

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.

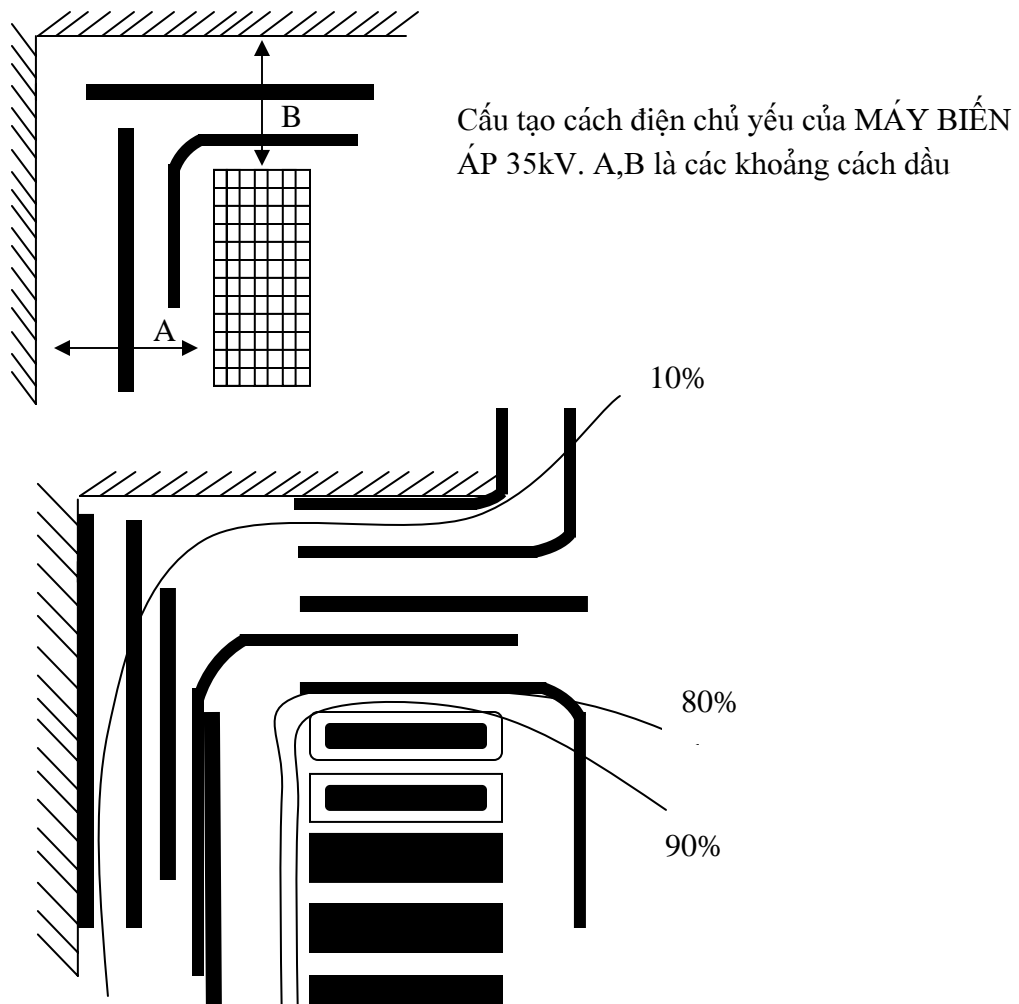
Cách điện trong bao gồm tất cả các phần cách điện đặt trong vỏ máy, ngâm trong dầu và cách ly với môi trường khí quyển bên ngoài. Cách điện trong được chia làm 2 nhóm chính:

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.

