



CHƯƠNG 9: BẢO VỆ TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

Tiến sĩ Nguyễn Đức Tuyên

MỤC LỤC CHƯƠNG 9

§9.1. KHÁI NIỆM CHUNG

- 9.1.1. Nhiệm vụ của thiết bị bảo vệ
- 9.1.2. Các yêu cầu cơ bản đối với thiết bị bảo vệ
- 9.1.3. Các phần tử chính trong hệ thống bảo vệ rơ le
- 9.1.4. Một số cách phân loại bảo vệ

§9.2. BẢO VỆ RƠ LE TRONG HỆ THỐNG CUNG CẤP ĐIỆN

- 9.2.1. Các loại rơ le bảo vệ
- 9.2.3. Bảo vệ các thiết bị trong hệ thống cung cấp điện

§9.3. CHỐNG SÉT TRONG HỆ THỐNG CUNG CẤP ĐIỆN

- 9.3.1. Quá điện áp khí quyển và đặc tính của sét
- 9.3.2. Bảo vệ chống sét cho đường dây tải điện
- 9.3.3. Bảo vệ chống sét cho trạm biến áp

1. Nhiệm vụ thiết bị bảo vệ

☐ Nhanh chóng loại trừ phần tử sự cố

→ Đảm bảo làm việc an toàn

☐ Cảnh cáo cho nhân viên vận hành về các trạng thái làm việc không bình thường (quá tải, sụt áp, giảm điện trở cách điện,...) → Kịp thời xử lý

☐ Chống sét đánh trực tiếp hay gián tiếp gây nguy hiểm cho người và thiết bị

→ Phải có các biện pháp an toàn chống sét.

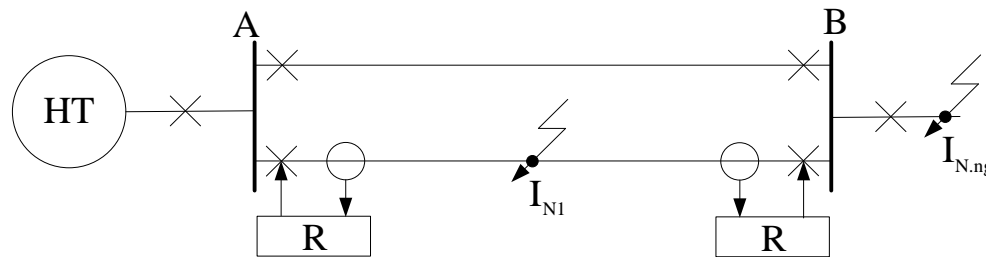
1. Yêu cầu cơ bản với thiết bị bảo vệ

❑ Tác động nhanh

- Sớm thu hẹp phạm vi sự cố, rút ngắn thời gian sự cố
- Đảm bảo ổn định nhiệt, ổn định động HTĐ

❑ Chọn lọc

- Loại đúng phần tử sự cố, tránh ảnh hưởng phần tử làm việc



- I_{Nmin} : Dòng điện ngắn mạch nhỏ nhất
- $I_{kđ}$: Dòng điện khởi động của bảo vệ

