dòng rò không xác định chính xác được vì không thể tách riêng dòng rò và dòng chuyển dịch do hiện tượng phân cực trong điện môi. Vì vậy, để xác định được R_{cd} , ta xác định điện trở điện môi ứng với dòng điện đo được sau 1 phút :

$$R'_{cd} = \frac{U}{I'}$$

Với U : điện áp đặt lên điện môi, I' là dòng điện đo được sau 1 phút

$$R'_{cd} < R_{cd}$$

1.3 Điện dẫn cách điện của điện môi (G_{cd}):

Điện dẫn của điện môi là đại lượng đặc trưng cho khả năng cho dòng rò đi qua và được xác định bằng nghịch đảo của điện trở cách điện.

$$G_{cd} = \frac{1}{R_{cd}} = \frac{I_{rò}}{U}$$

Đối với vật liệu cách điện rắn có 2 loại điện dẫn: điện dẫn khối G_{cd}^v và điện dẫn mặt G_{cd}^s

Do đó, $G_{cd} = G_{cd}^v + G_{cd}^s$

1.4 Điện trở suất và điện dẫn suất:

1.4.1 Điện trở suất :

* **Điện trở suất khối:** là điện trở của 1 khối lập phương có cạnh 1 cm khi dòng điện chạy qua 2 mặt đối diện của khối đó . $\rho_v (\Omega.cm)$

- Để xác định điện trở suất của khối điện môi phẳng, ta xác định như sau:

$$\rho_v = R_v \cdot \frac{S}{h} (\Omega.cm)$$

Trong đó : R_v là điện trở của khối điện môi đo được Ω

S là diện tích của bản mặt điện cực (cm^2)

h : là bề dày của khối điện môi (cm)

* **Điện trở suất mặt:** là điện trở của 1 hình vuông cạnh 1 cm được tách ra 1 cách tưởng tượng trên bề mặt khối điện môi khi dòng điện chạy qua 2 mặt đối diện của hình vuông đó $\rho_s (\Omega)$

- Để xác định điện trở suất của khối điện môi phẳng, ta xác định như sau:

$$\rho_s = R_s \cdot \frac{1}{h} (\Omega)$$

Trong đó: R_s là điện trở của bề mặt khối điện môi (Ω)

L là bề rộng của khối điện môi (cm)

h là bề dày của khối điện môi (cm)

1.4.2 Điện dẫn suất

* **Điện dẫn suất khối:** là đại lượng nghịch đảo của điện trở suất khối

$$\gamma_v = \frac{1}{\rho_v} \left(\frac{1}{\Omega.cm} \right) \text{ với } \rho_v \text{ là điện trở suất của khối điện môi}$$

* **Điện dẫn suất mặt:** là đại lượng nghịch đảo của điện trở suất mặt

$$\gamma_s = \frac{1}{\rho_s} \left(\frac{1}{\Omega} \right) \text{ với } \rho_s \text{ là điện trở suất của bề mặt điện môi}$$

II. Tính dẫn điện của điện môi khí:

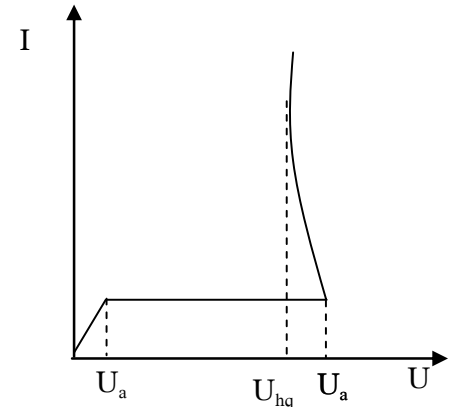
- Đối với chất khí, đặc điểm nổi bật là do mật độ phân tử rất bé. Cho nên, khi cường độ điện trường bé thì dòng rò trong điện môi khí chỉ do các điện tử tự do và các ion tạo ra bởi các yếu tố bên ngoài nên dòng rò rất bé. Do đó điện dẫn bé và điện dẫn này được gọi là điện dẫn không tự duy trì.

- Nhưng khi điện trường tăng lên đến mức trong môi trường khí xảy ra quá trình ion hoá va chạm, các điện tích tạo ra theo cấp số nhân, nên điện dẫn tăng cao, gọi là điện dẫn tự duy trì.

- Để thấy mức độ thay đổi điện dẫn theo cường độ trường ta phân tích đường đặc tính V-A của khối khí như sau :

Ta thấy đường đặc tính được chia ra làm thành 3 đoạn:

+ Khi $U < U_a$: Dưới tác dụng của các yếu tố bên ngoài các điện tử và các ion dương sẽ di chuyển theo chiều tác dụng của điện trường và trong quá trình dịch chuyển sẽ xảy ra hiện tượng kết hợp các điện tích trái dấu tạo thành hạt trung tính. Do đó, khi điện trường càng cao các hạt mang điện trái dấu chuyển động càng nhanh nên khả năng kết hợp càng giảm. Vì vậy, I sẽ tăng gần như tuyến tính theo điện áp.



+ Khi $U_a \leq U \leq U_b$: Do số lượng điện tử và ion trong không khí có giới hạn cho nên mặc dù điện áp tăng nhưng số điện tử phát sinh cân bằng với số lượng điện tử tái hợp nên số lượng điện tích duy chuyển không đổi. Vì vậy, dòng điện không đổi khi điện áp tăng, giá trị dòng này gọi là dòng bão hoà i_{bh}

+ Khi $U > U_b$: khi điện áp đặt vào với giá trị đủ lớn thì lúc này năng lượng mà điện tử tích lũy được đủ để gây nên ion hoá va chạm. Điện tích được sinh ra rất nhiều và dòng điện tăng lên cao rất nhiều so với điện áp (không phụ thuộc vào điện áp). Khi này điện áp có giảm đi so với giá trị U_0 để duy trì hồ quang trong khe hở khí.

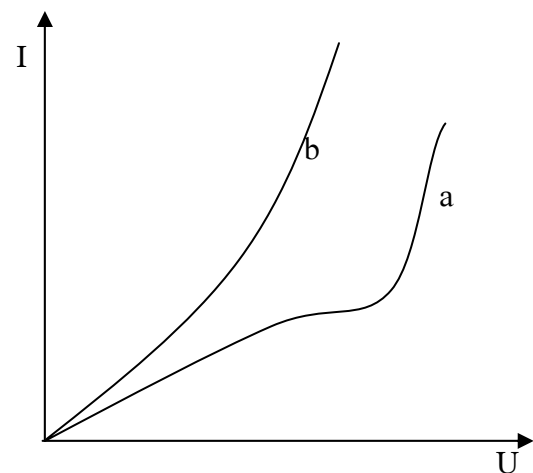
+ Trong thực tế , ở điều kiện bình thường trong không khí dòng điện bão hoà đạt được khi khoảng cách các điện cực 10mm, $E=0,0006 \text{ V/mm}$, $i_{bh}=10^{-21} \text{ A/mm}^2$

III. Tính dẫn điện của chất lỏng:

Tính dẫn điện của chất lỏng liên quan chặt chẽ đến cấu tạo phân tử chất lỏng

3.1 Với chất lỏng trung hoà: vì không thể tách ra thành ion âm và ion dương để tham gia vào

dẫn điện, nên độ dẫn điện hoàn toàn phụ thuộc vào sự có mặt tạp chất trong chất lỏng và bản chất của chính chất lỏng (nước cũng là tạp chất trong chất lỏng). Chỉ cần 1 lượng tạp chất nhỏ trong chất lỏng cũng làm cho điện dẫn tăng lên cao và khi dòng điện chạy qua chất lỏng trong thời gian dài sẽ làm giảm dần điện dẫn của nó (do sự phân ly các tạp chất để trung hoà trên các điện cực). Trong thực tế khó có thể loại bỏ hết tạp chất ra khỏi chất lỏng nên khó có thể tạo ra chất lỏng có điện dẫn thấp



Đặc tính V-A của chất lỏng trung tính sạch như đường a và chất lỏng có tạp chất như hình b

3.2 Đối với chất lỏng cực tính:

- Độ dẫn điện của chất lỏng không những chỉ phụ thuộc vào tạp chất mà còn phụ thuộc vào cả bản thân của chất lỏng. Độ dẫn điện đối với các chất lỏng có cực tính bao giờ cũng cao hơn chất lỏng trung hoà. Cực tính càng mạnh tính dẫn điện càng cao và khi ϵ càng tăng thì độ dẫn điện

càng tăng. Một số chất lỏng cực tính mạnh đến mức có thể xem như không phải là vật liệu cách điện mà là vật liệu dẫn điện bằng ion.

- Điện dẫn suất của bất kì chất lỏng nào cũng phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ. Trong phạm vi nhiệt độ thay đổi không đáng kể thì điện dẫn suất được xác định

$$\gamma = \gamma_0 e^{\alpha t}$$

γ_0, α là hằng số đối với 1 chất lỏng và γ_0 là điện dẫn ở nhiệt độ $t = 0^\circ\text{C}$

Bảng so sánh ϵ và ρ của một số chất lỏng

Tên chất lỏng	Đặc điểm	$\rho[\Omega.cm]$ ở $t=0^\circ\text{C}$	Hằng số ϵ
Benzen	Trung hoà	$10^{11} \div 10^{12}$	2,2
Dầu biến áp			2,2
Dầu xăng		$10^{10} \div 10^{13}$	2,0
XôVô	Cực tính	$10^8 \div 10^{10}$	4,5
Thầu dầu		$10^8 \div 10^{10}$	4,6
Axeton	Cực tính	$10^4 \div 10^5$	22
Rượu etilic		$10^3 \div 10^4$	33
Nước cất			81

Nhận xét: chất lỏng càng có cực tính thì hằng số điện môi càng cao, điện trở suất càng nhỏ nên E_{bd} càng kém.

IV. Tính dẫn điện của điện môi rắn:

4.1 Điện dẫn khối:

- Trong vật rắn luôn tồn tại các điện tử, ion của bản thân chất rắn hoặc của các tạp chất có mặt trong chất rắn. Dưới tác dụng của điện áp đặt vào, trong bản thân vật rắn sẽ có dòng các hạt mang điện di chuyển tạo nên dòng rò chạy trong khối điện môi đó. Khi cho dòng điện chạy qua điện môi có chứa tạp chất trong thời gian dài thì dòng rò và điện dẫn giảm dần theo thời gian. Nhưng sự tồn tại và giá trị của nó còn tùy thuộc vào cấu tạo vật rắn:

+ **Với điện môi có cấu tạo ion:** độ dẫn điện còn phụ thuộc vào chính ion của điện môi được giải phóng ra do chuyển động nhiệt. Điện dẫn của nó phụ thuộc chặt chẽ vào hoá trị của ion các ion có hoá trị 1 có điện dẫn lớn hơn so với ion có hoá trị 2 và 3

+ **Với điện môi có cấu tạo mạng lưới nguyên tử hay phân tử**, tính dẫn điện phụ thuộc vào ion tạp chất. Vì vậy trong chế tạo làm sạch tạp chất trong vật rắn là điều quan trọng

4.2 Điện dẫn mặt

- Do bề mặt điện môi không phải là phẳng hoàn toàn do đó trên bề mặt điện môi luôn tồn tại lớp bẩn và hơi ẩm trên bề mặt điện môi. Chính lớp này sẽ tạo ra các điện tích tự do và sinh ra dòng rò chạy trên bề mặt điện môi hay điện môi có điện dẫn mặt. Điện dẫn này phụ thuộc bề dày lớp hơi ẩm này

- Điện dẫn mặt phụ thuộc vào các yếu tố sau :

+ Độ ẩm môi trường xung quanh

+ Bề mặt vật liệu

+ Bản chất vật liệu

Chương 7

TỒN HAO ĐIỆN MÔI

I Khái niệm chung

1.1 Một số định nghĩa:

1.1.1 Công suất tổn hao điện môi là phần năng lượng toả ra bên trong điện môi trong 1 đơn vị thời gian làm cho điện môi nóng lên khi có điện áp đặt vào điện môi.

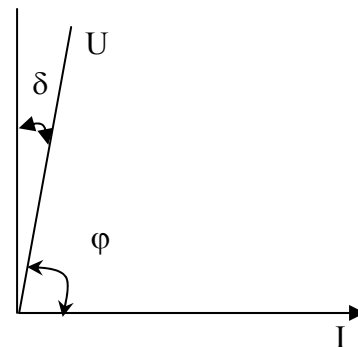
Kí hiệu $P[W]$

1.1.2 Suất tổn hao điện môi: là phần công suất điện môi tính cho 1 đơn vị thể tích điện môi. Tức là năng lượng toả ra bên trong điện môi trong 1 đơn vị thời gian trên một đơn vị thể tích khi có điện áp tác dụng vào.

$$\text{Kí hiệu } p = \frac{P}{V} \left(\frac{W}{m^3} \right)$$

1.1.3 Góc tổn hao điện môi: là góc phụ của góc lệch pha giữa dòng điện chạy trong điện môi và điện áp tác dụng lên điện môi

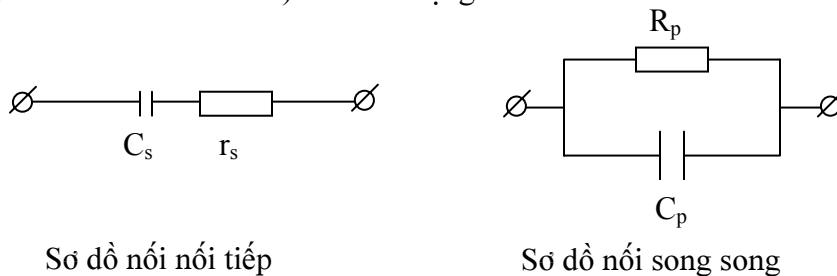
Kí hiệu: δ với $\delta = 90^\circ - \varphi$ (độ)



1.2 Sơ đồ thay thế tính tổn thất điện môi:

Đối với một khối điện môi bất kì, dưới tác dụng của điện trường đều được đặc trưng bởi 2 đại lượng cơ bản : C (điện dung điện môi) và điện trở R của điện môi

Để đơn giản trong tính toán, 2 đại lượng đó có thể ghép nối tiếp hoặc song song nhau (giá trị 2 đại lượng trên có thể khác nhau). Ta có 2 dạng sơ đồ



Trong đó: C_s và C_p là các đại lượng đặc trưng cho hiện tượng phân cực trong điện môi
 r_s và R_p là đại lượng thể hiện tính dẫn điện của điện môi.

+ Trong sơ đồ nối tiếp $r_s = 0$ thì không có tổn thất điện môi, khi r_s càng tăng lên thì tổn thất càng tăng

+ Trong sơ đồ nối song song $R_p \rightarrow \infty$ thì không có tổn thất điện môi, khi R_p càng nhỏ thì tổn thất càng tăng lên

1.3 Cách tính tổn thất điện môi:

Cách tính:

-Dù sơ đồ thay thế ở dạng bất kì cũng có thể đưa về 2 dạng chính : sơ đồ nối tiếp và sơ đồ song song.

-Vẽ đồ thị vectơ

-Xác định góc lệch pha => góc tổn hao điện môi

-Xác định công suất tổn hao điện môi

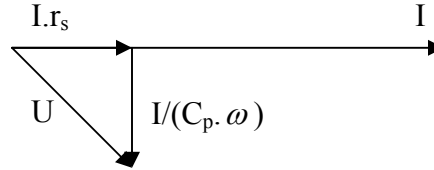
1.3.1 Tính tổn hao điện môi sơ đồ nối tiếp:

Theo định luật kiffsof:

$$\vec{U} = \vec{I}r_s - j\vec{I}/(C_s.\omega)$$

Theo đồ thị vectơ ta có

$$\text{tg } \delta = \cotg \varphi = \frac{I r_s}{I/(C_s.\omega)} = r_s C_s.\omega$$



Công suất tổn hao điện môi:

$$P_s = r_s.I^2 = r_s \cdot \frac{U^2}{(r_s^2 + C_s^2.\omega^2)} = r_s (C_s.\omega)^2 \cdot \frac{U^2}{(r_s C_s.\omega)^2 + 1} = C_s.\omega.U^2 \cdot \frac{\text{tg } \delta}{1 + \text{tg}^2 \delta}$$

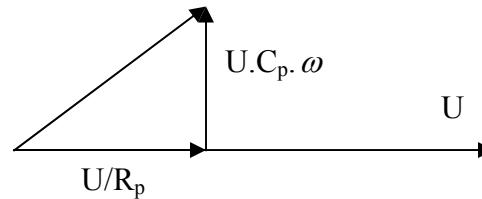
1.3.2 Trong sơ đồ song song:

Theo định luật kiffsof:

$$\vec{I} = \frac{\vec{U}}{R_p} + j\vec{U}C_p.\omega$$

Theo đồ thị vectơ ta có

$$\text{tg } \delta = \cotg \varphi = \frac{\frac{U}{R_p}}{UC_p.\omega} = \frac{1}{R_p C_p.\omega}$$



$$P_p = R_p.I^2 = R_p \cdot \frac{U^2}{R_p^2} = \frac{U^2}{R_p} = \frac{C_p.\omega.U^2}{R_p.C_p.\omega} = C_p.\omega.U^2 \text{tg } \delta$$

Vậy trong 2 sơ đồ tổn hao điện môi đều phụ thuộc vào tg δ

1.3.3 Mối quan hệ của 2 sơ đồ:

Do 2 sơ đồ đều thay thế cho cùng một khối điện môi cho nên tổn hao điện môi trong hai sơ đồ và góc tổn hao phải bằng nhau

$$+ \text{Tổn hao trong 2 sơ đồ bằng nhau: } P_s = P_p \Rightarrow C_p.\omega.U^2 \text{tg } \delta = C_s.\omega.U^2 \cdot \frac{\text{tg } \delta}{1 + \text{tg}^2 \delta}$$

$$\Rightarrow C_p = \frac{C_s}{1 + \text{tg}^2 \delta}$$

+ Góc tổn hao điện môi bằng nhau: $\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{R_p C_p \cdot \omega} = r_s C_s \cdot \omega$

$$\text{Thế } C_p \text{ vào } \Rightarrow \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}{R_p C_s \cdot \omega} = r_s C_s \cdot \omega \Rightarrow R_p = r_s \cdot \frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \delta)}{(r_s \cdot C_s \cdot \omega)^2} = r_s \cdot \frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \delta)}{(\operatorname{tg} \delta)^2}$$

Do đối với điện môi, mạch có tính dung lớn nên $\operatorname{tg} \delta \ll 1$

$$\Rightarrow C_p \approx C_s \text{ và } R_p = r_s \cdot \left(1 + \frac{1}{(\operatorname{tg} \delta)^2}\right) \gg r_s$$

1.3.4 Suất tổn hao điện môi

$$P = C_p \cdot \omega U^2 \operatorname{tg} \delta = C \cdot \omega U^2 \operatorname{tg} \delta$$

Với: $C = \epsilon \cdot C_0$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \text{ (F/m);}$$

$C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{d}$ với d (m) là khoảng cách giữa 2 bản cực; S (m²) là diện tích bề mặt bản cực.

$U = E \cdot d$ với E (V/m) là cường độ điện trường trong khe hở

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ f là tần số điện áp đặt vào

$$\Rightarrow P = C \cdot \omega U^2 \operatorname{tg} \delta = \epsilon \cdot \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{S}{d} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot E^2 \cdot d^2 \cdot \operatorname{tg} \delta = \epsilon \cdot \frac{1}{18 \cdot 10^9} \cdot f \cdot E^2 \cdot S \cdot d \cdot \operatorname{tg} \delta$$

$$p = \frac{P}{V} = \epsilon \cdot \frac{1}{18 \cdot 10^9} \cdot f \cdot E^2 \cdot \operatorname{tg} \delta = k E^2$$

$$\text{với: } k = \epsilon \cdot \frac{1}{18 \cdot 10^9} \cdot f \cdot \operatorname{tg} \delta \text{ (W/V}^2\text{m)}$$

1.4 Các nguyên nhân gây tổn hao điện môi:

1.4.1 Tổn hao điện môi do phân cực:

- Tổn hao này do hiện tượng phân cực chậm gây ra, thường thấy ở các chất có cấu tạo lưỡng cực và cấu tạo ion ràng buộc không chắc chắn.
- Tổn thất này gây ra do sự phá huỷ chuyển động nhiệt của các ion hoặc phân tử lưỡng cực dưới tác dụng của điện trường, sự phá huỷ trạng thái này làm mất mát năng lượng và làm cho điện môi bị nóng lên
- Tổn hao do phân cực tăng theo tần số điện áp đặt vào điện môi
- Tổn hao do phân cực phụ thuộc vào nhiệt độ, tổn hao đạt cực đại tại 1 nhiệt độ nhất định đặc trưng cho mỗi chất điện môi.

1.4.2 Tổn hao do điện dẫn rò:

Trong bất kì chất điện môi nào luôn tồn tại các điện tử tự do, dưới tác dụng của điện trường các điện tử tự do này sẽ dịch chuyển theo chiều tác dụng của điện trường, tạo nên dòng điện rò. Dòng rò này, kết hợp với điện trở điện môi gây nên tổn thất nhiệt.

$$\text{Tổn hao do dòng rò được xác định } \operatorname{tg} \delta = \frac{1,8 \cdot 10^{12}}{\epsilon \cdot f \cdot \rho}$$

Trong đó : ϵ là hằng số điện môi
 f là tần số điện áp
 ρ là điện trở suất của khối điện môi ($\Omega.cm$)

Khi nhiệt độ tăng thì tổn hao điện môi càng tăng
 $P = P_0 \cdot e^{\alpha \cdot T}$

Trong đó: P_0 là tổn hao ở nhiệt độ $20^\circ C$
 α là hệ số nhiệt.
 T là độ chênh nhiệt so với $20^\circ C$

1.4.3 Tổn hao do ion hoá:

Tổn thất này thường gặp trong chất khí, khi trong môi trường khí có xảy ra ion hoá. Tổn thất này được tính theo công thức

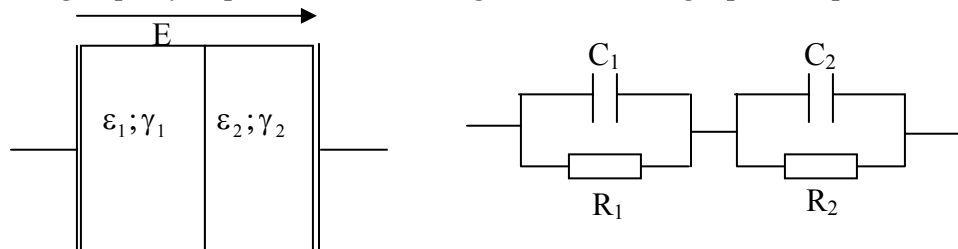
$$P_i = A_i \cdot f \cdot (U - U_0)^3$$

Trong đó: A_i là hằng số đối với từng chất khí
 f là tần số điện áp đặt vào
 U_0 là điện áp bắt đầu gây ion hoá chất khí

Trị số U_0 phụ thuộc vào từng loại chất khí, nhiệt độ và áp suất làm việc của chất khí. Tuy nhiên, còn tùy thuộc vào mức độ đồng nhất của điện trường. Cùng 1 giá trị điện áp đặt vào nhưng điện trường đều sẽ khó gây ion hoá hơn so với điện trường đều.

1.4.4 Tổn hao do cấu tạo không đồng nhất:

Tổn thất này xảy ra trong các vật liệu có cấu tạo không đồng nhất. Để xác định tổn hao điện môi trong trường hợp này ta phải xem điện môi gồm 2 điện môi ghép nối tiếp nhau



Góc tổn hao điện môi được xác định

$$\tan \delta = \frac{\omega^2 \cdot n + m}{\omega \cdot M + \omega^3 \cdot N}$$

Với $m = R_1 + R_2$

$$n = C_2^2 \cdot R_2^2 \cdot R_1 + C_1^2 \cdot R_1^2 \cdot R_2; M = C_1 R_1^2 + C_2 R_2^2; N = C_2^2 \cdot R_2^2 \cdot C_1 \cdot R_1^2 + C_1^2 \cdot R_1^2 \cdot C_2 \cdot R_2^2;$$

II Tổn hao điện môi khí:

- Ở điều kiện bình thường và điện trường thấp, tổn hao điện môi khí chỉ do dòng rò gây ra còn tổn hao do phân cực trong điện môi khí hầu như không đáng kể (vì mật độ phân tử rất thấp nên dưới tác dụng của điện trường các phân tử lưỡng cực phân cực không gây nên tổn thất). Khi đó góc tổn hao điện môi xác định theo:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1,8 \cdot 10^{12}}{\epsilon \cdot \rho \cdot f}$$

Ví dụ: không khí có $\rho = 10^{18} (\Omega \cdot \text{cm})$; $\epsilon \approx 1$; $f = 50 \text{Hz} \Rightarrow \operatorname{tg} \delta \leq 4 \cdot 10^{-8}$

- Khi điện áp đặt vào điện môi lớn để quá trình ion hoá và chạm xảy ra, trong điện môi ngoài tổn hao do dòng rò còn có tổn hao do phân cực. Do đó tổn hao trong điện môi khí có trị số lớn. Tổn thất công suất được xác định như sau

$$P = U^2 \omega \cdot C \operatorname{tg} \delta \text{ hoặc } P = A_1 \cdot f \cdot (U - U_0)^3$$

- Như vậy ta thấy lúc này $\operatorname{tg} \delta$ sẽ là hàm phụ thuộc vào điện áp. Quan hệ $\operatorname{tg} \delta = f(U)$ như sau

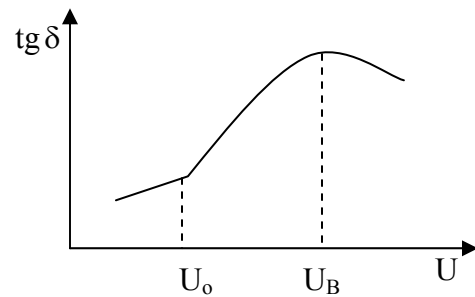
Giải thích: đường cong được chia làm thành 3 đoạn

+ Khi $U < U_0$ Trong điện môi chỉ có tổn hao do dòng rò gây ra. Do số lượng điện tích tự do trái dấu ít xảy ra hiện tượng tái hợp khi điện áp tăng. Nên $\operatorname{tg} \delta$ tăng lên theo điện áp

+ Khi $U \geq U_0$ trong chất khí xảy ra quá trình ion hoá và chạm, tạo ra số lượng điện tích tự do lớn, nên $\operatorname{tg} \delta$ tăng lên

+ Khi $U > U_B$ hầu hết các phân tử đều bị ion hoá cho nên số phân tử tham gia ion hoá giảm hay $\operatorname{tg} \delta$ giảm

- Ở tầng số cao hiện tượng ion hoá và tổn hao trong điện môi tăng đến mức có thể làm cho điện môi bị cháy và phá huỷ.



III Tổn hao điện môi rắn

3.1 Điện môi rắn có cấu tạo phân tử:

Với điện môi rắn có cấu tạo phân tử không phân cực không chứa tạp chất, tổn hao không đáng kể và chủ yếu là do điện dẫn gây nên. Các chất này thường được sử dụng trong thiết bị vô tuyến.

3.2 Với chất rắn có cấu tạo phân cực:

Tổn thất điện môi trong các chất này bao gồm cả tổn hao do điện dẫn và tổn hao do hiện tượng phân cực gây nên. Trong đó tổn hao chiếm tỷ lệ lớn.

Tổn hao trong các điện môi này tăng lên khi tần số tăng và có trị số lớn ở tần số siêu cao. Vì vậy, các điện môi này không được dùng trong các thiết bị vô tuyến.

3.3 Điện môi rắn có cấu tạo ion:

3.3.1 Điện môi rắn có cấu tạo ion ràng buộc chặt chẽ nếu không có tạp chất làm biến dạng mạng lưới tinh thể thì tổn thất có giá trị bé. Khi nhiệt độ tăng do điện dẫn tăng nên tổn thất tăng

3.3.2 Điện môi có cấu tạo ion ràng buộc không chặt chẽ:

+ **Với chất có khả năng kết tinh:** đặc trưng bằng phân cực chậm làm tăng tổn thất điện môi.

+ **Với điện môi không kết tinh:** Thủy tinh hữu cơ bao gồm tổn thất do phân cực và do điện dẫn gây nên

3.4 Tổn thất điện môi rắn có cấu tạo không đồng nhất :

Điện môi không đồng nhất là điện môi có ít nhất 2 pha chất trộn lẫn về mặt cơ học với nhau và không được tác dụng hoá học với nhau. Ví dụ gốm sứ công nghệ cao (Pha chất tinh thể, pha chất thủy tinh, pha chất khí). Tổn thất điện môi khí phụ thuộc vào:

- + Đặc điểm và tỷ lệ khối lượng các pha chất trong gốm
- + Pha thể khí làm tăng tổn thất điện môi vì trong điện trường lớn sẽ gây nên ion hoá chất khí

Ngoài ra, nếu có các tạp chất bán dẫn dẫn điện bằng điện tử hoặc có các lỗ hổng thì tổn thất càng tăng lên

IV. Tổn hao điện môi lỏng

4.1 Điện môi lỏng trung tính:

Tổn hao trong điện môi chỉ do điện dẫn gây nên nếu các chất không chứa phân tử lưỡng cực . Đối với chất lỏng tinh khiết thì điện dẫn rất bé do đó công suất tổn hao cũng rất bé. Trị số $\text{tg } \delta$ có thể được xác định theo công thức

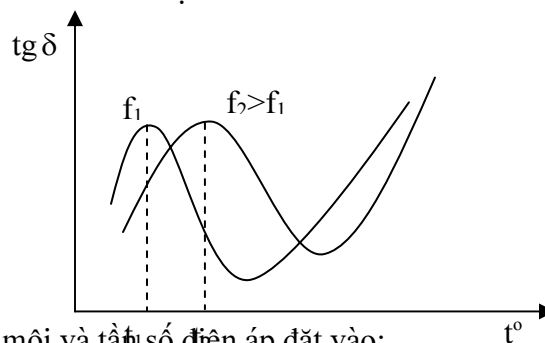
$$\text{tg } \delta = \frac{1,8 \cdot 10^{12}}{\epsilon \cdot \rho \cdot f}$$

Ví dụ: Dầu máy biến áp $\rho = 10^{15} (\Omega \cdot \text{cm})$; $\epsilon \approx 2,2$; $f = 50\text{Hz} \Rightarrow \text{tg } \delta \leq 1,8 \cdot 10^{-5}$

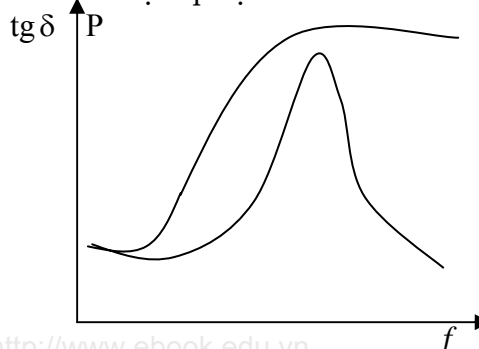
So với chất khí $\text{tg } \delta$ có trị số bé hơn so với dầu máy biến áp

4.2 Đối với chất lỏng cực tính:

- Tùy theo điều kiện nhiệt độ, tần số ngoài tổn thất do điện dẫn gây nên còn có tổn thất do phân cực lưỡng cực chậm gây nên. Do đó, công suất tổn hao thường có trị số lớn
- Quan hệ giữa tổn hao điện môi và nhiệt độ: Mỗi điện môi đạt trị số cực đại tại một nhiệt độ nhất định tùy đặc trưng cho các chất điện môi.