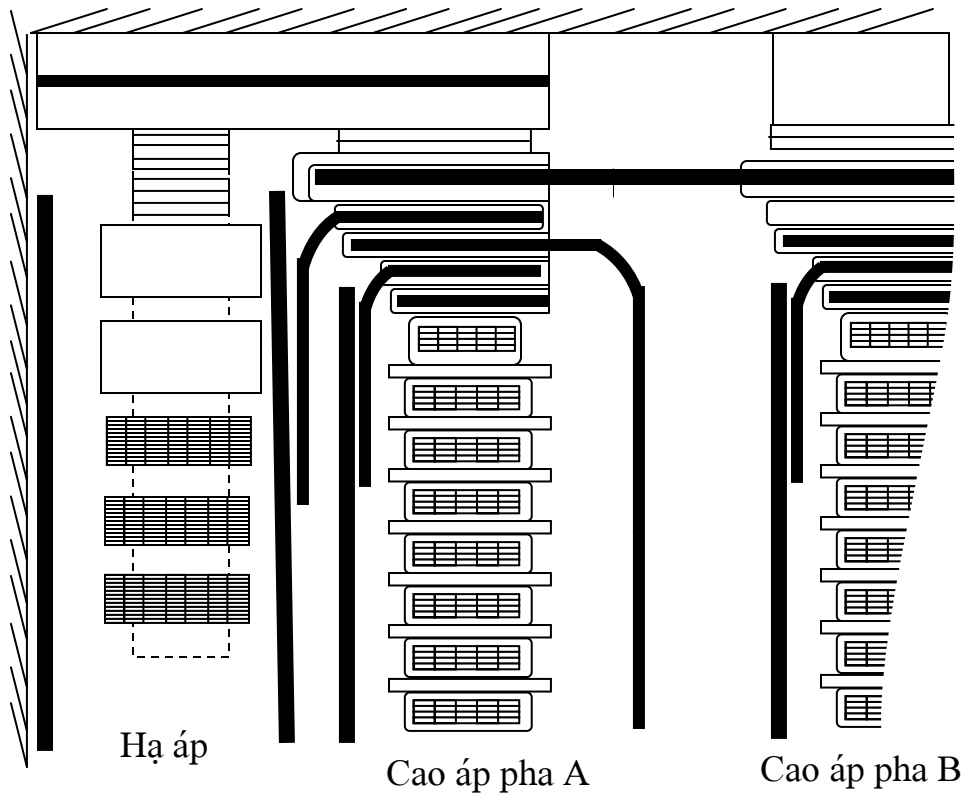
Cách điện chính: được thực hiện chủ yếu theo kiểu dầu - màn chắn (toàn bộ lõi thép, gông từ và cuộn dây được đặt trong dầu, và giữa các khoảng cách dầu có đặt những ống hoặc tấm cách điện bằng cátông bêkalít). Màn chắn có tác dụng cản trở sự hình thành các cầu dẫn điện, nâng cao độ bền điện của các khoảng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

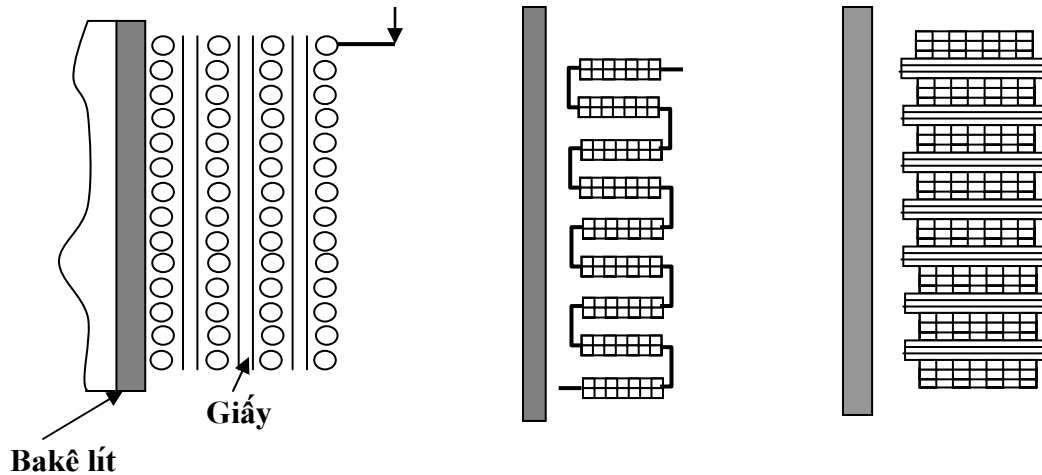


Sơ đồ nguyên lý cấu tạo cách điện chủ yếu của máy biến áp 100kV

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.



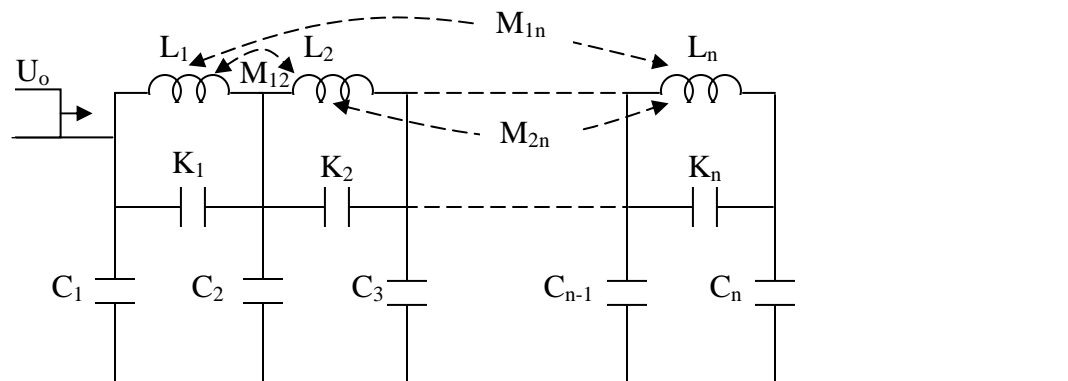
Nguyên lý cấu tạo cuộn dây cao áp và cách điện dọc máy biến áp 6-35kV, 110kV

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.

