

Chương 7. Bảo vệ TBĐTCS

7.1 Phân loại sự cố

7.2. Bảo vệ điện áp

7.3. Bảo vệ dòng điện

7.4. Bảo vệ nhiệt

7.1. Phân loại sự cố

Sự cố do điện áp

Sự cố do dòng điện

Sự cố do nhiệt

Sự cố do các nguyên nhân khác

1. Sự cố do điện áp

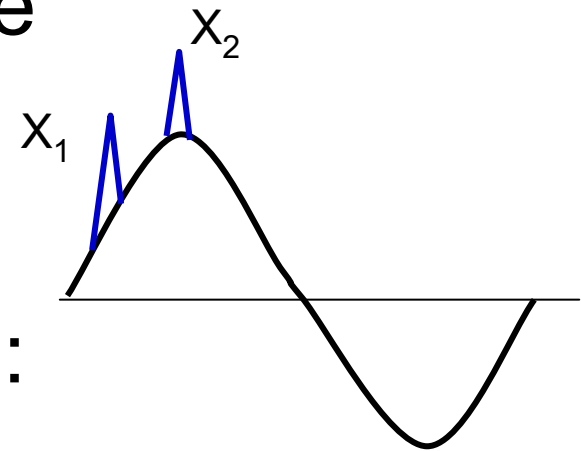
Van bán dẫn sẽ gặp sự cố (bị hư hỏng) khi điện áp vượt quá trị số cho phép đặt lên van.

Điện áp đặt lên van vượt quá trị số cho phép trong các trường hợp sau:

- Xung điện áp từ lưới
- Xung điện áp khi chuyển mạch van
- Quá điện áp dài hạn

Xung điện áp từ lưới

- Trên đường cong điện áp lưới xuất hiện một xung điện áp như hình vẽ
- Đỉnh xung điện áp này lớn hơn điện áp van
- Nguyên nhân xuất hiện xung:
- Sét đánh đường dây
- Trên đường dây có tải điện cảm cắt đột ngột

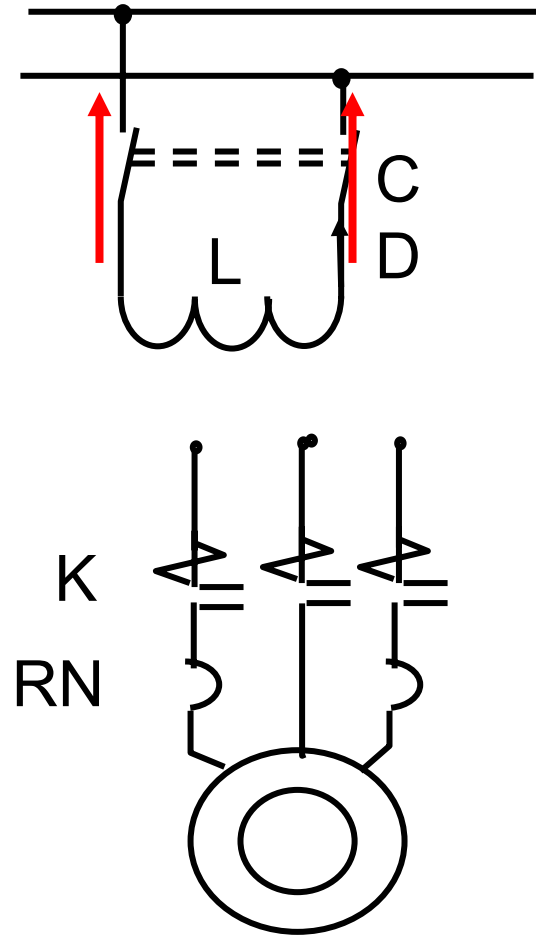


Trên đường dây có tải điện cảm cắt đột ngột

- Khi có dòng điện chạy qua cuộn dây, trong cuộn dây tích lũy một năng lượng

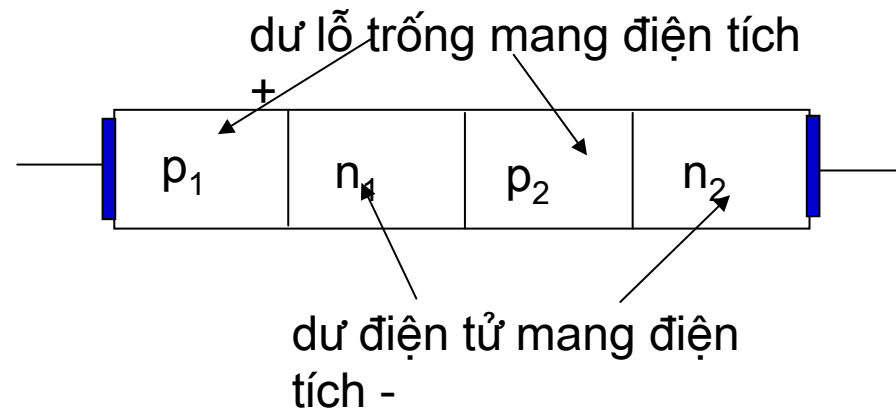
$$W_{đt} = (Li^2)/2$$

- Khi cắt tải đột ngột, năng lượng này đột ngột về 0 để $i = 0$. Nguồn năng lượng trên xả ngược lên đường dây. Năng lượng này đưa một lượng điện tích (điện tử) lớn lên đường dây làm cho xuất hiện xung điện áp tại đúng điểm cắt tải.



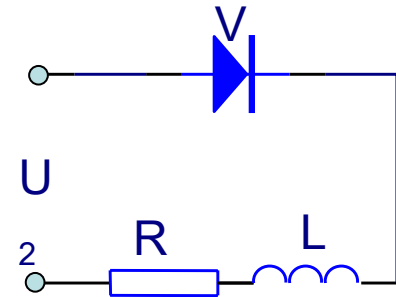
Xung áp do chuyển mạch

- Bản chất vật lí của hiện tượng
- Khi dẫn, trong van bán dẫn có một lượng điện tích lớn từ nguồn đưa tới, làm trung hoà các điện tích dư theo bản chất của chất bán dẫn.
- Khi khoá đột ngột, chất bán dẫn phải trả về trạng thái nguyên gốc.
- Điện tích từ nguồn đưa tới để tạo dòng điện được trả về nguồn.
- Từ trong bán dẫn các điện tích (dương và âm) được đẩy ra ngoài, do đó gây quá điện áp cục bộ xung quanh van



Quá áp dài hạn

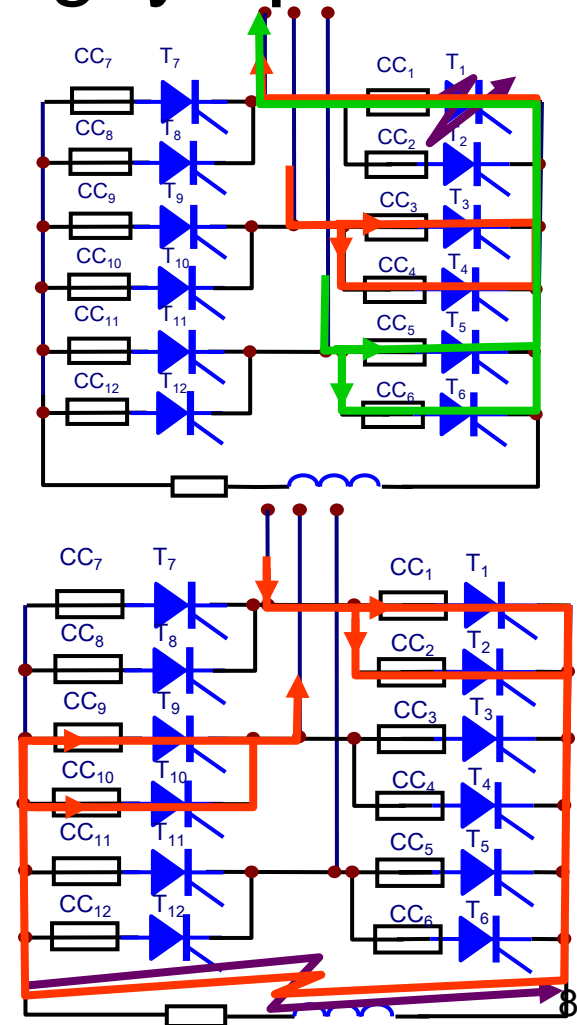
- Điện áp làm việc cực đại đặt lên van lớn hơn điện áp cho phép của van
- Ví dụ: van có thông số điện áp cho phép 300V, được mắc vào lưới điện xoay chiều 220V như hình vẽ. Trong trường hợp này van bị quá điện áp dài hạn, vì điện áp cực đại của nguồn lưới được tính $U_{\max} = \sqrt{2} \cdot 220V = 308V$



- Van trong sơ đồ trên không quá áp khi điện áp cho phép của van $U_{CPV} > k \cdot U_{\max}$

2. Sự cố do dòng điện

- Ba trường hợp điển hình sau gây sự cố cho van do dòng điện:
- Ngắn mạch van
- Ngắn mạch tải
- Quá dòng điện dài hạn



Quá dòng điện dài hạn

- Quá dòng điện dài hạn khi dòng điện làm việc lớn hơn dòng điện van theo điều kiện làm mát
- Ví dụ: thyristor có thông số dòng điện $I_{dm} = 100A$, cho làm việc với dòng điện 30A.
- thyristor sẽ **bị quá dòng** nếu không được mắc cánh tản nhiệt để làm mát, thyristor **không bị quá dòng** nếu có cánh tản nhiệt đủ diện tích bề mặt

3. Sự cố của van do quá nhiệt

- Nguyên nhân:
- Khi làm việc, có dòng điện chạy qua, trên van có tổn hao công suất $\Delta P = R_V \cdot I^2 \cong \Delta U \cdot I$, tổn hao này sinh nhiệt theo phương trình nhiệt:
- $\Delta P = AT + C(dT/dt)$
- Trong đó: ΔP - tổn hao công suất trên van
- A - hệ số toả nhiệt phụ thuộc điều kiện làm mát;
- C - nhiệt dung của van và cánh toả nhiệt phụ thuộc kích thước van;
- T - nhiệt độ của van;
- Nhiệt độ xác lập của van: $T_{XL} = \Delta P/A$ (lớn hay bé phụ thuộc ΔP và hệ số A không được vượt quá giá trị cho phép