- Quan hệ giữa tổn hao điện môi và tần số điện áp đặt vào:



Nhận xét: Khi tần số f tăng lên thì điểm cực đại của $\text{tg } \delta$ dịch chuyển dần về phía nhiệt độ cao

Tên điện môi	ϵ	$\text{tg } \delta$ ở nhiệt độ 20°C $f=10^6\text{Hz}$	Ghi chú
Dầu tụ điện	2,2	0,0002	Chất lỏng trung tính
Dầu thầu dầu	4,5	0,01	Chất lỏng cực tính

CHƯƠNG 8 PHÓNG ĐIỆN TRONG ĐIỆN MÔI

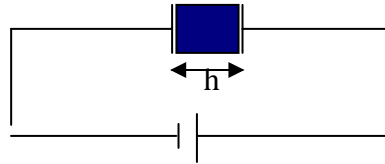
I. Khái niệm chung

Ở các chương trước, khi có điện áp tác dụng vào \rightarrow phân cực, dòng điện và gây tổn thất điện môi. \rightarrow chưa đề cập đến tác dụng của U đến tính chất dẫn điện của điện môi

Bất kì một điện môi nào khi ta tăng dần điện áp đặt trên điện môi, đến một lúc nào đó xuất hiện dòng điện có giá trị lớn chạy qua điện môi từ điện cực này sang điện cực khác. Điện môi mất đi tính chất cách điện của nó \rightarrow đánh thủng điện môi.

1.1 Định nghĩa phóng điện trong điện môi:

Là hiện tượng điện môi bị mất tính chất cách điện khi điện áp đặt vào vượt quá ngưỡng cho phép. Hiện tượng đó được gọi là hiện tượng đánh thủng điện môi hay là hiện tượng phá huỷ điện môi



Khi điện môi phóng điện, điện áp giảm đi một ít và tại vị trí điện môi bị chọc thủng ta quan sát thấy tia lửa điện hay hồ quang, có thể gây ra nóng chảy, làm nứt điện môi hay điện cực

Sau khi điện môi bị phá huỷ thì tùy điện môi, ta đưa điện môi ra khỏi điện trường tùy loại điện môi sẽ có đặc điểm khác nhau

Rắn: quan sát được vết chọc thủng và nếu tiếp tục cung cấp U, sẽ bị đánh thủng tại vị trí cũ và U thấp hơn. \Rightarrow cần sửa chữa nghiêm túc

Lỏng và khí: ngược lại với chất rắn

Trị số điện áp mà tại đó điện môi bắt đầu xảy ra đánh thủng gọi là điện áp đánh thủng điện môi U_{dt} [kV]. U_{dt} phụ thuộc phi tuyến vào bề dày điện môi.

U_{dt} phụ thuộc vào (độ dày, bản chất điện môi) \Rightarrow là cơ sở để đưa ra tham số của vật liệu cách điện và xác định E_{dt}

1.2 Độ bền điện của điện môi:

Cường độ điện trường tương ứng với điện áp đánh thủng tại vị trí và thời điểm đánh thủng gọi là cường độ điện trường đánh thủng hay là độ bền điện của điện môi, kí hiệu là E_{bd} . E_{bd} được xác định bằng tỷ số giữa điện áp tại thời điểm đánh thủng U_{dt} [kV] và bề dày điện môi tại vị trí đánh thủng h [m]

$$E_{bd} = \frac{U_{dt}}{h} \text{ [kV/m]} \quad (5.1) \text{ mang tính chất trung bình}$$

Edt phụ thuộc vào các yếu tố:

- * Nhiệt độ độ ẩm, tầng số và thời gian đặt U.. .
- * E_{bd} phụ thuộc phi tuyến theo bề dày của điện môi
- * E_{bd} phụ thuộc vào bản chất của vật liệu làm điện môi

Sau đây là E_{bd} của một số điện môi:

Tên vật liệu	Edt(MV/m)
Mica	100 - 300
Cao su	30 - 50
Dầu biến áp	15 - 25
Không khí ở điều kiện thường áp suất và nhiệt độ	2 - 5

Nhận xét:

Khi điện môi rắn đặt giữa 2 điện cực thì tình trạng phóng điện bề mặt diễn ra trước Với điện môi rắn xốp có chứa nhiều bọt khí> so với không chứa lỗ xốp. Nếu điện môi xốp được tẩm bằng điện môi lỏng hoặc rắn sẽ cải thiện nhiều

Ví dụ: cáp giấy không tẩm $E_{ct}=3-5MV/m$ khi tẩm bằng dầu nhựa thông $E_{ct}=40-80MV/m$

=> để điện môi làm việc với độ tin cậy cao thì điện áp làm việc $U_p < U_{ct}$. $k=U_p/U_{ct}$ được gọi là hệ số dự trữ độ bền cách điện

II Phóng điện trong điện môi khí :

2.1 Hiện tượng Ion hoá và kích thích của nguyên tử trong chất khí:

Theo mẫu nguyên tử bor:

-Nguyên tử là thành phần nhỏ nhất cấu tạo nên vật chất, nguyên tử gồm có 2 thành phần: hạt nhân và lớp vỏ điện tử

-Mỗi điện tử cd trên quỹ đạo nhất định, có năng lượng nhất định $W = \frac{q^2}{2.r}$

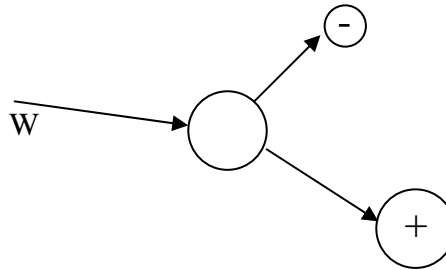
-Ở trạng thái bình thường nguyên tử không thu hoặc phát ra năng lượng

-Khi điện tử nhận được năng lượng W đưa điện tử chuyển động ở quỹ đạo xa hạt nhân

-Khi điện tử chuyển từ quỹ đạo xa hạt nhân về quỹ đạo gần hạt nhân thì sẽ phát ra năng lượng đúng bằng độ chênh lệch giữa 2 mức năng lượng

2.1.1 Hiện tượng ion hoá: là hiện tượng mà điện tử trong nguyên tử hoặc phân tử nhận được năng lượng bên ngoài để tách ra khỏi nguyên tử phân tử

Điện tử tách ra khỏi lực hút hạt nhân gọi là điện tử tự do
Phần còn lại của nguyên tử mất cân bằng điện tích gọi là ion dương
Vẽ hình minh hoạ



Các hạt mang điện tạo ra trong quá trình ion hoá chất khí, sẽ tiếp tục khuếch tán trong môi trường khí dưới tác dụng điện trường, trong quá trình khuếch tán nếu các hạt mang điện tích trái dấu gặp nhau sẽ xảy ra quá trình tái hợp, năng lượng trả lại dưới dạng các photon ánh sáng. Năng lượng photon $hf=dW$. Cả hai hiện tượng trên đều làm cho mật độ hạt mang điện bị giảm đi.

Muốn thực hiện được quá trình ion hoá chất khí, yêu cầu năng lượng cung cấp vào phân tử trung hoà phải lớn hơn năng lượng ion hoá $W>W_i$ (5.2)

W_i là năng lượng ion hoá, là năng lượng cần thiết để thắng được lực hút hạt nhân
Trong lý thuyết phóng điện ta thường gặp các dạng ion hoá điện sau đây:

2.1.1.1. Ion hoá va chạm: là hiện tượng va chạm giữa hạt mang điện và phân tử trung hoà, khi đó động năng chúng trao đổi cho nhau, gây nên hiện tượng ion hoá.

2.1.1.2 Ion hoá quang: Năng lượng cung cấp là năng lượng photon ánh sáng
 $W=h.f$

2.1.1.3 Ion hoá nhiệt: Năng lượng cung cấp để gây ion hoá là năng lượng nhiệt
 $W=\frac{3.K.T}{2}$

2.1.1.4 Ion hoá từng cấp: Năng lượng cung cấp là năng lượng tổng hợp của nhiều lần va chạm hoặc kết hợp giữa các dạng ion hoá ở trên.

2.1.1.5 Ion hoá bề mặt : phụ thuộc vào công thoát của kim loại làm điện cực
bức xạ nhiệt
bức xạ quang

2.1.2 Hiện tượng kích thích

Là hiện tượng điện tử chuyển sang một quỹ đạo xa hạt nhân hơn nhưng vẫn nằm trong phạm vi kiểm soát của hạt nhân. Khi nguyên tử nhận được năng lượng bên ngoài

Điều kiện gây nên hiện tượng kích thích: $W<W_i$

Đặc điểm của phân tử ở trạng thái kích thích: khi phân tử khí trung tính chuyển về trạng thái kích thích, sau một thời gian ngắn sẽ trở về lại trạng thái bình thường và năng lượng lúc đầu trả lại dưới dạng photon ánh sáng

$$W' - W_0 = hf$$

2.2 Diễn biến quá trình phóng điện trong chất khí:

2.2.1 Định nghĩa phóng điện trong điện môi khí: Phóng điện là sự hình thành dòng điện liên tục giữa các điện cực. Như vậy môi trường khí trước kia là cách điện bây giờ biến thành dẫn điện (môi trường plasma)

Vậy phóng điện trong chất khí là quá trình hình thành dòng plasma

2.2.2 Một số giả thuyết ban đầu:

Ban đầu, bên trong khe hở giữa các điện cực tồn tại ít nhất 1 điện tử tự do (giải thích sự tồn tại các điện tử tự do)

Không xét đến hiện tượng ion hoá nhiệt, quang

Không xét đến hiện tượng ion hoá từng cấp

2.2.3 Giải thích quá trình phóng điện:

2.2.3.1 Số lần va chạm:

Xét 1 điện tử có bán kính r_0 duy chuyển trong môi trường khí có bán kính phân tử r và mật độ phân tử N

Để có hiện tượng va chạm xảy ra thì khoảng cách giữa 2 tâm (phân tử khí và điện tử)

$$A \leq (r + r_0)$$

Cho điện tử duy chuyển trong môi trường đó 1cm thì số lần va chạm

$$S = \pi \cdot (r + r_0)^2 \cdot 1 \cdot N \quad (5.3)$$

Như vậy trung bình điện tử chỉ dịch chuyển đoạn đường

$$\lambda_{tb} = \frac{1}{S} = \frac{1}{\pi \cdot (r + r_0)^2 \cdot N} \text{ cm thì sẽ có 1 lần va chạm xảy ra. Tức } \lambda_{tb} \text{ là khoảng cách}$$

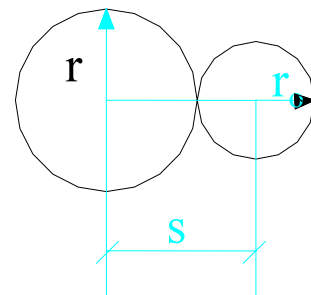
trung bình giữa 2 lần va chạm liên tiếp nhau

$$\text{Với điện tử, } r_0 \ll r \text{ nên } \lambda_{tb}^e = \frac{1}{\pi \cdot (r)^2 \cdot N} \quad (5.4)$$

$$\text{còn với ion } r_0 \approx r \text{ nên } \lambda_{tb}^{ion} = \frac{1}{\pi \cdot (2 \cdot r)^2 \cdot N} \quad (5.5)$$

$$\Rightarrow \lambda_{tb}^e = 4 \cdot \lambda_{tb}^{ion}$$

Công thức (5.3) \rightarrow (5.5) cho ta khái niệm cơ bản về cách tính trị số đoạn đường tự do trung bình. Đoạn đường thực tế có thể bé hoặc lớn hơn đoạn đường tự do trung bình và phân bố theo qui luật nhất định.

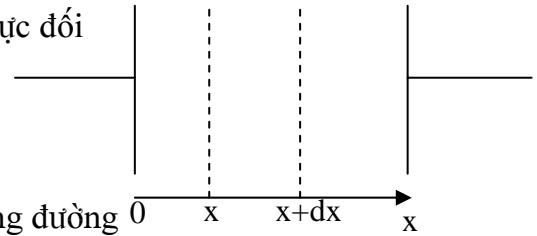


2.2.3.2 Qui luật phân bố đoạn đường tự do:

Để khảo sát qui luật đó ta xét 1 khe hở, và xây dựng hệ trục toạ độ như hình vẽ

giả thuyết tại $x=0$, có n_0 phân tử chuyển động về cực đối diện

tại vị trí x còn n phân tử chưa va chạm
 $x+dx$ còn $n-dn$ phân tử



Như vậy: dn là số hao hụt do sự va chạm trên quãng đường dx và cũng chính là số lần va chạm trên đoạn đường này

$$dn = -n \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot dx$$

$$n = n_0 \cdot e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

Tuy nhiên không phải không phải khi nào va chạm cũng đều xảy ra hiện tượng ion hoá mà trong S lần va chạm thì trung bình chỉ có α lần đủ điều kiện để gây nên hiện tượng ion hoá. Hệ số α là hệ số ion hoá

2.2.3.3 Hệ số ion hóa va chạm

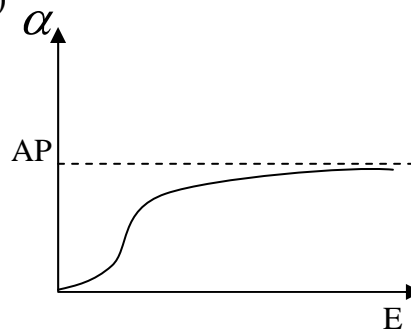
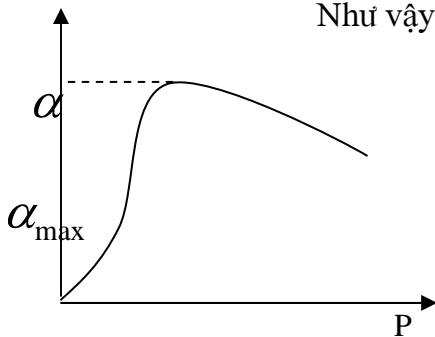
Hệ số ion hóa va chạm là số lần va chạm mà gây được ion hóa khi 1 điện tử đi 1 đơn vị chiều dài trong môi trường khí.

Như vậy khi điện tử di chuyển 1cm $\alpha = S \cdot P(\lambda > x_i) = \frac{1}{\lambda_{tb}} \cdot e^{-x_i/\lambda_{tb}} = \pi \cdot r^2 \cdot N \cdot e^{-x_i \cdot \pi \cdot r^2 \cdot N}$

$$x_i = W_i / E_q, N = P / K \cdot T$$

$$\Rightarrow \alpha = A \cdot P \cdot e^{-B \cdot P / E_q}$$

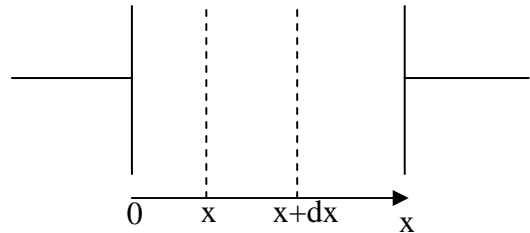
Như vậy $\alpha = f(P, E)$



2.2.3.4 Qui luật tăng số điện tích giữa 2 bản cực:

Giả thuyết ban đầu ở phía âm cực có tồn tại 1 điện tử tự do. Dưới tác dụng của điện trường, điện tử tự do sẽ dịch chuyển về phía cực dương. Trong quá trình di chuyển đó sẽ gây ion hoá va chạm với các phân tử khí trung hoà với hệ số ion hoá va chạm α . Các điện tử mới sinh ra này lại tiếp tục dịch chuyển, cũng gây nên hiện

tượng ion hoá va chạm, hay là số điện tử sinh ra giữa 2 bản cực càng ngày càng nhiều



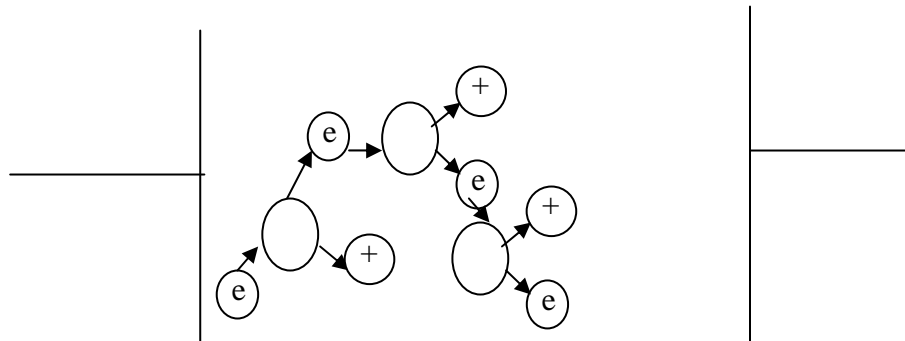
Giả sử ở tọa độ x có n điện tử, ở tọa độ $x+dx$ có $n+dn$ điện tử. Như vậy số điện tử sinh ra trong quãng đường dx là :

$$dn = n \cdot \alpha \cdot dx \Rightarrow \frac{dn}{n} = \alpha \cdot dx \Rightarrow n = e^{\alpha \cdot x}$$

$\alpha = f(P, E)$. Nếu P, E là hằng số thì α cũng là hằng số

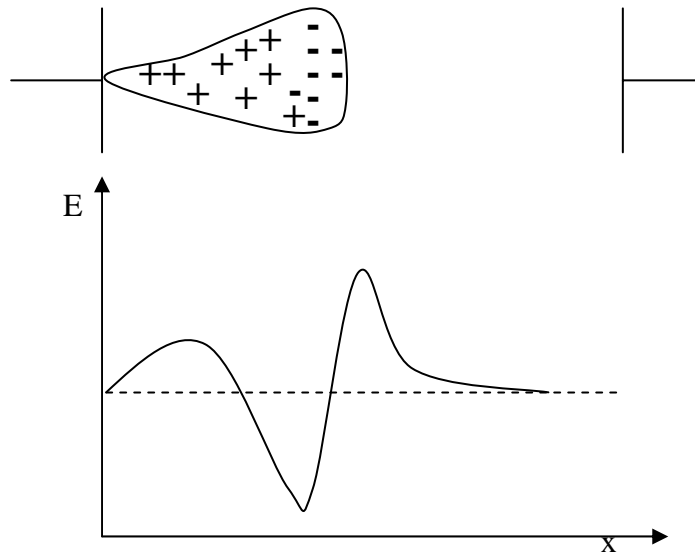
$$\Rightarrow n = e^{\int_0^x \alpha \cdot dx}$$

như vậy qui luật tăng điện tích là qui luật hàm số mũ. Song song với quá trình phát sinh điện tử cũng sinh ra các ion dương cùng khối lượng và chúng tập hợp lại tạo thành thác điện tử



Các điện tử có khối lượng nhẹ nên duy chuyển với tốc độ lớn đồng thời dễ khuếch tán nên tập trung về phía đầu thác và chím. 1 khoảng không gian rộng lớn, trong khi đó các ion dương có khối lượng lớn nên chuyển động với tốc độ chậm hơn electron nên tập trung ở vùng đuôi thác. Sự tồn tại thác điện tử này sẽ làm biến dạng về cường độ điện trường

Ở đầu thác, E được tăng cường nên có thể gây nên các hiện tượng ion hoá. Ngay phía sau đầu thác trường giảm đột ngột do đó sẽ có hiện tượng tái hợp, năng lượng trả lại dưới dạng photon. Như vậy đầu thác và đuôi thác là nơi sản sinh ra các photon. Các photon này có khả năng gây ion hoá phân tử khí hoặc giải thoát điện tử từ bề mặt điện cực



2.2.3.5 Quá trình hình thành môi trường Plasma

Dưới tác dụng của điện trường thì thác này kéo dài ra nối liền khoảng cách giữa các điện cực, lúc này thác sẽ bị triệt tiêu và các điện tích sẽ bị trung hoà trên các điện cực. Quá trình này chưa thể gọi là phóng điện vì chưa thể hình thành dòng điện liên tục giữa các điện cực. Muốn có hiện tượng phóng điện xảy ra cần phải đảm bảo:

Có nhiều thác điện tử trong khe hở

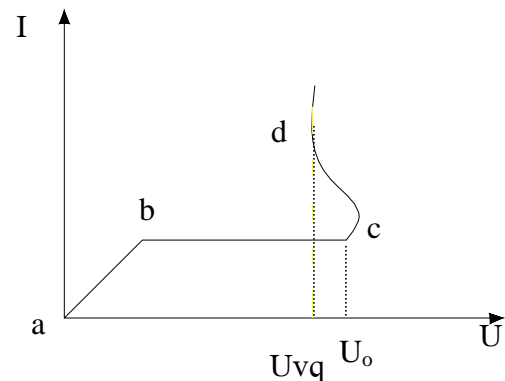
Thác thế hệ sau phải sản sinh ra sau thác thế hệ trước triệt tiêu

Mỗi thác điện tử đều đòi hỏi phải có 1 điện tử tác dụng ban đầu, điện tử tác dụng ban đầu thế hệ sau phải được sản sinh ra ngay trong nội bộ khe hở khí dựa vào hiện tượng ion hoá quang ở áp suất cao hoặc dựa vào ion hoá bề mặt ở áp suất thấp

2.3 Đặc tính V-A của chất khí:

Khi đặt điện áp 1 chiều lên khe hở, và cho điện áp tăng dần từ thấp đến cao thì chúng ta xây dựng được đặc tính V-A

Giai đoạn ab: Các điện tử tự do có sẵn trong khe hở khí sẽ dịch chuyển dưới tác dụng của điện trường về điện cực đối diện. Khi điện áp càng tăng tốc độ dịch chuyển càng tăng lên do đó ít có khả năng kết hợp với nhau, nên hầu hết các điện tích đều đến được các điện cực nên dòng tăng lên và quan hệ dòng áp lúc này là



quan hệ tuyến tính

Giai đoạn bc: áp tăng nhưng dòng không tăng vì số lượng điện tích tự do là có hạn nên dòng không đổi

Giai đoạn cd: khi điện áp đạt đến giá trị U_0 thì trong không khí xảy ra quá trình ion hoá va chạm, nên số lượng điện tử tăng lên và dòng điện tăng vọt. Nếu sau khi khối khí phóng điện mà vẫn duy trì điện áp thì điện áp tụt xuống U_{hq} để duy trì hồ quang

2.2.4 Các dạng phóng điện trong chất khí:

2.2.4.1 Phóng điện toả sáng: xảy ra ở áp suất thấp, Plasma không thể có điện dẫn lớn vì mật độ phân tử bé. Phóng điện toả sáng thường chیم toàn bộ không gian các điện cực

2.2.4.2 Phóng điện tia lửa: xảy ra ở áp suất lớn, plasma không chیم hết toàn bộ khoảng không gian mà chỉ là một dòng nhỏ nối liền giữa các điện cực. Mật độ ion trong Plasma rất lớn nên có thể dẫn được dòng điện lớn nhưng không lớn quá vì bị giới hạn bởi công suất nguồn

2.2.4.3 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. Dòng điện hồ quang rất lớn đốt nóng dòng plasma làm cho điện dẫn tăng lên và do đó dòng điện hồ quang càng tăng lên. Dòng sẽ tăng đến mức ổn định khi có sự cân bằng giữa phát nóng và toả nhiệt của khe hồ quang

2.2.4.4 Phóng điện vầng quang: là một dạng phóng điện đặc biệt chỉ tồn tại trong điện trường không đồng nhất và xuất hiện trong khu vực xung quanh điện cực. Dạng phóng điện này không hoàn toàn vì dòng plasma không nối liền giữa 2 điện cực và do đó không có dòng điện lớn. Phóng điện vầng quang chưa làm mất hẳn tính chất cách điện của khe hở nhưng cũng không nên để gây phóng điện vầng quang vì có nhiều tác hại khác. Phóng điện vầng quang cũng có thể quan sát bằng mắt thường và dễ dàng thấy trên đường dây tải điện cao áp khi thời tiết xấu.

2.5 Phóng điện trong chất khí ở điện trường đều:

- Ở áp suất thấp : Để duy trì phóng điện trong chất khí việc giải thoát điện tử dựa vào hiện tượng ion hoá bề mặt âm cực do ion dương và các photon bức xạ của thác thứ nhất

- Ở áp suất cao: Điện tử thứ cấp được tạo nên bởi sự ion hoá quang trong khối khí, Sau khi thác thứ nhất kết thúc ,điện tử thác mới bị điện tích dương của thác thứ nhất kéo về và vì điện trường trong không gian điện tích khối không lớn nên các điện tử dễ hút vào và phân tử trung tính trở thành ion âm. Các ion âm cùng với ion

dương có sẵn tạo thành dòng plasma. Quá trình phóng điện hoàn toàn khi dòng plasma phát triển nối liền giữa các điện cực

2.6 Phóng điện ở điện trường gần đồng nhất:

Quá trình phóng điện diễn ra tương tự như điện trường đồng nhất

2.7 Phóng điện trong điện trường không đồng nhất:

Do cường độ điện trường ở phía điện cực có bán kính cong bé được tăng cường, nên mọi quá trình ion hoá phóng điện cũng bắt đầu từ đó

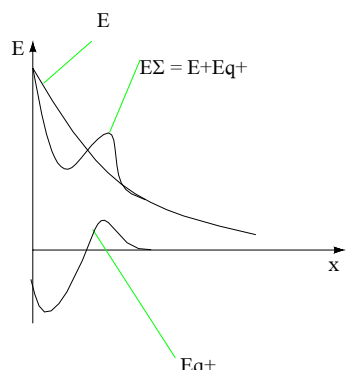
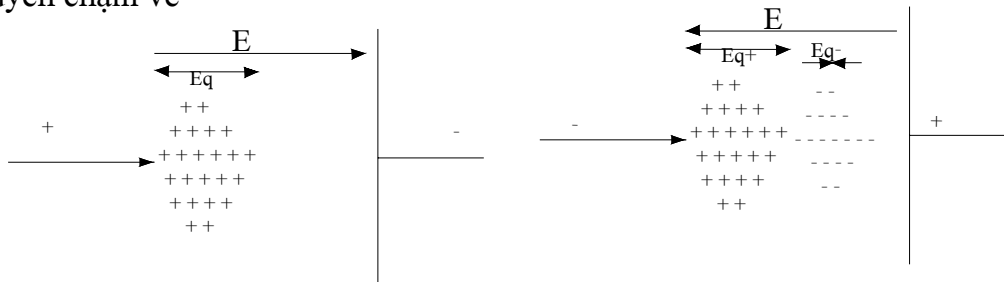
2.7.1 Phóng điện vầng quang:

2.7.1.1 Khi mũi nhọn mang cực tính dương:

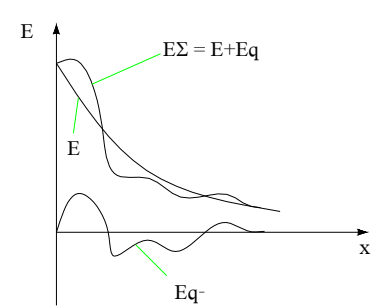
Do mũi nhọn có điện trường lớn nên trước khi xảy ra hiện tượng vầng quang thì ở đây đã xảy ra hiện tượng ion hoá chất khí và tạo nên thác điện tử, các thác này dịch chuyển về phía mũi nhọn, khi tới điện cực các điện tử của thác này sẽ đi vào điện cực để lại các ion dương tạo nên lớp điện tích không gian dương ở gần mũi nhọn. Trường của lớp điện tích không gian dương E' sẽ làm biến dạng điện trường chung và kết quả là bên phải điện trường tăng cường, phía bên trái mũi nhọn điện trường giảm nên hạn chế quá trình ion hoá và gây khó khăn cho việc hình thành vầng quang

2.7.1.2 Khi mũi nhọn có cực tính âm:

Thác điện tử hình thành phía cực âm, các điện tử di chuyển về phía cực dương nhưng càng di chuyển về phía cực dương, điện trường giảm dần nên các điện tử sẽ bám vào các phân tử trung tính, tạo thành các ion âm. Ở cực âm, các ion dương di chuyển chậm về



Phóng điện vầng quang khi mũi nhọn dương



Phóng điện vầng quang khi mũi nhọn âm

điện cực và tạo thành điện tích khối. Chính điện tích dương này sẽ làm cho trường phía mũi nhọn càng tăng thêm làm cho quá trình phát sinh vàng quang càng được tăng cường

2.7.2 Phóng điện chọc thủng

2.7.2.1 Mũi nhọn cực tính dương

Lớp điện tích không gian dương ở khu vực mũi nhọn làm giảm gây khó khăn cho quá trình phóng điện vàng quang nhưng nếu ta tiếp tục tăng điện áp, đến mức tạo nên thác mới, điện tử củ thác mới kết hợp với ion dương của lớp không gian tạo nên dòng plasmabams vào mũi nhọn, trong khi đó các ion dương ở khu vực đầu dòng plasma. Quá trình trên tương đương với việc kéo dài mũi và cứ tiếp hình thành thác mới và được kéo dài về phía cực bản với tốc độ tăng dần

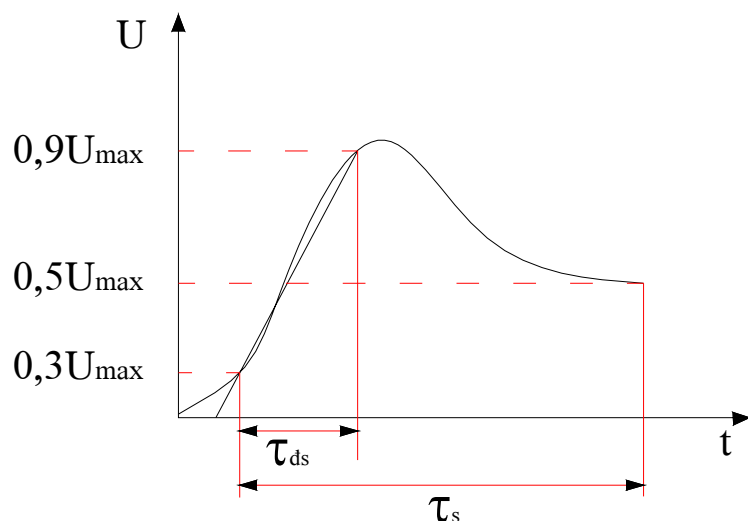
2.7.2.2 Mũi nhọn cực tính âm

Vì trường ở phía mũi nhọn tăng cường cho nên cùng 1 lúc tạo ra rất nhiều thác điện tử, nên tạo nên 1 lớp plasma rộng bao quanh mũi nhọn. Phía bên trái plasma trường được tăng cường và bên phải trường được giảm sút. Bên trái plasma quá trình ion hoá được phát triển mãnh liệt. Nếu tiếp tục tăng điện áp thì trong giai đoạn đầu quá trình ion hoá vẫn xảy ra mãnh liệt ở bên trái plasma. Nếu điện áp cứ tiếp tục tăng đến trị số đủ lớn thì sẽ tiếp tục ion hoá và hình thành thác mới. Quá trình tiếp tục tăng và kết quả là lớp plasma tiếp tục kéo dài về phía cực bản. So với cực tính dương, quá trình phóng điện khó khăn hơn do đó điện áp phóng điện lớn hơn

2.8 Phóng điện trong chất khí ở điện áp xung

2.8.1 Điện áp xung và mạch tạo điện áp xung

Trong thực tế cách điện có thể chịu tác dụng của loại điện áp xung kích như quá điện áp khí quyển gây nên bởi các phóng điện sét trên đường dây



Hình dạng sóng xung kích: Điện áp tăng nhanh từ không đến trị số cực đại và sau đó giảm dần về giá trị không

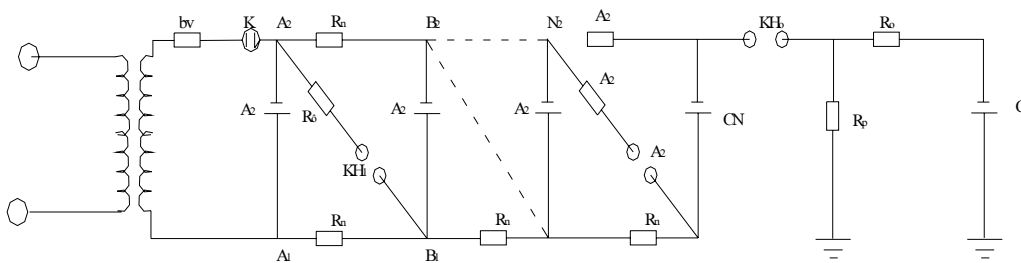
Phần đầu sóng không có ý nghĩa về mặt phóng điện nên được thay thế bằng đường xuyên góc có tung độ $0,3U_{max}$ và $0,9U_{max}$

τ_{ds} là thời gian sóng tăng từ 0 đến giá trị cực đại

τ_s là thời gian từ khi xuất hiện sóng cho đến khi sóng đạt $0,5U_{max}$ ở đuôi sóng.