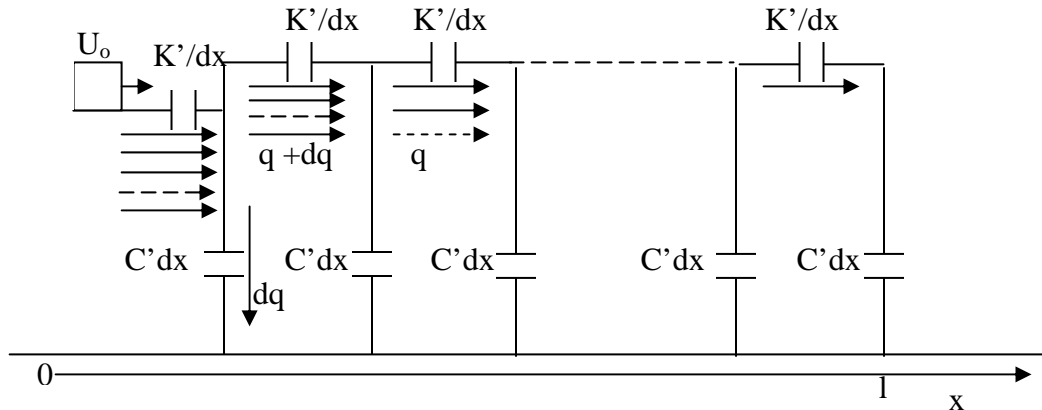
Sơ đồ thay thế cuộn dây máy biến áp gồm các phần tử: điện cảm, điện dung đối với đất, hồ cảm giữa các vòng dây, điện dung giữa các vòng dây kế tiếp nhau.



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:

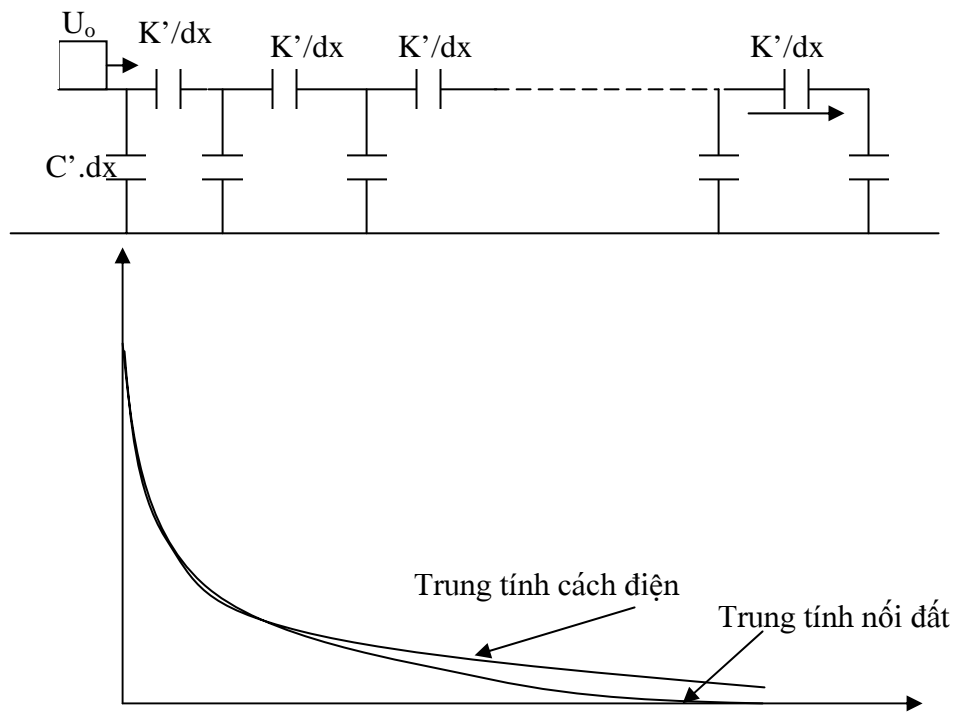
$$\text{Sh}[\alpha.l.(1-\frac{x}{l})] \approx \text{Ch}[\alpha.l.(1-\frac{x}{l})] \approx e^{\alpha.l.(1-\frac{x}{l})} / 2$$