7.2. Bảo vệ quá điện áp

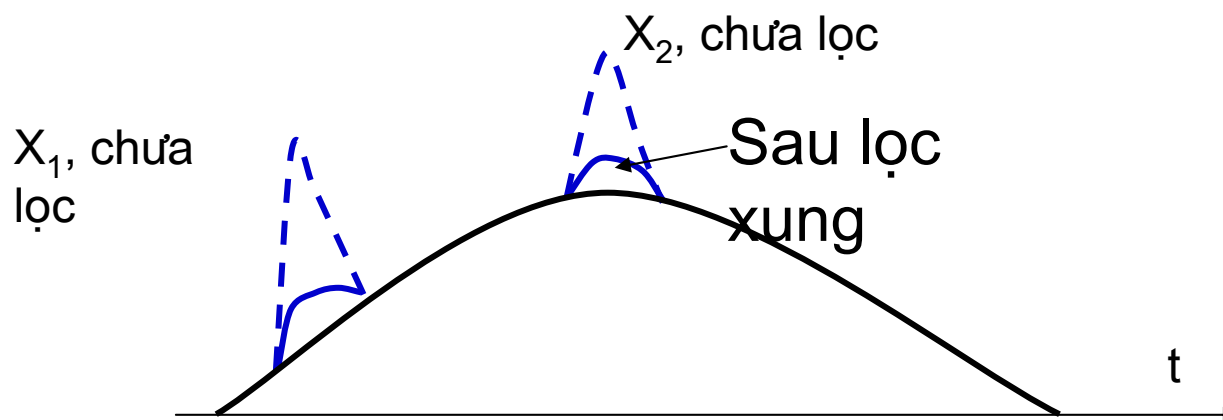
Bảo vệ van khi có xung điện áp từ lưới

Bảo vệ van khi có xung điện áp do chuyển mạch

Bảo vệ van khi quá áp dài hạn

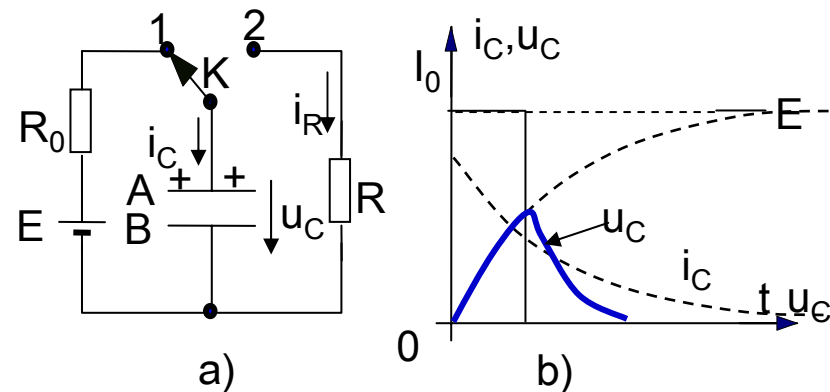
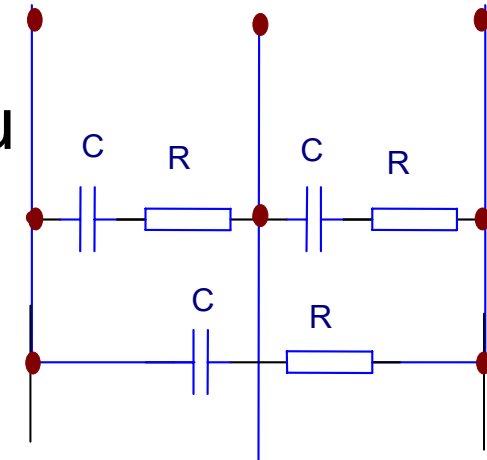
I. Bảo vệ van khi có xung điện áp từ lưới

- 1. ý tưởng bảo vệ: lọc xung điện áp từ lưới
- Nguyên nhân xung điện áp từ lưới như đã giới thiệu ở trên. Để bảo vệ, cần giảm biên độ xung bằng cách lọc xung



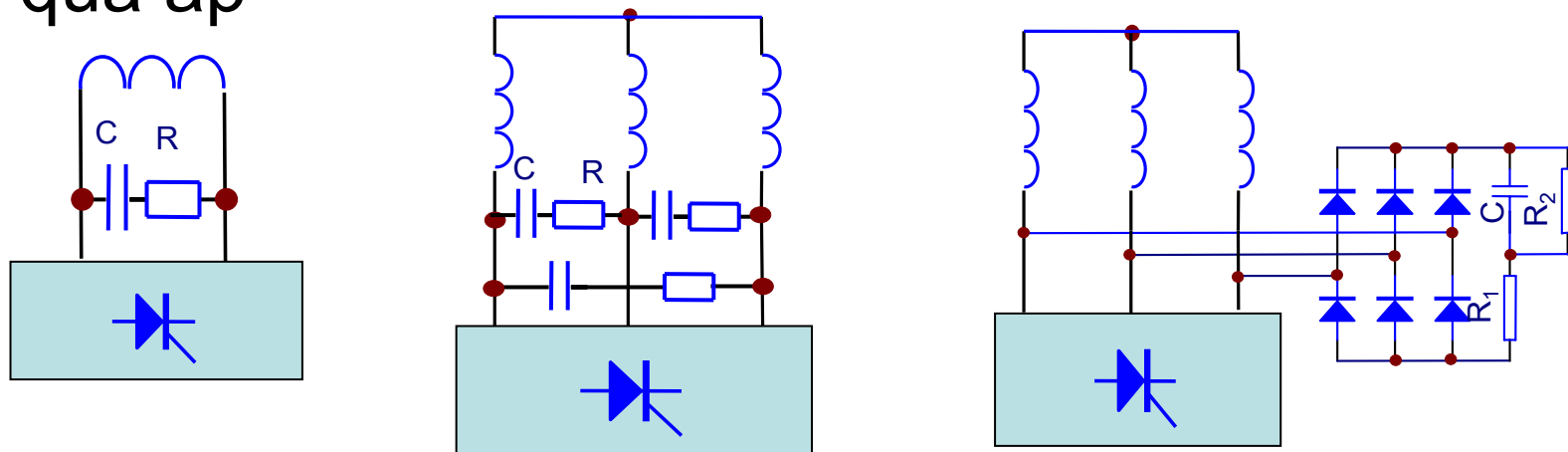
2. Lọc xung bằng mạch RC

- Một mạch RC mắc ở đầu vào như hình vẽ có thể hạn chế được đỉnh xung điện áp
- Bản chất của hiện tượng nạp, xả tụ
- Điện áp tụ nạp biến thiên theo
$$U_C = E(1 - e^{-t/R_0C})$$
- Điện áp tụ xả biến thiên theo
$$U_C = U_{C0} e^{-t/RC}$$



3. Lọc xung phía thứ cấp biến áp

- Mạch RC mắc đầu ra của biến áp được dùng bảo vệ van khi cắt biến áp non tải. Trường hợp xấu nhất xảy ra khi mạch bị ngắt mà dòng kích từ biến áp có giá trị cực đại, năng lượng tích lũy trong cuộn dây biến áp $W_{đt} = (Li^2)/2$ xả ra gây quá áp



Tính toán thông số cho mạch bảo vệ

- Giả thiết năng lượng điện từ của cuộn dây được cấp đầy đủ cho mạch tụ bảo vệ, bây giờ $W_{đt} = (L_{2BA} i^2)/2 = (CU_{max}^2)/2$
- Trong thực tế tụ nhận một nửa năng lượng của cuộn dây biến áp là lớn rồi nên $(CU_{max}^2) = (L_{2BA} I_{0m}^2)/2$ Sau khi biến đổi biểu thức trên ta có:
$$C = \frac{S_{BA} I_0 10^7}{2\pi f U_{max}^2}$$
- Trong đó: S_{BA} - công suất biểu kiến biến áp [kVA]; I_0 - dòng điện không tải % của biến áp; U_{max} - điện áp cực đại; C- điện dung [μ F]
-

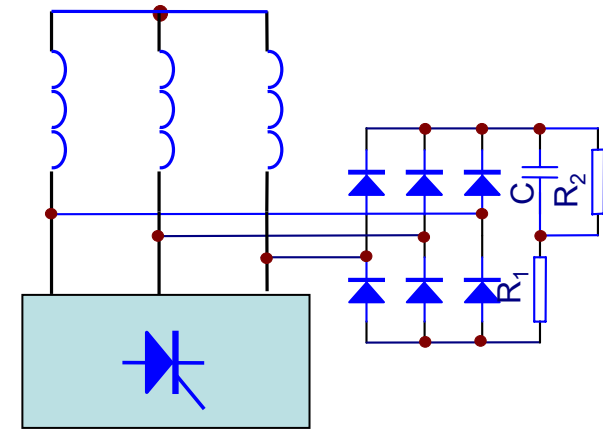
Điện trở được tính: $R \geq 2\sqrt{\frac{L_{BA}}{C}}$

- Trong đó: $L_{BA} = 10u_{nm} \cdot U/2fS_{BA}$
- u_{nm} - điện áp ngắn mạch phần trăm của BA [%]; U - điện áp hiệu dụng thứ cấp BA.
- Trong mạch ba pha $R \geq 2\sqrt{\frac{3L_{BA}}{C}}$
- Công suất các điện trở được tính:
- $P = 3(U \cdot 2\pi f C)^2 R \cdot 10^{12}$ [W]
- Cho mạch ba pha: $P = 5(U \cdot 2\pi f C)^2 R \cdot 10^{12}$ [W]
- Các hệ số 3, 5 trong các công thức cuối là xét tới sự biến dạng của điện áp tải

Thông số của mạch bảo vệ có chỉnh lưu cầu

- Tụ được tính: $C = \frac{1,5S_{BA} I_0 10^7}{2\pi f (U_{\max}^2 - U_{d\max})}$
- Điện trở được tính:

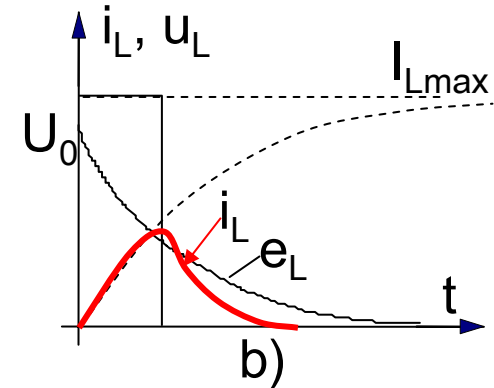
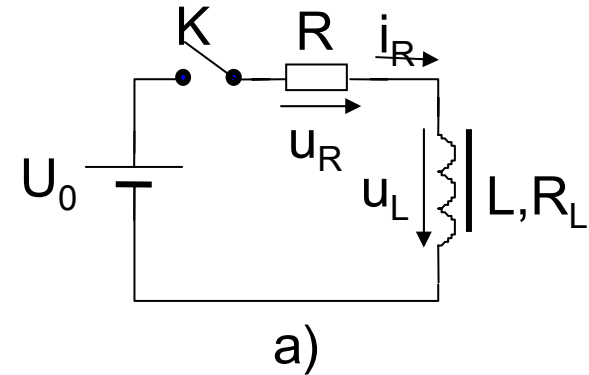
$$R_1 = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{L_{BA}}{C}}, \text{ chobapha: } R_1 = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{3L_{BA}}{C}}$$



- Điện trở xả năng lượng của tụ:
- $R_2 = 5 \cdot 10^3 / (fC) \text{ [k}\Omega\text{]}$

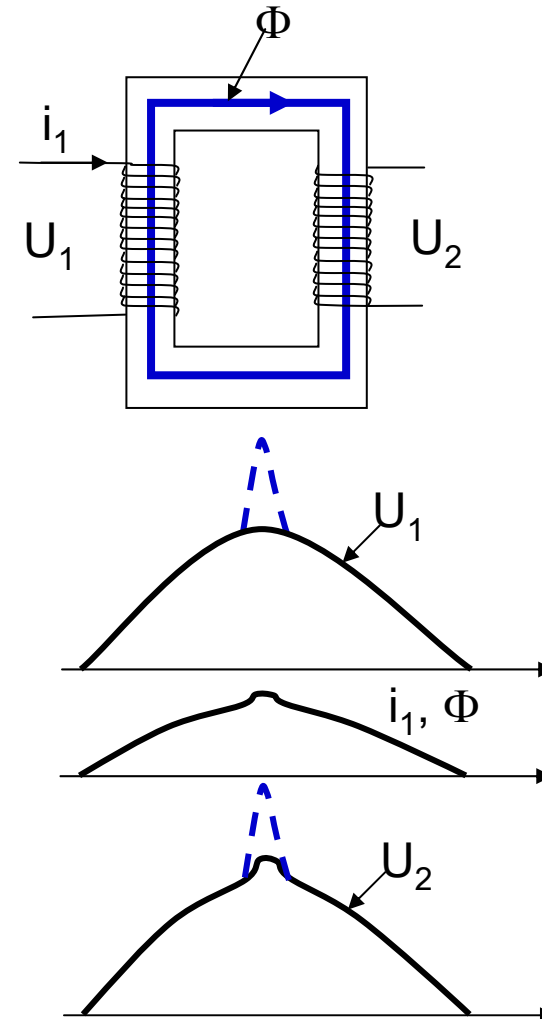
4. Lọc xung điện áp bằng biến áp cách li

- Xét phản ứng của cuộn dây điện cảm
- Khi có một xung điện áp đưa tới cuộn dây có điện cảm L , dòng điện của cuộn dây biến thiên như hình vẽ. Sự biến thiên dòng điện như trên thấy rằng xung dòng điện có biên độ thấp hơn so với xung áp.



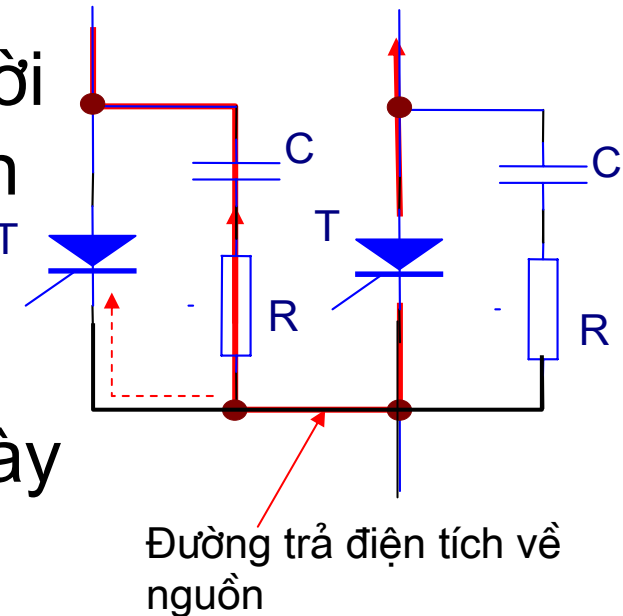
Bản chất của biến áp

- Việc hình thành điện áp ở thứ cấp biến áp là do sự biến thiên từ thông trong lõi thép, sự biến thiên từ thông này là do dòng điện sơ cấp biến thiên.
- Từ trên thấy rằng, dòng điện đã lọc được thành phần xung điện áp, do đó thứ cấp biến áp được lọc xung



II. Bảo vệ van do xung điện áp do chuyển mạch

- Từ bản chất của hiện tượng chuyển mạch đã nêu trên, người ta phải tạo một mạch ngoài van bán dẫn cho các điện tích quá độ chạy
- Bảo vệ van trong trường hợp này người ta dùng mạch RC mắc song song với van như hình vẽ
- Khi đó các điện tích chạy ở mạch RC ngoài van bán dẫn, làm giảm xung điện áp trên pn của van.



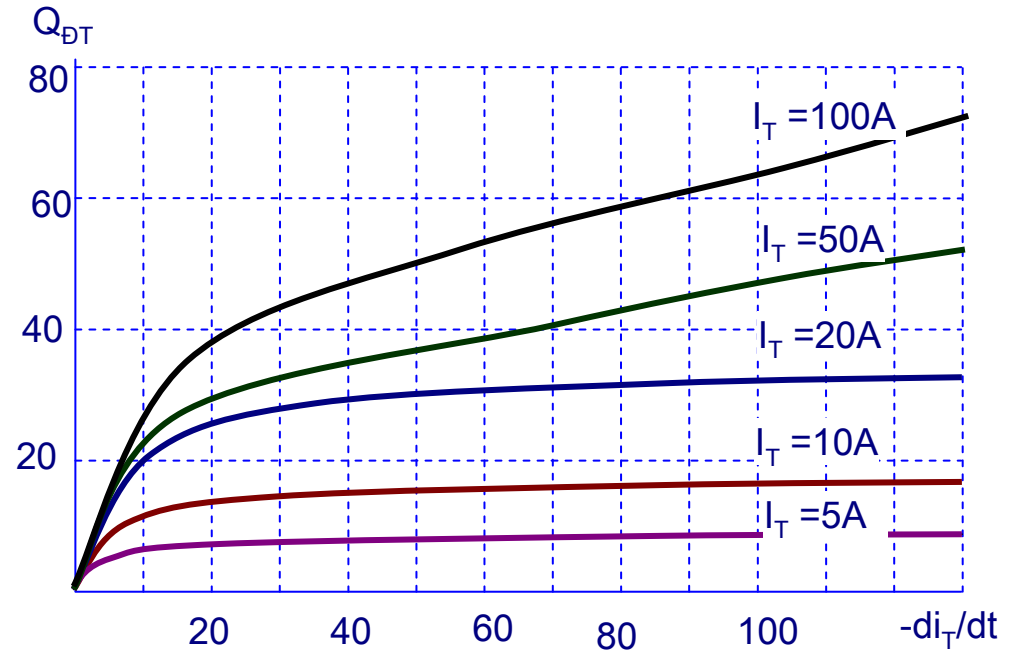
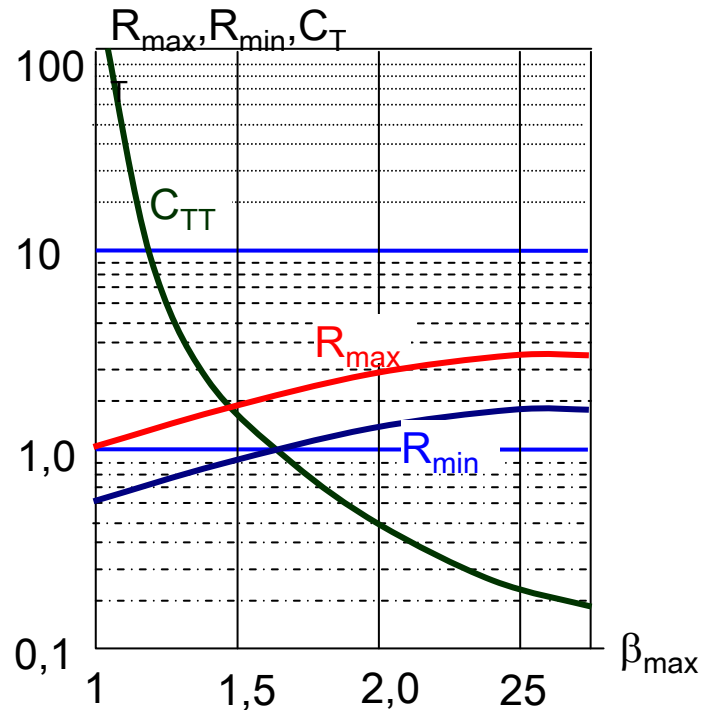
Tính toán thông số mạch bảo vệ

- Quá điện áp có thể được đánh giá qua hệ số quá áp

$$\beta = \frac{U_{Nmax}}{k_{AT} U_{CM}}$$

- Trong đó: U_{Nmax} - điện áp ngược cực đại; k_{AT} - hệ số an toàn; U_{CM} - điện áp chuyển mạch
- Hệ số quá áp cực đại có thể lựa chọn theo biểu thức: $\beta_{max} = 1/k_{AT} + 0,5$
- Các giá trị điện trở R và tụ C được tính theo các giá trị điện trở (R_{max} , R_{min}) và tụ C_{TT} theo hàm β_{max} . Đặc tính này được vẽ dưới dạng tương đối trên hình vẽ