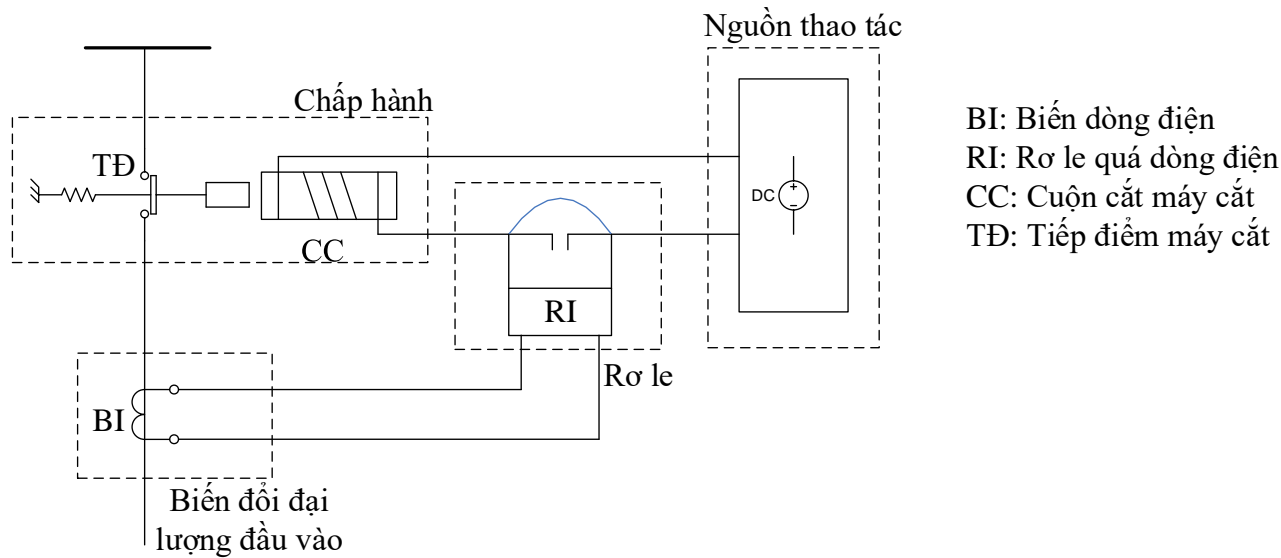
❑ Nhạy

$$k_{nh} = \frac{I_{Nmin}}{I_{kđ}} > 1; I_{ptmax} < I_{kđ} < I_{Nmin}$$

❑ Tin cậy

- Cần tác động, chính xác một khi có sự cố

1. Nhiệm vụ thiết bị bảo vệ



Ví dụ sơ đồ nguyên lý bảo vệ dùng rơ le tác động gián tiếp

❑ Thiết bị biến đổi đại lượng đầu vào

- Biến dòng điện, biến điện áp: cung cấp các đầu vào tương tự

❑ Rơ le (phần tử chính)

- Phân tích và đưa ra các ứng xử để điều khiển các thiết bị đóng cắt hoặc cảnh báo trạng thái.

❑ Cơ cấu chấp hành

- ❖ Kênh truyền tín hiệu, thiết bị nhận tín hiệu điều khiển từ rơ le và thao tác đóng cắt mạch điện, hiển thị cảnh báo.

❑ Nguồn thao tác

- ❖ Cung cấp năng lượng cho các thiết bị điều khiển và bảo vệ, cảnh báo tín hiệu, cơ cấu chấp hành đóng cắt mạch điện.

1. Phân loại bảo vệ

❖ **Theo cách lấy tín hiệu đầu vào**

- ✓ *Bảo vệ sơ cấp* (nối trực tiếp với mạch của phần tử được bảo vệ: cầu chì, rơle nhiệt và rơle điện từ trong áp tô mát)
- ✓ *Bảo vệ thứ cấp* (nối với thứ cấp của BU, BI)

❖ **Theo tham số tác động:** rơ le dòng điện, rơ le điện áp, rơ le công suất, rơ le tổng trở

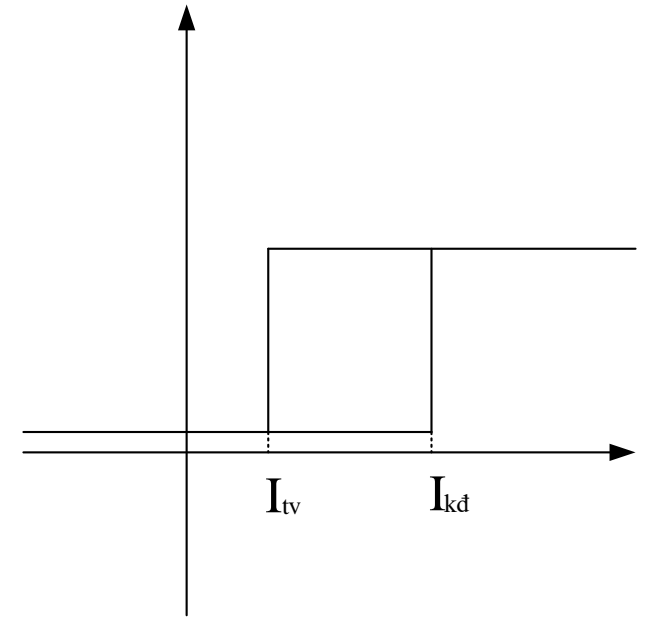
❖ **Theo công nghệ chế tạo:** rơ le điện từ/tĩnh/số

❖ **Theo chức năng trong sơ đồ bảo vệ:** rơle trung gian, thời gian, tín hiệu...