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

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

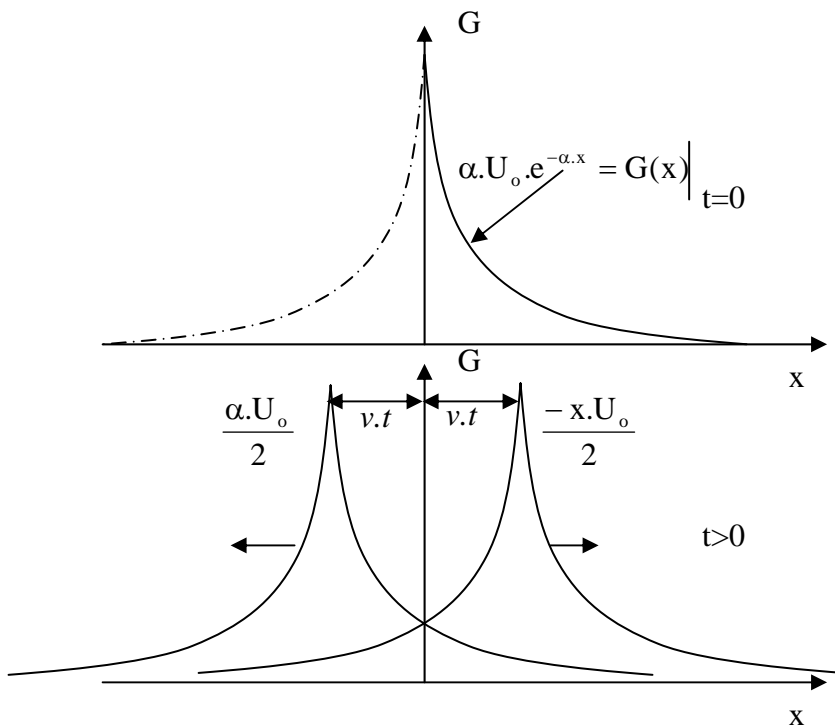
$$\Rightarrow \left. \frac{dU(x)}{dx} \right|_{x=0} = \left(\frac{dU}{dx} \right)_{\max} = U_o \cdot \alpha = \frac{U_o}{l} \cdot \alpha.l$$

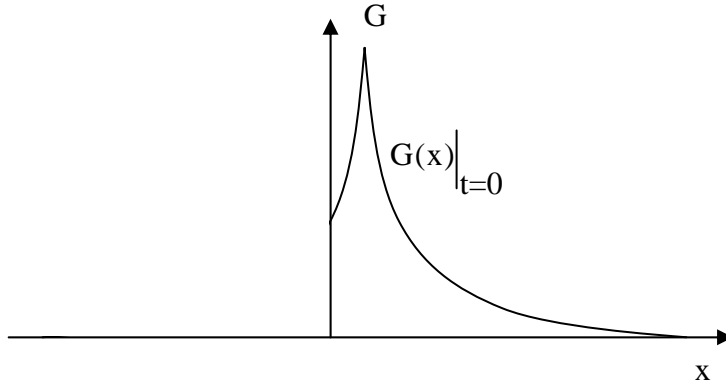
Như vậy điện áp giáng trên điện dung dọc của đơn vị chiều dài của cuộn dây (gradient điện áp) đạt trị số cực đại. Do đó cách điện dọc của các phần tử đầu của cuộn dây cao áp làm việc trong điều kiện nặng nề.



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 $v = c/2$.

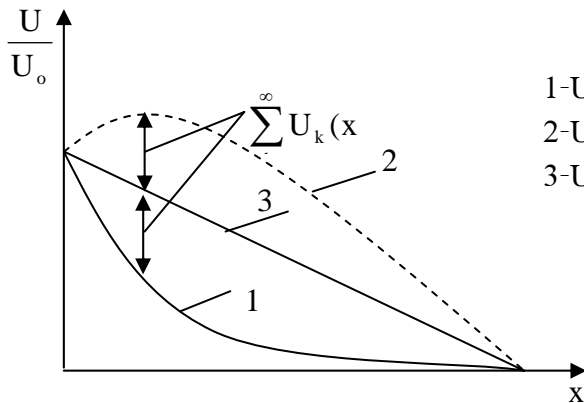
Tại thời điểm $t = 0$, điện áp đầu cuộn dây đạt cực đại khi sóng truyền vào sâu cuộn dây, biên độ giảm dần. Tại trung tính biên độ có tăng chút ít do sóng phản xạ.