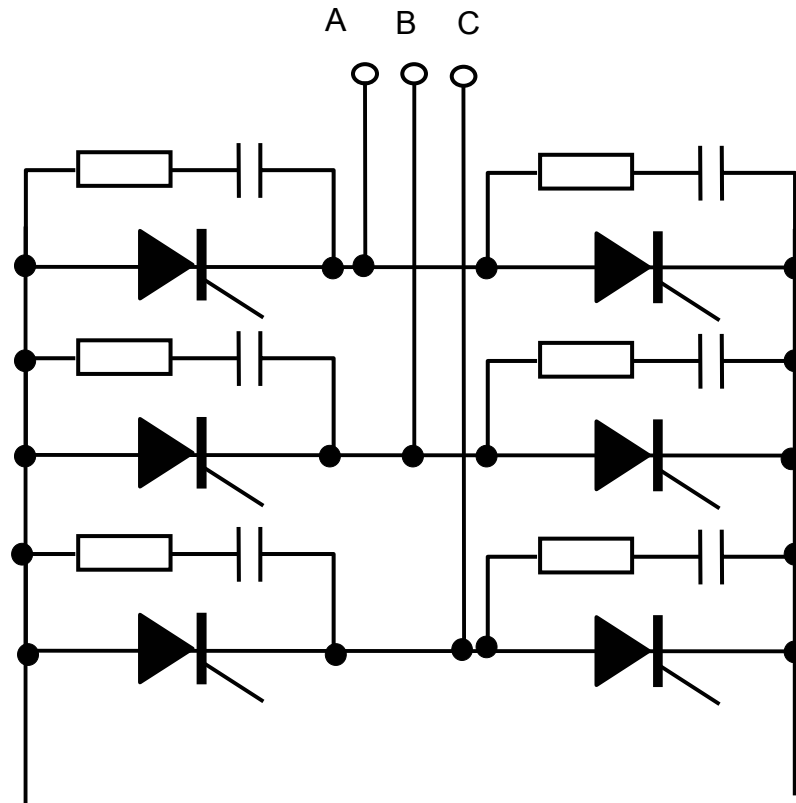
Các đường cong tính toán



- Các giá trị thực của van bán dẫn được tính từ các biểu thức:

$$C = C_{T\text{S}} \frac{2 \cdot Q_{\text{S}T}}{U_{\text{CM}}} ; R = R_{T\text{S}} \sqrt{\frac{U_{\text{CM}} \cdot L_{\text{CM}}}{2Q_{\text{S}T}}}$$
- Trong đó: U_{CM} - điện áp chuyển mạch, L_{CM} - điện kháng chuyển mạch; $Q_{\text{ĐT}}$ - điện tích quá độ; $R_{\text{TĐ}}$, $C_{\text{TĐ}}$ - các giá trị tương đối tra từ hình vẽ

Sơ đồ ví dụ

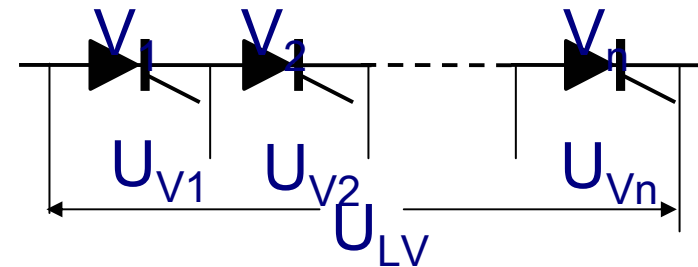


III. Bảo vệ van khi quá áp dài hạn

- 1. Mắc nối tiếp các van

- Van bán dẫn bị quá điện áp khi $U_{CPV} < k \cdot U_{max}$
- Trong trường hợp này van bán dẫn được mắc nối tiếp để giảm điện áp trên van, khi đó điện áp làm việc bằng tổng điện áp trên các van

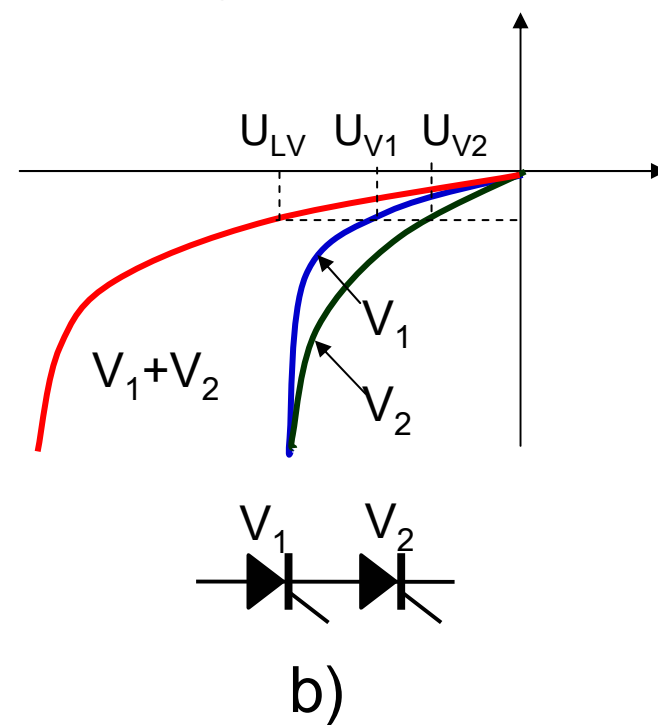
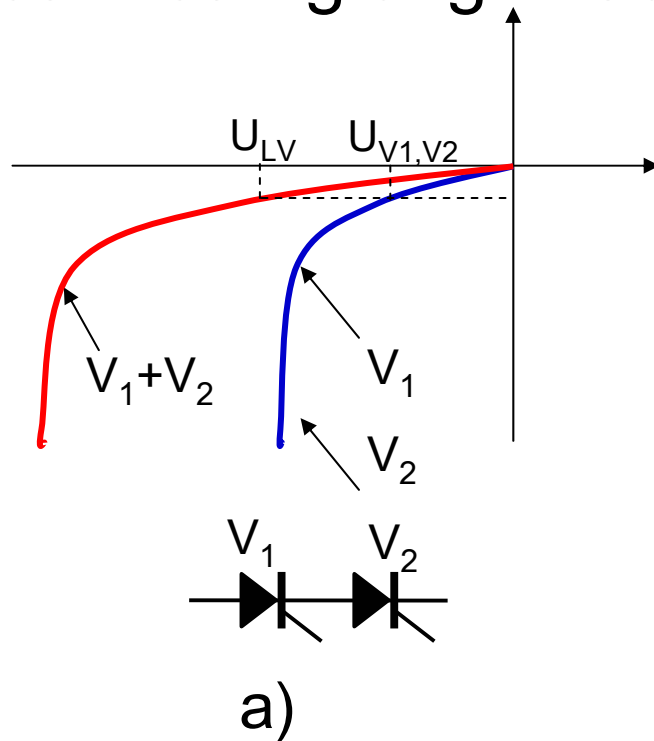
- $U_{LV} = U_{V1} + U_{V2} + \dots + U_{Vn}$



- Mong muốn khi mắc nối tiếp đặc tính của các van mắc nối tiếp có đặc tính hoàn toàn giống nhau
- Khi mắc nối tiếp, các van được chọn cùng thông số, của cùng một nhà chế tạo, cùng thời điểm xuất xưởng.

2. Đặc tính của van khi mắc nối tiếp

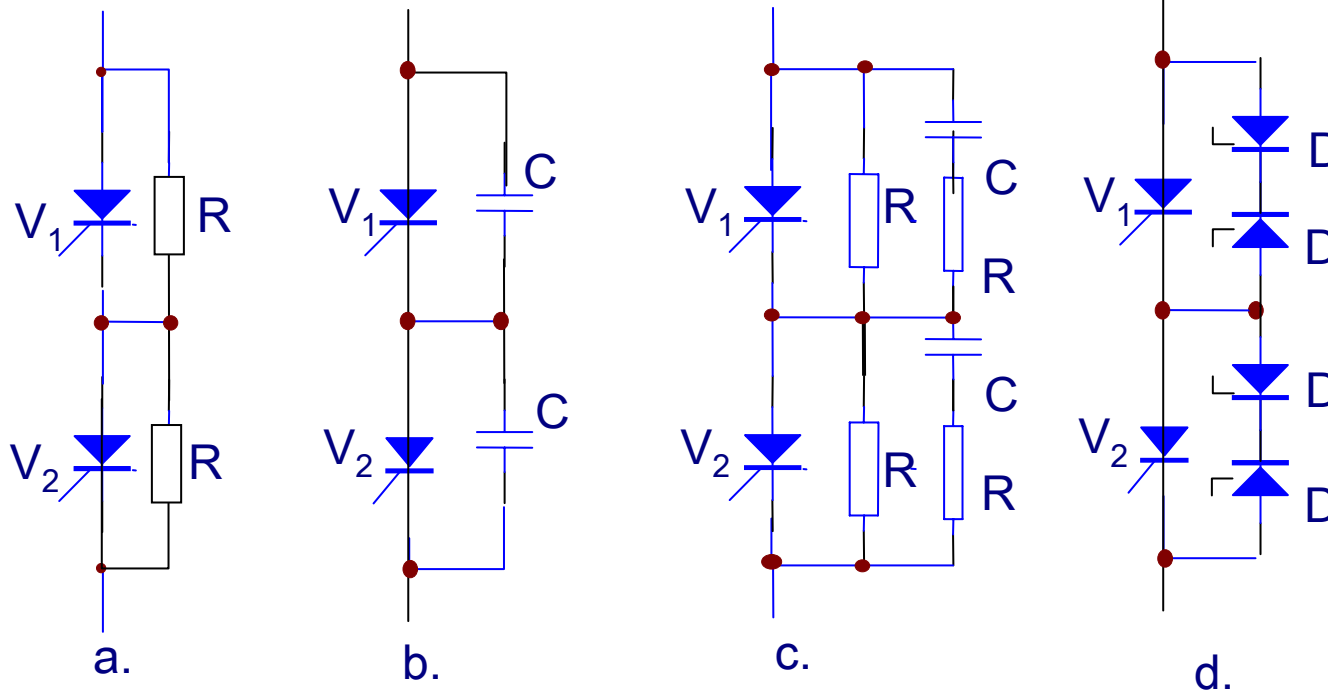
- Giả thiết có hai van mắc nối tiếp. Khi đó đặc tính của van sẽ bằng tổng hai đặc tính hoàn toàn giống nhau như hình a hay các đặc tính không hoàn toàn giống nhau như hình b