2. Bảo vệ quá dòng điện

□ Nguyên tắc chung

- ❖ Khi $I_R > I_{kđ}$ (quá tải, ngắn mạch)
→ bảo vệ tác động thay đổi trạng thái tiếp điểm
- ❖ Khi $I_R < I_{tv}$ → tiếp điểm trở lại trạng thái đầu
- ❖ Hệ số trở về: $K_v = \frac{I_{tv}}{I_{kđ}}$
 - Đối với rơle cơ, $K_v \neq 1$, đối với rơle tĩnh và rơle số, $K_v = 1$.



❖ Để đảm bảo được tính chọn lọc:

$$I_{kđ} \geq I_{lvmax}; I_{tv} \geq I_{sau.sc} \quad (I_{sau.sc} = K_{mm} \cdot I_{lvmax})$$

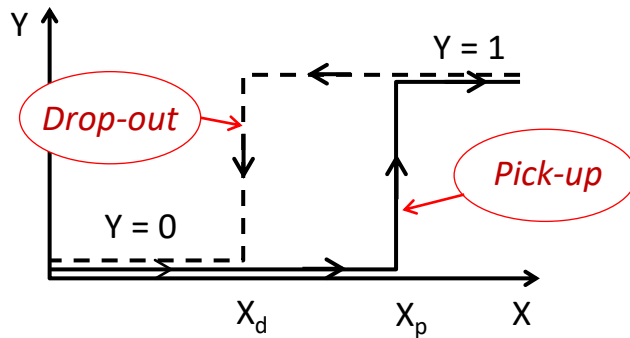
K_{mm} : Hệ số có xét đến việc mở máy của các phụ tải động cơ có dòng điện chạy qua chỗ đặt bảo vệ sau khi sự cố bị loại trừ. K_{mm} có thể lấy trong khoảng 2÷5.

2. Bảo vệ quá dòng điện

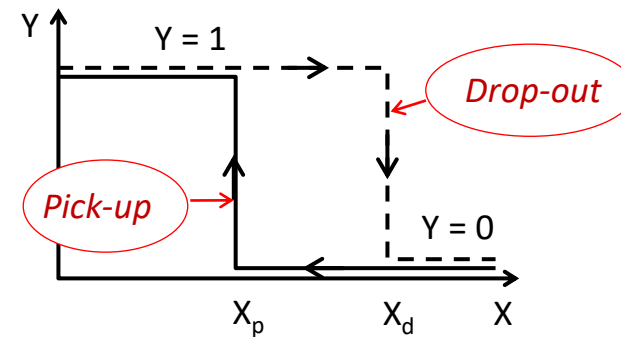
❖ Bảo vệ ngưỡng cao, ngưỡng thấp

- Over/Under – Input signal (Current, voltage, frequency)

- Drop-out ratio: $K_d = \frac{X_d}{X_p}$ Over-protection: $K_d < 1$
Under-protection: $K_d > 1$



Over-protection



Under-protection

2. Bảo vệ quá dòng điện

❑ Nguyên tắc chung (tiếp)

❖ Điều kiện chọn:

$$I_{tv} = K_{at} \cdot K_{mm} \cdot I_{lvmax}$$

- K_{at} : Hệ số an toàn (hay hệ số dự trữ) có tính đến sai số của bảo vệ. K_{at} có thể lấy trong khoảng 1,1 (với rơle tĩnh) đến 1,2 (với rơle điện cơ).