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

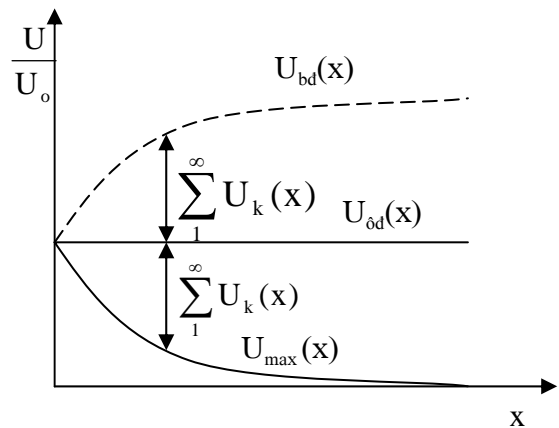
Sau một thời gian quá trình quá độ chấm dứt thì sự phân bố điện trường dọc theo chiều dài cuộn dây sẽ đạt trạng thái cưỡng bức và theo cảm kháng của cuộn dây, phân bố điện áp có dạng:

Khi trung tính nối đất:

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



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



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:

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

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

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.

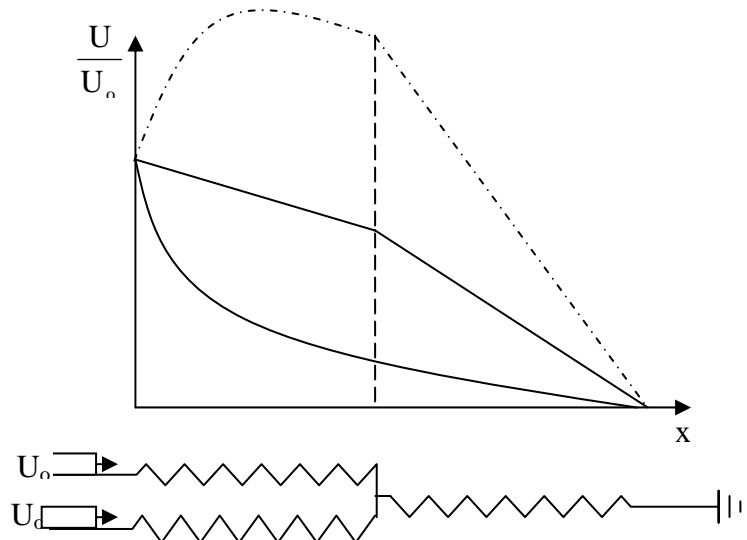
2.1.3.1 Máy biến áp đấu kiểu hình sao, trung tính cách điện đối với đất:

Diễn ra tương tự như máy biến áp 1 pha

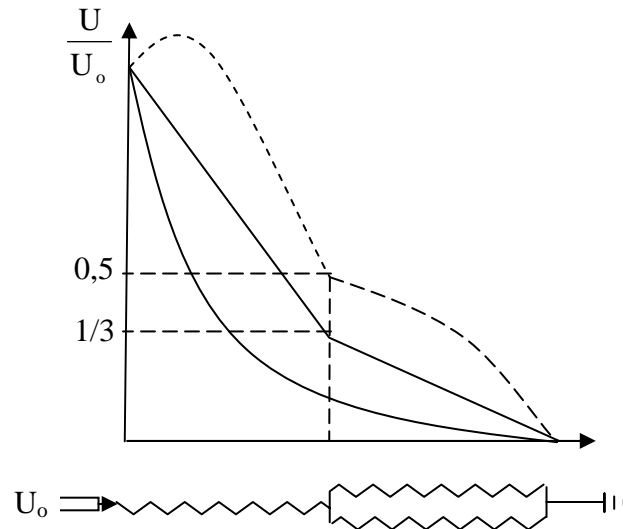
*** Máy biến áp đấu hình sao, trung tính cách điện đối với đất:**

- 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



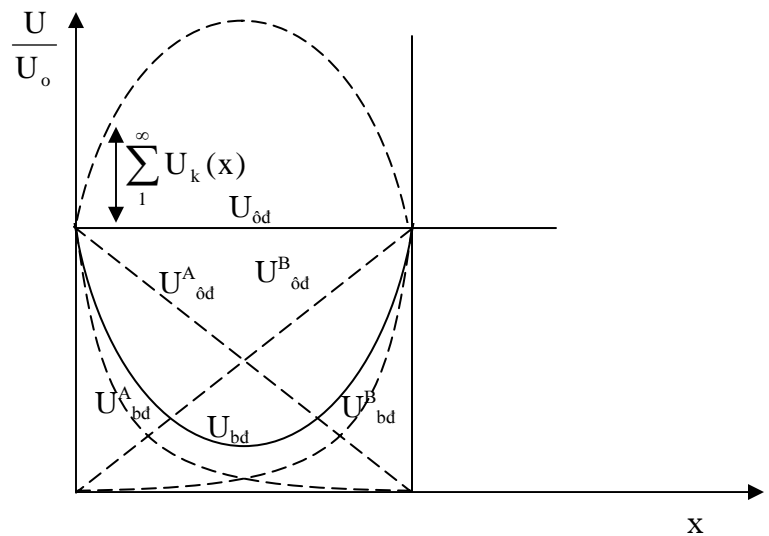
Nếu sóng tác dụng vào 1 pha thì 2 pha kia xem như nối song song nhau và nối đất.
Ta thấy điện thế trên điểm trung tính trong quá trình quá độ không vượt quá $2/3U_0$