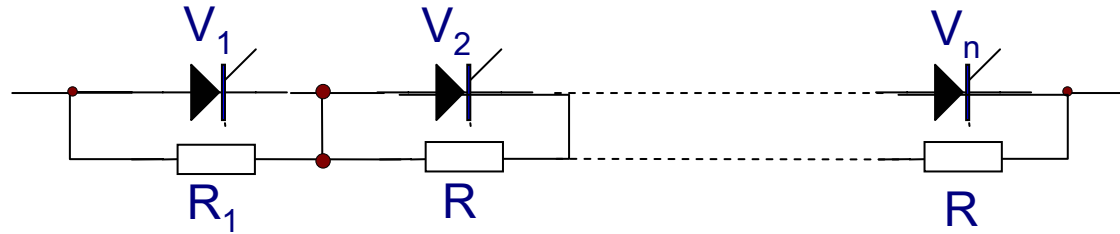


- Khi đặc tính giống nhau như hình a, điện áp trên các van được phân bố bằng nhau, được như thế này là rất lí tưởng.
- Tuy nhiên, trong thực tế đặc tính của các van bán dẫn thay đổi. Sự thay đổi điển hình là dòng điện rò tăng lên không giống nhau, đường đặc tính có độ dốc khác nhau.
- Khi đặc tính của van khác nhau, điện áp trên van phân bố khác nhau
- Nhiệm vụ bây giờ là phải phân bố lại điện áp cho các van bán dẫn

3. Phân bố lại điện áp trên các van bán dẫn

- Người ta có thể có một số cách phân bố lại điện áp trên van:





- Trong các sơ đồ trên, phân bố điệnⁿ áp bằng điện trở như hình a là thường được sử dụng nhất
- Nguyên lí phân bố điện áp: $\frac{R_1 \cdot R_{V1}}{R_1 + R_{V1}} = \frac{R_2 \cdot R_{V2}}{R_2 + R_{V2}} = \dots = \frac{R_n \cdot R_{Vn}}{R_n + R_{Vn}}$
- Tuy nhiên, các giá trị điện trở van thay đổi làm cho các đẳng thức trên không giữ được, do đó người ta thường chọn các giá trị điện trở bằng nhau. Các điện trở này thường chọn $R > (5 \div 10)(U_N / I_{r0})$

7.3 Bảo vệ dòng điện

Mắc song song các van bán dẫn

Bảo vệ ngắn mạch van

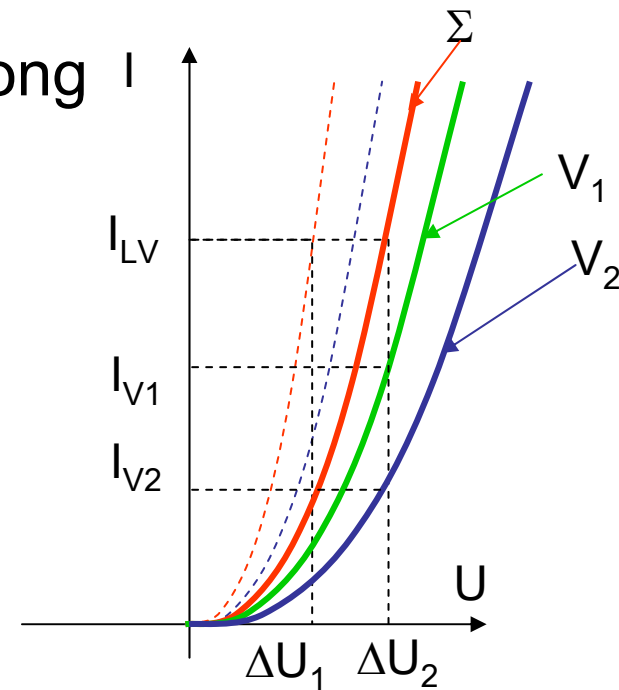
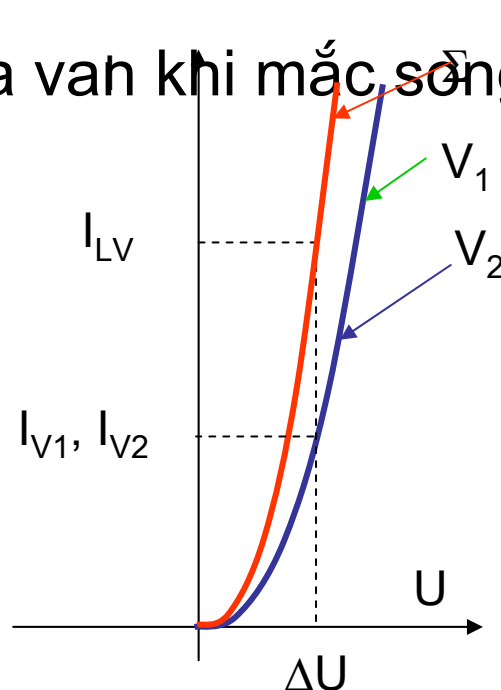
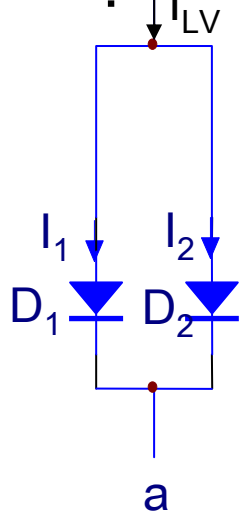
Bảo vệ ngắn mạch đầu ra

I. Mắc song song các van bán dẫn

1. Yêu cầu mắc song song

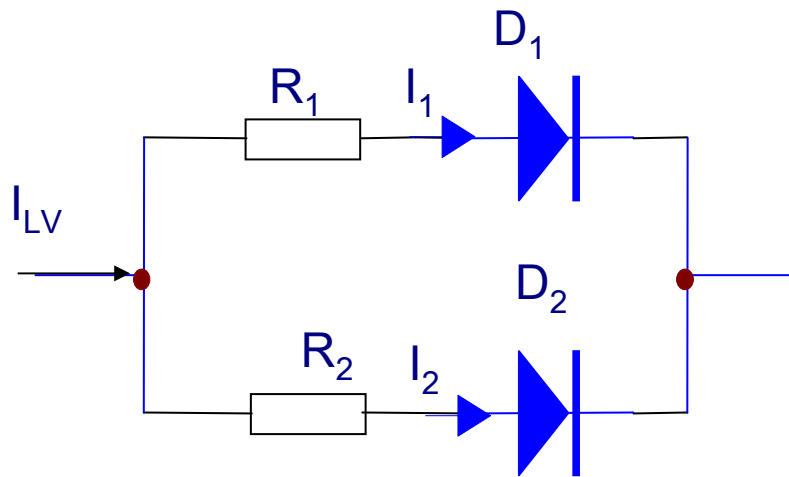
- Trong trường hợp dòng điện làm việc quá lớn (so với dòng cho phép làm việc khi có xét tới điều kiện toả nhiệt), người ta phải tiến hành mắc song song các van bán dẫn

- Đặc tính của van khi mắc song song



2. Các sơ đồ mắc song song các van

- Để giảm sự phân bố không đều trên, người ta có thể mắc **nối tiếp với các van các điện trở**. Việc sử dụng điện trở chỉ có ý nghĩa, khi điện áp rơi trên điện trở là không đáng kể, nếu điện áp rơi trên điện trở lớn, tổn hao công suất lớn, làm cho hiệu suất của chỉnh lưu thấp.



$$I_V = \frac{\Delta U}{R_f + R_{VT}}$$

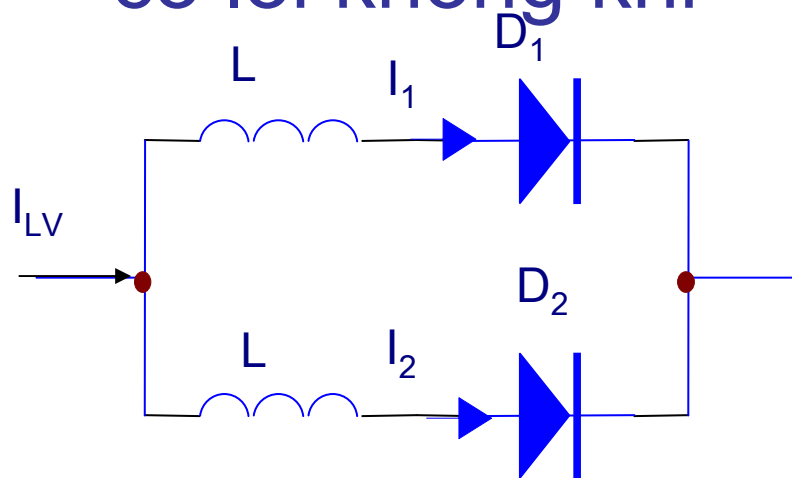
Trong đó: I_V - dòng điện chạy qua van

ΔU - tổn hao điện áp trên hai mạch nhánh song song

R_f - điện trở mắc nối tiếp với van

R_{VT} - điện trở thuận của van khi dẫn

- Để khắc phục nhược điểm này có thể thay thế điện trở bằng các cuộn dây điện cảm. Thường các cuộn cảm này được chế tạo có lõi không khí