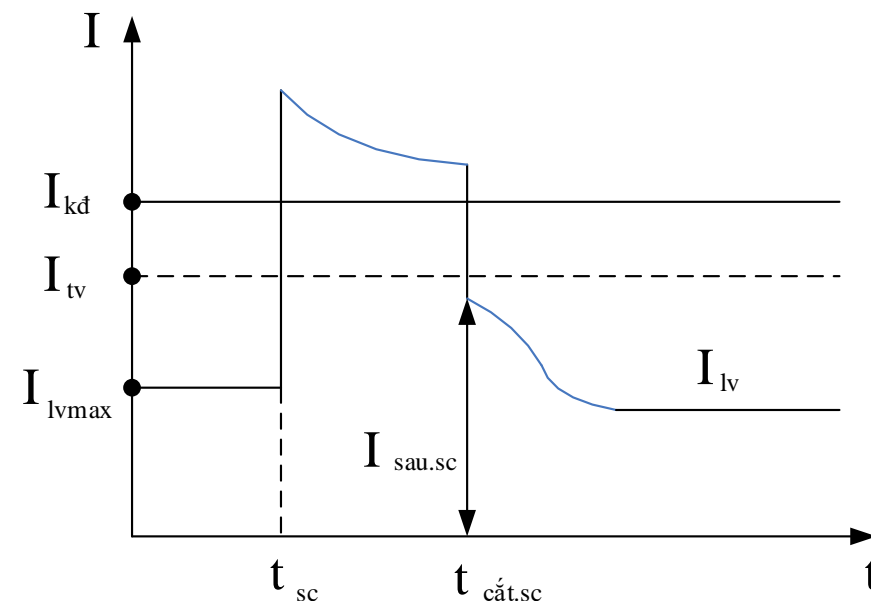
❖ Dòng khởi động phía sơ cấp

$$I_{kđ1} = \frac{I_{tv}}{K_v} = \frac{K_{at} \cdot K_{mm}}{K_v} I_{lvmax}$$

❖ Dòng khởi động quy về thứ cấp

$$I_{kđ2} = \frac{K_{sđ}}{K_{BI}} \cdot I_{kđ1} = \frac{K_{sđ}}{K_{BI}} \frac{K_{at} \cdot K_{mm}}{K_v} I_{lvmax}$$

- $K_{sđ}$: Hệ số sơ đồ. $K_{sđ} = \frac{I_R}{I_{BI}}$ (I_R : Dòng