*** Máy biến áp 3 pha đầu 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.

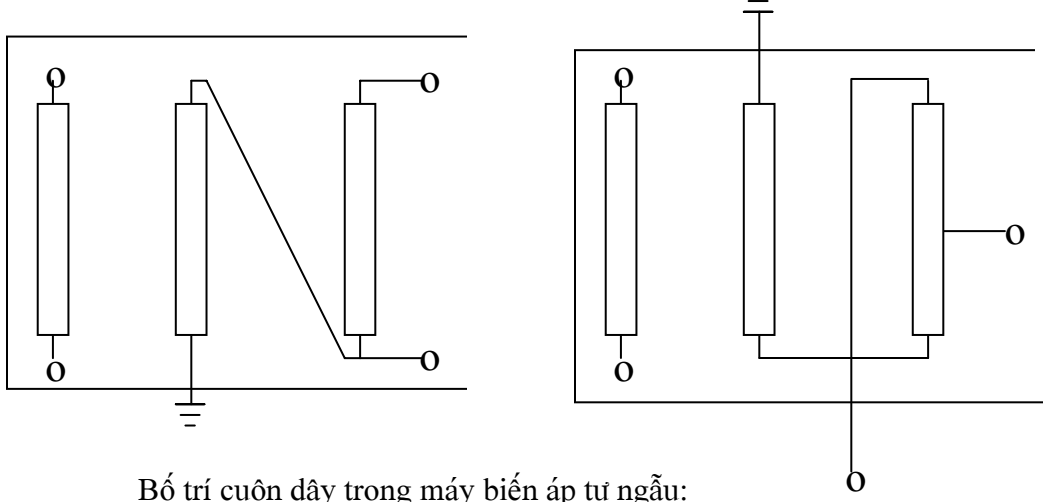


$$U_{bd}(x) = U_{bd}^A(x) + U_{bd}^B(x)$$

$$U_{\acute{o}d}(x) = U_{\acute{o}d}^A(x) + U_{\acute{o}d}^B(x)$$

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.



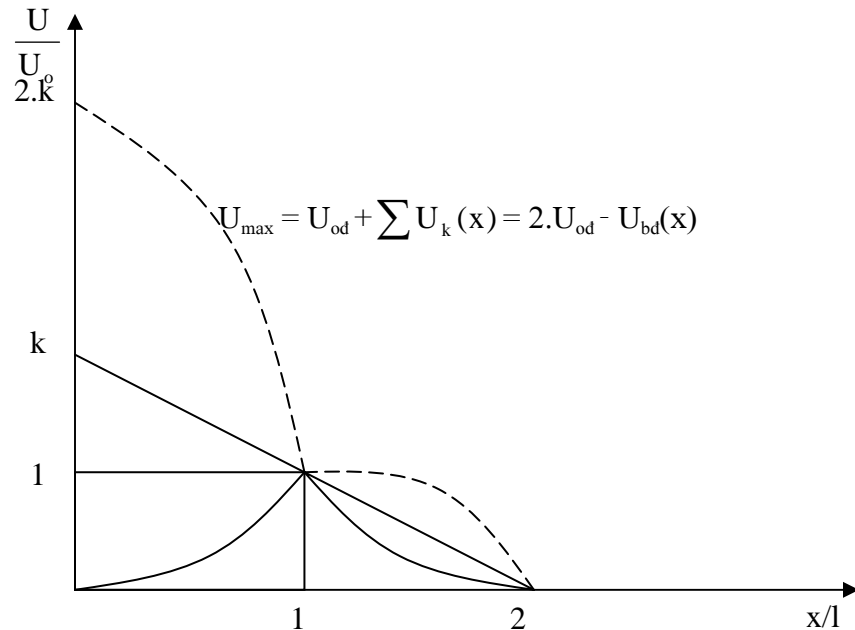
Bố trí cuộn dây trong máy biến áp tự ngẫu:

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:

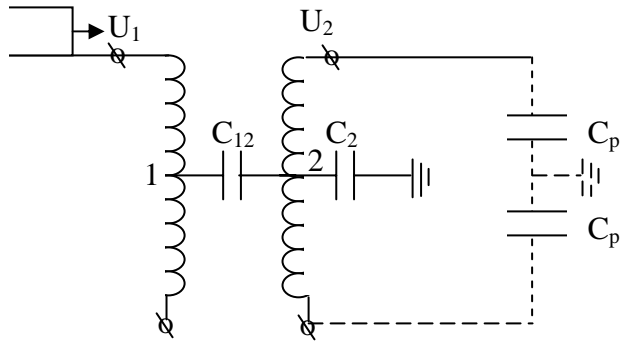
Về phía trung áp, phân bố điện áp giống như trường hợp máy biến áp một pha có trung tính nối đất.