Giá trị cực tiểu của điện cảm được tính

$$L_{\min} = \frac{U_{\text{NGM}}}{\left(\frac{di_T}{dt}\right)_{\max}} - L_K$$

Trong đó: $(di_T/dt)_{\max}$ - độ tăng dòng điện tới hạn của thyristor

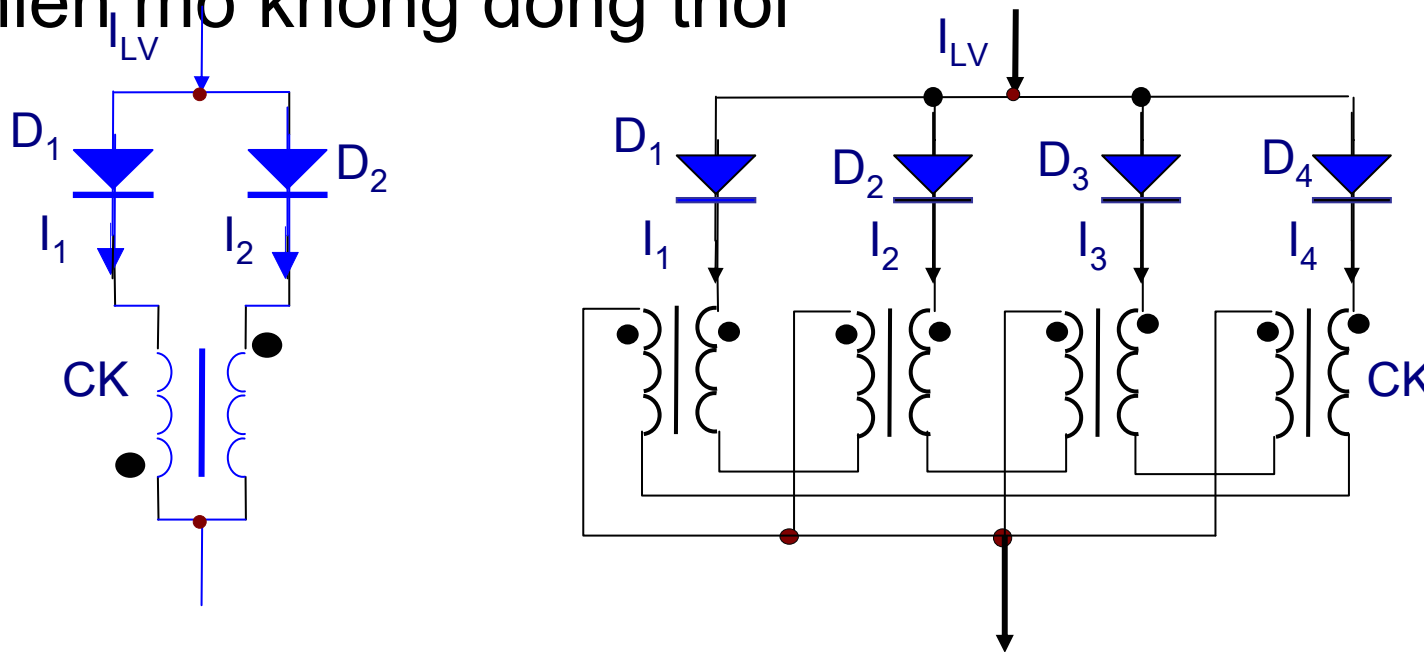
L_K - điện cảm của mạch dòng điện

U_{NGM} điện áp trên thyristor trước khi mở

Nguyên nhân của việc chế tạo điện cảm lõi không khí

- Nếu dùng cuộn kháng có lõi, khi các thrysistor làm việc song song cuộn kháng mắc với các tiristir sẽ bão hoá trước. Khi cuộn kháng bắt đầu bão hoà điện áp trên nhánh song song bắt đầu giảm, làm chậm lại hay cản trở sự bão hoà của các cuộn kháng khác. Điều này có thể làm cho các van lại mất cân bằng dòng điện hơn.

- ở sơ đồ dưới, cân bằng dòng điện các van được thực hiện tốt hơn khi cuộn kháng được chế tạo có lõi thép, tương hỗ với các cuộn dây mắc ngược đầu nhau. Sơ đồ này còn đặc biệt có ý nghĩa, khi sử dụng cho trường hợp các van điều khiển mở không đồng thời



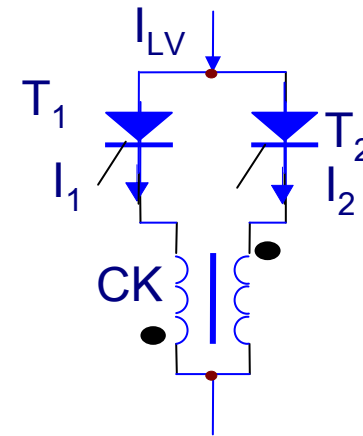
- Xét trường hợp hai van mắc song song (hai thyristor)
- Ví dụ T_1 dẫn, xung dòng điện di_{T1}/dt sinh ra trong cuộn dây một sức điện động cảm ứng $-L di_{T1}/dt$, xung áp này làm giảm áp trên T_1 và tăng áp trên T_2 , nó làm chậm quá trình mở T_1 và làm nhanh quá trình mở T_2

$$2L \frac{di_{T1}}{dt} = \Delta U_1 + U_{Dmin}$$

- Có thể lập được phương trình

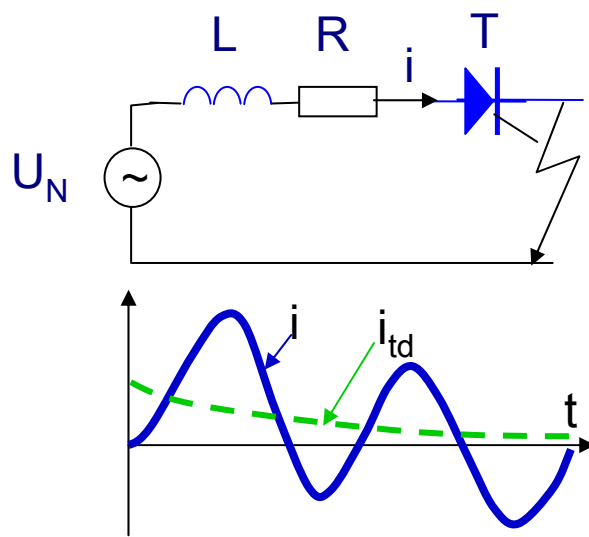
$$L = \frac{\Delta U_1 + U_{Dmin}}{2 \cdot \frac{di_{T1}}{dt}}$$

- Điện cảm cuộn kháng được tính

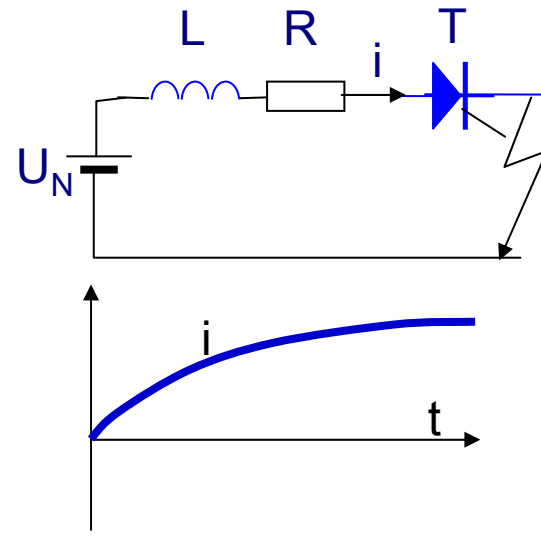


II. Đặc tính ngắn mạch

- Sự cố ngắn mạch xảy ra thường làm ngắn mạch nguồn như ví dụ hình dưới

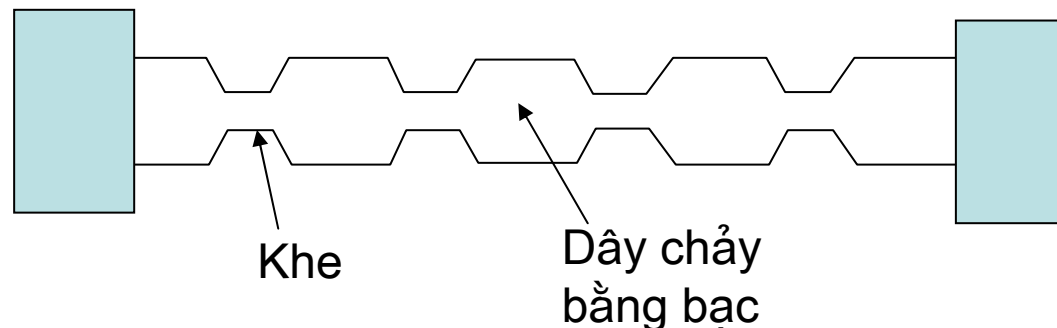


$$i = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi) + I e^{-\frac{t}{T_{dt}}}$$



$$i = I_{bd} e^{-\frac{t}{T_{dt}}} + I_{XL} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{dt}}} \right)$$

- ở mạch điện xoay chiều, dòng điện cực đại đạt sau 1/4 chu kỳ điện áp, do đó thiết bị bảo vệ phải cắt nhanh. Vì vậy cầu chì cần có đặc điểm:
- Chịu được dòng điện định mức của thiết bị
- Nhiệt dung chịu đựng của cầu chì cần nhỏ hơn nhiệt dung chịu đựng của thiết bị $[(I^2t)_{CC} < (I^2t)_{TB}]$
- Điện áp hồ quang của cầu chì phải lớn để giảm nhanh dòng điện
- Khi cầu chì đứt, điện áp phục hồi phải đủ lớn để không làm hồ quang cháy lại.
- Để làm được việc đó dây chì thường có dạng:



III. Bảo vệ ngăn mạch van

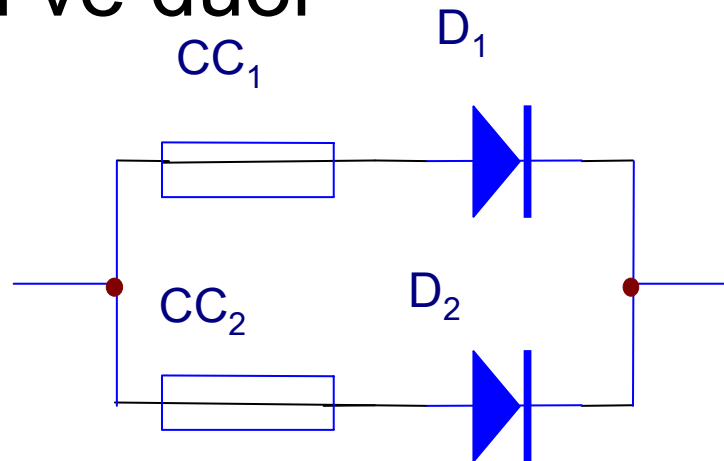
1. Sự cố ngăn mạch van

Sự cố này xuất hiện khi:

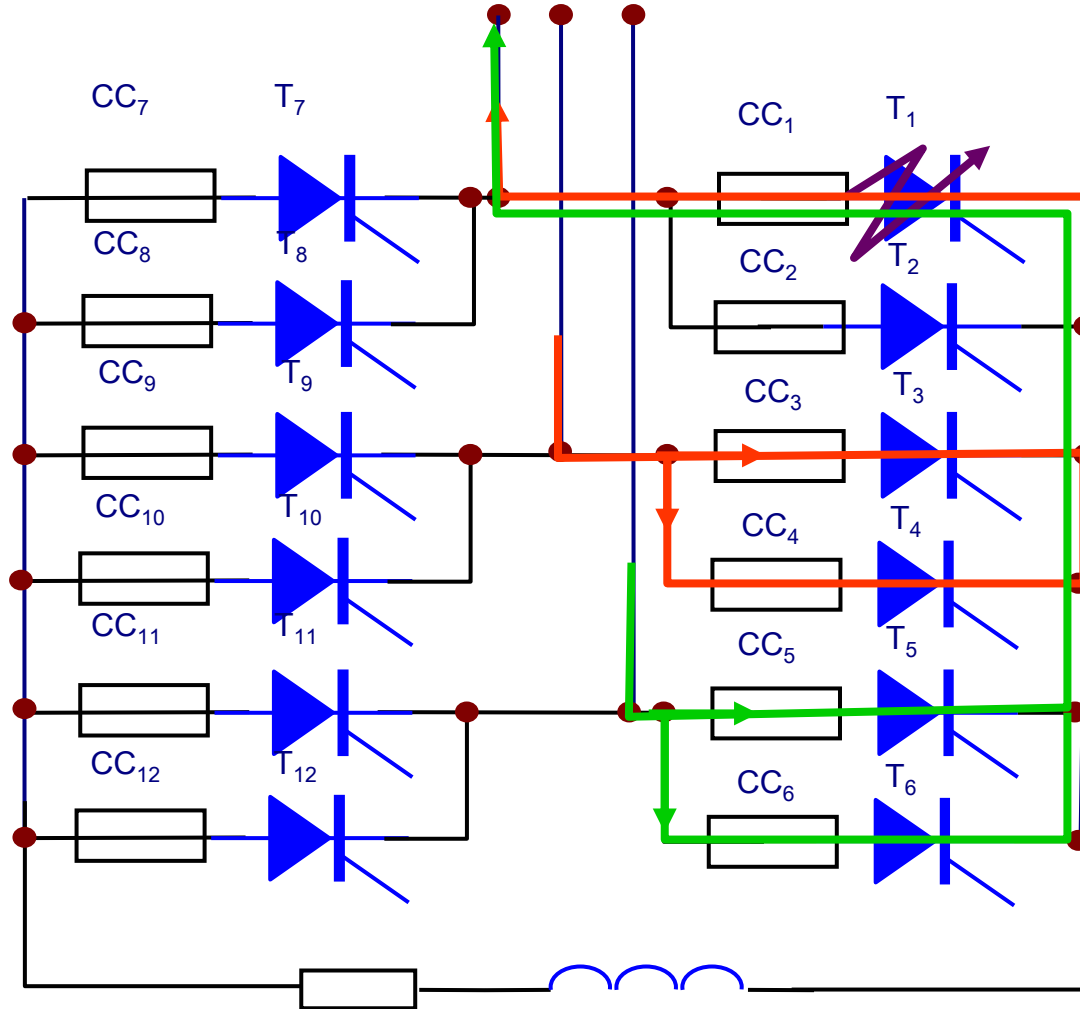
- Van bị quá nhiệt
- Van bị quá điện áp
- Van bị quá dòng
- Van bị chọc thủng do dU/dt , di/dt .

2. Bảo vệ khi van bị ngắn mạch

- Đề phòng để van không bị ngắn mạch:
- Không để xuất hiện các nguyên nhân gây ngắn mạch ở trên
- Nếu đã bị ngắn mạch, mắc thiết bị bảo vệ theo hình vẽ dưới

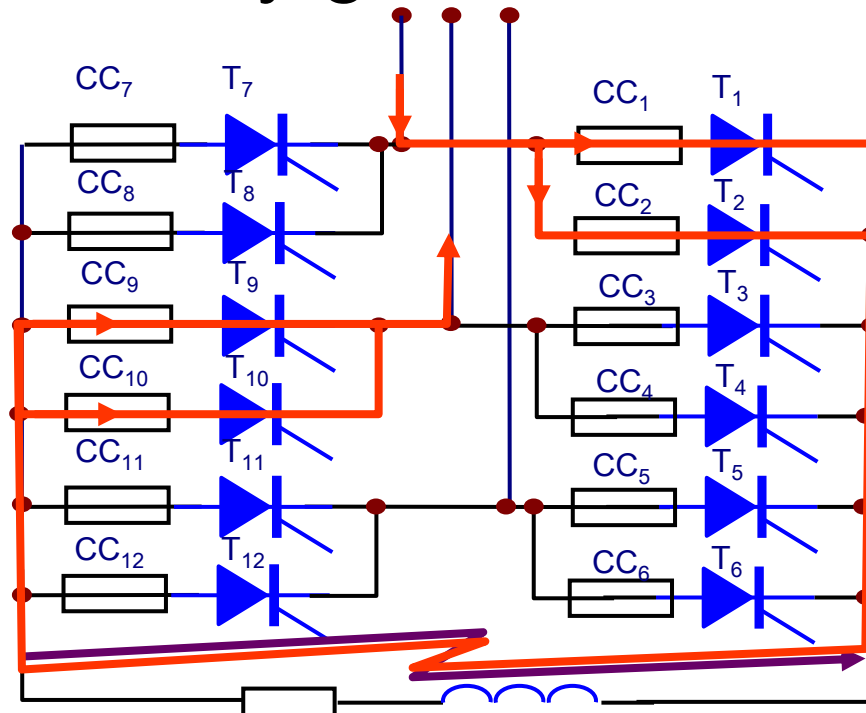


Ví dụ

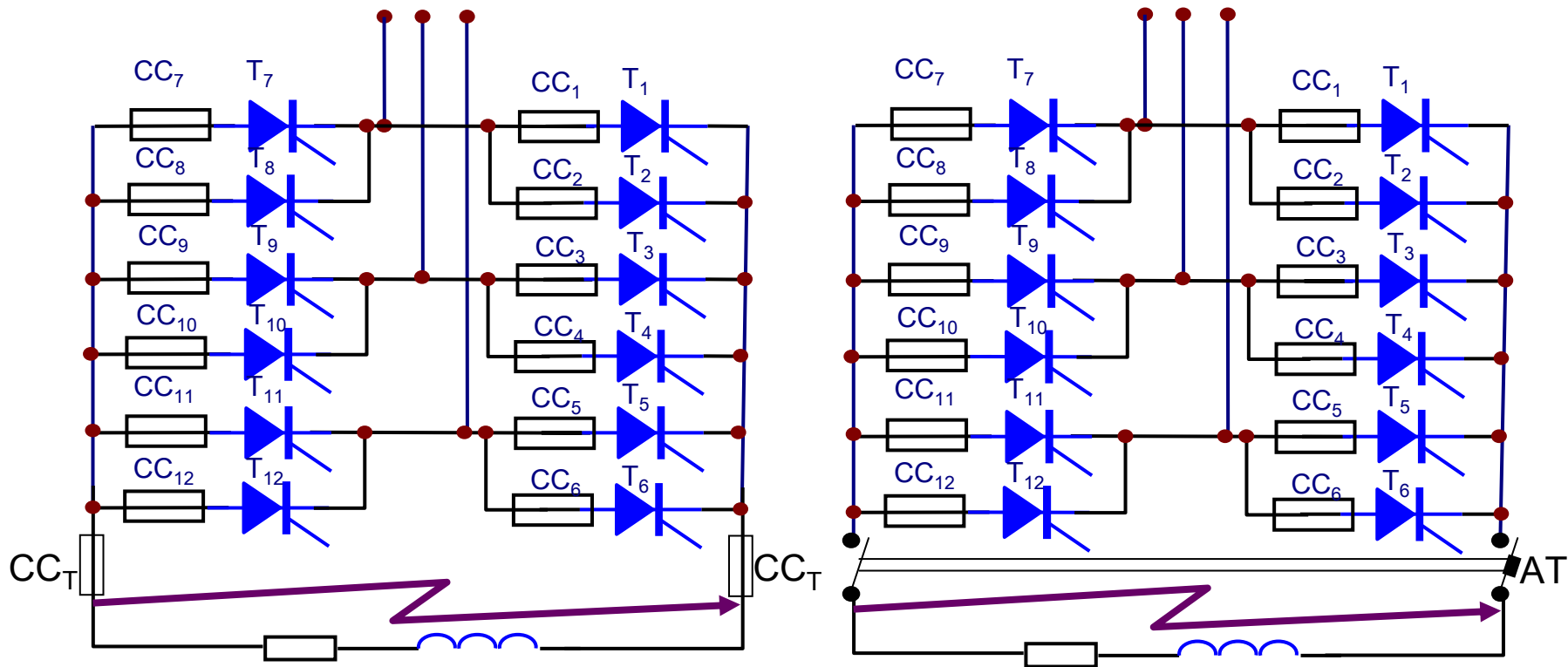


IV. Bảo vệ ngắn mạch tải

- Sự cố ngắn mạch tải sẽ gặp khi đầu ra tơa tải bị nối ngắn mạch. Khi đó có dòng điện ngắn mạch chạy giữa các nhóm van.