Sau khi đạt $50\%U_{max}$ về sau không còn có ý nghĩa về mặt phóng điện nên không quan tâm

Mạch tạo điện áp xung:



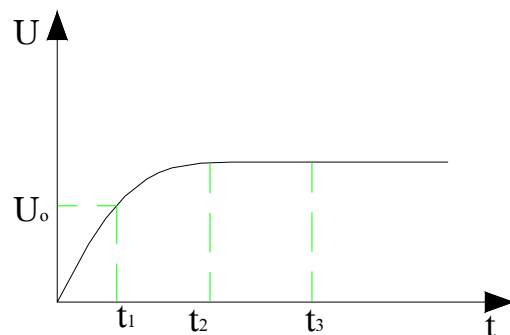
Giai đoạn nạp: Qua T và chỉnh lưu K các tụ điện CA, CB, CN được nạp đến điện áp U, khi quá trình nạp kết thúc thì A_2, B_2, \dots, N_2 có điện thế U còn các điểm A_1, B_1, \dots, N_1 có điện thế bằng 0

Giai đoạn phóng điện: Nếu chọn khoảng cách KH1 sao cho điện áp U1 có thể phóng điện được thì sau khi phóng điện thế B_1 tăng vọt lên đến U và B_2 sẽ 2U, chọn khe hở KH2 phóng ở 2U thì C_2 tăng 3U. Nếu dùng n cấp tụ điện trong giai đoạn phóng điện được ghép nối tiếp nhau qua khe hở KH1, KH2... thì điện áp xung ở đầu máy phát có thể đạt nU

2.8.2 Thời gian phóng điện:

Ở điện áp 1 chiều hoặc xoay chiều U_{pd} không phụ thuộc vào thời gian tác dụng của điện áp. Đối với điện áp xung thời gian tồn tại có ý nghĩa rất lớn đến U_{pd} . Cho tác dụng lên khe hở điện áp có dạng như hình vẽ và giả thuyết tại U_0 điện áp phóng điện tự duy trì được thực hiện

Trước thời điểm t_1 và ngay cả thời điểm t_1 cũng chưa có phóng điện vì chưa xuất hiện điện tử tác dụng ban đầu ở phía âm cực. Như



vậy quá trình phóng điện không thể bắt đầu tại t_1 mà phải chờ đến $t_2=t_1+t_{tk}$

T_{tk} là thời gian hình thành điện tử tác dụng ban đầu

Quá trình phóng điện có thể hình thành ở thời điểm $t_3=t_2+t_{ht}$

T_{ht} : là thời gian hình thành dòng plasma nối liền giữa 2 bản cực

Tổng hợp 3 thành phần thời gian nói trên sẽ được thời gian phóng điện

$$T_p=t_1+t_2+t_{ht}$$

2.8.2.1 Thời gian chậm trễ thống kê: Vì thời gian này rất tản mạn và chỉ có thể xác định bằng phương pháp thống kê thực nghiệm

xét n khe hở khí, điện áp đặt lên n khe hở phóng điện, trong 1 đơn vị thời gian có τ khe hở phóng điện

giả sử tại thời điểm t còn có n khe hở chưa phóng điện và $t+dt$ còn có $n-dn$ khe hở chưa phóng điện

$$dn=-nK.dt$$

$$n=n_0 \cdot e^{-t/\tau}$$

$$P\{t_{tk}>t\} = e^{-t/\tau}$$

Các yếu tố ảnh hưởng đến t_{tk} :

Công thoát của vật liệu làm điện cực

Phân bố trường

Điện áp tác dụng

2.8.2.2 Thời gian hình thành phóng điện: bao gồm thời gian hình thành thác điện tử dòng plasma và thời gian phóng điện ngược chỉ tồn tại trong điện trường không đều

yếu tố ảnh hưởng đến thời gian hình thành phóng điện: điện áp càng tăng thì thời gian hình thành phóng điện giảm

Vậy U là yếu tố ảnh hưởng đến thời gian phóng điện

Quan hệ giữa U và thời gian phóng điện qua đường đặc tính V-S của cách điện

2.8.3 Đặc tính V-S của cách điện:

2.8.3.1 Cách xây dựng

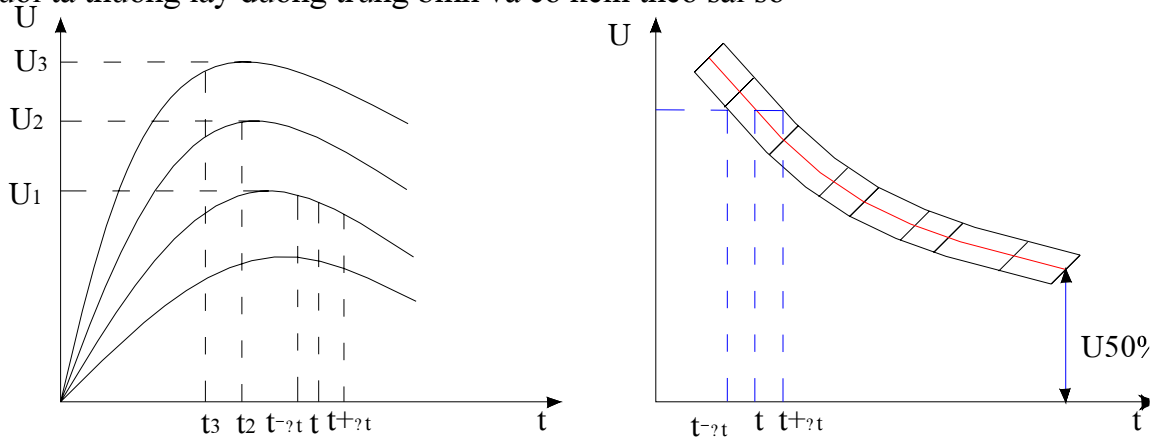
Xét 1 khe hở khí có bề dày d

Điện áp đặt lên bề dày là xung điện áp tiêu chuẩn có $\tau_{ds} / \tau_s =$ hằng số nhưng biên độ tăng dần

- Với sóng xung có biên độ là U_0 thì lớp không khí này đã phóng điện với thời điểm t_1 . Cũng với xung này ta đặt lên khe hở lần thứ 2, thứ 3 thì khe hở chọc thủng vào các khoảng thời gian $t_1 \pm \Delta t$

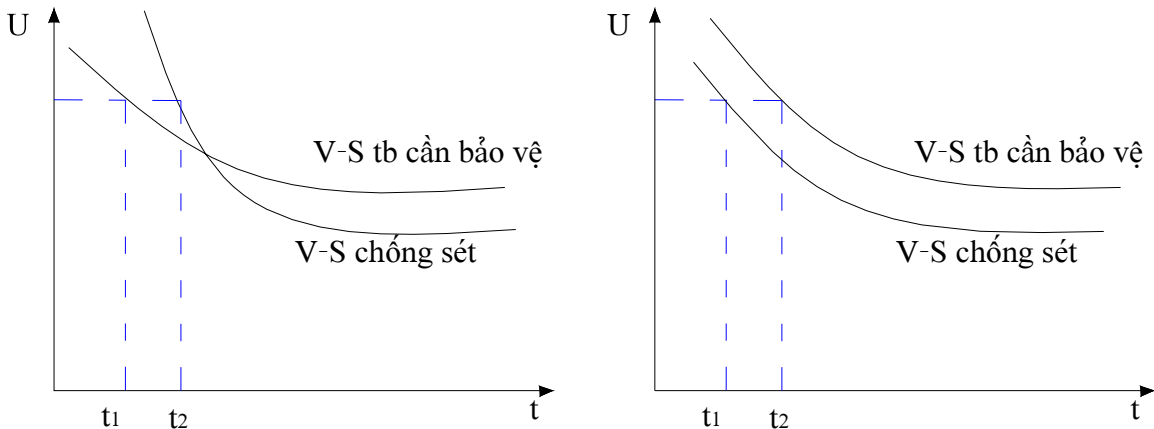
- Khi tăng xung lên giá trị $U_1 > U_0$ thì khe hở phóng điện ở thời điểm t_2 với $t_2 < t_1$. Tiến hành thí nghiệm 3 lần thì ta cũng xác định được 3 thời điểm phóng điện khác nhau
- Tương tự như vậy, ta tiếp tục tăng biên độ ta xác định được các thời điểm phóng điện khác nhau
- Nối các điểm lại với nhau ta có được đặc tính V-S
- Nhận xét đặc tính V-S của khe hở không khí gồm nhiều đường nằm sát nhau.

Người ta thường lấy đường trung bình và có kèm theo sai số



2.8.3.2 Công dụng của đường đặc tính V-S

Sử dụng đường đặc tính V-S để tiến hành phối hợp cách điện của thiết bị và bảo vệ. Giả sử, thiết bị cần bảo vệ có đặc tính V-S như hình vẽ, thì ta cần thiết bị bảo vệ (CSV) có đặc tính V-S phải thấp hơn đặc tính V-S của cách điện thiết bị được bảo vệ. Nếu đặc tính V-S của thiết bị bảo vệ cắt đặc tính V-S của thiết bị cần bảo vệ thì khi xảy ra quá điện áp trong thời gian ngắn thì cách điện thiết bị sẽ bị chọc thủng trước khi thiết bị bảo vệ làm việc.



Chương 9

ĐẶC TÍNH CƠ LÝ HOÁ NHIỆT CỦA ĐIỆN MÔI

I Tính hút ẩm của điện môi:

1.1 Một số khái niệm

1.1.1 Độ ẩm của không khí:

* **Độ ẩm tuyệt đối:** lượng hơi nước tính trên 1 đơn vị thể tích $\varphi\%$

* **Độ ẩm tương đối:** $\varphi\% = \frac{\varphi}{\varphi_{\max}} \times 100\%$

1.1.2 Độ ẩm của vật liệu:

* **Độ ẩm tương đối**

* **Độ ẩm cân bằng:**

1.2 Tính hút ẩm của vật liệu

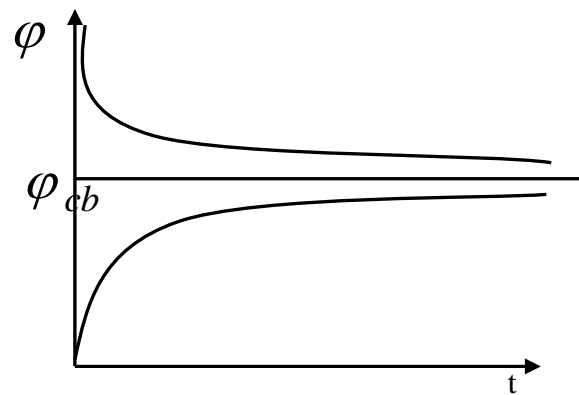
1.2.1 Hút ẩm: hút hơi ẩm từ môi trường xung quanh

- Mẫu vật liệu để trong môi trường, sau 1 thời gian, vật liệu đạt φ_{cb}

- Cấu tạo của vật chất ảnh hưởng lớn đến tính hút ẩm

=> Thực hiện sơn phủ trên bề mặt điện môi. Nhưng chỉ hạn chế bớt ảnh hưởng của độ ẩm môi trường.

- Tác hại: tăng dòng điện rò, tổn hao điện môi và giảm điện áp phóng điện



1.2.2 Tính thấm ẩm

Thấm ẩm : cho hơi nước xuyên qua vật liệu

- Khối lượng hơi nước xuyên qua diện tích S

$$m = \frac{\Pi(p_1 - p_2) \cdot S \cdot t}{h}$$

với $p_1 - p_2$ là hiệu áp suất trong và ngoài điện môi

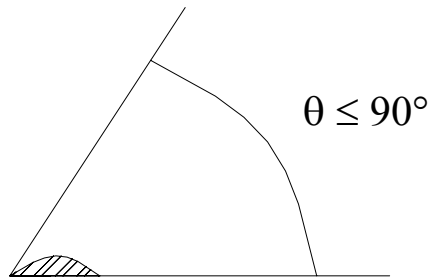
Π : hệ số thấm ẩm [s]

- Tác hại tương tự như tính hút ẩm

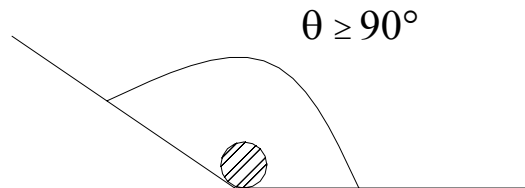
=> thực hiện tẩm các vật liệu có tính hút ẩm cao.

1.2.3 Tính dính ướt:

Khả năng hình thành màng ẩm trên bề mặt vật liệu khi vật liệu đặt trong môi trường có độ ẩm cao.



Bề mặt dính ướt



Bề mặt không dính ướt

Tác hại: khi bề mặt vật liệu bị dính ướt, tạo ra số lượng lớn điện tích trên bề mặt vật liệu làm cho tăng dòng rò mặt và giảm đáng kể điện áp phóng điện mặt của điện môi. Để hạn chế tính dính ướt của vật liệu, ta thực hiện sơn phủ bề mặt vật liệu bằng những vật liệu có tính dính ướt kém.

II. Tính chất cơ học của điện môi

2.1 Độ bền kéo dãn, nén và uốn:

- Độ bền là khả năng chống lại tác dụng của lực bên ngoài mà không bị phá hỏng. Khi có lực tác dụng lực kéo lên vật liệu:

$$\delta_{\text{đứt}} = \frac{P_{\text{max}}}{A_0} \text{ (kG/cm}^2\text{)}$$

P_{max} là lực kéo lớn nhất mà không đứt

A_0 : là tiết diện

- Độ bền nén: là khả năng chống lại tác dụng của lực nén bên ngoài.

$$\sigma_{\text{nén}} = \frac{[P_{\text{max}}]_{\text{nén}}}{A_0}$$

- Độ bền uốn: chống lại tác dụng của lực uốn $\sigma_{\text{uốn}} = \frac{[P_{\text{max}}]}{A_0}$

2.2 Tính giòn: là vật liệu có độ bền cao với tải tĩnh nhưng rất dễ bị phá hủy bởi tải động bất ngờ đặt vào. $\sigma_{\text{vd}} [\text{kGcm/cm}^2]$

2.3 Độ cứng: lớp bề mặt của vật liệu chống lại biến dạng gây bởi lực nén truyền từ vật có kích thước nhỏ

2.4 Độ nhớt: là hệ số ma sát bên trong của chất lỏng

Một lượng thể tích V của chất lỏng có độ nhớt η chảy trong thời gian τ dưới tác dụng của áp lực P qua ống mao dẫn dài l bán kính r theo định luật passen

$$V = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\pi \cdot P \cdot r^4 \cdot \tau}{8 \cdot l}$$

Trong đó: $P[\text{N/m}^2]$, $r(\text{m})$, $\tau(\text{s})$, $l(\text{m})$, $V(\text{m}^3)$, $\eta(\text{N.s/m}^2)$

III Tính chất nhiệt của điện môi:

3.1 Độ bền chịu nóng: khả năng chịu đựng không bị hư trong thời gian ngắn cũng như dài dưới tác dụng của nhiệt độ cao và sự thay đổi đột ngột nhiệt độ

Nhiệt độ giới hạn chịu nóng phụ thuộc vào loại vật liệu:

- Điện môi vô cơ: nhiệt độ gây biến đổi tính chất điện
- Điện môi hữu cơ: nhiệt độ bắt đầu biến dạng cơ học

Đối với dầu máy biến áp người ta đưa ra 2 khái niệm: nhiệt độ chớp cháy và nhiệt độ cháy:

Nhiệt độ chớp cháy: là nhiệt độ mà nếu nung nóng dầu đến nhiệt độ đó thì hỗn hợp hơi của dầu và không sẽ bốc cháy khi đưa ngọn lửa vào gần.

Nhiệt độ cháy: là nhiệt độ cao hơn nhiệt độ chớp cháy mà khi đưa ngọn lửa lại gần bản thân chất lỏng thử nghiệm bắt đầu cháy.

Loại cách điện	T _{max}
Y(vải sợi, xenlulô, len, giấy gỗ nhưng không tẩm hoặc ngâm trong chất lỏng)	90
A(là cách điện cấp Y nhưng được tẩm hoặc ngâm trong dầu cách điện)	105
E(nhựa hữu cơ+phụ gia như: fenolformandehic, Hetinac, testolit, epoxy, Polieste)	120
B(chứa thành phần vô cơ: amian, thủy tinh và vật liệu được tẩm bằng thủy tinh)	130
F(mica và sản phẩm sợi thủy tinh, vật liệu hữu cơ tẩm với vl chịu nhiệt cao)	155
H(nhựa silic hữu cơ có tính chịu nhiệt đặc biệt cao)	180
C(vật liệu vô cơ không chứa thành phần tẩm hoặc kết dính gồm: mica, thủy tinh, amian, politetraftoretilen)	>180

3.2 Tính chịu lạnh của điện môi:

Đây là khả năng chịu đựng của cách điện ở nhiệt độ thấp (-60->-70°C).

3.3 Độ dẫn nhiệt: mức độ chuyển nhiệt xuyên qua bề dày lớp cách điện ra môi trường xung quanh.

Phương trình Fourier: $\Delta P_N = \gamma_N \cdot \frac{\partial T}{\partial l} \cdot \Delta S$

ΔP_N : công suất dòng nhiệt qua diện tích ΔS ;

$\frac{\partial T}{\partial l}$: gradient nhiệt độ

3.4 Sự giãn nở nhiệt

Hệ số giãn nở dài $\alpha_l = \frac{1}{l} \cdot \frac{dl}{dt}$ [1/độ]

Vật liệu có α_l nhỏ => độ bền chịu nóng cao và ngược lại

Vật liệu hữu cơ có hệ số giãn nở dài cao hơn vô cơ => kích thước vật liệu vô cơ ổn định khi nhiệt độ thay đổi

IV Tính chất hoá học và khả năng chịu phóng xạ của điện môi

- Khi làm việc lâu dài, không bị phân huỷ để giải thoát ra các sản phẩm phụ và không bị ăn mòn khi kim loại tiếp xúc với nó, không phản ứng với các chất khác như nước, axit,...
- Khi sản xuất các chi tiết có thể dùng các hoá chất khác như: Chất kết dính, chất hoà tan, trong các điện môi khác nhau.

Chương 10 MỘT SỐ VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

I Một số yêu cầu vật liệu cách điện:

- Có độ bền điện cao, để giảm bớt kích thước của thiết bị.
- Có khả năng dẫn nhiệt tốt
- Có nhiệt độ hóa lỏng thấp
- Trơ về mặt hóa học
- Rẻ tiền và dễ kiếm

II. Vật liệu cách điện thể khí:

2.1. Không khí:

- Cách điện chính của đường dây trên không
- Kết hợp với cách điện rắn tạo ra cách điện hỗn hợp
- Gây bất lợi khi xuất hiện trong cách điện rắn, lỏng.
- Trong các điều kiện làm việc giống nhau nhưng vật

$$E_{bd}=28kV/cm, \epsilon \approx 1,$$

2.2. Nitơ: có độ bền điện tương tự như không khí, được sử dụng để làm cách điện cho tụ khí.

2.3. SF₆(elegas): có độ bền điện cao gấp 2,5 lần không khí, khối lượng riêng cao gấp 5,1 lần không khí, nhiệt độ sôi thấp -64°C, có thể nén ở nhiệt độ thường tới 2MPa mà không bị hoá lỏng. Elegas không độc, độ bền vững hoá học cao, không bị phân huỷ ở nhiệt độ 800°C.

2.4. CCl₂F₂(Freon -12): có độ bền điện xấp xỉ Elegas, nhiệt độ sôi 247,7°K(-30,5°C), khí Freon-12 gây ăn mòn một số điện môi hữu cơ.

2.5. CF₂, C₂F₆, C₃F₈... có độ bền điện rất cao 8->10 lần so với không khí, độ bền điện tương đương với chất lỏng nhưng có khối lượng riêng nhỏ hơn chất lỏng, tính chịu nhiệt cao, bền vững chống già cỗi

2.6. Khí H₂:

- Nhẹ, tính dẫn nhiệt và nhiệt dung cao
- Làm cách điện cho máy điện công suất lớn(giảm ma sát, tránh oxi hoá, hoả hoạn khi chạm chập cuộn dây...)

2.7. Khí trơ: được dùng làm cách điện cho các bộ phóng điện khí. Các khí trơ có nhiệt dẫn thấp, độ bền điện kém, Kc, Kr và Xe được dùng trong công nghiệp chế tạo đèn huỳnh quang.

III. Vật liệu lỏng:

3.1 Dầu biến thế:

- Làm mát và cách điện của máy biến áp
- Làm cách điện và dập tắt hồ quang trong máy cắt dầu.
- Dầu máy biến áp còn đổ vào đầu ra của cáp, biến trở, và rất nhiều thiết bị khác.

***Ưu điểm:**

- Có độ bền cách điện cao, trong trường hợp dầu chất lượng cao có thể đạt tới 160kV/cm , $\epsilon = 2,2 \div 2,3$
- Dầu có tính phục hồi cách điện
- Có thể xâm nhập vào các khe rãnh hẹp.

***Nhược điểm:**

- Dầu nhạy cảm cao với tạp chất và độ ẩm
- Ở nhiệt độ cao dầu tạo những bọt khí \Rightarrow độ nhớt, tính năng cách điện và làm mát đều giảm sút
- Dễ cháy và khi cháy sẽ phát sinh ra khói đen, hơi dầu bốc lên hoà lẫn cùng với không khí làm thành hỗn hợp nổ

Dầu biến thế có các tính chất sau:

- Tạp chất trong dầu làm giảm sút rất lớn độ bền cách điện của dầu. Vì vậy trước khi cho dầu vào máy, phải làm sạch rất kỹ và khuấy trong chân không
- Điện trở suất của dầu khoảng $10^{14} \div 10^{16} (\Omega.cm)$
- Làm việc dài hạn ở nhiệt độ $90 \div 95^{\circ}C$
- Đồng xúc tác nhanh quá trình oxy hoá trong dầu.

3.2. Dầu tụ điện:

- Tẩm cho tụ giấy làm tăng ϵ và $E_{ct} \Rightarrow$ tăng điện dung, giảm kích thước và giá thành của tụ.

3.3. Dầu dùng cho cáp:

- Tẩm trong cáp giấy \Rightarrow làm mát và tăng độ bền điện.
- Để tẩm cho cáp dưới 35kV có vỏ nhôm hoặc chì dùng loại dầu có độ nhớt cao, không nhỏ hơn $23\text{mm}^2/\text{s}$ ở nhiệt độ $100^{\circ}C$. Để tăng độ nhớt người ta còn thêm nhựa thông vào dầu.

Để tẩm cho cáp từ 110kV-220kV dùng dầu có độ nhớt thấp hơn $\eta \leq 3,5\text{mm}^2/\text{s}$ ở nhiệt độ $100^{\circ}C$, $\eta \leq 10\text{mm}^2/\text{s}$ ở nhiệt độ $50^{\circ}C$, $\eta \leq 40\text{mm}^2/\text{s}$ ở nhiệt độ $20^{\circ}C$

3.4. Một số chất lỏng hữu cơ

3.4.1 Dầu Sovol($C_{12}H_5Cl_5$): ($f=50\text{Hz}$, $t=20^{\circ}C$ $\epsilon = 5$; khi $t=90^{\circ}C$ $\epsilon = 4,1$)

- Không cháy nhưng rất độc.
- Do có cực nên tính cách điện của nó bị ảnh hưởng rất nhiều bởi tạp chất

- Khi nhiệt độ giảm hằng số điện môi giảm nên điện dung của tụ giảm.

3.4.2 Chất lỏng Silic hữu cơ:

Có tg δ thấp, hút nước và tính chịu nhiệt cao, giá thành cao, hằng số điện môi biến đổi lớn, nhiệt độ làm việc lâu dài 250°C

c. Chất lỏng Flor hữu cơ:

- Có tính chịu nhiệt cao, tg δ thấp, độ bền điện cao, hơi của chất lỏng Flor bền vững ở thể khí

- Độ nhớt thấp nên rất dễ tẩm cho vật liệu xốp, có độ nổ nhiệt cao và hốc hơi mạnh nên thiết bị chứa chất lỏng Flor phải rất kín.

- Tản nhiệt cao hơn dầu biến áp và chất lỏng Silic hữu cơ

- Không cháy và chịu được hồ quang

- Giá thành cao

IV. Vật liệu cách điện rắn:

4.1. Nhựa tổng hợp:

4.1.1. Nhựa PE:

- Ứng dụng trong kĩ thuật điện cao tầng.

4.1.2. Nhựa Poliizobutilen: $(-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-)_n$

- Có tính chất giống cao su, có tính kéo dãn, đàn hồi

- Có tính chịu lạnh cao và độ bền vững giống PE

- Có tính hút ẩm thấp

4.1.3 Nhựa Polistirol: $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-)_n$

- Giòn ở nhiệt độ thấp và tạo vết nứt trên bề mặt

- Chịu nhiệt thấp

- Cũng như PE, Poliizobutilen, Polistirol là nhựa không cực có tính cách điện cao và tính hút nước thấp => Ứng dụng trong kĩ thuật điện cao tầng.

4.1.4 Nhựa PVC $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{Cl})-)_n$:

- Điện môi có cực

- Tính cách điện thấp hơn điện môi không cực

- Ít chịu tác động của độ ẩm, bền vững với tác động của nước, kiềm, axit, rượu, nó dùng làm cách điện hạ áp, lớp vỏ bảo vệ

4.1.5 Nhựa Poliacrilat $(\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{COOH})$:

- Chịu lạnh, chịu dầu mỡ và kiềm.

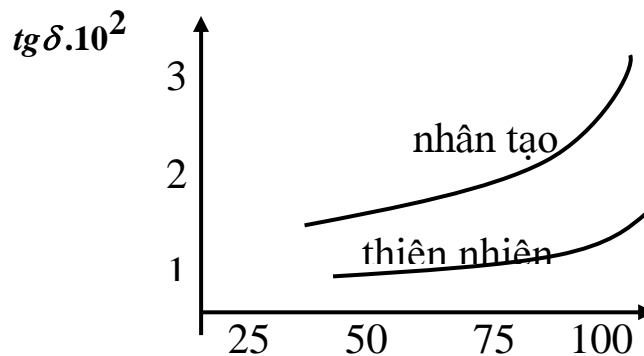
- Đại diện cho poliacrilat nó là Metimetylacrilat $(\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{COO}-\text{CH}_3)$: gọi là thủy tinh hữu cơ, có tính trong suốt. Dưới tác dụng của hồ quang thì nó sinh khí CO, H₂, H₂O và CO₂ có tác dụng dập tắt hồ quang => chế tạo các thiết bị chống sét.