Sự tăng cao điện áp phía cao áp 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:



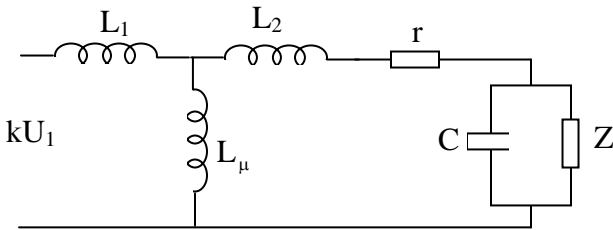
Ở thời điểm ban đầu, điện tích $q_{dv} = K' \cdot \left. \frac{dU}{dx} \right|_{x=0}$ của cuộn dây tạo nên trường tĩnh điện làm xuất hiện thế trên tất cả các cuộn dây.

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

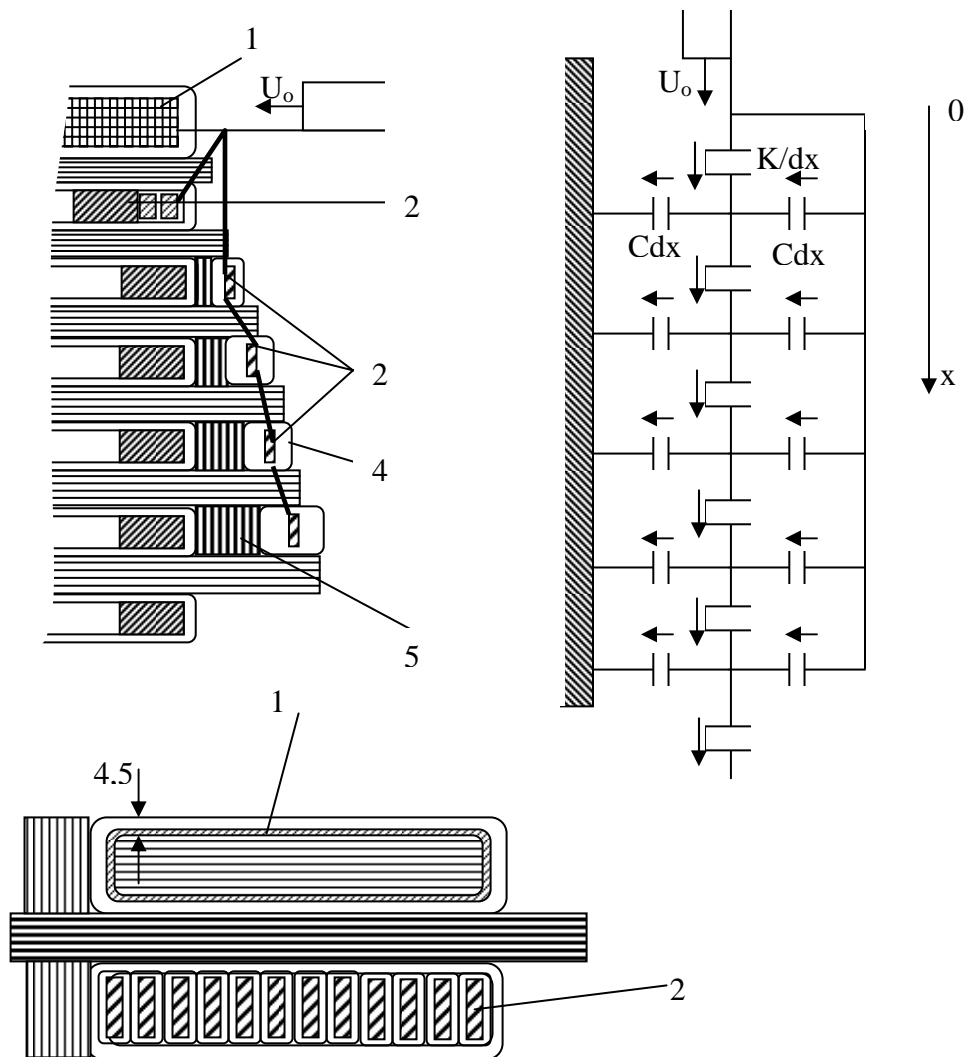
$$2 \cdot k \cdot U_2 \text{ (khi } z \rightarrow \infty, r \ll \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{C}} \text{).}$$