- Bảo vệ ngắn mạch tải bằng cách mắc cầu chì hay aptomat ở đầu ra tải



7.4 Tổn hao công suất và làm mát van

Tổn hao ở chế độ tĩnh

Tổn hao chuyển mạch

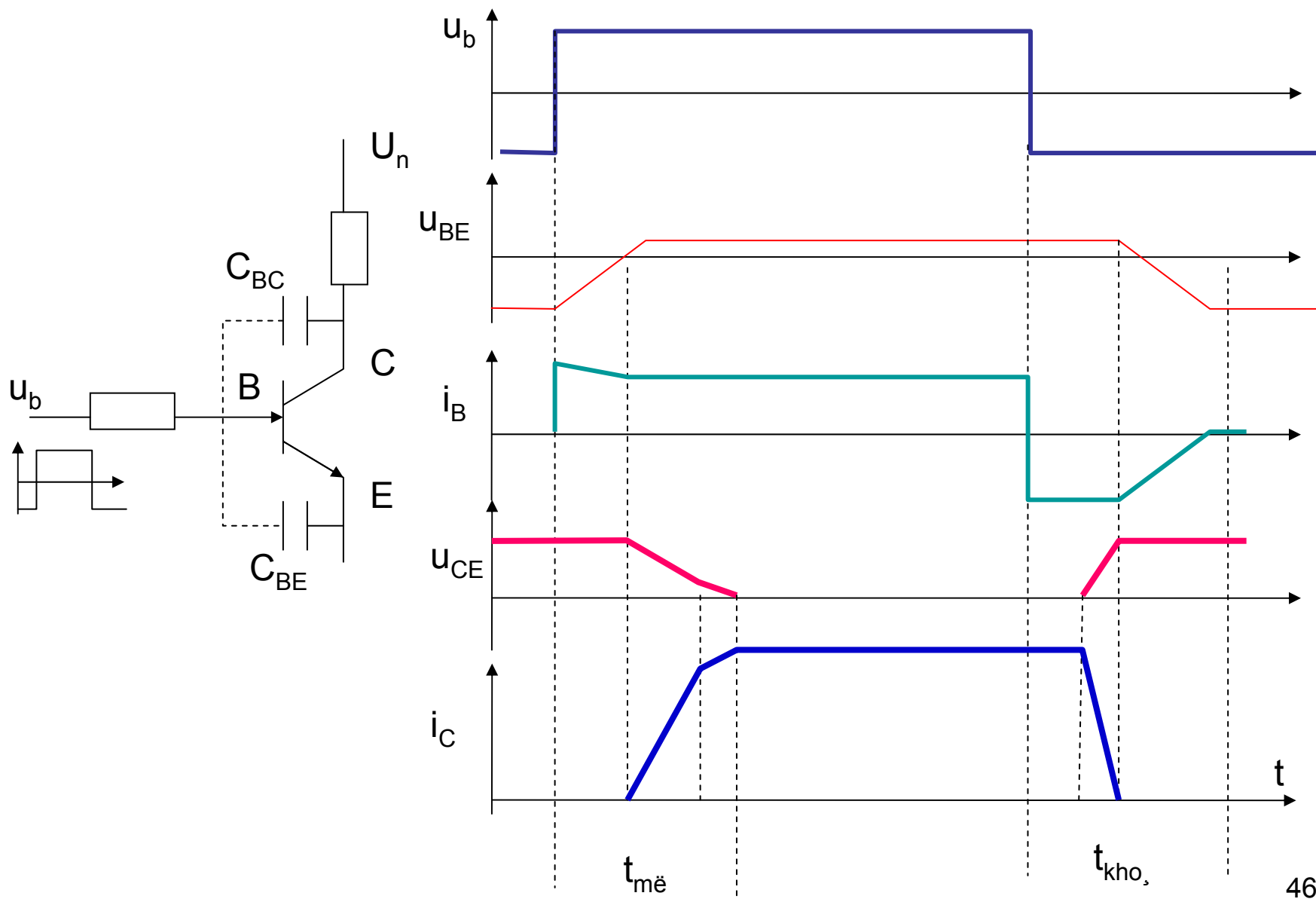
Bảo vệ nhiệt

I. Tổn hao ở chế độ tĩnh

- Khi van bán dẫn làm việc, trên nó tồn tại một tổn hao công suất:
- $\Delta P_T = \Delta U_T \cdot I_T + U_N \cdot I_{rò}$
- Trong đó: ΔU_T - sụt áp thuận trên van khoảng một vài vôn.
- I_T - dòng điện thuận khi van dẫn
- U_N - điện áp ngược đặt lên van,
- $I_{rò}$ - dòng điện rò chạy ngược van bán dẫn thường rất nhỏ hay bỏ qua.

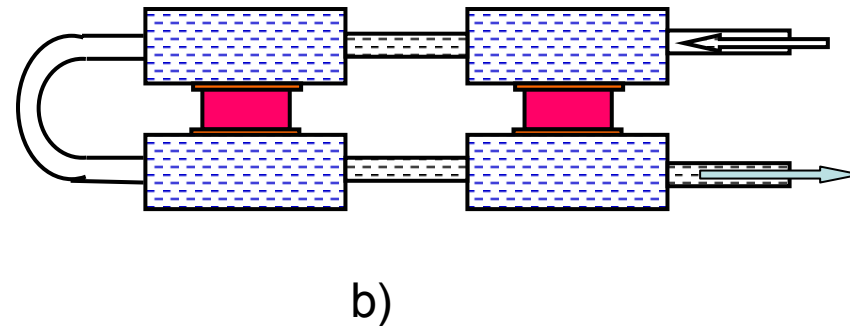
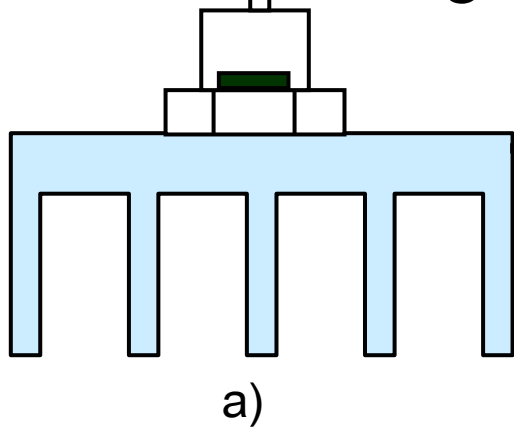
II. Tổn hao chuyển mạch

- Tổn hao CM có thể bỏ qua nếu tần số làm việc thấp. Tuy nhiên, ở tần số cao tổn hao này đáng kể không thể bỏ qua được.
- **1. Tổn hao do thời gian mở và khoá van.**
- Khi mở và khoá van dòng điện và điện áp trên van thay đổi dưới dạng ví dụ (hình trang sau)
- Năng lượng tổn hao trên van khi mở: $W_{\text{mở}} = 0,5 \cdot U_{\text{CE}} \cdot I_{\text{C}} \cdot t_{\text{mở}}$
- Năng lượng tổn hao trên van khi khoá: $W_{\text{khoá}} = 0,5 \cdot U_{\text{CE}} \cdot I_{\text{C}} \cdot t_{\text{khoá}}$
- Tổng tổn hao năng lượng khi chuyển mạch là $W_{\text{mở}} + W_{\text{khoá}}$
- Công suất tổn hao chuyển mạch được tính
- $P_{\text{CM}} = (W_{\text{mở}} + W_{\text{khoá}}) / T = (W_{\text{mở}} + W_{\text{khoá}}) \cdot f$
- Trong đó $f = 1/T$ - tần số chuyển mạch van



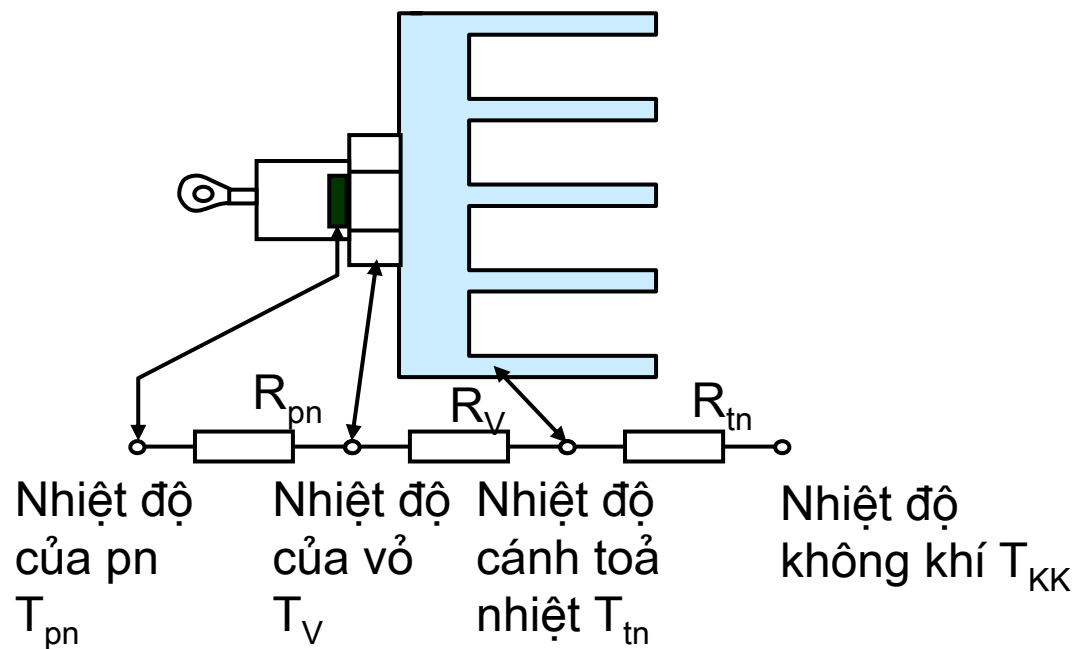
III. Bảo vệ quá nhiệt

- Các tổn hao trên sinh nhiệt làm thiết bị nóng lên tới quá mức cho phép. Cần có biện pháp giảm nhiệt cho van bán dẫn. Có hai cách làm mát thường gặp nhất
- Làm mát bằng không khí có hay không cánh tản nhiệt hình a
- Làm mát bằng nước hình b



1. Làm mát bằng không khí

- Nhiệt lượng từ chất bán dẫn truyền ra vỏ rồi truyền tới cánh tản nhiệt truyền nhiệt ra không khí. Truyền nhiệt bằng bức xạ yếu, vì nhiệt độ cho phép của vỏ thấp. Do đó, tản nhiệt chủ yếu làm bằng đối lưu giữa cánh tản nhiệt và không khí.
- Quá trình dẫn nhiệt có thể mô tả như hình vẽ



- Nhiệt lượng truyền từ vùng nóng sang vùng lạnh. Công suất toả nhiệt tỉ lệ thuận với độ chênh nhiệt độ, tỉ lệ nghịch với trở nhiệt R

$$\Delta P = \frac{T_1 + T_2}{R}$$

- Trở nhiệt tổng của mạch nối tiếp:
- $R = R_{pn} + R_V + R_{tn}$
- Khi tính toán làm mát là chúng ta tính chọn cánh toả nhiệt và quạt.
- Các thông số được cho trong bài toán này là tổn hao ΔP [W], T_{pn} , T_{KK} , trở nhiệt R_{pn} , R_V [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

2. Làm mát bằng nước

- Sơ đồ cấu trúc của làm mát bằng nước như giới thiệu trên hình vẽ.
- Điều kiện làm mát bằng nước là nước phải có nguồn vô tận để **nhiệt độ nước vào là nhiệt độ môi trường**,
- Vấn đề quan trọng trong làm mát bằng nước là phải xử lý nước không dẫn điện. Nghĩa là điện trở nước phải lớn ($R = \rho l/S$)