4.1.6 Nhựa thông:

- Giòn, điện trở suất cao $10^{12} \div 10^{13} \Omega m$, độ bền điện cao $E_{ct} = 10-15 \text{ MV/m}$, nhiệt độ nóng chảy $50-70^\circ\text{C}$, dần dần bị oxi hoá
- Nhựa thông tan trong dầu mỡ, dùng để tẩm cho cáp

4.1.7 Bitum:

- Giòn và dễ tan trong benzol, tolnol, không tan trong rượu và nước, có tính hút nước thấp
- Bitum là một chất có cực yếu, $E_{bd}=25\text{MV/m}$ $\rho = 10^{13} \div 10^{14} \Omega m$
- Được dùng để sản xuất sơn và các hỗn hợp



4.2 Điện môi nền(Sáp):

-Dễ nóng chảy, có cấu tạo tinh thể, độ bền cơ học yếu và tính hút nước thấp các vật liệu này dùng để tẩm hoặc rót lấp kẽ hở, nhưng sẽ co rút nhiều khi nguội đi

4.2.1 Parafin: rẻ, không cực, không dính ướt, độ bền điện ổn định, $t_{nc} = 50-55^\circ\text{C}$, $tg \delta = 3-7.10^{-4}$, $\epsilon = 1,5 - 2,3$. Parafin có khi dùng tẩm cho giấy của tụ điện có điện áp thấp, tẩm dây và giấy carton, để rót lấp kẽ hở cuộn dây máy điện có nhiệt độ làm việc thấp

4.2.2 Xerezin: Nhiệt độ nóng chảy cao, bền với không khí, điện trở suất lớn và $tg \delta$ thấp hơn => làm tụ giấy.

4.2.3 Vazelin: Mang tính chất chung của sáp, ở nhiệt độ thường ở dạng nửa lỏng, sử dụng để tẩm giấy tụ. Vazelin là hỗn hợp của carbua hydro lỏng và rắn

Thông số	20°C	100°C
$\rho [\Omega m]$	5.10^{12}	5.10^9
$tg \delta$	0,0002	0,002

4.3. Sơn cách điện và hỗn hợp:

4.3.1 Sơn cách điện: dung dịch keo bitum và dầu bốc hơi. Khi sấy khô thì ở trạng thái rắn và tạo thành lớp màng mỏng. Yêu cầu sơn phải cách điện và không được hút ẩm.

-**Sơn tẩm:** tẩm các lỗ mọt hoặc cách điện dạng sợi (giấy, carton, vải, cách điện cuộn dây máy điện).

-**Sơn che phủ:** tạo ra một lớp có độ bền cơ học, bằng phẳng và không thấm nước trên bề mặt điện môi. Sơn Emay còn sơn trực tiếp lên dây dẫn làm cách điện hoặc các lá thép trong mạch từ máy biến áp.

-**Sơn kết dính:** Dùng để kết dính các lớp của điện môi hoặc giữa điện môi với kim loại.

4.3.2 Sơn nhựa: dung dịch nhựa tổng hợp hay nhựa thiên nhiên gồm các loại sau:

+ **Sơn bakelit:** dung dịch của bakelit trong rượu. Sơn này dùng để kết dính, có độ bền cơ học cao, ít dẻo, dễ bị già cỗi do nhiệt.

+ **Sơn Gliftan:** dung dịch nhựa gliftan trong hỗn hợp rượu với hydro cacbua lỏng. Dùng kết dính mica, có tính uốn dẻo tốt hơn bakelit nhưng tính chịu ẩm kém hơn.

+ **Sơn silic:** cần sấy ở nhiệt độ cao, nó có tính chịu nhiệt và chống ẩm tốt.

+**Sơn Policlovinil:** chịu được dầu mỡ và nhiều vật chất khác, dùng để sơn phủ cho cách điện hoạt động ở môi trường axit

+**Sơn xenlulo:** quan trọng nhất là Nitroxenlulo nó có độ bền cơ học cao, chịu đựng được tác động của không khí nhưng không bám vào kim loại. Vì vậy, phải sơn bằng gliftan vào kim loại rồi mới sơn Nitroxenlulo.

+ **Sơn dầu:** có nguồn gốc từ dầu tự khô và thêm thành phần làm tăng tốc độ khô của dầu. Sơn này dùng để sản xuất giấy sơn, vải sơn và tẩm cho cuộn dây máy điện, sơn cách điện cho các lá thép máy biến áp.

+**Sơn đen:** thành phần chính là bitum, nó rẻ hơn có tính hút ẩm thấp và có độ cách điện cao nhưng không chịu đựng được xăng dầu và chịu nhiệt thấp.

4.4 Hỗn hợp cách điện: là hỗn hợp các loại nhựa khác nhau bitum, sáp, dầu, nến.

*Tẩm cho giấy cách điện có nguồn gốc từ dầu mỡ, và nhằm tăng độ nhớt của hỗn hợp, người ta thêm nhựa thông hay nhựa tổng hợp nhân tạo.

*Lắp đầy các măng sang rẽ nhánh, măng sang đầu cuối để tránh tiếp xúc với không khí. Hỗn hợp lấp đầy có thành phần chủ yếu là bitum và dầu thông.

4.5 Vật liệu sợi: Rẻ, độ bền cơ học cao, có tính dẻo, dễ gia công nhưng nhược điểm là độ bền điện thấp, và dễ hút ẩm

Gỗ: là cách điện quan trọng trong kỹ thuật điện, để nâng cao tính chất cách điện của gỗ người ta tẩm bằng các loại sơn khác

Giấy và carton cách điện: được chế tạo từ xenlulo và được hoà tan trong dung dịch kiềm

Giấy cáp: có thể chế tạo cho cáp cáp 110kV hoặc cao hơn. Giấy cáp dùng cho cáp lực có các ký hiệu: KB, KM, KBY, KBM. . .(K: cáp, M: nhiều lớp, B: cao áp, Y: giấy có độ khít cao)

Cáp lực có cách điện yếu nhất là chỗ kẽ hở của từng lớp giấy và vì vậy cần phải tẩm bằng dầu thông và nhựa tự khô. Loại này dùng cho cáp điện áp không quá 35kV. Ở cấp cao hơn dùng cáp dầu.

4.6 Vật liệu đàn hồi:

Cao su thiên nhiên(C_5H_8)_n: Ở nhiệt độ 50°C cao su đã bị nóng chảy và ở nhiệt độ thấp có tính giòn. Cao su hoà tan trong dung môi carbua hydro. Để tăng tính chịu nhiệt chịu lạnh người ta tiến hành lưu hoá cao su

Cao su lưu hoá: ngoài tăng tính chịu nhiệt chịu lạnh cao su lưu hoá còn tăng độ bền cơ học, bền vững với các dung dịch. Nhưng dễ bị già cỗi do nhiệt, không bền vững bị tác động của chất lỏng không cực.

Cao su nhân tạo:

+ Cao su butan($-CH_2-CH=CH-CH_2-$)_n: là điện môi không cực, có $\rho = 10^{15} \Omega m$, $tg\delta = 5^{-4}$

+Cao su butan- Stiro:là polime hoá đồng thời Polistiro và butan, tính chất cách điện gần giống như cao su thiên nhiên nhưng chịu nhiệt, chịu dầu mỡ, xăng rất cao

+ Cao su silic hữu cơ: Chịu nhiệt cao 250°C chịu lạnh tới -100°C nhưng có độ bền cơ kém, tính bền vững hoá học không cao và giá thành cao

4.7 Thủy tinh:

-Khối lượng riêng:lớn từ 2-8Mg/m³, thủy tinh nặng chứa nhiều chì

-Tính chất cơ học:Độ bền nén lớn hơn rất nhiều so với độ bền kéo(6000-21000Mpa >100-300Mpa)

-Tính chất nhiệt: Nhiệt nóng chảy của thủy tinh nằm trong giới hạn 400-1600°C
Tuỳ theo công dụng người ta chia ra làm các loại thủy tinh như sau:

Thủy tinh dùng cho tụ điện, trong bộ lọc cao tần, máy phát xung, mạch dao động.. Nó cần có $tg\delta$ nhỏ và \mathcal{E} cao

Thủy tinh thiết bị: Dùng để chế tạo các thiết bị, linh kiện sứ. Loại thủy tinh này yêu cầu có độ bền cơ học cao, tính cách điện tốt.

Thủy tinh kiềm: có chứa nhiều kim loại nặng, loại thủy tinh này có \mathcal{E} cao và $tg\delta$ thấp dùng làm tụ điện

Thủy tinh trung tính: Thủy tinh thạch anh có độ trong suốt cao, dùng trong kỹ thuật quang và loại này có tính cách điện cao

4.8 Vật liệu gốm sứ:

- Là vật liệu cực kì quan trọng trong KTD, dùng để chế tạo cách điện và đỡ đường dây trên không. Được sản xuất từ đất sét và một số chất phụ gia, trên bề mặt sứ có tráng men để tăng tính bền bóng trên bề mặt của sản phẩm.

- Góc tổn hao lớn và tăng rất nhanh theo nhiệt độ

Các loại gốm sứ như sau:

* Gốm có hệ số điện môi nhỏ: thành phần chủ yếu thạch anh β -SiO₂

* Sứ radio: có thành phần oxit kim loại nặng

* Sứ cao tần: chứa thành phần Al₂O₃, sứ này có đặc điểm tg δ nhỏ, điện trở suất lớn và có độ bền cơ học cao.

* Stealit: thành phần chủ yếu là Silic mangie

* Gốm có hệ số điện môi lớn: Thành phần chủ yếu là TiO₂, loại này dùng để sản xuất tụ, kích thước nhỏ, khối lượng thấp. Vật liệu có ϵ rất cao.

Phạm vi sử dụng : cách điện và đỡ cho các phần tử đốt nóng, hộp buồng dập hồ quang, tấm ngăn hồ quang .Nói chung dùng làm các chi tiết ở nhiệt độ cao và có độ biến đổi nhiệt lớn

Chương 11

CÁC YÊU CẦU ĐỐI VỚI CÁCH ĐIỆN TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

I Những yêu cầu chung đối với cấu tạo của các vật cách điện:

- Phải có độ bền cơ đủ lớn có thể chịu đựng mọi dạng tải trọng cơ có thể xuất hiện trong quá trình vận hành.
- Các vật liệu cách điện và cơ cấu cách điện của trang thiết bị điện: một mặt phải chịu tác dụng lâu dài của điện áp làm việc lớn nhất cho phép, mặt khác phải chịu được tác dụng quá điện áp trong một thời gian ngắn, phần lớn những trị số quá điện áp khí quyển và quá điện áp nội bộ.

II. Các đặc tính điện và cơ của vật liệu cách điện:

Để thoả mãn các yêu cầu trên, đồng thời chú ý đến ảnh hưởng của các điều kiện khí hậu. Cách điện phải có đặc tính điện và cơ sao cho đáp ứng được tác dụng của chúng trong quá trình vận hành.

2.1 Đặc tính điện: là quan hệ giữa điện áp phóng điện trên bề mặt và chiều dài phóng điện. Trị số điện áp phóng điện trên bề mặt là trị số điện áp bé nhất tại đó xảy ra phóng điện dọc trên bề mặt điện môi.

2.1.1 Điện áp phóng điện tần số công nghiệp:

- Với cách điện làm việc trong nhà: cần xác định trị số điện áp phóng điện trên bề mặt trong điều kiện bề mặt sạch và khô. Trị số này tính gần đúng theo công thức sau: $U_{mk} = E_{mk} \cdot l_k$.
- Với cách điện làm việc ngoài trời: cần xác định trị số điện áp phóng điện trên bề mặt trong điều kiện bề mặt bị ướt.

Trong thử nghiệm này, điện áp tác dụng lên vật liệu cách điện được nâng cao đều đặn cho đến khi đạt trị số qui định trong tiêu chuẩn và sau đó giảm ngay đều đặn. Nếu cách điện không bị phóng điện trên bề mặt, không bị hư hỏng về cơ là đạt yêu cầu.

2.1.2 Điện áp thử nghiệm xung:

- Khả năng chịu tác dụng của quá điện áp khí quyển được biểu thị bởi đường đặc tính V_S . Tuy nhiên, trong thực tế đối với cách điện ngoài, để đánh giá độ bền xung chỉ cần $U_{0,5}$ ở cả sóng xung toàn phần và sóng cắt.

Phương pháp thử nghiệm: Cho tác dụng dạng sóng xung tiêu chuẩn toàn sóng 5 lần, xung ở 2 μs 5 lần đối với cả 2 cực tính. Nếu cách điện chịu đựng được thì thoả mãn yêu cầu.

2.2 Đặc tính cơ:

Độ bền cơ của vật liệu cách điện được lựa chọn theo điều kiện làm việc của chúng. Đối với cách điện treo của đường dây phải xác định độ bền chịu kéo, đối với cách điện đỡ và cách điện xuyên phải xác định độ bền chịu uốn. Đối với phần lớn vật liệu cách điện, đặc tính chủ yếu là độ bền cơ đảm bảo, tức là tải trọng kéo hoặc uốn nhỏ nhất có thể gây ra hư hỏng hoàn toàn hoặc hư hỏng bộ phận trong điều kiện tải trọng tăng dần.

Đối với cách điện treo của đường dây: Khi tăng tải trọng cơ có thể xảy ra những rạn nứt ở dưới mũ sứ mà mắt không nhìn thấy được. Vì vậy, đối với loại cách điện này thì đồng

thời với việc tăng dần đều tải trọng cơ, cho điện áp tác dụng 75 ÷ 80% điện áp phóng điện khô. Khi xuất hiện rạn nứt thì cách điện sẽ bị phóng điện xuyên thủng. Tải trọng cơ trong thí nghiệm này gọi là độ bền cơ điện của cách điện. Trị số này ghi rõ trên mã hiệu của cách điện treo. Tải trọng cho phép của cách điện treo lấy bằng một nửa tải trọng cơ điện trong một giờ.

III Điều kiện để lựa chọn mức cách điện trong hệ thống.

Mức cách điện trong hệ thống được chọn theo điều kiện sau:

- Điện áp làm việc lâu dài lớn nhất cho phép.
- Quá điện áp nội bộ.
- Quá điện áp khí quyển.

3.1 Điện áp làm việc lớn nhất:

Trong HTD để đảm bảo điện áp làm việc cho các hộ tiêu thụ ở xa, ngay trong trường hợp quá tải thì điện áp phải chọn cao hơn điện áp định mức từ (5 ÷ 20)% tùy cấp điện áp.

- Đối với hệ thống có điểm trung tính cách điện hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang, khi xảy ra sự cố chạm đất thì cách điện phải chịu tác dụng điện áp dây nên điện áp làm việc lớn nhất: $U_{lvmax} = (1,15 \div 1,2).U_{dm}$

- Đối với hệ thống có điểm trung tính nối đất trực tiếp: do dòng chạm đất lớn nên bảo vệ sẽ cắt nhanh phần tử bị sự cố nên điện áp làm việc lớn nhất của cách điện:

$$U_{lvmax} = (1,05 \div 1,15).U_{dm}$$

Dưới đây cho trị số điện áp lớn nhất cho phép tương ứng với các cấp điện áp khác nhau

Điện áp làm việc lớn nhất cho phép	U _{dm}									
	3	6	10	35	20	110	150	220	330	500
U _{lvmax} (kV)	Trung tính cách điện				Trung tính nối đất trực tiếp					
	3,5	6,9	11,5	40,5	23	126	172	252	363	525
$U_{pmax} = \frac{U_{lvmax}}{\sqrt{3}}$	2,0	4,0	6,65	23,4	13,3	72,8	100	146	210	304

3.2 Quá điện áp nội bộ:

Nguyên nhân gây ra quá áp nội bộ: Do sự thay đổi chế độ làm việc trong hệ thống điện, làm cho hệ thống chuyển từ trạng thái ổn định này sang trạng thái ổn định khác.

Bản chất của quá điện áp nội bộ: sự phân bố lại năng lượng điện trường và từ trường giữa các kho năng lượng thông qua một số quá trình quá độ, từ đó gây nên quá điện áp.

Điện áp định mức càng cao thì trị số quá điện áp càng lớn. Do đó, trị số quá điện áp được tính theo công thức:

$$U_{qanb} = k.U_{pmax}$$

Trong đó: U_{pmax}: trị số điện áp pha lớn nhất.

k là hệ số quá điện áp, trị số này phụ thuộc vào :

- +Nguyên nhân gây quá điện áp.

+Điện áp làm việc: điện áp càng cao thì k càng lớn nếu so sánh cùng nguyên nhân gây quá áp nội bộ.

+Phương thức vận hành điểm trung tính: ở chế độ trung tính nối đất luôn có trị số k bé hơn trung tính cách đất.

Khi tính toán lựa chọn cách điện của HTĐ theo quá điện áp phải dựa vào trị số k_{cp} được xác định theo quan điểm kinh tế - kĩ thuật. Ở trị số điện áp càng cao thì k_{cp} càng bé. Trị số k_{cp} được cho trong bảng sau:

Thông số	Trung tính cách điện			Trung tính nối đất trực tiếp				
	3 ÷ 10	15 ÷ 20	35	110/220	330	500	750	1150
U_{dm} (KV)	3 ÷ 10	15 ÷ 20	35	110/220	330	500	750	1150
U_{lvmax}/U_{dm}	1,2	1,2	1,15	1,15	1,1	1,05	1,05	1,05
k_{cp}	4,5	4,0	3,5	3,0	2,7	2,5	2,1	1,8

3.3 Quá điện áp khí quyển

3.3.1 Đối với việc lựa chọn cách điện đường dây

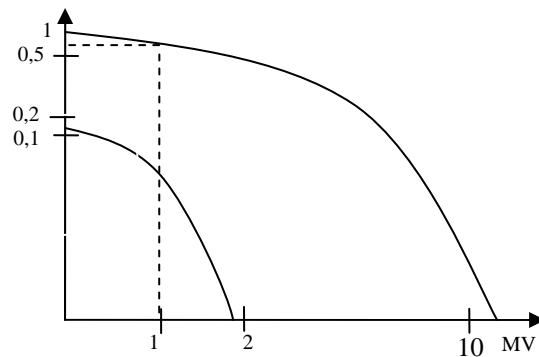
Quá điện áp khí quyển xảy ra khi sét đánh vào dây dẫn hoặc gần dây dẫn gây cảm ứng trên đường dây. Trong đó, nguy hiểm nhất là trường hợp sét đánh trực tiếp vào dây dẫn, gây quá điện áp lớn trên cách điện của đường dây.

Theo quan trắc thống kê, xác suất xuất hiện quá điện áp khí quyển trên đường dây được cho như hình vẽ:

Qua hình vẽ ta thấy, gần 70% sét đánh vào đường dây gây nên quá điện áp trên 1MV, mà đa số gây nguy hiểm đến cách điện đường dây. Do đó, nếu ta chọn cách điện theo điều kiện quá điện áp khí quyển sẽ không thoả mãn về kinh tế kĩ thuật.

Cho nên, đối với đường dây cao áp và siêu cao áp ($U > 35kV$), cách điện được chọn theo điều kiện quá điện áp nội bộ và kết hợp các biện pháp khác để giảm đến mức có thể tác hại của quá điện áp khí quyển, tùy thuộc vào cấp điện áp.

Theo tính chất chọn lọc của dòng sét, người ta thực hiện treo dây chống sét, kết hợp giảm điện trở nối đất ở các cột điện, sẽ giảm số lần sét đánh vào dây dẫn và giảm được trị số điện áp đặt lên cách điện. Tuy nhiên, vẫn có trường hợp sét đánh vòng qua DCS vào dây dẫn, đánh vào khu vực đỉnh cột, DCS với độ dốc và biên độ lớn sẽ gây quá điện áp cao trên cách điện khi đó sẽ xảy ra mất điện do phóng điện trên cách điện. Để hạn chế thời gian mất điện trong trường hợp này, người ta sử dụng biện pháp dập tắt hồ quang hoặc máy cắt có bộ phận TDL. Tác dụng quá điện áp trong trường hợp này hầu như không gây hư hỏng cách điện. Ngoài ra người ta còn dùng các biện pháp khác như: dùng cột xà gỗ, nối đất điểm trung tính qua cuộn dập hồ quang trong mạng trung tính cách đất.



Với cấp siêu cao áp, do quá điện áp nội bộ có trị số gần tương đương trị số quá điện áp khí quyển, nên theo quan điểm chọn cách điện chỉ cần chọn cách điện theo quá điện áp nội bộ mà không cần kết hợp biện pháp treo DCS

3.3.2 Đối với cách điện của trạm:

Do sự lan truyền của sóng quá điện áp từ đường dây vào trạm khi có sét trên đường dây. Cách điện của trạm sẽ chịu tác dụng điện áp lớn tương tự như đường dây. Sự cố xảy ra trong trạm tương đương như ngắn mạch ở gần nguồn nên sự cố trầm trọng. Do đó, nếu chọn cách điện của trạm theo trị số này cũng không thoả mãn về kinh tế - kỹ thuật. Như vậy về cơ bản phải chọn cách điện theo quá điện áp nội bộ đồng thời kết hợp biện pháp bảo vệ chống sóng truyền vào trạm bằng CSV, khe hở phóng điện, CS ống ở đường dây, tăng cường bảo vệ đoạn tới trạm. Khi đó, cách điện của trạm phải thoả mãn yêu cầu:

+ Độ bền xung của cách điện trạm phải cao hơn trị số điện áp dư của chống sét van $(20 \div 25)\%$

+ Phải phối hợp cách điện của trạm và điện áp phóng điện của CSV, điện áp dư của CSV.

Chương 12

THỰC HIỆN CÁCH ĐIỆN CHO ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN TRÊN KHÔNG

I Khái niệm chung

1.1 Yêu cầu chung của cách điện của đường dây trên không:

- Phải chịu được tác dụng của đa số các loại quá điện áp nội bộ
- Đối với quá điện áp khí quyển, phải giải quyết sao cho hợp lý về mặt kinh tế kỹ thuật
 - + **Đối với cấp điện áp >110kV:** chọn theo điều kiện quá điện áp nội bộ, kết hợp với treo dây chống sét trên toàn tuyến để tăng khả năng chịu quá áp khí quyển của đường dây
 - + **Đối với cấp điện áp <110kV:** nếu chọn theo quá áp khí quyển thì rất tốn kém về kinh tế. Nên chỉ chọn đến mức hợp lý kết hợp với các biện pháp giảm suất cắt đường dây: cải thiện nối đất và cuộn dập hồ quang

1.2 Cách điện của đường dây trên không

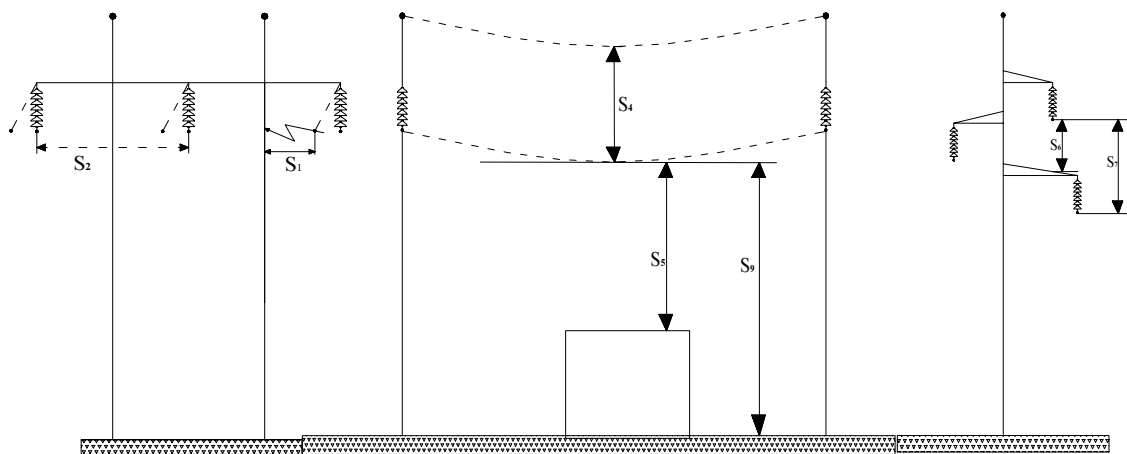
Cách điện của đường dây trên không gồm có 2 phần: cách điện trong và cách điện ngoài

Cách điện ngoài: bao gồm một loạt các khoảng cách không khí thuần túy giữa dây dẫn với nhau, giữa dây dẫn với đất, cột, khoảng cách không khí men theo bề mặt cách điện rắn dùng để treo hoặc đỡ dây dẫn. Cách điện này còn tùy thuộc vào kết cấu của cột xà.

Cách điện trong: là cách điện bên trong của các thiết bị

Thực hiện cách điện đường dây trên không là xác định các khoảng cách không khí và vật liệu làm cách điện làm cách điện đỡ, treo dây.

II. Cách điện ngoài:



Cột thép hoặc bê tông cốt thép:

Cách điện bao gồm: chuỗi sứ, khoảng cách không khí giữa các pha, giữa dây dẫn và cột.

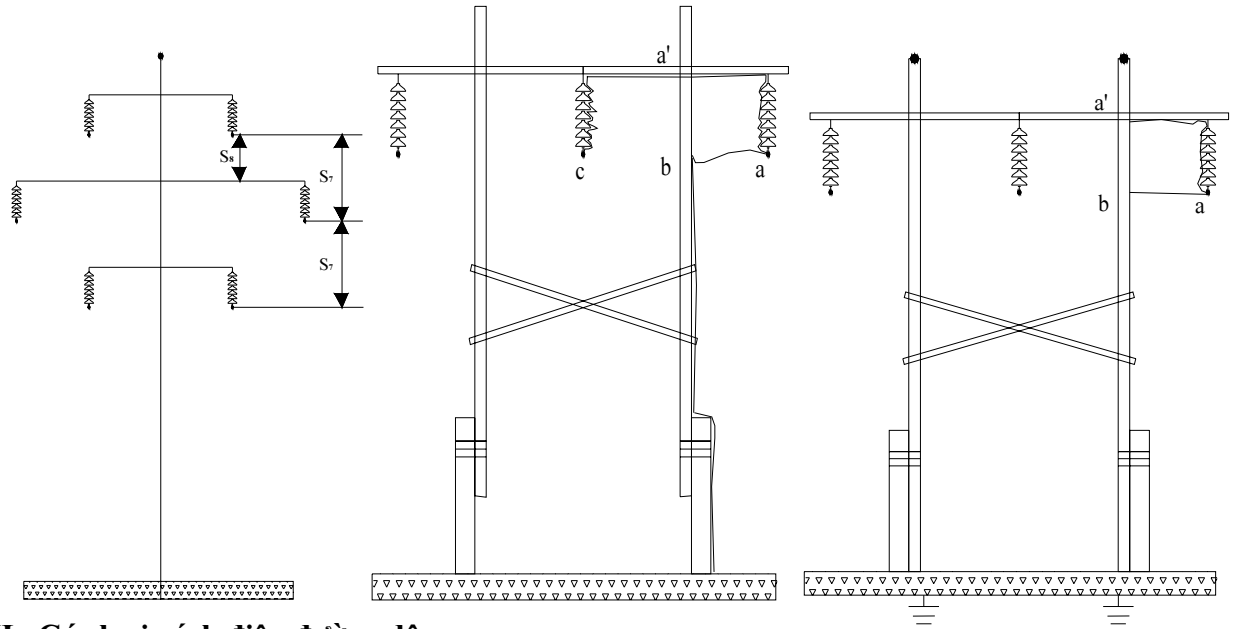
Phóng điện xuyên thủng có thể xảy ra ở: khoảng cách không khí giữa dây dẫn và thân cột (S_1), men theo bề mặt chuỗi sứ, phóng điện giữa các pha với nhau.. Nếu có dây chống sét thì có khả năng phóng điện giữa dây dẫn và dây chống sét qua khoảng cách không khí.

Ở cột xà gỗ:

Cách điện gồm chuỗi cách điện, bản thân xà và cột cũng làm nhiệm vụ cách điện.

Nếu đường dây có treo dây chống sét: đường phóng điện có thể xảy ra theo đường a-a' hoặc a-b

Nếu đường dây không có treo dây chống sét: Phóng điện có thể xảy ra men theo bề mặt chuỗi sứ của 2 pha và đoạn xà giữa 2 chuỗi sứ hoặc phóng xuyên thủng khoảng cách không khí từ chuỗi sứ đến thân cột và men theo thân cột xuống đất.



III. Các loại cách điện đường dây:

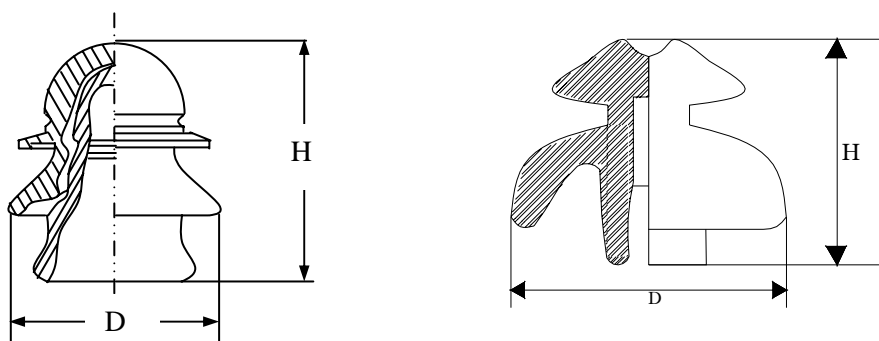
-Vật liệu cách điện sử dụng chủ yếu hiện nay: Sứ kĩ thuật điện, thuỷ tinh ít kiềm, vật liệu compsit (nhựa epoxy có triển vọng nhất) chúng có độ bền điện cao, độ bền nén cao, không già cỗi, chịu được tác dụng của môi trường khí quyển.

-Các phụ kiện kim loại làm bằng sắt thép, gang.

-Vật liệu gắn kết phụ kiện kim loại với điện môi: xi măng, các chất kết dính khác...có độ bền cơ cao.

Về mặt cấu tạo, cách điện đường dây trên không chia làm 2 loại: Cách điện đỡ và cách điện treo

3.1 Cách điện đỡ:



Dây dẫn được buộc chặt vào đầu hoặc nách cách điện. Chân sắt được cấu tạo sao cho trục dây dẫn và trục chân nằm trên cùng 1 mặt phẳng để tránh mômen xoắn. Rãnh tròn ốc để vặn vào chân sắt phải làm sâu vào thân cách điện để cho mômen uốn tác dụng vào thân cách điện bé nhất.