điện chạy qua rơle. I_{BI} : Dòng điện cuộn thứ cấp của biến dòng điện).
- K_{BI} : Tỷ số biến dòng điện của máy biến dòng điện.



Diễn biến dòng điện sự cố

❖ Đảm bảo độ nhạy:

$$K_{nh} = \frac{I_{Nmin}}{I_{kđ1}} > 1$$

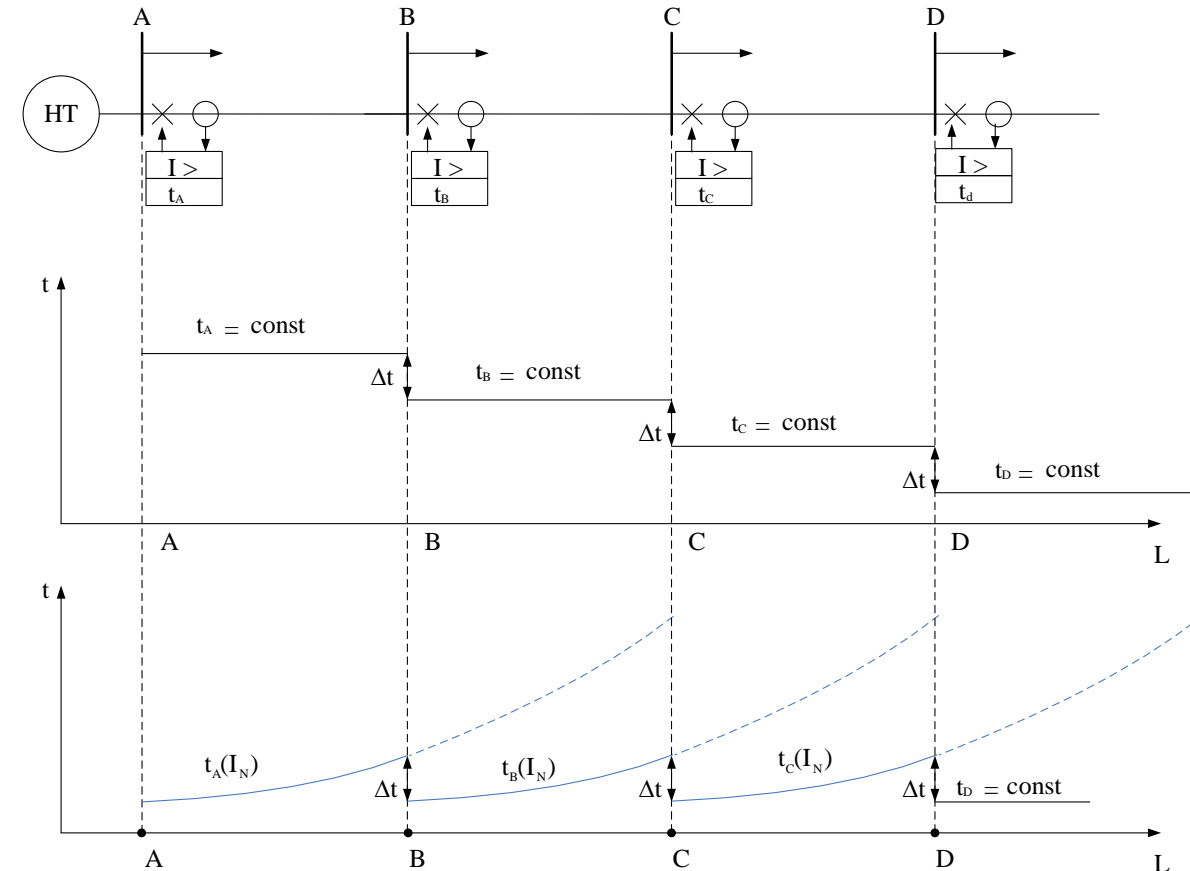
- I_{Nmin} : Dòng điện ngắn mạch nhỏ nhất đi qua chỗ đặt bảo vệ
- K_{nh} : Hệ số nhạy của bảo vệ