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

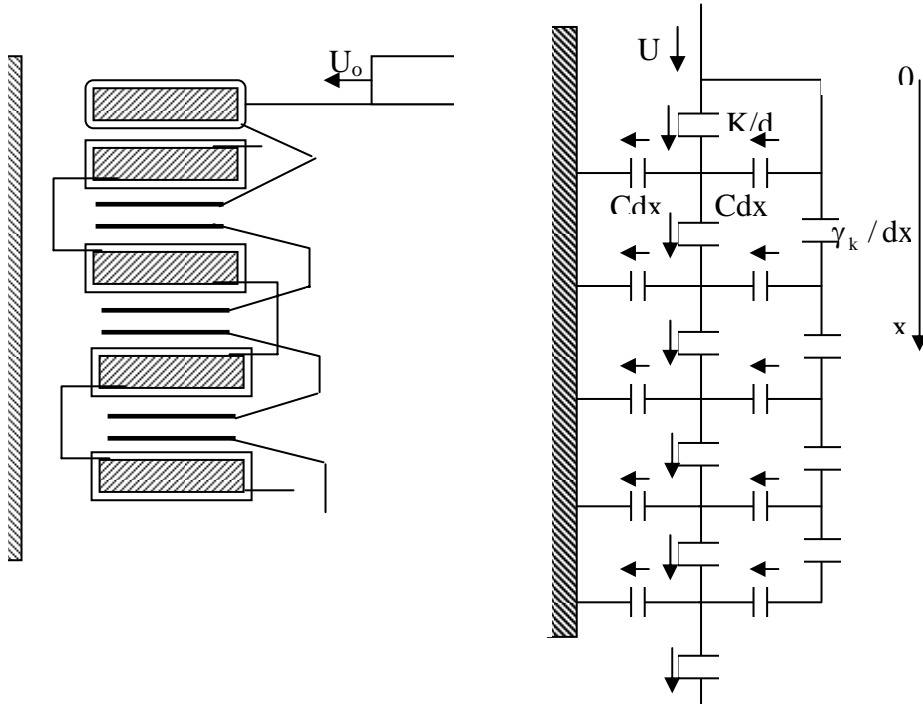
Giả sử đã đạt được sự phân bố điện áp ban đầu đều nhau, tương tự phân bố lúc ổn định đối với cuộn dây máy biến áp có trung tính trực tiếp nối đất, ta có:

$$U_{bd}(x) = U_{\delta d}(x) = U_o \cdot \frac{1-x}{1}$$

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

$$U_k - U_{k-1} = U_{k+1} - U_k = U_0/n$$

Với n là số phần tử của cuộn dây, điện áp tại nút k sẽ là:

$$U_k = U_0 \cdot \frac{n-k}{n}$$

$$\text{Từ đó ta có: } C.U_k = (\gamma_k - \gamma_{k+1}) \cdot U_0/n$$

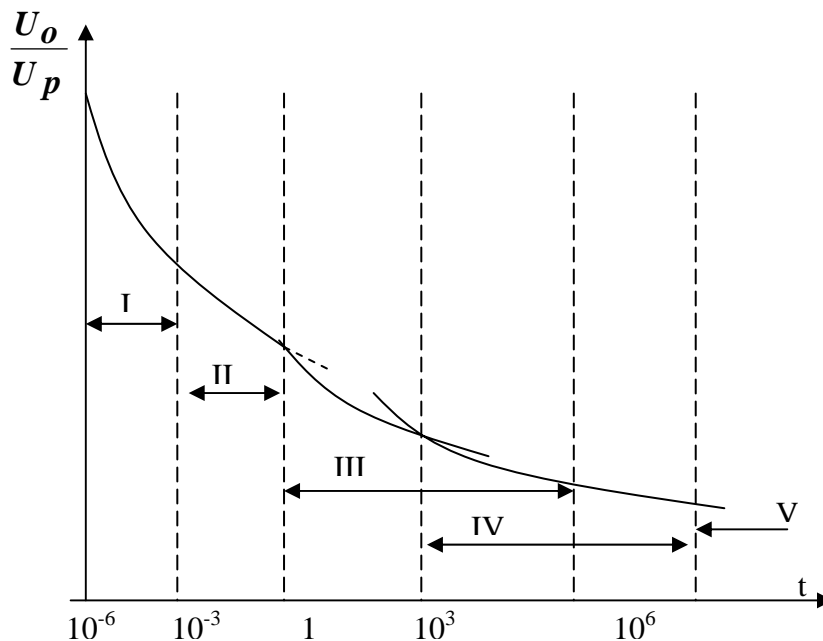
$$\Rightarrow C \cdot \frac{U_0}{n} (n-k) = (\gamma_k - \gamma_{k+1}) \cdot \frac{U_0}{n}$$

$$\text{Như vậy, } \gamma_k - \gamma_{k+1} = (n-k) \cdot C$$

$$\text{Cuối cùng ta có: } \gamma_x = \frac{(l-x)(l-x+1)}{2}$$

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.