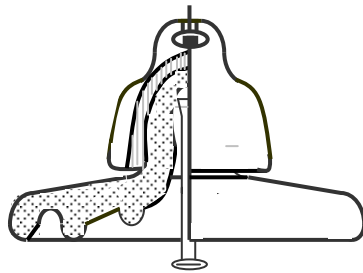
Khi mưa, mặt trên của vật liệu cách điện bị ướt chỉ còn lại mặt dưới của lá và rãnh cách điện khô và chịu tác dụng của toàn bộ điện áp. Do đó đường kính D của thân cách điện thiết kế phải đủ lớn $D \geq 1,3H$.

3.3.2 Cách điện treo:

Cách điện treo được dùng chủ yếu cho đường dây có điện áp 35kV trở lên.

Ưu điểm: cách điện luôn chịu tác dụng của lực dọc trục mà không chịu tác dụng lực uốn. Theo cấu tạo và hình dáng được chia làm 2 loại: Kiểu đĩa và kiểu thanh.

3.3.2.1 Cách điện kiểu đĩa: Vật liệu chế tạo bằng sứ hoặc thủy tinh và có dạng như hình vẽ.



Ưu điểm: Ở trạng thái làm việc, mũ và chốt chỉ chịu tác dụng của lực kéo. Lực này truyền qua lớp xi măng tạo thành lực nén tác dụng lên đầu vật cách điện, do đó sứ và thủy tinh chịu đựng rất tốt.

Nhược điểm: Do góc α tương đối lớn nên kích thước đầu vật liệu và mũ gang lớn ảnh hưởng không tốt đến đặc tính điện.

-Với loại có đầu hình trụ: Có kích thước bé hơn nhưng qui trình chế tạo phức tạp do phải trán men trên bề mặt tại những vị trí nhất định.

-Cách điện treo kiểu đĩa: dùng ở dạng bụi bẩn có hình dạng phức tạp hơn, có chiều dài rò điện lớn hơn.

-Với vật liệu cách điện làm bằng thủy tinh cho kích thước và trọng lượng bé hơn, đặc tính điện tốt hơn. Ngoài ra, bất kì rạn nứt nào cũng đều làm vỡ thủy tinh để phát hiện ra phần tử bị hư hỏng.

Ưu điểm chung của cách điện treo kiểu đĩa: Khi có 1 phần tử bị phóng điện do rạn nứt hoặc do độ bền cơ, do đó cả chuỗi không bị phá huỷ ít dẫn đến rơi dây chạm đất. Mặc khác chỉ cần thay thế 1 phần tử hư hỏng. Tuy nhiên, cũng cần phát hiện kịp thời vì nếu có

thêm một vài phần tử bị xuyên thủng thì có thể dẫn đến phóng điện ngay ở điện áp làm việc nhất là lúc trời mưa.

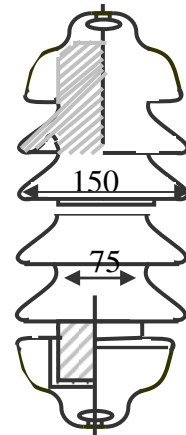
3.3.2.2 Cách điện kiểu thanh: (hình vẽ)

Ưu điểm:

Tiết kiệm được nhiều kim loại, trọng lượng bé.
 Đặc tính điện tốt hơn và bề mặt được làm sạch bởi mưa gió.

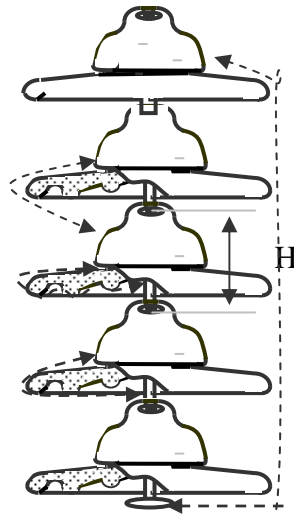
Nhược điểm:

Khi bị hư hỏng phải thay thế toàn bộ và khi hư hỏng dễ rớt dây chạm đất.
 Độ bền cơ không cao và công nghệ chế tạo phức tạp.
 Cách điện thanh thích hợp cho vùng bụi bẩn.



3.3.2.3 Chuỗi cách điện:

- Dễ lắp ghép, linh hoạt, có khả năng chịu uốn khá, tải trọng cơ trên mỗi phần tử khi có gió to hoặc đứt dây giảm nhẹ.
- Độ bền cơ của chuỗi bằng độ bền cơ của mỗi phần tử.
- Đặc tính điện của chuỗi khác nhiều so với đặc tính điện của mỗi phần tử. Phóng điện của chuỗi có thể phát triển theo các đường sau:



+Men theo bề mặt: xảy ra khi mưa ở chuỗi cách điện ngắn. Chiều dài phóng điện $L_1 = n \cdot l_1$ với n là số đĩa

+Một phần men theo bề mặt và một phần đi trong không khí. $L_2 = n \cdot l_2$

+Theo đường AB xảy ra khi bề mặt khô sạch, chiều dài của đường phóng điện $L = n \cdot H$. Điện áp phóng điện trong trường hợp này là lớn nhất. Để đạt được giới hạn phải tăng rãnh ở mặt dưới và đồng kính D để $U_{pdu} = U_{pdk}$

3.4 Sự phân bố điện áp trên chuỗi cách điện:

Điện áp phóng điện của chuỗi phụ thuộc vào bề mặt cách điện và thời tiết

3.4.1 Khi bề mặt cách điện khô sạch: Phân bố điện áp trên chuỗi sứ theo dòng điện dung như sơ đồ hình vẽ: (hình vẽ)

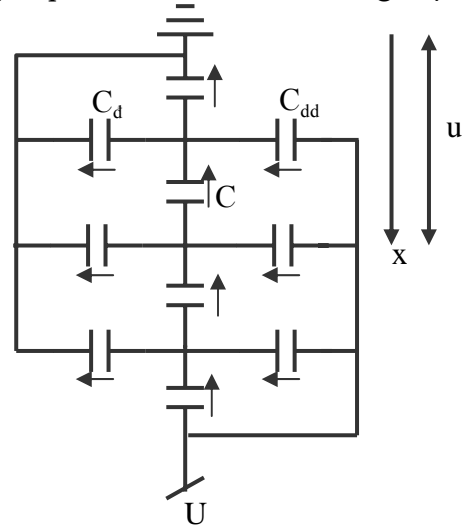
- C: điện dung của một đĩa
- C_d : điện dung của đĩa so với đất.
- C_{dd} : điện dung của đĩa đối với dây dẫn.

Trong tính toán cách điện, giả thuyết các điện dung này không đổi dọc theo chiều dài chuỗi sứ và được thay thế bằng điện dung đơn vị chiều dài

$$C' = C \cdot H$$

$$C'_d = C_d / H$$

$$C'_{dd} = C_{dd} / H$$



Tại một điểm x cách điểm nối đất của chuỗi, áp và dòng được biểu diễn bởi các phương trình sau:

$$\begin{cases} \frac{dU_x}{dx} = \frac{i_x}{j\omega C} \\ \frac{di_x}{dx} = U'_x \cdot j\omega C'_d + (U_x - U) \cdot j\omega C'_{dd} \end{cases}$$

$$\rightarrow U_x = k_1 \cdot e^{\gamma \cdot x} + k_2 \cdot e^{-\gamma \cdot x} + k_3$$

Xác định k₁, k₂, k₃ từ các điều kiện biên:

Khi x=0 thì U_x=0

Khi x=l thì U_x=U

$$\begin{cases} k_1 = \frac{U}{2} \cdot \frac{C_d + C_{dd} \cdot e^{-\gamma l}}{(C_d + C_{dd}) \cdot sh \gamma l} \\ k_2 = -\frac{U}{2} \cdot \frac{C_d + C_{dd} \cdot e^{\gamma l}}{(C_d + C_{dd}) \cdot sh \gamma l} \text{ với } \gamma = \sqrt{\frac{C'_d + C'_{dd}}{C'}} = \frac{1}{H} \sqrt{\frac{C_d + C_{dd}}{C}} \\ k_3 = U \cdot \frac{C_{dd}}{C_d + C_{dd}} \end{cases}$$

Điện áp giáng trên 1 phần tử (chiều dài H) cách đầu nối đất 1 đoạn bằng x:

$$\Delta U_x = U_x - U = U \cdot \frac{C_{dd}}{C_d + C_{dd}} \cdot \left\{ \frac{C_d}{sh \gamma l} [sh \gamma (x + H) - sh \gamma x] - \frac{C_{dd}}{sh \gamma l} [sh \gamma (l - x - H) - sh \gamma (l - x)] \right\}$$

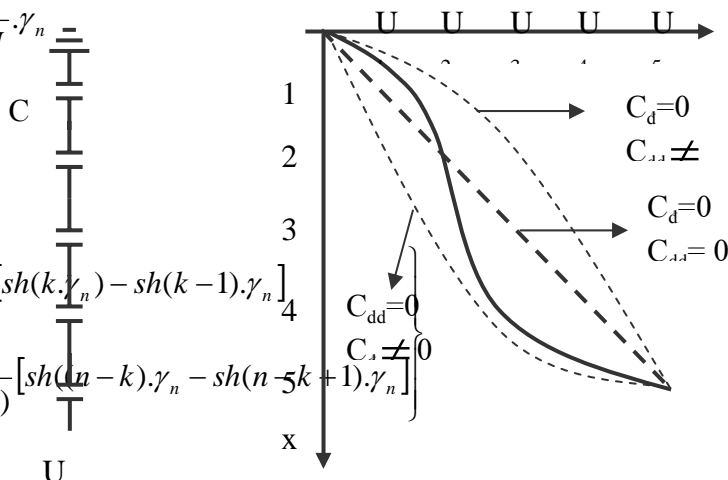
Ta đặt

$$\gamma = \sqrt{\frac{C'_d + C'_{dd}}{C'}} = \frac{1}{H} \sqrt{\frac{C_d + C_{dd}}{C}} = \frac{1}{H} \cdot \gamma_n$$

$$x = (k-1) \cdot H; \quad x+H = k \cdot H; \quad l = n \cdot H$$

Trong đó k là đĩa thứ k tính từ đầu nối đất.

$$\Delta U_x = U_x - U = \frac{U}{C_d + C_{dd}} \cdot \begin{cases} \frac{C_d}{sh(n \cdot \gamma_n)} [sh(k \cdot \gamma_n) - sh(k-1) \cdot \gamma_n] \\ - \frac{C_{dd}}{sh(n \cdot \gamma_n)} [sh((n-k) \cdot \gamma_n) - sh(n-k+1) \cdot \gamma_n] \end{cases}$$



Từ đạo hàm $\frac{d^2 U_x}{dx^2} = 0$ ta xác

$$\text{định được đĩa thứ } k = \frac{1}{2 \cdot \gamma_n} \cdot \ln \left(1 + \frac{C_d + C_{dd} \cdot e^{n \cdot \gamma_n}}{C_d + C_{dd} \cdot e^{-n \cdot \gamma_n}} \right)$$

Các nguyên nhân gây sự phân bố điện áp không đều là do tồn tại các điện dung C_d và C_{dd}
 C_d : làm cho điện áp giáng trên phần tử gần dây dẫn cao nhất và giảm dần về phía đất.

C_{dd} : Làm cho điện áp gần xà cao nhất và giảm dần về phía dây dẫn

Do $C_d \gg C_{dd}$ nên phân bố điện áp như hình vẽ.

Do sự phân bố điện áp không đều trên đĩa cách điện, đĩa gần dây dẫn có thể xuất hiện vầng quang. Vì vậy, với cấp điện áp cao $U_{dm} > 110kV$ người ta tìm cách tăng C_{dd} để cải thiện sự phân bố điện áp. Người ta dùng các biện pháp sau:

Ghi chú: các đai kim loại ngoài tác dụng làm cho sự phân bố điện áp đều hơn trên chuỗi cách điện còn có tác dụng lái dòng hồ quang ra xa bề mặt chuỗi cách điện, tránh hư hỏng lớp men cách điện

3.4.2 Khi bề mặt ẩm ướt:

Trong trường hợp này, phân bố điện áp theo chiều dài của chuỗi đều đặn hơn vì chủ yếu là theo điện dẫn bề mặt của các phần tử.

$$U_{\text{tr}} = \bar{E}_{\text{tr}} \cdot n \cdot H$$

n : là số đĩa trong chuỗi

\bar{E}_{tr} : Cường độ phóng điện ướt trung bình.

H : Chiều cao của 1 đĩa cách điện

Với loại sứ loại π -4,5; π -7; π -8,5; thì $\bar{E}_{\text{tr}} \approx 2,15(kV/cm)$

$$\pi$$
 M-4,5 thì $\bar{E}_{\text{tr}} \approx 2,7(kV/cm)$

IV. Cách chọn số lượng đĩa cách điện và các khoảng cách không khí nhỏ nhất cho phép:

4.1 Số lượng đĩa: số lượng đĩa phụ thuộc vào cấp điện áp, loại cách điện, vị trí chuỗi cách điện, vật liệu làm cột...

-Số lượng đĩa trong chuỗi phải đảm bảo sao cho điện áp $U_{\text{tr}} > U_{\text{qanb}}$ ứng với hệ số dự trữ nhất định.

$$U_{\text{tr}} = \bar{E}_{\text{tr}} \cdot n \cdot H \geq k_1 \cdot U_{\text{qanb}} \quad \text{với } k_1 > 1; \quad U_{\text{qanb}} = k_{\text{cp}} \cdot U_{\text{pha max}} = k_{\text{cp}} \cdot \frac{U_{\text{am}} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

Trong tính toán có thể lấy $k_1 = 1,1$

-> Như vậy số đĩa ứng với cột thép hoặc bê tông cốt thép được tính

$$n \geq \frac{1,1 \cdot U_{\text{qanb}}}{\bar{E}_{\text{tr}} \cdot H} = \frac{1,1 \cdot k_{\text{cp}} \cdot U_{\text{am}} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3} \cdot \bar{E}_{\text{tr}} \cdot H}$$

Số đĩa trong thực tế được làm tròn lên rồi cộng 1 với cấp điện áp 35 ÷ 220kV. Đối với cấp điện áp lớn hơn 330kV thì cộng thêm 2. Đặc biệt tại các cột néo, cột góc, cột đầu, cột cuối ở cấp điện áp 35 ÷ 110kV phải cộng thêm 1 đĩa so với cột đỡ. Ở cấp điện áp lớn hơn 150kV, số lượng đĩa trong chuỗi lớn hơn 9 đĩa thì không có sự khác biệt số lượng đĩa ở cột đỡ và cột néo.

Đối với đường dây cột xà gỗ từ 35 ÷ 220kV thì số lượng đĩa cách điện ít hơn 1 so với đường dây cột sắt.

Đối với đường dây cột sắt sử dụng sứ loại π -4,5 ở các cấp điện áp khác nhau:

Điện áp định mức kV	35	110	220
Điện áp làm việc lớn nhất cho phép lâu dài(kV)	40,5	126	252
Trị số quá điện áp nội bộ tính toán (kV)	77	204	381
Hệ số bội cho phép k_{cp}	3,5	3,0	3,0
Trị quá điện áp nội bộ tính toán (kV)	110	256	475
Số đĩa sứ	3	7	13
Điện áp xung phóng điện bé nhất $U_{0,5}$ kV	380	660	1140
Khoảng cách không khí bé nhất (cm) cho phép tại cột	45	115	210

4.2 Khoảng cách không khí nhỏ nhất cho phép:

-Nếu đường dây đi qua vùng có ít sét thì khoảng cách đó được chọn theo điện áp phóng điện ứt của chuỗi cách điện hoặc chọn theo điều kiện quá điện áp nội bộ.

-Nếu đường dây đi qua vùng có nhiều sét thì khoảng cách này có độ lớn sao cho độ bền xung nhỏ nhất phải lớn hơn $U_{0,5}$ của chuỗi cách điện ở cực tính dương.

Riêng đối với các đường dây đi qua các vùng bụi bẩn thì phải thực hiện các biện pháp sau đây để tăng tăng độ an toàn cho đường dây.

- + Tăng mức cách điện đường dây bằng cách tăng số đĩa cách điện của chuỗi sứ.
- + Dùng các loại cách điện đặc biệt cho các vùng bụi bẩn (có chiều dài rò điện lớn hơn so với loại vật liệu cách điện thông thường).
- + Định kỳ làm sạch bề mặt cách điện.

Chương 13

CÁCH ĐIỆN TRẠM BIẾN ÁP VÀ NHÀ MÁY ĐIỆN

I Các yêu cầu chung đối với cách điện của trạm biến áp và nhà máy điện:

- Mức cách điện của nhà máy điện và trạm biến áp được chọn theo điều kiện quá điện áp nội bộ trên cơ sở kết hợp với các đợt tính của thiết bị bảo vệ để hạn chế biên độ của quá điện áp.

- Cách điện của các thiết bị đặt trong trạm và nhà máy điện gồm cách điện trong và cách điện ngoài. Độ bền của cách điện ngoài được xác định bởi điện áp phóng điện xuyên thủng khoảng cách khí hoặc điện áp phóng điện men theo bề mặt cách điện rắn. Cách điện trong làm việc trong môi trường cách ly với môi trường ngoài và nếu bị phóng điện thì làm thiết bị hư hỏng nên yêu cầu độ bền điện của cách điện trong khắc khe hơn so với cách điện ngoài.

1.1 Điện áp thử nghiệm xoay chiều tần số công nghiệp:

Trị số điện áp thử nghiệm xoay chiều tần số công nghiệp xác định xuất phát từ trị số quá điện áp nội bộ với một hệ số dự trữ nhất định.

- Đối với cách điện ngoài phải thử nghiệm cả 2 trạng thái bề mặt cách điện khô và ướt.

- Đối với cách điện trong chỉ cần thử nghiệm điện áp phóng điện khô.

Lưu ý: cần tăng điện áp đều đặn đến trị số điện áp thử nghiệm, cách điện phải chịu đựng được ít nhất là 1 phút còn đối với cách điện ngoài không có yêu cầu về thời gian.

1.2 Điện áp thử nghiệm xung:

Mức cách điện xung của trạm được chọn theo lớn hơn trị số điện áp tác dụng U_{du} của thiết bị bảo vệ với một hệ số dự trữ an toàn nhất định để bù lại sai lệch do vị trí đặt thiết bị bảo vệ, hiệu ứng tích lũy hư hỏng trong vật liệu cách điện...

1.2.1 Đối với cách điện ngoài:

Điện áp xung đảm bảo với sóng xung chấn toàn phần đượ xác định theo:

$$U_{db} = 1,1 U_{du-5} + 15 \text{ kV}$$

Với U_{du-5} là điện áp dư trên chống sét van với biên độ dòng điện xung 5kA

Nhiệt độ, áp suất của môi trường đặt thiết bị có ảnh hưởng đến khả năng cách điện của thiết bị. Ở điều kiện 35°C ở độ cao 1000m so với mực nước biển thì biên độ điện áp thử nghiệm xung ngoài được xác định:

$$U_m = \frac{U_{db}}{0,84}$$

1.2.2 Đối với cách điện trong

Phải chú ý đến hiệu ứng tích lũy hư hỏng do làm việc lâu dài, nhưng không cần chú ý đến ảnh hưởng của điều kiện khí quyển. Trị số điện áp thử nghiệm đối với sóng xung toàn phần được xác định:

$$U_{tn} = 1,1(1,1.U_{du-5} + 15) \text{ kV}$$

Đối với sóng cắt phải xác định cao hơn 20% giá trị trên. Cách điện phải chịu đựng được 5 lần đặt điện áp xung liên tiếp.

Riêng đối với cách điện trong máy biến áp thử nghiệm trong điều kiện không có kích từ thì phải thử nghiệm tăng thêm $0,5U_{dm}$ nữa.

Đối với những trang thiết bị làm việc trong điều kiện không có tác dụng của quá điện áp khí quyển thì cách điện của chúng được thực hiện nhẹ nhàng hơn và chỉ cần thử nghiệm với điện áp tần số oong nghiệp.

Đối với cách điện ngoài của trang thiết bị đặt ở môi trường bụi bẩn nhiều thì phải tăng phần tử cách điện hoặc sử dụng các cách điện đặc biệt.

Khoảng cách không khí bé nhất cho phép trong các trạm chọn tương ứng với điện áp thử nghiệm của cách điện ngoài đồng thời phải chú ý đến điều kiện an toàn của nhân viên vận hành và lưu thông trong khu vực trạm.

II Kết cấu cách điện trong nhà máy điện và trạm biến áp

Trong các trạm phân phối có cách điện đỡ, cách điện xuyên và cách điện treo. Cách điện đỡ và treo dùng để cố định thanh góp và dây dẫn, còn cách điện xuyên để đưa bộ phận mang điện xuyên qua tường vách, qua vỏ máy.

Vật liệu cách điện được sử dụng để chế tạo cách điện đỡ là sứ và thủy tinh kỹ thuật điện, tổ hợp cách điện giấy-dầu và màn chắn-dầu.

1. Cách điện đỡ:
2. Cách điện xuyên

2.1 Cách điện của máy biến áp:

2.1.1 Kết cấu cách điện của máy biến áp:

Theo môi trường àm việc, cách điện ủa máy biến áp được hia làm thành : cách điện ngoài và cách điện trong.

Cách điện ngoài tiếp xúc với môi trường khí quyển, chịu ảnh hưởng của điều kiện môi trường và thời tiết: khoảng cách không khí thuần túy giữa đầu ra của các pha khác nhau, giữa đầu ra và vào của cùng một pha và khoảng cách không khí men theo bề mặt cách điện xuyên đến vỏ nối đất.

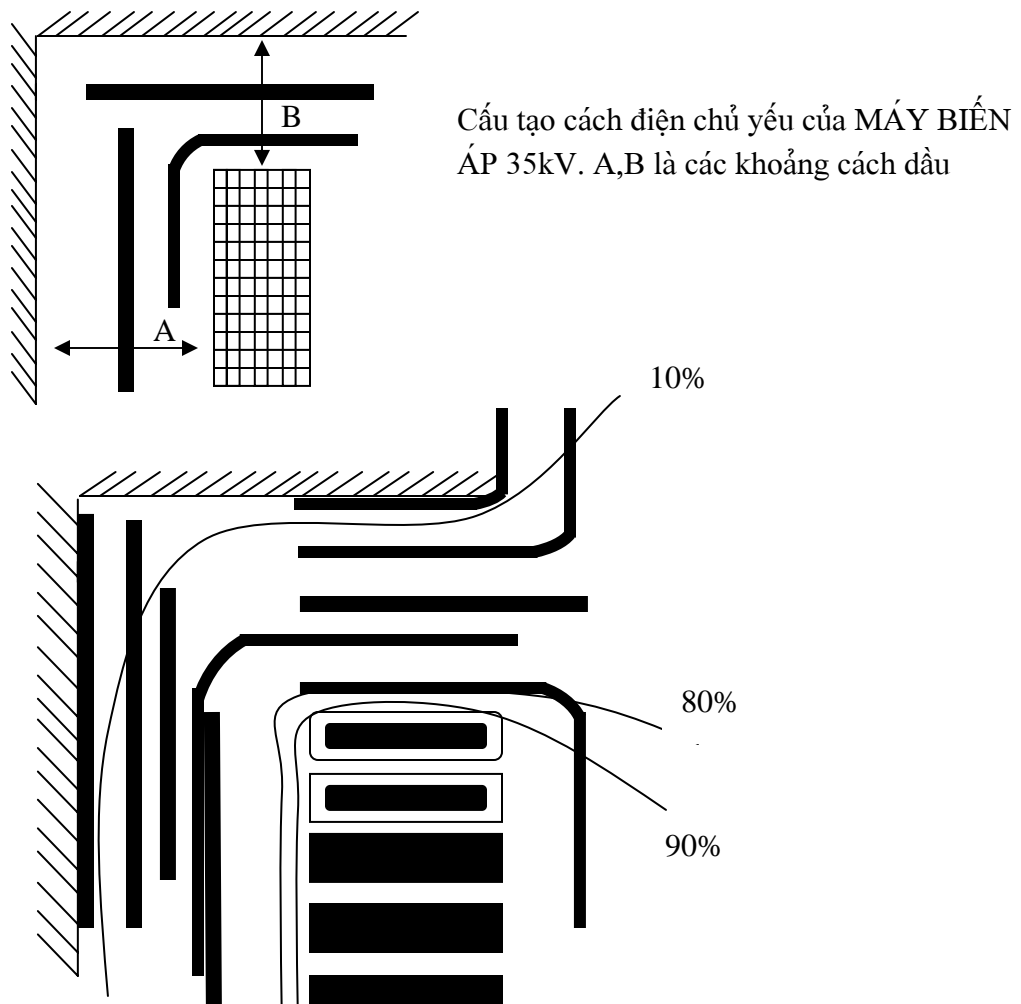
Cách điện trong bao gồm tất cả các phần cách điện đặt trong vỏ máy, ngâm trong dầu và cách ly với môi trường khí quyển bên ngoài. Cách điện trong được chia làm 2 nhóm chính:

Cách điện chính: cách điện giữa cuộn cao và hạ, cách điện giữa các cuộn cao áp với nhau, giữa các cuộn dây với bộ phận nối đất.

Cách điện dọc: cách điện giữa các phần tử cùng một cuộn dây (cách điện giữa các vòng dây, giữa các đĩa, bánh dây trong cùng một cuộn dây).

Cách điện chính được chọn theo điều kiện quá điện áp nội bộ. Cách điện dọc được xác định chủ yếu bởi gradient điện áp lớn nhất xuất hiện trên cuộn dây khi xuất hiện quá điện áp truyền vào máy biến áp.

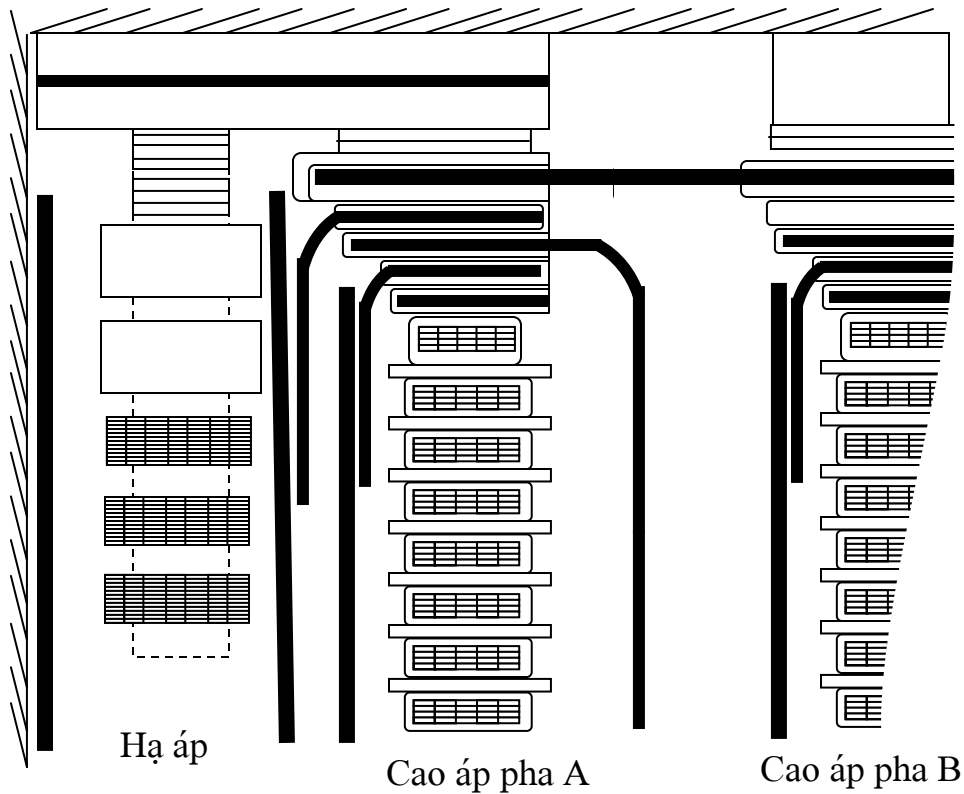
Cách điện chính: được thực hiện chủ yếu theo kiểu dầu - màn chắn (toàn bộ lõi thép, gông từ và cuộn dây được đặt trong dầu, và giữa các khoảng cách dầu có đặt những ống hoặc tấm cách điện bằng cátông bêkalít). Màn chắn có tác dụng cản trở sự hình thành các cầu dẫn điện, nâng cao độ bền điện của các khoảng cách dầu, nhờ đó có thể giảm kích thước Máy biến áp và tạo điều kiện cho dầu tuần hoàn dễ dàng tạo thuận lợi cho sự làm mát máy biến áp



Phân bố điện trường trong cách điện chủ yếu của MÁY BIẾN ÁP

Để hiệu quả màn chắn đạt hiệu quả cao phải đặt nó vuông góc với phương đường sức của điện trường.

Ở máy biến áp 110kV trong khoảng cách giữa 2 cuộn dây có 2 ống màn chắn và nối tiếp giáp với các ống hình trụ và tấm phẳng phía đầu các cuộn dây cao áp phải được che kín bởi các màn chắn bằng tấm góc.

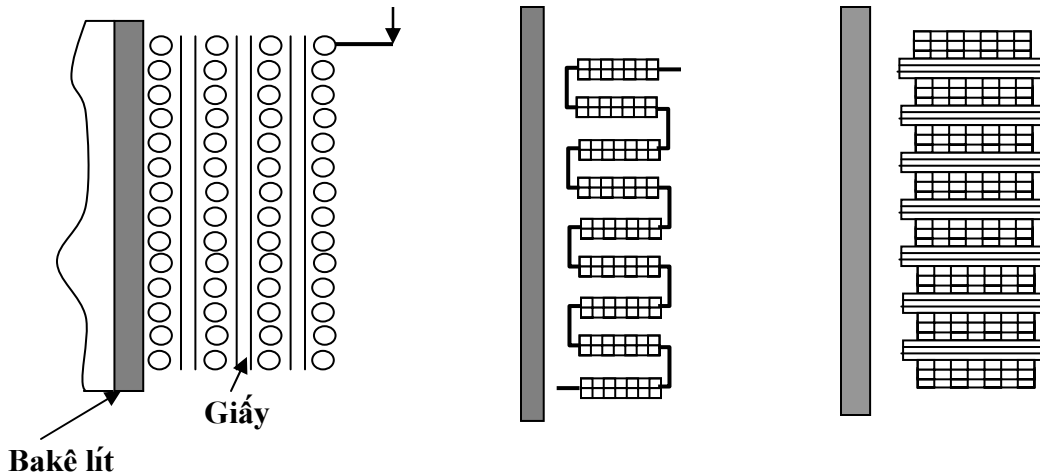


Sơ đồ nguyên lý cấu tạo cách điện chủ yếu của máy biến áp 100kV

Đầu ra cuộn cao áp ở các máy biến áp 110kV và thấp hơn thường được đặt ở gần gông từ, do trường ở đó không đồng nhất, do đó phải có cấu tạo thích hợp để giảm cường độ điện trường và tăng cường cách điện.