2. Bảo vệ quá dòng điện

□ Bảo vệ quá dòng điện có thời gian tác động

Lưới hở một nguồn cấp:

- ❖ Đảm bảo tính chọn lọc
 - Càng gần nguồn, t cao
- ❖ Độc lập:
 - t không phụ thuộc vào trị số dòng
 - Đoạn AB có thời gian tác động lớn
- ❖ Phụ thuộc:
 - t phụ thuộc vào độ lớn của dòng
 - Dòng lớn t ngắn



Phối hợp đặc tính thời gian của bảo vệ quá dòng điện trong lưới điện hình tia cho trường hợp đặc tính độc lập và đặc tính phụ thuộc

2. Bảo vệ quá dòng điện

□ Bảo vệ quá dòng cắt nhanh

❖ $I_{kđ}$ phải được chọn:

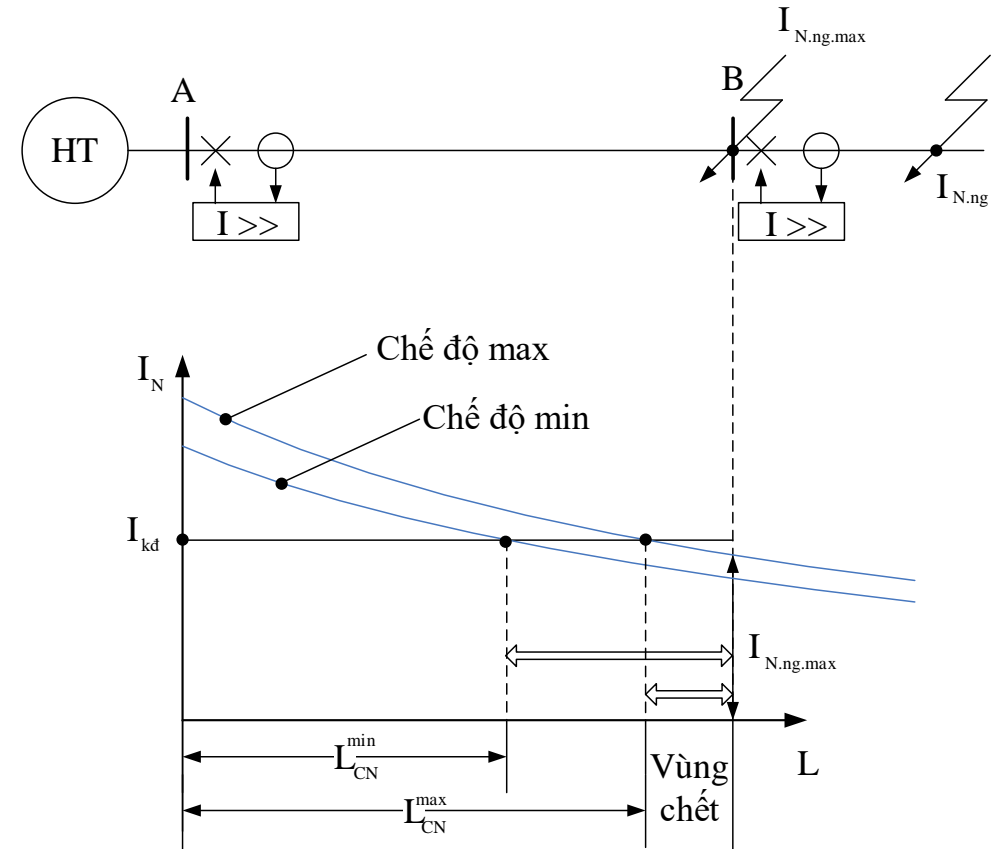
$$I_{kđ} = K_{at} I_{N.ng.max}$$

- $I_{N.ng.max}$: Dòng điện ngắn mạch ngoài lớn nhất (điểm B)

❖ Thường làm việc tức thời hoặc trễ nhỏ (0,1s)

❖ Nhược điểm:

- ✓ Không bảo vệ toàn bộ như vùng ngắn mạch cuối phần tử
- ✓ L_{CN} phụ thuộc chế độ làm việc và dạng ngắn mạch
- ✓ Không đảm bảo chọn lọc khi bảo vệ lưới phức tạp, nhiều nguồn



Bảo vệ quá dòng điện cắt nhanh

2. Bảo vệ quá dòng điện

□ Bảo vệ chống chạm đất

- ❖ NM chạm đất, dải dòng I_{NM} rộng: vài chục A ~ vài chục kA
- ➔ Cần đảm bảo cả tính chọn lọc và độ nhạy
- ➔ Dùng nguyên tắc quá dòng điện, tín hiệu vào: thành phần không đối xứng thứ tự không.

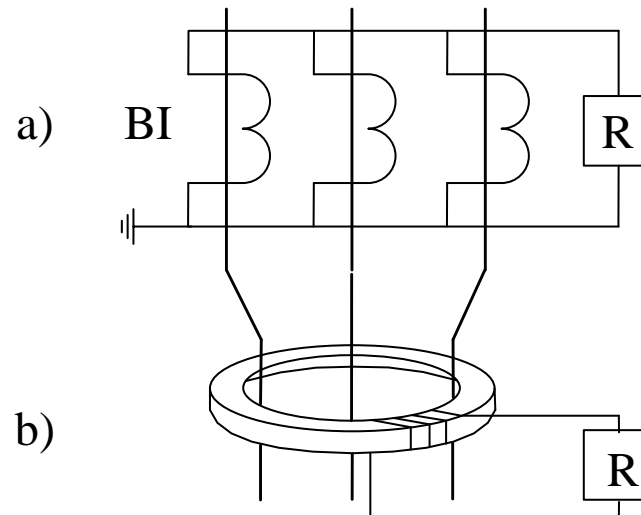
❖ Hai cách lọc dòng điện thứ tự không

- ✓ Dùng 3 BI 1 pha:

$$\dot{I}_R = \frac{\dot{I}_A}{n_{BI.A}} + \frac{\dot{I}_B}{n_{BI.B}} + \frac{\dot{I}_C}{n_{BI.C}}$$

- ✓ Dùng 1 BI thứ tự không:

$$\dot{I}_R = \frac{\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C}{n_{BI}} = \frac{3\dot{I}_0}{n_{BI}}$$