Ở các máy biến áp 220kV và cao hơn, ngoài các biện pháp tăng số lượng màn chắn, còn phải đưa đầu ra của cuộn cao áp vào giữa cuộn dây để thực hiện cách điện đơn giản hơn. Trong trường hợp này, cuộn cao áp được chia thành 2 nhánh song song, 2 đầu cuối về phía gông từ được nối chung với nhau cùng với các pha khác tạo thành điểm trung tính của máy biến áp

Ghi chú: ở chế độ làm việc bình thường, trung tính máy biến áp 110,220kV nối đất trực tiếp nên cách điện ở đây thường thấp. Tuy nhiên một số trường hợp phải vận hành ở chế độ trung tính cách đất, ta phải có thiết bị bảo vệ thấp hơn một cấp để bảo vệ điểm trung tính.



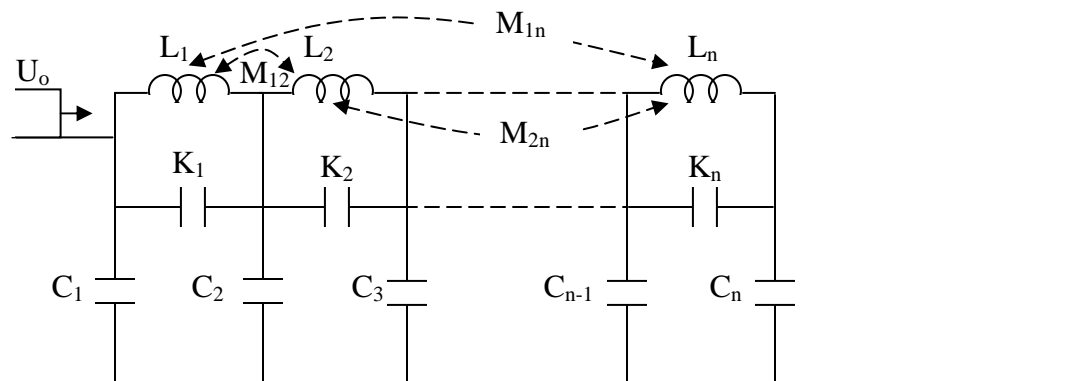
Nguyên lý cấu tạo cuộn dây cao áp và cách điện dọc máy biến áp 6-35kV, 110kV

2.1.2 Quá trình quá độ trong cuộn dây máy biến áp:

2.1.2.1 Sơ đồ thay thế:

Khi có sóng quá điện áp khí quyển truyền đến, trong cuộn dây của máy biến áp xuất hiện những quá trình dao động điện từ phức tạp gây nguy hiểm cho cách điện máy biến áp. Để tính toán quá trình quá độ trong máy biến áp ta phải thay thế cuộn dây theo sơ đồ thông số rải.

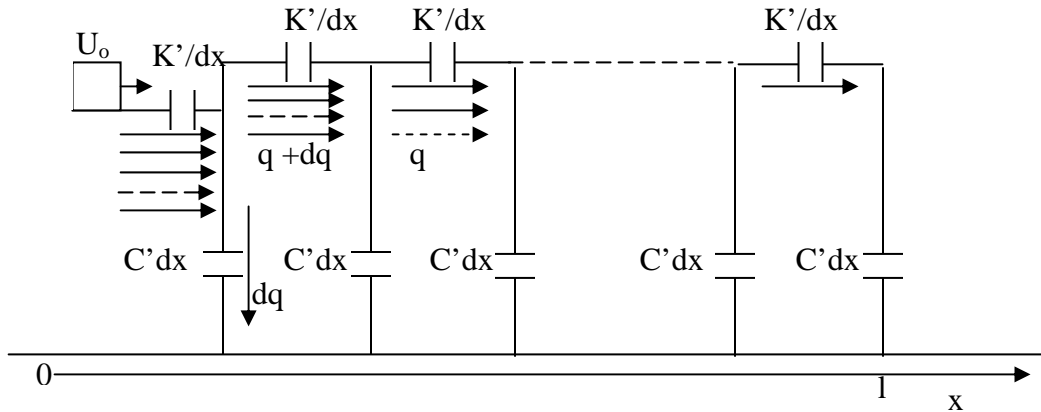
Sơ đồ thay thế cuộn dây máy biến áp gồm các phần tử: điện cảm, điện dung đối với đất, hồ cảm giữa các vòng dây, điện dung giữa các vòng dây kế tiếp nhau.



Trong thực tế tính toán, người ta có thể chia quá trình quá độ ra làm thành 3 giai đoạn: phân bố điện áp ban đầu, lúc ổn định và lúc dao động quá độ.

2.1.2.2 Phân bố điện áp ban đầu:

Để đơn giản trong tính toán, giả thiết sóng tác dụng vào cuộn dây có đầu sóng vông góc, có biên độ U_0 và độ dài sóng vô hạn. Tại thời điểm ban đầu, do điện cảm cuộn dây rất lớn, do đó điện áp phân bố ban đầu theo dòng điện dung.



Trong sơ đồ thay thế trên C' là điện dung đối với đất của 1 đơn vị chiều dài đường cuộn dây cao áp. $C' = C/l$ (C là điện dung của toàn cuộn dây, l là chiều dài cuộn dây)

K' là điện dung dọc của một đơn vị chiều dài (điện dung giữa đầu vòng dây và cuối vòng dây) $K' = K.l$ (K là điện dung của dọc của toàn bộ cuộn dây cao áp).

Giả sử tại vị trí x , điện áp bằng $U(x)$ thì lượng điện tích trên điện dung dọc của phần tử dx :

$$q = \frac{K'}{dx} \cdot dU(x) = K' \cdot \frac{dU(x)}{dx}$$

Điện tích trên điện dung đối với đất của phần tử dx :

$$dq = C' \cdot dx \cdot U(x) \text{ hay } \frac{dq}{dx} = C' \cdot U(x)$$

Ta có phương trình: $\frac{d^2 U(x)}{dx^2} - \frac{C'}{K'} \cdot U(x) = 0$

Nghiệm tổng quát của phương trình trên: $U(x) = A \cdot e^{\alpha \cdot x} + B \cdot e^{-\alpha \cdot x}$

Với $\alpha = \sqrt{\frac{C'}{K'}} = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{C}{K}}$

Nếu ở đầu cuộn dây: $x=0$ thì $U(0) = U_0$

Nếu ở cuối cuộn dây: $x = l$ thì $U(l)$ tùy thuộc vào chế độ làm việc của điểm trung tính.

- + Trung tính nối đất trực tiếp: $U(l) = 0$
- + Trung tính cách điện đối với đất $\left. \frac{dU(x)}{dx} \right|_{x=l} = 0$.

Như vậy phân bố điện áp ban đầu ($t=0$) trường hợp trung tính nối đất:

$$U_{bd}(x) = U_o \cdot \frac{e^{\alpha l(1-\frac{x}{l})} - e^{-\alpha l(1-\frac{x}{l})}}{e^{\alpha l} - e^{-\alpha l}} = U_o \cdot \frac{\text{Sh}[\alpha.l.(1-\frac{x}{l})]}{\text{Sh}(\alpha.l)}$$

Trường hợp trung tính cách điện:

$$U_{bd}(x) = U_o \cdot \frac{e^{\alpha l(1-\frac{x}{l})} + e^{-\alpha l(1-\frac{x}{l})}}{e^{\alpha l} + e^{-\alpha l}} = U_o \cdot \frac{\text{Ch}[\alpha.l.(1-\frac{x}{l})]}{\text{Ch}(\alpha.l)}$$

Đối với máy biến áp không có biện pháp đặc biệt điều chỉnh trường thì $\alpha.l \approx 10 \div 20$ do đó, $e^{\alpha.l} \gg e^{-\alpha.l}$ từ đó, $\text{Sh}(\alpha.l) \approx \text{Ch}(\alpha.l) \approx e^{\alpha.l} / 2$ và với $x/l < 0,8$ tức là đối với phần lớn chiều dài cuộn dây cũng có:

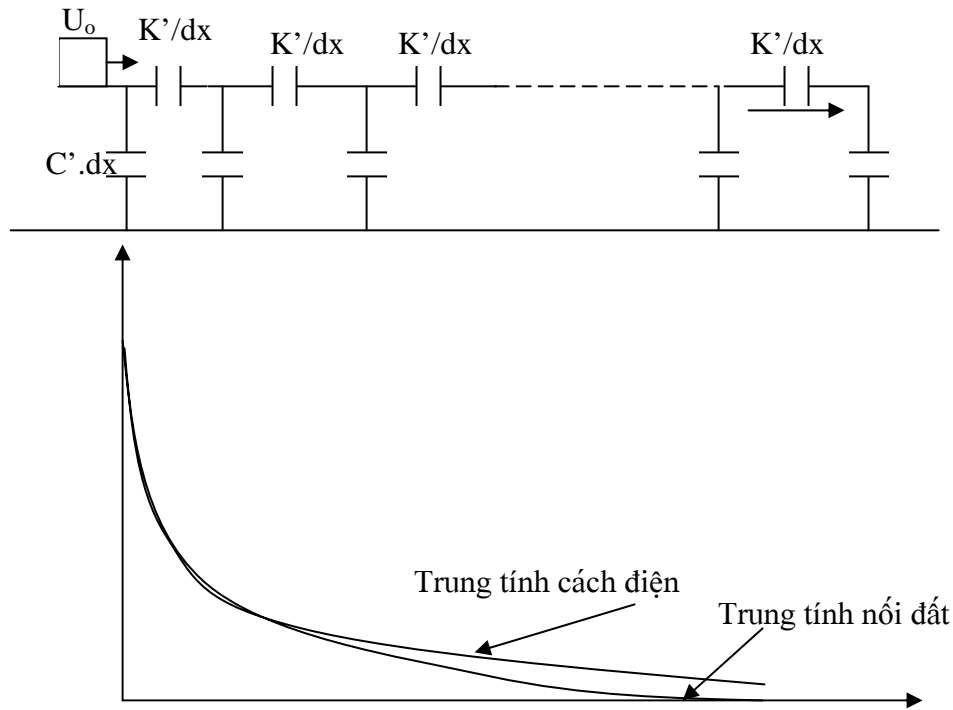
$$\text{Sh}[\alpha.l.(1-\frac{x}{l})] \approx \text{Ch}[\alpha.l.(1-\frac{x}{l})] \approx e^{\alpha.l.(1-\frac{x}{l})} / 2$$

Điều đó có nghĩa là 80% chiều dài cuộn dây có phân bố điện áp trong 2 trường hợp là giống nhau và được biểu diễn bằng công thức chung

$$U_{bd}(x) = U_o \cdot e^{\alpha.l}$$

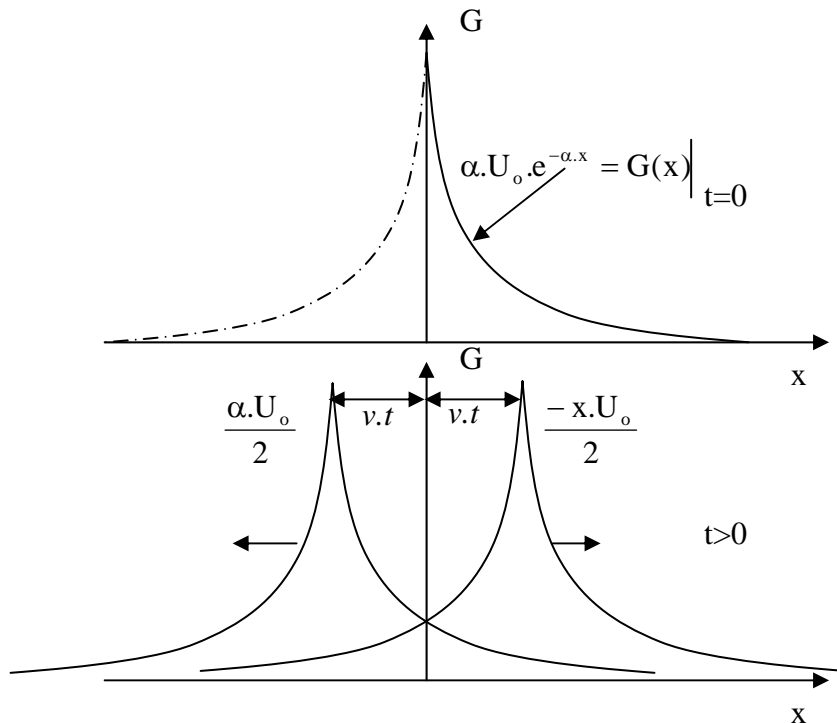
$$\Rightarrow \left. \frac{dU(x)}{dx} \right|_{x=0} = \left(\frac{dU}{dx} \right)_{\max} = U_o \cdot \alpha = \frac{U_o}{l} \cdot \alpha.l$$

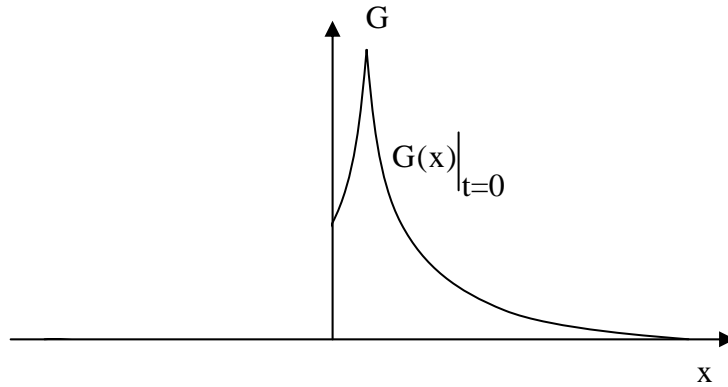
Như vậy điện áp giáng trên điện dung dọc của đơn vị chiều dài của cuộn dây (gradient điện áp) đạt trị số cực đại. Do đó cách điện dọc của các phần tử đầu của cuộn dây cao áp làm việc trong điều kiện nặng nề.



Phân bố điện áp dọc theo cuộn dây cao áp

2.1.2.3 Quá trình truyền sóng gradient điện áp dọc theo cuộn dây và dao động riêng cuộn dây:





Khi $t > 0$ điện tích dịch chuyển về 2 phía cuộn dây và gây nên phân bố điện áp kèm theo dao động riêng cuộn dây. Khi này gradient điện áp được chia làm 2 thành phần thuận và nghịch có biên độ bằng một nửa sóng gradient ban đầu, chuyển dịch về 2 phía cuộn dây với tốc độ $v = c/2$.

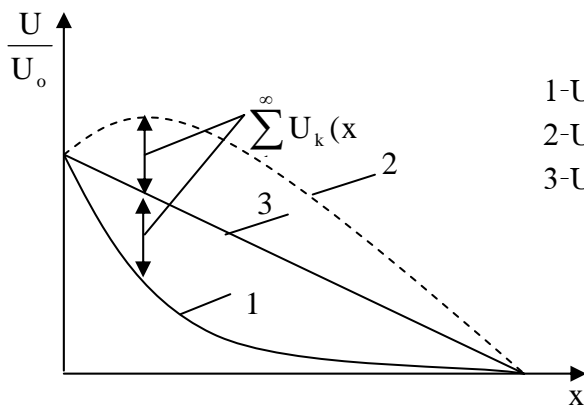
Tại thời điểm $t = 0$, điện áp đầu cuộn dây đạt cực đại khi sóng truyền vào sâu cuộn dây, biên độ giảm dần. Tại trung tính biên độ có tăng chút ít do sóng phản xạ.

2.1.2.4 Phân bố điện áp lúc ổn định và quá điện áp tác dụng lên cách điện:

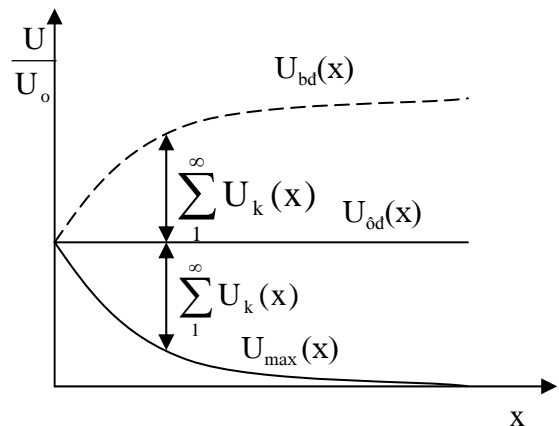
Sau một thời gian quá trình quá độ chấm dứt thì sự phân bố điện trường dọc theo chiều dài cuộn dây sẽ đạt trạng thái cưỡng bức và theo cảm kháng của cuộn dây, phân bố điện áp có dạng:

Khi trung tính nối đất:

$$U_{\text{od}}(x) = U_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$



- 1- $U_{bd}(x)$
- 2- $U_{od}(x)$
- 3- $U_{od}(x)$



Khi trung tính cách điện đối với đất:

$$U_{\text{od}}(x) = U_0$$

Vào một thời điểm bất kỳ của quá trình quá độ, điện áp tại một điểm x nào đó trên cuộn dây được xác định như sau:

$$U(x,t) = U_{\text{đd}}(x) - \sum_1^{\infty} U_k(x) \cdot \cos(\omega_k \cdot t)$$

Trong đó:

ω_k là tần số của sóng điều hoà bậc k.

$U_k(x)$ là biên độ của sóng điều hoà bậc k và được tính như sau:

Khi trung tính cách điện đối với đất:
$$U_k = \frac{1}{k\pi} \cdot \frac{U_o}{1 + \frac{K}{C} \cdot (k \cdot \pi)^2}$$

Khi trung tính nối đất:
$$U_k = \frac{1}{(2k-1) \cdot \pi} \cdot \frac{U_o}{1 + \frac{K}{C} \cdot \left[\frac{(2k-1) \cdot \pi}{2} \right]^2}$$

Với K, C là điện dung dọc và điện dung đối với đất của toàn cuộn dây.

Theo đồ thị trên, điện áp xuất lớn nhất:

Trường hợp trung tính nối đất $U_{\text{max}} = (1,2 \div 1,3) \cdot U_o$, xuất hiện tại vị trí $x = 0,3 \cdot l$.

Trường hợp trung tính cách đất $U_{\text{max}} = (1,5 \div 1,8) \cdot U_o$, xuất hiện tại vị trí cuối cuộn dây.

Kết luận: Do sự phân bố điện áp lúc ban đầu không đồng nhất làm cho cách điện dọc của những phần tử đầu đường dây chịu tác dụng gradient điện áp lớn nhất và gây ra những dao động có biên độ lớn dẫn đến trị số quá điện áp lớn tác dụng lên cách điện chủ yếu của máy biến áp.

2.1.3 Đặc điểm quá trình quá độ bên trong cuộn dây máy biến áp 3 pha và máy biến áp tự ngẫu.

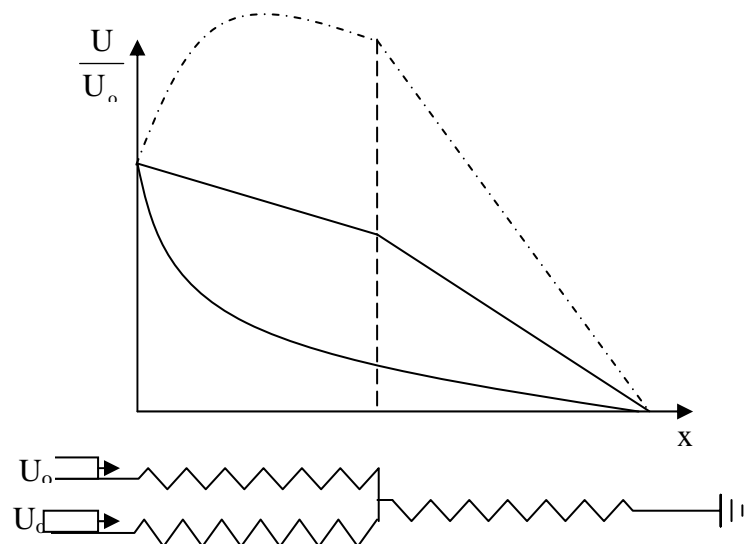
2.1.3.1 Máy biến áp đấu kiểu hình sao, trung tính cách điện đối với đất:

Diễn ra tương tự như máy biến áp 1 pha

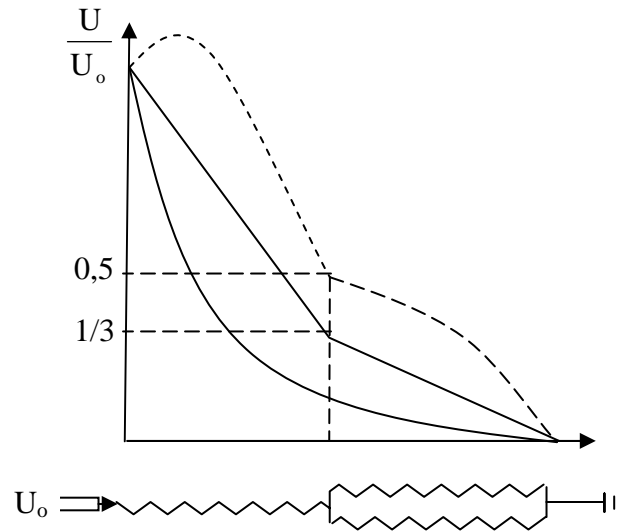
*** Máy biến áp đấu hình sao, trung tính cách điện đối với đất:**

- Nếu sóng tác dụng đồng thời vào 3 pha thì tương tự như máy biến áp 1 pha có trung tính cách điện. Giá trị cực đại xuất hiện trên cách điện $1,8U_o$

- Nếu sóng tác dụng lên 2 pha thì đầu cuộn dây pha còn lại có thể coi như được nối đất



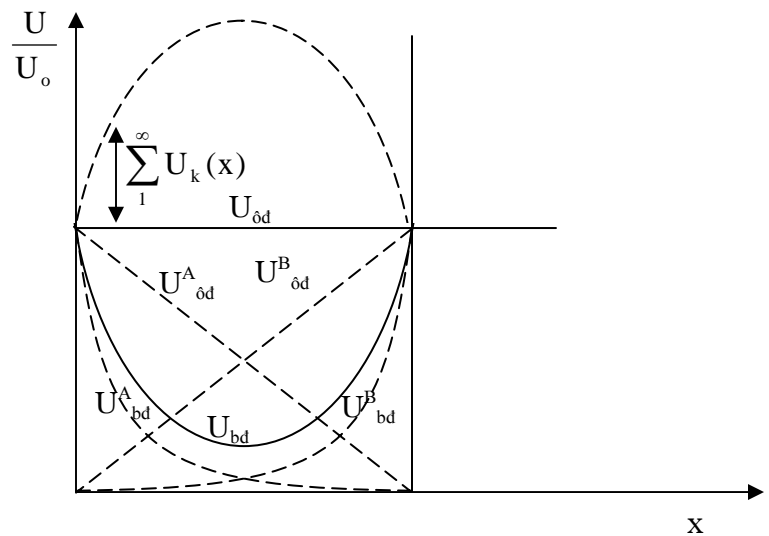
Nếu sóng tác dụng vào 1 pha thì 2 pha kia xem như nối song song nhau và nối đất.
Ta thấy điện thế trên điểm trung tính trong quá trình quá độ không vượt quá $2/3U_0$



*** Máy biến áp 3 pha đấu tam giác, sóng truyền vào theo cả 3 pha:**

Dùng phương pháp xếp chồng:

- + Xác định điện áp trên cuộn dây AB khi sóng truyền vào pha A, điểm B lúc này có thể coi như được nối đất.
- + Xác định phân bố điện áp trong cuộn dây AB khi có sóng vào theo pha B, điểm A lúc này coi như được nối đất.

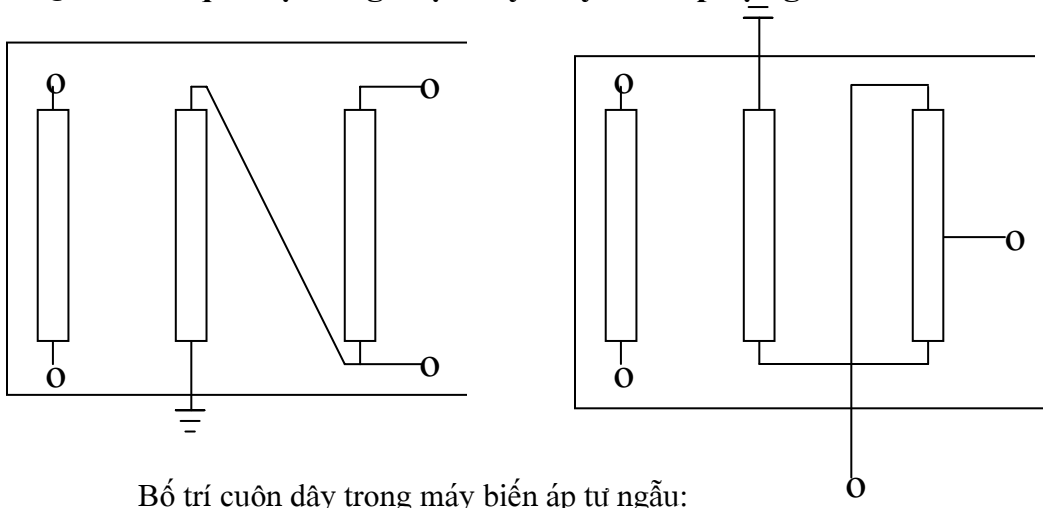


$$U_{bd}(x) = U_{bd}^A(x) + U_{bd}^B(x)$$

$$U_{0d}(x) = U_{0d}^A(x) + U_{0d}^B(x)$$

Ta thấy giá trị điện áp cực đại xuất hiện ở giữa cuộn dây với trị số $1,5U_0$

2.1.4 Quá trình quá độ trong cuộn dây máy biến áp tự ngẫu.



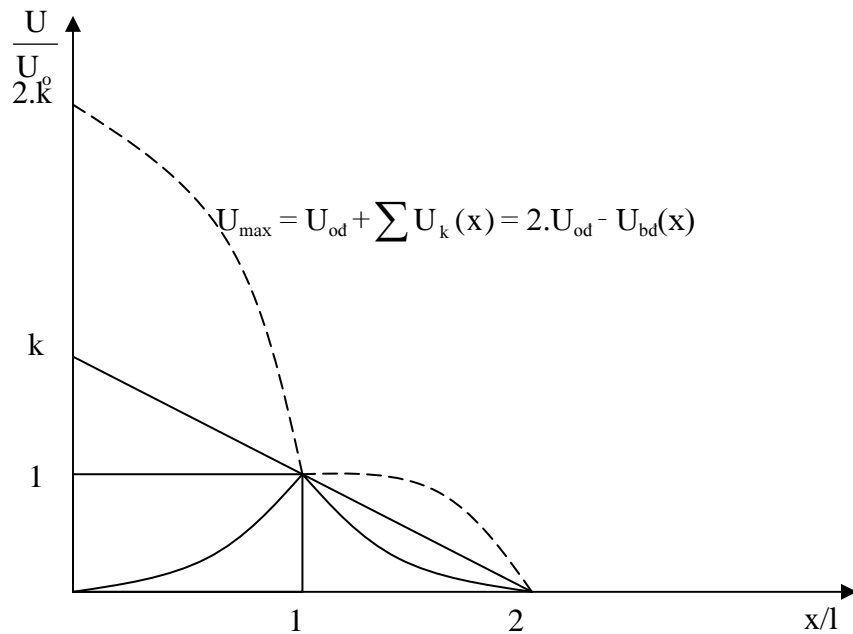
Bố trí cuộn dây trong máy biến áp tự ngẫu:

2.1.4.1 Sóng vào đầu cao áp còn đầu trung áp hở mạch.

Quá trình quá độ diễn ra giống như trong máy biến áp một pha có điểm trung tính nối đất.

2.1.4.2 Sóng vào đầu trung áp, còn đầu cao áp hở mạch:

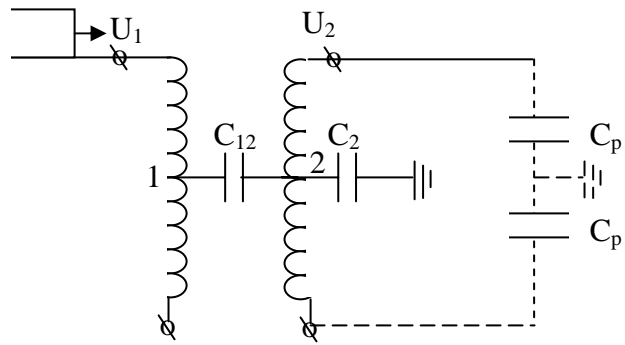
Về phía trung áp, phân bố điện áp giống như trường hợp máy biến áp một pha có trung tính nối đất.



Sự tăng cao điện áp phía cao áp đòi hỏi phải có biện pháp đặc biệt bảo vệ cách điện đầu vào cuộn dây cao áp, như đặt chống sét van trực tiếp ở đầu vào cuộn cao áp.

2.1.5 Sự truyền sóng điện từ giữa các cuộn dây của máy biến áp:

2.1.5.1 Sự truyền sóng theo đường tĩnh điện:



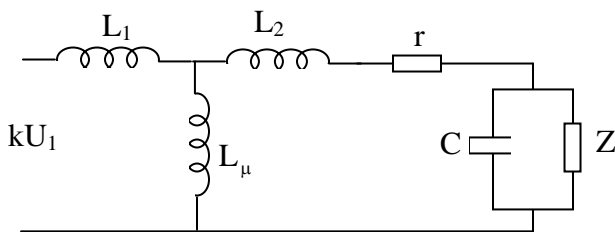
Ở thời điểm ban đầu, điện tích $q_{dv} = K' \cdot \left. \frac{dU}{dx} \right|_{x=0}$ của cuộn dây tạo nên trường tĩnh điện làm xuất hiện thế trên tất cả các cuộn dây.

Giả thiết U_1 bằng điện áp dư của chống sét van, điện thế trên cuộn dây 2 của máy biến áp:

$$U_2(x) = U_1(x) \cdot \frac{C_{12}}{C_{12} + C_2 + C_p}$$

Do C_p lớn hơn nhiều so với $C_{12} + C_2$, nên U_2 bé không gây nguy hiểm cho cách điện. Nếu máy biến áp tách khỏi thanh góp $C_p = 0$ và C_2 bé thì cách điện máy biến áp rất nguy hiểm.

2.1.5.2 Truyền sóng theo đường điện từ:



Sự truyền sóng theo đường điện từ được gây nên bởi cảm ứng tương hỗ giữa các cuộn dây và xảy ra quá trình dao động tự do của cuộn dây, trong đó sóng điều hoà bậc 1 đóng vai trò bậc 1 là chủ yếu.

Quá trình quá độ trong sơ đồ trên vừa có tính chất không chu kỳ vừa có tính chất dao động, do đó điện áp ở đầu ra cuộn dây 2 có thể thay đổi từ $k \cdot U_1$ (khi $C=0$) lên

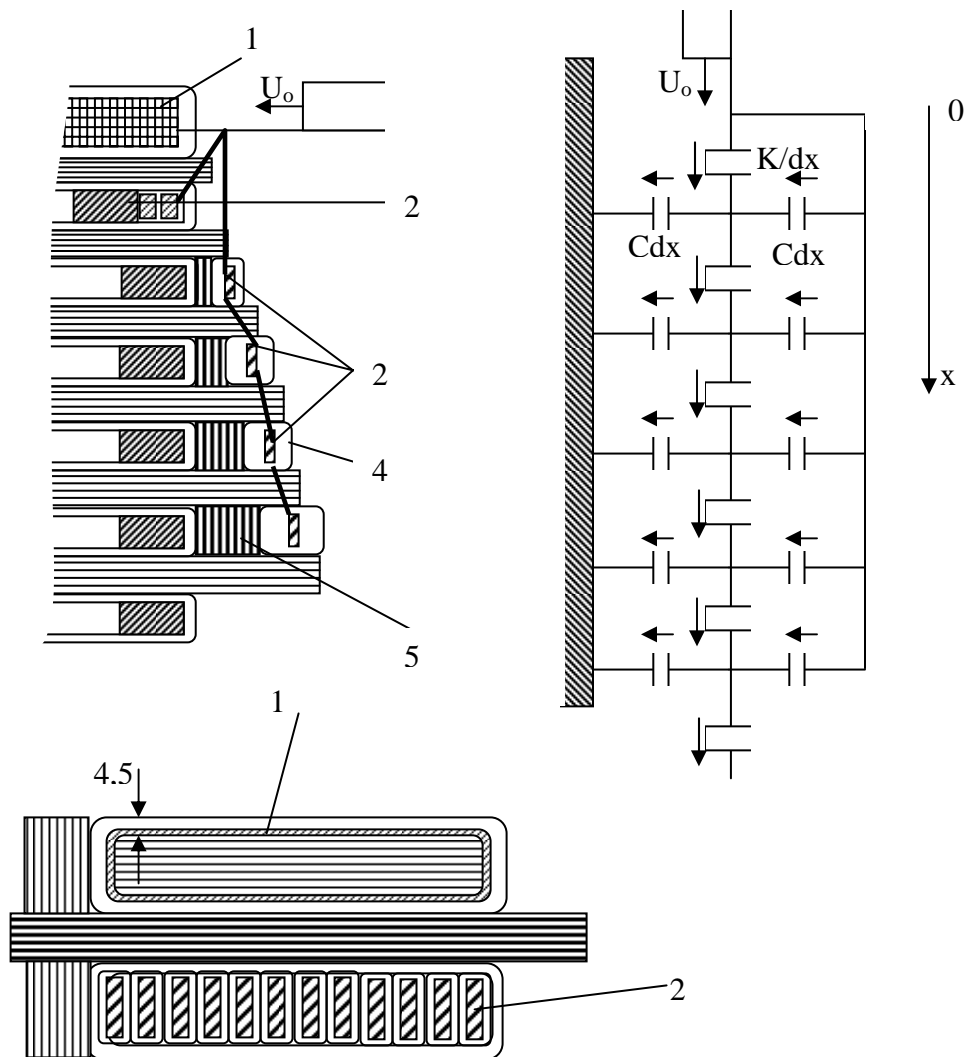
$$2 \cdot k \cdot U_2 \text{ (khi } z \rightarrow \infty, r \ll \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{C}} \text{)}.$$

2.2 Các biện pháp bảo vệ cho cách điện trong của máy biến áp:

có 2 biện pháp chính: cải thiện trường và tăng cường cách điện ở những vị trí xung yếu.

+ cải thiện trường: tăng cường điện dung dọc của các phần tử đầu cuộn dây và khử bớt ảnh hưởng của điện dung đối với đất của chúng sao cho điện áp lúc ban đầu đồng nhất hơn và không chênh lệch nhiều với phân bố điện áp lúc ổn định dọc theo chiều dài cuộn dây.

Cấp 110kV trở lên dùng vòng kim loại hở (1) (vòng điện dung) nhằm nâng cao K của các phần tử đầu của cuộn dây. Tương tự như vậy, quanh một số các cuộn dây hoặc đĩa dây đầu vào của cuộn dây cũng đặt những vòng kim loại hở (3) có đường kính tăng dần, tất cả được nối liền với nhau tạo ra màn điện dung và nối vào đĩa dây đầu và đầu ra 2 của cuộn dây.



Nếu điện dung C_m của màn được chọn sao cho dòng điện qua nó bằng dòng điện qua C ở vị trí tương ứng thì dòng điện qua điện dung K sẽ bằng nhau, do đó phân bố điện áp sẽ đều trên các phần tử của cuộn dây $dq_C = dq_{C_m}$

Hay $U(x).C.dx = [U_o - U(x)].C_m.dx$

$$U(x).C = [U_o - U(x)].C_m$$

Trong đó:

U_o - trị số điện áp truyền vào đầu cuộn dây.

$U(x)$ - trị số điện áp ở điểm x cách đầu cuộn dây

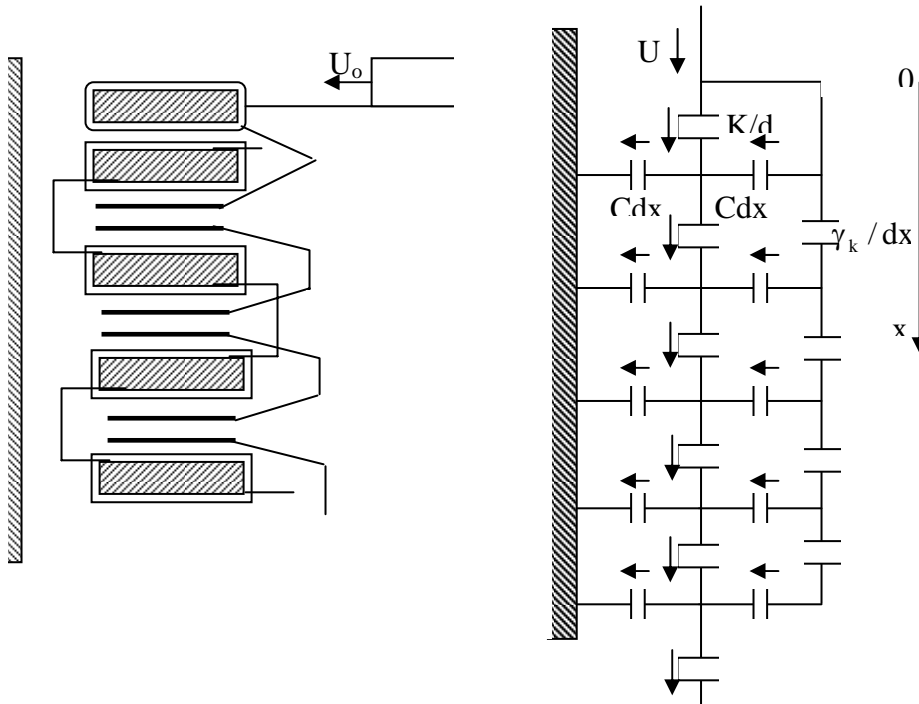
Giả sử đã đạt được sự phân bố điện áp ban đầu đều nhau, tương tự phân bố lúc ổn định đối với cuộn dây máy biến áp có trung tính trực tiếp nối đất, ta có:

$$U_{bd}(x) = U_{\delta d}(x) = U_o \cdot \frac{1-x}{1}$$

Suy ra $C_m = C \cdot \frac{1-x}{1}$

Như vậy càng tiến về phía đầu cuộn dây điện dung bảo vệ phải tăng.

Ngoài ra có thể dùng vòng điện dung kết hợp với chuỗi điện dung phụ



Nếu chọn điện dung phụ sao cho dòng đi qua điện dung đối với đất ở nút thứ k (Ck) là hiệu dòng qua điện dung dọc phụ γ_k và γ_{k+1} thì dòng qua điện dung dọc k sẽ như nhau và phân bố áp sẽ đều dọc cuộn dây.

Giả sử tại nút k cách đầu vào một đoạn x có điện áp U_k thì dòng điện qua điện dung C là i_k, I_k, I_{k+1} có quan hệ với nhau theo:

$$i_k = I_k - I_{k+1}$$

$$\text{Hay } C.U_k = \gamma_k (U_k - U_{k-1}) - \gamma_{k+1} (U_{k+1} - U_k)$$

Nếu đã đạt phân bố áp ban đầu đều đặn và giống phân bố áp ổn định thì

$$U_k - U_{k-1} = U_{k+1} - U_k = U_o/n$$

Với n là số phần tử của cuộn dây, điện áp tại nút k sẽ là:

$$U_k = U_o \cdot \frac{n-k}{n}$$

$$\text{Từ đó ta có: } C.U_k = (\gamma_k - \gamma_{k+1}) \cdot U_o/n$$

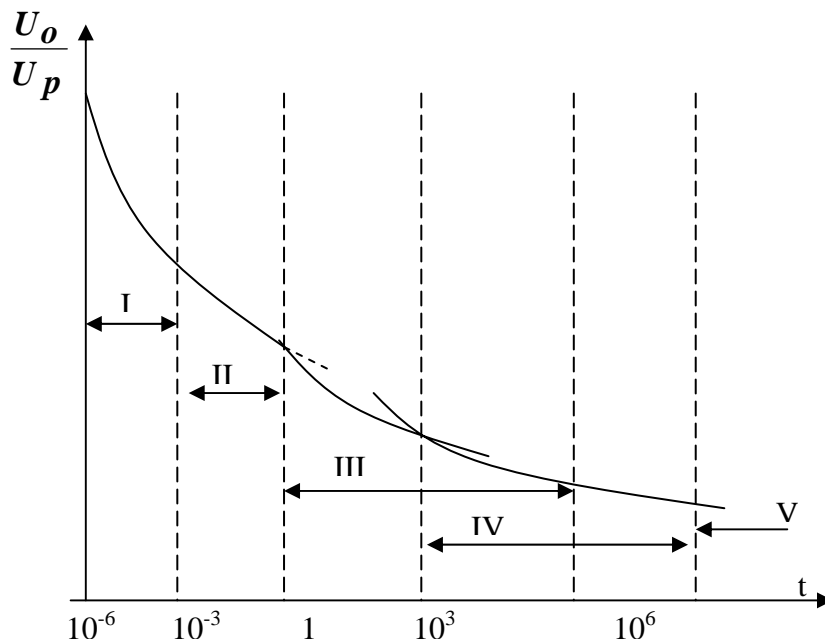
$$\Rightarrow C \cdot \frac{U_o}{n} (n-k) = (\gamma_k - \gamma_{k+1}) \cdot \frac{U_o}{n}$$

$$\text{Như vậy, } \gamma_k - \gamma_{k+1} = (n-k) \cdot C$$

$$\text{Cuối cùng ta có: } \gamma_x = \frac{(l-x)(l-x+1)}{2}$$

Một biện pháp khác đơn giản hơn và ít tốn kém người ta quấn dây xen kẽ. Với phương pháp này có tác dụng làm tăng điện dung dọc và giảm thấp rất nhiều ảnh hưởng của điện dung với đất. Do đó phân bố điện áp ban đầu dọc cuộn dây đều đặn hơn.

Đặc tính thử nghiệm và thử nghiệm cách điện của máy biến áp



Khu vực I: thời gian tác dụng của điện áp ngắn (phóng điện xung) thì phóng điện thuần túy là do điện

Khu vực II: không có một cơ cấu phóng điện xác định riêng biệt, vì trong thực tế có ít dạng sóng có độ dài tương đương như trong khu vực này.

Khu vực III: phóng điện gây nên bởi quá trình hình thành các cầu dẫn điện. Sự định hướng và di chuyển các tạp chất trong dầu để tạo thành cầu, đòi hỏi có thời gian, nên điện áp phóng điện phụ thuộc vào thời gian.

Khu vực IV: quá trình phóng điện liên quan đến sự già cỗi cách điện như do sự ion hoá bực khí trong dầu, sự phân huỷ hoá học trong dầu và nhiều nhân tố khác.

Chương 14

CÁCH ĐIỆN CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

I. Khái niệm chung:

Để thực hiện cách điện cho cuộn dây máy điện điện áp cao, thường dùng rộng rãi các tổ hợp các cách điện rắn, tổ hợp cách điện rắn bao gồm các thành phần:

- Lớp chắn cách điện
- Lớp nền
- Keo kết dính

II. Cấu trúc cách điện của máy điện quay:

2.1 Kết cấu cách điện:

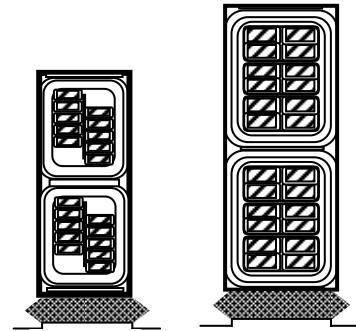
Cách điện của cuộn dây stator gồm có 2 phần:

Cách điện chủ yếu: Cách điện giữa dây dẫn và vỏ máy.

Đối với máy phát điện áp cao, do những yêu cầu khắc khe về độ bền điện, cơ và nhiệt... nên cách điện được thực hiện trên cơ sở vật liệu gốc Mica, ngoài vật liệu kết dính và công nghệ chế tạo đảm bảo được tính đồng nhất của cách điện.

Cách điện dọc: Cách điện giữa các vòng dây của cùng một bó dây, cách điện giữa các vòng dây, cách điện của các bó dây đặt cùng một rãnh.

Cách điện giữa các vòng dây, giữa các dây và các phần tử dây dẫn thường là lớp cách điện được tạo trên bề mặt dây dẫn (gồm 3 lớp: lớp màn mỏng lớp-xan, bọc ngoài bởi một lớp vải sợi bông, hoặc hai lớp băng sợi thủy tinh, tẩm sơn chịu nhiệt) để ngăn cản sự hình thành dòng điện xoáy trong đồng.

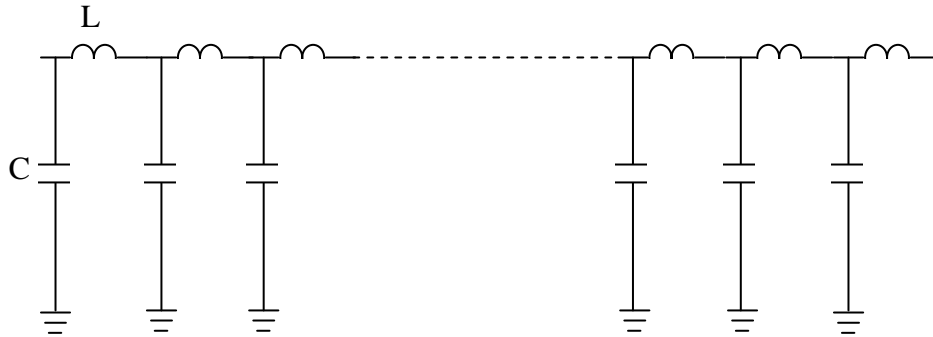


2.2 Đặc điểm quá trình sóng trong cuộn dây máy điện

Phần lớn các máy phát điện làm việc hợp bộ với máy biến áp hoặc đấu trực tiếp với các lưới cáp. Vì vậy, không chịu tác trực tiếp của quá điện áp khí quyển. Việc tính toán lựa chọn cách điện do đó không dựa trên cơ sở quá điện áp khí quyển. Việc tính toán lựa chọn cách điện dựa trên cơ sở của quá điện áp khí quyển và cũng không cần áp dụng các biện pháp để cân bằng phân bố xung.

Tuy nhiên, với máy điện công suất vừa và bé, vì lý do kinh tế, có thể cung cấp trực tiếp cho lưới trên không. Ngoài ra, máy phát còn nối bộ với máy biến áp nên có thể chịu tác dụng của quá điện áp khí quyển truyền qua cuộn dây của máy biến áp. Do đó, phải tăng cường bảo vệ chống sóng truyền.

Sơ đồ thay thế:



Sơ đồ thay thế để tính toán quá trình sóng trong cuộn dây máy biến áp

Do liên hệ về điện và từ giữa các vòng dây trong cùng một pha không chắc chắn, nên khi sóng truyền dọc theo chiều dài cuộn dây không bị biến dạng nhiều như ở máy biến áp. Vì vậy có thể. Như vậy có thể cho phép khảo sát quá trình truyền sóng giống như đường dây dài có chiều dài tối hạn.

Tổng trở sóng Z tăng theo cấp điện điện áp và giảm khi công suất máy điện tăng.

Tốc độ truyền sóng $v = \frac{V_0}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$. Tốc độ truyền sóng trong rãnh bé hơn nhiều so với tốc độ

ánh sáng, còn phần ngoài rãnh gần bằng tốc độ ánh sáng. Công suất càng cao thì tốc độ truyền sóng càng giảm.

Hiệu ứng bề mặt trong thép stator có tần số cao có tác dụng ép dòng xung ra bề mặt rãnh.

Hiện tượng này gây ra sự tắt dần mạnh biên độ sóng và làm cho đầu sóng bớt dốc.

Do tốc độ truyền sóng trong cuộn dây bé nên cách điện giữa các vòng dây có thể chịu một điện áp giáng lớn và sóng dốc. Giả thiết, sóng có độ dốc $a [kV / \mu s]$ với vận tốc $v [m / \mu s]$, vòng dây có chiều dài $l_v [m]$ thì điện áp giáng trên vòng dây sẽ bằng:

$$\Delta U_v = a \cdot t_v = a \cdot \frac{l_v}{v}$$

Công suất càng lớn thì ΔU_v càng tăng. Do đó để bảo vệ cho cách điện giữa các vòng dây phải có biện pháp bảo vệ thích hợp để giảm độ dốc của sóng truyền vào không vượt quá trị số giới hạn cho phép. Tốc độ giới hạn cho phép được xác định như sau:

$$a_{cp} = U_{tnv} \cdot \sqrt{2} \cdot 1,25 \cdot \frac{v}{l_v}$$

Trong đó U_{tnv} là điện áp thử nghiệm đối với cách điện giữa các vòng dây.

Khi sóng truyền vào 3 pha thì điện áp tại điểm trung tính cách điện có thể tăng gấp đôi do sự phản xạ dương toàn phần của sóng áp.

Chương 15

PHƯƠNG PHÁP KIỂM TRA PHÒNG NGỪA CHO CÁCH ĐIỆN

I Khái niệm chung:

Để đảm bảo an toàn cho cách điện trong thời gian làm việc, giảm thấp những khả năng có thể gây nên sự cố, phải tiến hành kiểm tra phòng ngừa cách điện trước khi đưa vào vận hành cũng như định kì trong thời gian vận hành. Tuy nhiên, kết quả kiểm tra còn phụ thuộc vào phương pháp, dụng cụ ...

Các phương pháp được sử dụng để kiểm tra phòng ngừa cách điện:

Thử nghiệm bằng điện áp tăng cao, có khả năng phá huỷ cách điện khuyết tật.

Thử nghiệm ở điện áp làm việc hoặc điện áp tăng cao nhưng xác suất xuyên thủng cách điện bé: đo tgđ, đặc tính phóng điện cục bộ ở điện áp xấp xỉ điện áp xấp xỉ điện áp làm việc

Các phương pháp thử nghiệm không hư hỏng: đo tgđ, đo điện trở rò, hệ số hấp thụ, đo các đặc tính điện dung ở điện áp thấp và các phương pháp kiểm tra không điện

II Quá trình phân cực trong điện môi nhiều lớp và biện pháp kiểm tra dự phòng cách điện:

2.1 Quá trình phân cực trong điện môi nhiều lớp

Xét một kết cấu cách điện gồm 2 lớp điện môi có cùng diện tích S, bề dày d_1, d_2 , điện dẫn suất γ_1, γ_2 , và hằng số điện môi ϵ_1, ϵ_2

$$C_1 = \frac{\epsilon_1 \cdot S}{d_1}; C_2 = \frac{\epsilon_2 \cdot S}{d_2}; g_1 = \frac{\gamma_1 \cdot S}{d_1}; g_2 = \frac{\gamma_2 \cdot S}{d_2}$$

Khi cho tác dụng lên điện môi một điện áp U thì tại thời điểm ban đầu, phân bố điện áp trên các lớp theo điện dung như sau:

$$U_1(0) = U \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2}; U_2(0) = U \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

Còn điện tích trên các điện dung là như nhau:

$$q_1(0) = q_2(0) = U \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Điện tích ban đầu này gây nên dòng điện dung ban đầu khá lớn. Sau đó các điện tích này sẽ phóng qua các điện dẫn $g_1; g_2$ tạo nên dòng điện dẫn trong các lớp. Do g_1 khác g_2 nên trên mặt ranh giới có các điện tích tự do gọi là phân cực kết cấu.

Giả thiết lớp 1 bị ẩm nặng $g_1 \gg g_2$, C_1 coi như bị ngắn mạch bởi g_1 , điện tích trên C_1 sẽ phóng và tiêu thụ dần hết trên g_1 , do đó điện áp trên C_1 giảm dần theo thời gian.

$$U_1(t) = U \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot e^{-t/\tau}$$

Trong khi đó C_2 nhận thêm điện tích của nguồn và điện áp trên nó sẽ tăng lên theo thời gian:

$$U_2(t) = U \left(1 - \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot e^{-t/\tau} \right)$$

Với $\tau = \frac{C_1 + C_2}{g_1 + g_2} \approx \frac{C_1 + C_2}{g_1}$

Quá trình quá độ kết thúc thì điện áp trên C_1 sẽ bằng không và C_2 nhận hoàn toàn điện áp nguồn.

Lượng điện tích C_2 được nạp thêm (lượng điện tích bị hấp thụ):

$$q_{ht}(t) = q_2(t) - q_2(0) = C_2 \cdot U \left(1 - \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right) - \frac{C_2^2}{C_1 + C_2} \cdot U \cdot e^{-t/\tau}$$

Sự dịch chuyển các điện tích hấp thụ tạo ra trong mạch một thành phần dòng điện hấp thụ:

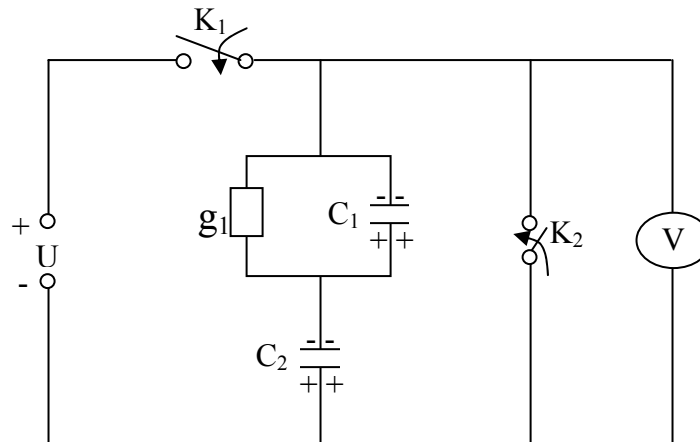
$$i_{ht}(t) = \frac{dq_{ht}(t)}{dt} = \frac{C_2^2}{C_1 + C_2} \cdot \frac{U}{\tau} \cdot e^{-t/\tau} = \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 \cdot g_1 \cdot U \cdot e^{-t/\tau}$$

Như vậy khi cho tác dụng lên cách điện không đồng nhất một điện áp một chiều, thì trong mạch sẽ suất hiện 3 thành phần dòng điện: dòng chuyển dịch, dòng hấp thụ và dòng điện rò ($i_{rò} = U \cdot \frac{g_1 \cdot g_2}{g_1 + g_2}$).

Tùy thuộc trị số dòng điện chạy qua cách điện và tốc độ biến thiên mà ta có thể phản ánh được tình trạng cách điện.

2.2 Phương pháp kiểm tra dự phòng cách điện:

2.2.1 Phương pháp đo điện áp phản hồi:



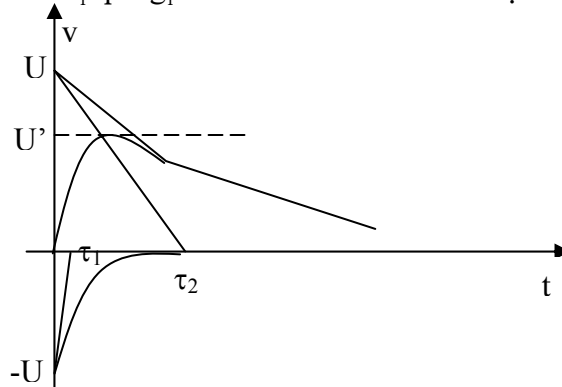
- Đóng K_1 vào cách điện cần thử nghiệm trong thời gian đủ lâu để quá trình quá độ trong cuộn dây chấm dứt và C_2 nạp đến điện áp U . Điện tích trên C_2 là: $q = C_2 \cdot U$
- Sau đó cắt K_1 và đóng K_2 rồi mở ngay. Sau khi K_2 mở, theo dõi sự thay đổi điện áp qua Voltmet V .

Khi đóng K₂ điện tích lập tức phân bố cho cả C₁, trên C₁ và C₂ tức thời có điện áp bằng nhau $U' = U \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2}$ nhưng ngược chiều nhau. Khi k₂ mở, ban đầu V oltmét có

trị số bằng không. Điện tích trên C₁ phóng qua g₁ nên U₁ giảm dần trong khi đó U₂ hầu như không đổi. Kết quả là Voltmet chỉ trị số điện áp tăng dần với hằng số thời gian

$$\tau_1 = \frac{C_1}{g_1}$$

Khi quá trình phóng điện của C₁ qua g₁ kết thúc thì voltmet chỉ trị số U'

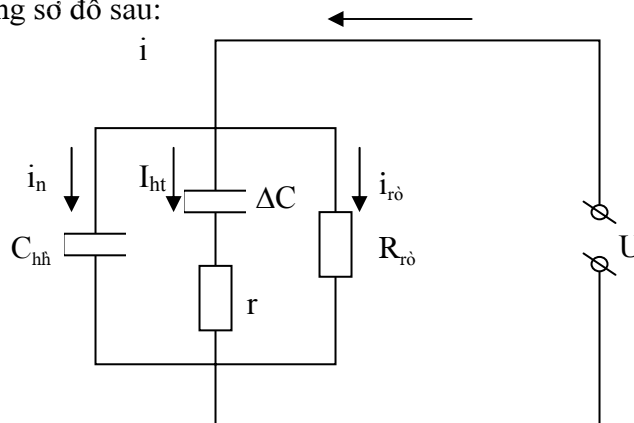


Khi lớp cách điện thứ 2 bị ẩm nặng thì nó không khô tuyệt đối do đó trị số cực đại không hoàn toàn bằng U', và điện áp trên C₂ cũng giảm dần nhưng với hằng số thời gian $\tau_2 = \frac{C_2}{g_2}$ lớn hơn $\tau_1 = \frac{C_1}{g_1}$

Đường cong phản hồi có thể rút ra những kết luận: Lớp ẩm càng lớn thì g₁(C₂) càng tăng, do đó trị số điện áp phản hồi càng cao và tốc độ tăng của nó càng nhanh.

2.2.3 Phương pháp đo điện trở cách điện và hệ số hấp thụ:

Để phân tích hiện tượng trong cách điện không đồng nhất (do bản thân kết cấu hoặc do khuyết tật) dùng sơ đồ sau:



Trong đó: $C_{hh} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$, $R_{to} = R_1 + R_2$

$$\Delta C = \frac{(R_1 \cdot C_1 - R_2 \cdot C_2)^2}{(R_1 + R_2)^2 \cdot (C_1 + C_2)}$$

$$r = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot (R_1 + R_2) \cdot (C_1 + C_2)^2}{(R_1 \cdot C_1 - R_2 \cdot C_2)^2}$$

Khi đặt điện áp 1 chiều lên cách điện, sẽ xuất hiện 3 thành phần dòng điện: dòng chuyển dịch, dòng hấp thụ và dòng rò. $I = i_{cd} + i_{ht} + i_{r0}$. Dòng điện tổng này giảm dần theo thời gian và đạt đến trị số ổn định bằng dòng rò. Nếu bỏ qua thành phần dòng chuyển dịch thì

$$i = i_{r0} + i_{ht} = \frac{U}{R_{r0}} + \frac{U}{r} \cdot e^{-t/\tau}$$

Tương ứng điện trở cách điện: $\frac{U}{i} = \frac{R_{r0}}{1 + \frac{R_{r0}}{r} \cdot e^{-t/\tau}}$ và đạt đến trị số ổn định bằng R_{r0}

Khi cách điện bị ẩm nặng thì R_{r0} giảm mạnh, quá trình phân cực kết cấu kết thúc nhanh, do hằng số thời gian T giảm, điện trở nhanh chóng đạt trị số ổn định.

Phương pháp đo điện trở qui định chỉ lấy trị số đo được sau 60s. Phương pháp này chỉ có hiệu quả khi khuyết tật trong cách điện(ẩm) hoặc trên bề mặt cách điện lan rộng từ cực này sang cực kia, khi đó điện trở mới giảm đáng kể. Còn khi khuyết tật có tính cục bộ thì phương pháp trên kém hiệu quả.

Đo hệ số hấp thụ:

Hệ số hấp thụ được xác định bằng tỷ số giữa R đo được sau 15s và 60s. Do đó

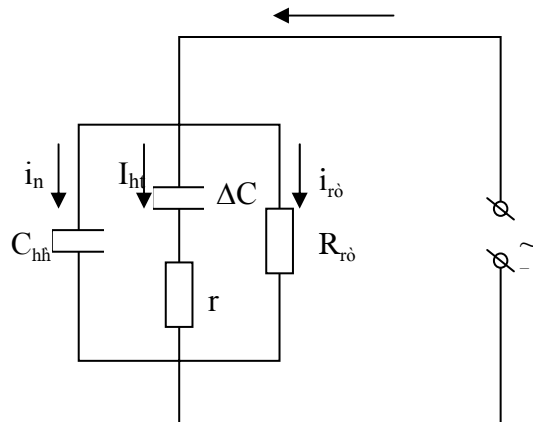
$$k_{ht} = \frac{R(60s)}{R(15s)}$$

Nếu cách điện ẩm thì k_{ht} gần bằng 1, còn cách điện khô, tốt thì $k_{ht} > 1$

Ưu điểm của phương pháp đo hệ số hấp thụ: có thể xác định cả tình trạng ẩm bộ phận, ít phụ thuộc vào kích thước cách điện và nhiệt độ khi đo, do đó hiệu quả tin cậy hơn đo điện trở cách điện.

Phương pháp đo tổn hao điện môi tgδ:

Đo góc tổn hao là để xác định hệ số suy thoái của cách điện. Sự già hoá, sự thấm ẩm, sự xuất hiện nhiều bọt khí trong cách điện đều dẫn đến tăng cao tgδ.



$$i = U \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r + \frac{1}{j\omega \Delta C}} + j\omega C_{hh} \right) = i_a + j i_b$$

$$i = U \left[\frac{1}{R} + \frac{\omega^2 \cdot r \cdot \Delta C^2}{1 + \omega^2 \cdot r^2 \cdot \Delta C^2} + j\omega \left(C_{hh} + \frac{\Delta C}{1 + \omega^2 \cdot r^2 \cdot \Delta C^2} \right) \right]$$

Trong đó thành phần tác dụng hay qua điện môi:

$$i_a = U \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\omega^2 \cdot r \cdot \Delta C^2}{1 + \omega^2 \cdot r^2 \cdot \Delta C^2} \right) \approx U \cdot \omega \cdot \Delta C \cdot \frac{\omega \cdot \tau}{1 + (\omega \cdot \tau)^2} \quad \text{với } \tau = r \cdot \Delta C$$

Còn thành phần dòng dung:

$$i_b = U \cdot \omega \cdot \left(C_{hh} + \Delta C \cdot \frac{1}{1 + (\omega \cdot \tau)^2} \right) = U \cdot \omega \cdot C_\omega \quad \text{với } C_\omega = C_{hh} + \Delta C \cdot \frac{1}{1 + (\omega \cdot \tau)^2}$$

$$\text{tg}\delta = \frac{i_a}{i_b} = \frac{\omega \cdot \Delta C \cdot \frac{\omega \cdot \tau}{1 + (\omega \cdot \tau)^2}}{\omega \cdot \left(C_{hh} + \Delta C \cdot \frac{1}{1 + (\omega \cdot \tau)^2} \right)} = \frac{\Delta C \cdot \omega \cdot \tau}{C_{hh} \cdot [1 + (\omega \cdot \tau)^2] + \Delta C}$$

$$\text{tg}\delta = \frac{\left(\frac{C_o}{C_\infty} - 1 \right) \cdot \omega \cdot \tau}{\frac{C_o}{C_\infty} + (\omega \cdot \tau)^2 - 1}$$

Với C_o là điện dung ở điện áp 1 chiều, $C_o = C_{hh} + \Delta C$

C_∞ là điện dung của cách điện ở tần số cao $\omega = \infty$ và $C_\infty = C_{hh}$

Biểu thức trên cho thấy tỷ số $\frac{C_o}{C_\infty}$ và τ , cả $\frac{C_o}{C_\infty}$ và τ đều không phụ thuộc vào kích

thước vì vậy tgδ là một chỉ tiêu đánh giá phẩm chất và tình trạng của cách điện mà không phụ thuộc vào kích thước của nó

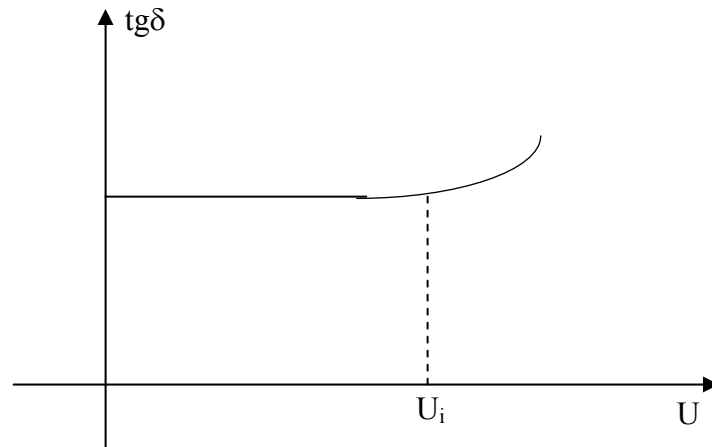
Như vậy dựa vào tgδ để phát hiện khả năng suy giảm cách điện của thiết bị. Tuy nhiên đối với những cơ cấu cách điện có điện dung lớn chỉ có thể phát hiện các khuyết tật chím phần lớn thể tích đáng kể của cách điện nhưng không thể phát hiện một cách chính xác các khuyết tật tập trung.

2.3 Phương pháp đo tgδ và đo điện dung C

2.3.1 Phương pháp đo tgδ theo điện áp

Phương pháp này để phát hiện khuyết tật dạng bọc khí trong kết cấu.

Nếu cách điện tốt thì trong phạm vi điện áp từ $(0,5 \rightarrow 1,5)U_{iv}$ thì tgđ không thay đổi. Nếu cách điện có chứa bọt khí thì khi $U > U_i$ thì tgđ sẽ tăng nhanh



2.3.2 Phương pháp đo điện dung

Ở nhiệt độ và tần số không đổi, điện dung của kết cấu cách điện chỉ thay đổi khi tình trạng của vật liệu thay đổi. Do vậy, dựa vào điện dung để đánh giá cách điện

Khi tần số thay đổi từ 0 đến ∞ thì điện dung thay đổi từ C_0 đến C_∞ .

Nếu cách điện tốt, khô ráo thì ngay ở tần số thấp, điện dung cũng khác C_∞ . Như vậy theo tỷ số điện dung đo được ở 2 tần số khác nhau ta có thể phán đoán được tình trạng ẩm hay hư hỏng cục bộ của cách điện.

III Phóng điện cục bộ và phương pháp kiểm tra:

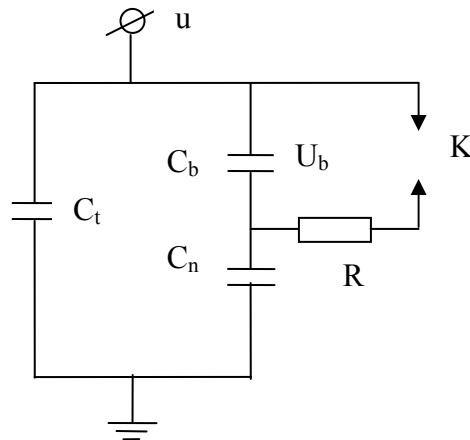
3.1 Cơ sở lý thuyết về hiện tượng phóng điện cục bộ trong cách điện.

- Phóng điện cục bộ trong các thiết bị điện cao áp xuất hiện trong các bọt khí hay trong các điện môi lỏng giữa các lớp cách điện rắn. Các bọt khí có thể xuất hiện trong quá trình chế tạo (do sự co ngót của nhựa đúc, sự tiếp xúc không tốt giữa điện cực và bề mặt điện môi, do tẩm chưa tốt cách điện nhiều lớp), trong quá trình vận hành (do sự rạn nứt hoặc phân lớp cách điện, sự phân hủy điện môi kèm theo thải khí..)

- Các bọt khí là những chỗ yếu trong cách điện cao áp vì nó có độ bền điện thấp, trong khi đó cường độ điện trường trong bọt khí cao hơn trong phần cách điện còn lại. Do những nguyên nhân này nên khi đặt điện áp lên cách điện thì phóng điện cục bộ xuất hiện trước tiên trong những bọt khí này.

3.1.1 Quy luật phát triển của phóng điện cục bộ:

- Điện áp xoay chiều: Sơ đồ thay thế cho trên hình vẽ



Trong đó: C_b : Điện dung của bọc khí
 C_n : Điện dung phần cách điện nối tiếp bọc khí
 C_t : Điện dung của phần cách điện còn lại

Sự phóng điện của khe hở K mô phỏng sự xuyên thủng bọc khí, điện trở R đặc trưng cho điện trở khe phóng điện trong bọc khí.

+ **Thời điểm $t = 0$** : cho tác dụng lên cách điện một điện áp xoay chiều $u = U_m \cdot \sin \omega t$, trước khi xuất hiện PĐCB, điện áp trên bọc khí biến thiên theo quy luật

$$U_b = U_{mb} \cdot \sin \omega t, \text{ trong đó } U_{mb} = U_m \cdot \frac{C_n}{C_n + C_b}$$

+ **Thời điểm t_1** : điện áp U_b đạt trị số U_{ct} và khe hở K bị xuyên thủng, tức là xuất hiện PĐCB đầu tiên trong bọc khí. Khi xảy ra phóng điện do C_n nhỏ và

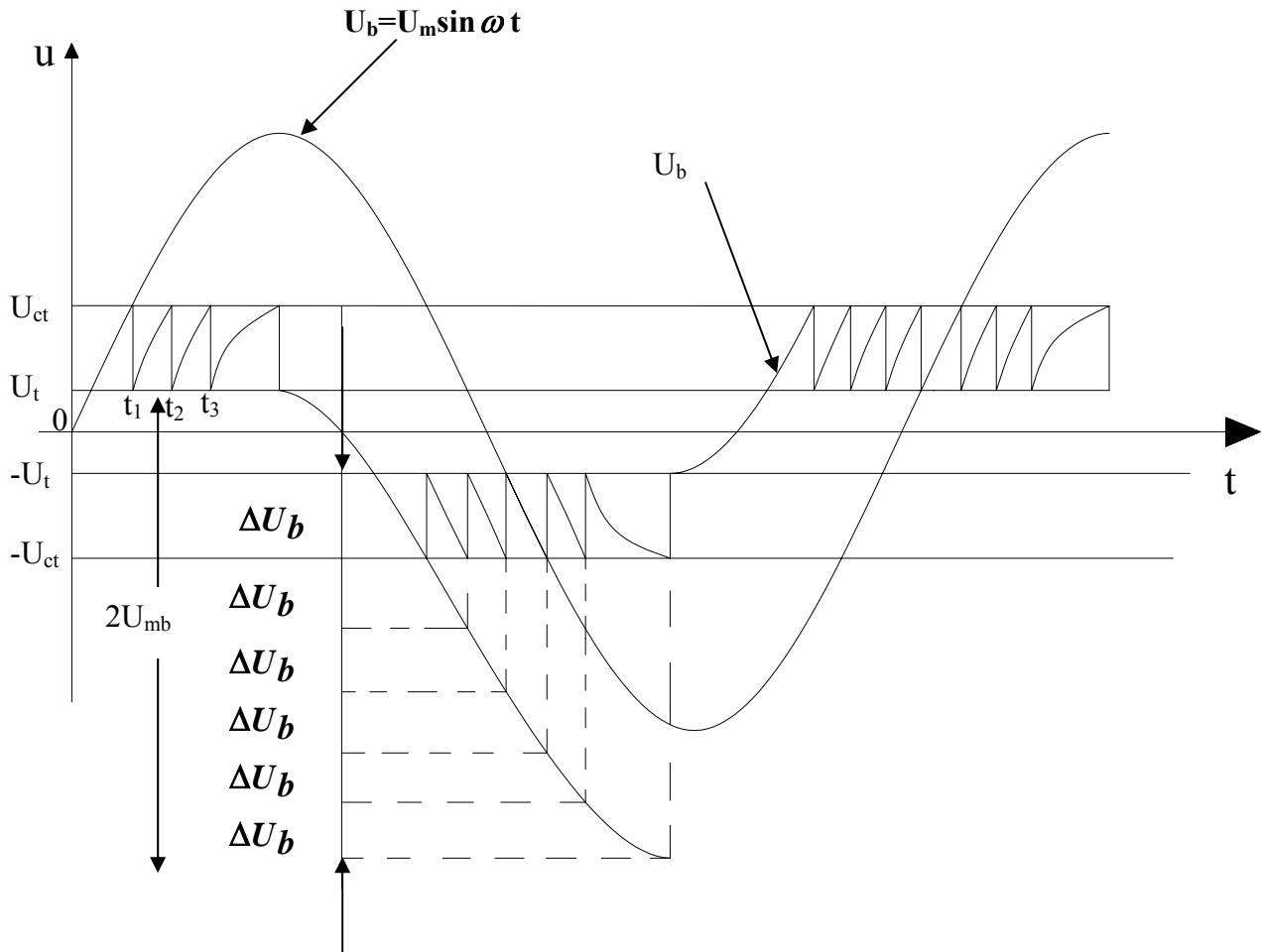
$\frac{1}{C_n \cdot \omega} \gg R$ nên điện áp U_b giảm nhanh đến trị số điện áp tắt $U_t \neq 0$ (vì hằng số thời

gian $R \cdot C_n$ bé nên có thể xem là tức thời) khi đó PĐCB ở bọc khí tắt, lượng sụt áp trên điện dung C_b khi PĐCB xảy ra tức thời là: $\Delta U_b = U_{ct} - U_t$

Sau thời điểm t_1 điện áp trên C_b lại tăng với quan hệ $U_b = U_{mb} \cdot \sin \omega t - \Delta U_b$

+ **Tại thời điểm t_2** điện áp U_b lại đạt trị số U_{ct} và PĐCB xảy ra lần thứ 2. Sau khi phóng điện lần 2 tắt thì điện áp trên C_b lại tăng theo quy luật $U_b = U_{mb} \cdot \sin \omega t - 2\Delta U_b$ quá trình diễn ra tiếp theo tương tự.

+ **Tại thời điểm t_4** tương ứng với $U_b = U_{mb}$, PĐCB tạm ngưng; điện áp U_b trên bọc khí giảm dần rồi thay đổi cực tính, ở thời điểm t_5 lại tiếp tục chuỗi phóng điện mới



Số lần PĐCB trong nửa chu kỳ của điện áp tác dụng $n_{T/2}$ không phụ thuộc vào tần số và đối với trường hợp bọc khí đối xứng sẽ bằng:

$$n_{T/2} = \frac{2U_{mb} - 2U_t}{\Delta U_b} = 2 \frac{U_{mb} - U_t}{U_{ct} - U_t} = 2 \frac{U_{mb} - \eta U_{ct}}{U_{ct} (1 - \eta)}$$

Với : $\eta = \frac{U_t}{U_{ct}}$

Số lần phóng điện cục bộ trong một đơn vị thời gian sẽ là:

$$n = 2 \cdot n_{T/2} \cdot f = 4 \cdot f \cdot \frac{U_{mb} - U_t}{U_{ct} - U_t} = 4 f \cdot \frac{U_{mb} - \eta U_{ct}}{U_{ct} (1 - \eta)}$$

Nhân tử số và mẫu số về phải với $\frac{C_b + C_n}{C_n}$ và biến đổi ta có:

$$n = 4 f \cdot \frac{U - \eta U_{CB}}{U_{CB} (1 - \eta)}$$

trong đó $U = \frac{U_{mb} \cdot C_b + C_n}{\sqrt{2} \cdot C_n}$: trị số hiệu dụng của điện áp đặt lên cách điện

$U_{CB} = \frac{U_{ct} \cdot C_b + C_n}{\sqrt{2} \cdot C_n}$: trị số hiệu dụng của điện áp trên cách điện khi trong bọc

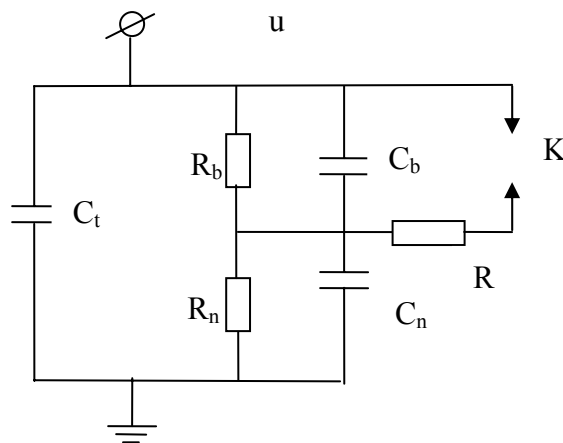
khí xuất hiện PĐCB.

Điện áp U_{CB} được gọi là điện áp xuất hiện phóng điện cục bộ

Số lần phóng điện nhỏ nhất trong một đơn vị thời gian: $n_{min} = 4f$ khi $U = U_{CB}$. Số lần phóng điện tăng nhảy vọt theo $4f$ mỗi khi điện áp lên một lượng $U_{CB}(1-\eta)$.

như vậy quan hệ n theo điện áp tác dụng lên cách điện có dạng từng cấp.

3.1.2 Phóng điện cục bộ ở điện áp một chiều: Sơ đồ thay thế cho trên hình



Ta xét với trường hợp đặc biệt khi $C_b \cdot R_b = C_n \cdot R_n$ có nghĩa là sự phân bố điện áp theo điện dung C_b và C_n trùng với sự phân bố điện áp theo điện trở R_b và R_n .

+ Tại thời điểm $t = 0$ tác động lên cách điện một điện áp U_0 thì điện áp tác dụng lên bọc khí $U_b = U_0 \cdot \frac{R_b}{R_b + R_n}$ hằng số thời gian của mạch thường bé, nên điện áp

trên bọc khí thực tế tăng tức thời đến U_{ct} và gây nên PĐCB lần thứ nhất nếu $U_b \geq U_{ct}$. Sau khi PĐCB điện áp U_b giảm đến giá trị U_t và PĐCB tắt. Sau khi PĐCB tắt điện áp trên C_b do sự có mặt của điện trở rò bắt đầu tăng:

$$U_b = U_0 \cdot \frac{R_b}{R_b + R_n} - \left(U_0 \cdot \frac{R_b}{R_b + R_n} - U_t \right) e^{-t/T}$$

Trong đó: $T = \frac{R_b R_n}{R_b + R_n} (C_b + C_n)$

+ **Tại thời điểm t_1** điện áp trên C_b đạt đến trị số U_{ct} và xuất hiện PĐCB lần thứ hai. Quá trình tiếp theo sẽ lặp lại tương tự, trong đó khoảng thời gian giữa hai lần

phóng điện cục bộ bằng:
$$\Delta t = T \cdot \ln \frac{U_0 \cdot \frac{R_b}{R_b + R_n} - U_t}{U_0 \cdot \frac{R_b}{R_b + R_n} - U_{ct}} = T \cdot \ln \frac{U_0 - \eta U_{CB}}{U_0 - U_{CB}}$$

Với $U_{CB} = U_{ct} \frac{R_b + R_n}{R_b}$ là điện áp tác dụng lên cách điện khi trong bọc khí xuất hiện

PĐCB.

Vì $T = C_n \cdot R_n = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \rho_v$ trong đó ϵ và ρ_v – tương ứng là hệ số điện môi và điện trở suất khối của cách điện, nên số lần phóng điện trong một đơn vị thời gian trong bọc khí ở điện áp một chiều bằng:

$$n = \frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \rho_v \cdot \ln \frac{U_0 - \eta U_{PDCB}}{U_0 - U_{PDCB}}}$$

+ Số lần phóng điện cục bộ trong một đơn vị thời gian và tương ứng hiệu ứng phá hủy cách điện do nó gây nên sẽ nhỏ hơn hàng trăm lần so với điện áp xoay chiều. Do đó trong những điều kiện giống nhau, cường độ điện trường làm việc của cách điện ở điện áp một chiều cho phép cao hơn và bề dày cách điện nhỏ hơn so với điện áp xoay chiều

3.1.3 Mức độ mãnh liệt của PĐCB:

- Năng lượng tiêu hao mỗi lần PĐCB trong bọc khí được xác định là hiệu năng lượng tích lũy trong điện dung C_b tại các thời điểm trước phóng điện và sau khi tắt của nó, tức là bằng:

$$W_{CB} = \frac{C_b \cdot U_{ct}^2}{2} - \frac{C_b \cdot U_t^2}{2} = C_b (U_{ct} - U_t) \frac{U_{ct} + U_t}{2} = \Delta Q \cdot U_{ct} \frac{1 + \eta}{2}$$

Trong đó: $\Delta Q = C_b (U_{ct} - U_t)$ - lượng điện tích bị trung hòa ở điện dung C_b trong thời gian PĐCB.

- Công suất trung bình của PĐCB trong một bọc khí bằng:

$$P_{CB} = W_{CB} \cdot n = \Delta Q \cdot U_{ct} \frac{1 + \eta}{2} \cdot n$$

Với n - Số lần phóng điện cục bộ

- Năng lượng W_{CB} và công suất P_{CB} là những đặc tính quan trọng quyết định hiệu ứng phá hủy và tốc độ già cỗi của cách điện. Tuy nhiên trị số của chúng rất bé, rất khó cho quá trình đo đạc vì vậy ta dùng các đại lượng khác tỉ lệ với chúng và để đo đạc để đặc trưng cho mức độ mãnh liệt của PĐCB

+ Phương pháp đo phổ biến nhất là dựa vào sự xuất hiện quá trình quá độ trong cách điện và trong mạch ngoài khi xảy ra sự trung hòa nhanh chóng lượng điện tích ΔQ . Khi đó trên cách điện xảy ra sự giảm đột ngột điện áp một lượng ΔU_x .

$$\Delta U_x = -\Delta Q \frac{1}{C_x} \frac{C_n}{C_n + C_b}$$

Trong đó: C_x - điện dung của toàn bộ cách điện

Lượng sụt áp đột ngột ΔU_x tương ứng với một lượng biến thiên điện tích biểu kiến

trên C_x bằng: $q = C_x \Delta U_x = \Delta Q \frac{C_n}{C_n + C_b}$

Thay ΔQ và ΔU vào sẽ có:

3.1.4 Tác dụng phá hoại cách điện của PĐCB

- Làm cho nhiệt độ cục bộ ở vách bọc khí tăng cao đột ngột có thể lên đến hàng trăm độ C
- Các bọc khí bị PĐCB xuất hiện các chất có hoạt tính hóa học mạnh như khí ozon, oxyd azôt có tác dụng phân hủy nhiều loại điện môi.
- Khi phóng điện cục bộ lặp lại nhiều lần, bề mặt bọc khí bị khoét sâu dần và sau đó phóng điện tập trung vào chỗ bị khoét sâu cục bộ này kéo dài ra và phân nhánh, nó làm cho độ bền điện của cách điện càng giảm.

3.2 Các phương pháp xác định đặc tính PĐCB trong cơ cấu cách điện

- Để xác định đặc tính PĐCB người ta thường dùng phương pháp điện (dựa vào áp và dòng trong quá trình quá độ), phương pháp phát hiện PĐCB theo quan hệ $tg\delta = f(U)$. Các phương pháp khác, dựa trên sự ghi nhận các tín hiệu âm, ánh sáng và điện từ phát ra khi xuất hiện PĐCB, ít được dùng.
- Các sơ đồ nguyên lý để đo đặc tính PĐCB bằng các phương pháp điện cho ở trên hình

Mỗi sơ đồ gồm một mạch vòng cao áp tạo nên bởi cách điện thử nghiệm C_x , máy biến áp thử nghiệm và điện dung liên kết C_0 , một mạch đo tạo nên bởi tổng trở Z_d , bộ lọc Φ , bộ khuếch đại và các thiết bị đo (dao động ký, đồng hồ đếm xung và volt kế). Cả ba sơ đồ đều giống nhau về nguyên lý tác dụng, chỉ khác nhau ở điểm nối đất của mạch vòng C_x , C_0 , Z_d . Tùy thuộc vào yêu cầu khác nhau mà người ta chọn sơ đồ cho phù hợp

- Ở đầu vào của thiết bị đo lường thường xuất hiện:
 - + Các xung điện áp từ quá trình quá độ trong mạch cao áp gây ra bởi mỗi PĐCB
 - + Điện áp giáng trên tổng trở đo Z_d do dòng điện dung chạy qua C_x hoặc C_0 dưới tác dụng của điện áp thử nghiệm
 - + Điện áp nhiễu và âm nhiễu từ nguồn khác nhau.
- Biên độ và dạng xung của PĐCB ở đầu và phần đo lường được xác định trên cơ sở phân tích quá trình quá độ trong mạch cao áp.
- * Ta khảo sát trường hợp khi $Z_d = R_d$ và bỏ qua điện cảm của mạch sơ cấp: Trong trường hợp này ở đầu vào phần đo lường xuất hiện điện áp không chu kỳ:

$$U_{dv}(t) = U_{dv0} \cdot e^{-t/T}$$

Với $T = R_d \cdot C_{td}$ là hằng số thời gian của mạch sơ cấp

$$C_{td} = C_{ks} + \frac{C_0 C_x}{C_0 + C_x} \text{ là điện dung tương đương của mạch}$$

Biên độ xung U_{dv0} được xác định bởi biểu thức:

$$U_{dv0} = \Delta U_x \frac{1}{1 + \frac{C_{ks}}{C_x} + \frac{C_{ks}}{C_0}} = \frac{q}{C_x + C_{ks} + \frac{C_{ks} \cdot C_x}{C_0}}$$

Như vậy biên độ của xung điện áp tỉ lệ với điện tích biểu kiến q của phóng điện cục bộ do đó việc đo q được thay bằng đo điện áp đầu vào.

- Trong quá trình thử nghiệm có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả đo vì vậy cần phải chọn các thiết bị một cách phù hợp để kết quả thử nghiệm là chính xác nhất.

+ 90% năng lượng của xung điện áp này nằm trong dải tần từ 0 đến $\omega = 2\pi/T$ do đó để ứng dụng hữu hiệu năng lượng xung này vào quá trình đo lường thì bộ khuếch đại phải có dải thông từ 0 đến $f = 1/T$, do khi tăng dải thông của bộ khuếch đại thì sẽ làm điện áp âm nhiễu sẽ tăng nhanh hơn trị số cực đại của tín hiệu có ích ở đầu ra của khuếch đại.

+ Để cho xác suất xếp chồng lên nhau của các xung PĐCB bé thì hằng số thời gian T thường bằng 1 – 5 μs do đó dải thông của khuếch đại phải là 200 – 10000kHz

+ Để cho những nhiễu bên ngoài không trộn lẫn vào các tín hiệu đo, phải dùng những lưới lọc trong mạch cung cấp của toàn bộ thiết bị, phải chắn nhiễu.

+ Thử nghiệm cũng bị cản trở nếu điện áp thử nghiệm được tạo nên vượt quá vài trăm volt. Điện áp này sẽ gây quá tải cho khuếch đại và làm cho khuếch đại không làm việc bình thường vì vậy cần phải mắc bộ lọc trước khuếch đại để không cho tần số thấp xâm nhập.

- Ưu điểm chủ yếu của thiết bị dải rộng là ở chỗ mỗi PĐCB tương ứng với một xung điện áp ngắn. Vì vậy có thể đo khá chính xác với dao động ký và thiết bị đếm xung, số lần phóng điện trong một đơn vị thời gian và trị số cực đại của nó. Nhược điểm là mức nhiễu cao do dải thông của khuếch đại rộng

* Khảo sát trường hợp khi $Z_d = L_d$: Trong trường hợp này quá trình quá độ trong mạch sơ cấp có tính chất dao động, còn ở đầu vào của phần đo xuất hiện xung điện áp:

$$U_{dv}(t) = U_{dv0} \cdot e^{-at} \cdot \cos \omega t$$

Trong đó: U_{dv0} - trị số cực đại của xung

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_d C_{td}}}$$

$a = R/2L_d$ với R là điện trở tác dụng của mạch cao áp

Trong trường hợp này phần chủ yếu năng lượng tập trung trong một dải tần tương đối hẹp gần tần số ω_0 . Để dùng 90% năng lượng xung này ta chỉ cần dải thông của bộ khuếch đại bằng: $\Delta f = \omega_0 \cdot (1 \pm 1/2Q)$

Trong đó: Q - hệ số phẩm chất của mạch cao áp (có giá trị từ 30 - 50)

=> $\Delta f = 20 - 50$ kHz tức là hẹp hơn khi $Z_d = R_d$

+ Để khuếch đại xung trong trường hợp này, dùng khuếch đại cộng hưởng với tần số điều chỉnh f_0 và dải thông tương ứng. Do đó thiết bị thiết bị với điện cảm đầu vào gọi là thiết bị cộng hưởng hoặc thiết bị dải hẹp

+ Hệ số khuếch đại k và đặc tính của bộ lọc cũng được xác định như đối với thiết bị dải rộng.

+ Ưu điểm của thiết bị dải hẹp là loại trừ được nhiễu thường trực bên ngoài.

Nhược điểm là xung có dạng dao động và khi mật độ PĐCB kế tục nhau cao theo thời gian, chúng có thể chồng lên nhau khi đó việc xác định chính xác điện tích biểu kiến của chúng sẽ khó khăn.

+ Thiết bị với điện cảm đầu vào không thích hợp cho việc đo mức độ mãnh liệt của PĐCB mà chỉ thích hợp để phát hiện PĐCB hoặc để đo điện áp ở đó xuất hiện PĐCB. Khi cần thiết, độ mãnh liệt của PĐCB được xác định theo điện áp trung bình hoặc hiệu dụng của toàn bộ xung ở đầu vào phân đo.

* Các phương pháp trên được ứng dụng khi thử nghiệm các kết cấu cách điện có điện cảm bản thân bé hoặc không dài lắm. Việc đo đặc tính PĐCB trong cách điện của máy biến áp cao áp hoặc những đoạn cáp dài cũng cơ sở trên cùng nguyên lý nhưng ta phải sử dụng thêm một số biện pháp đặc biệt để hạn chế nhiễu xung điện áp lệch nhau về thời gian đến các thiết bị đo mỗi khi PĐCB.