Hai dạng bộ lọc thứ tự không dùng cho bảo vệ chống chạm đất

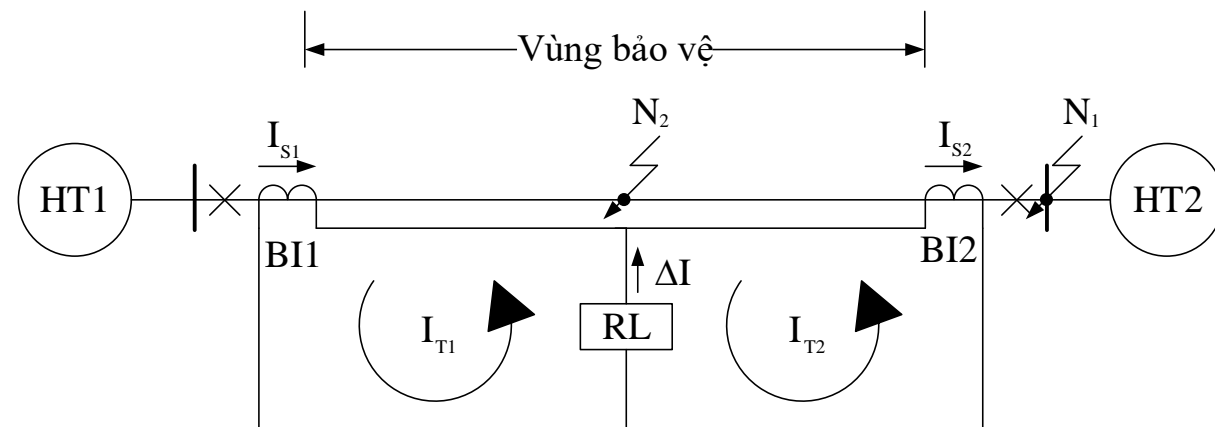
2. Bảo vệ so lệch dòng điện

□ Định nghĩa

- ❖ Là loại bảo vệ cắt nhanh
 - ❖ Biên độ dòng điện ở hai đầu phần tử được bảo vệ được so sánh với nhau.
- ➔ Nếu sự sai lệch này vượt quá ngưỡng thì bảo vệ sẽ tác động
- ❖ Vùng bảo vệ được giới hạn bằng vị trí đặt của hai bộ biến dòng ở đầu và cuối phần tử được bảo vệ mà tín hiệu dòng điện từ đó được lấy ra để so sánh.

□ Nguyên lý:

- ❖ So sánh: $\Delta I = I_{T1} - I_{T2}$
 - ✓ Bình thường & N_1 : $\Delta I = 0$
 - ✓ Ngắn mạch (N_2) hoặc mất nguồn BI: $\Delta I \neq 0$, tác động khi $|\Delta I| \geq I_{kđ}$



2. Bảo vệ so lệch dòng điện

❑ Hãm

❖ Thực tế: $\dot{I}_{T1} \neq \dot{I}_{T2}$ do sai số BI, bảo hòa mạch từ ở chế độ bình thường hoặc khi NM ngoài

$$\Delta \dot{I} = \dot{I}_{T1} - \dot{I}_{T2} = \dot{I}_{kcb}$$

❖ I_{kcb} đôi khi rất lớn (ví dụ NM ngoài) → Relay tác động nhầm

→ Sử dụng nguyên lý hãm: $\Delta I > I_H$ bảo vệ sẽ tác động

❖ Các trường hợp gây I_{kcb} lớn:

✓ Ngắn mạch ngoài gần vùng bảo vệ

→ Tạo mạch hãm có $\dot{I}_H = \dot{I}_{T1} + \dot{I}_{T2}$

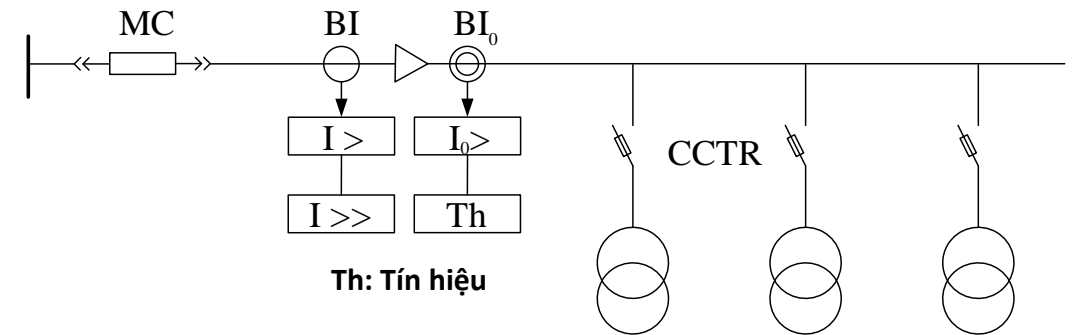
✓ Đóng điện không tải máy biến áp

→ Lọc thành phần hài bậc 2 trong dòng điện không tải (từ hóa) xung kích của máy biến áp để tăng cường cho dòng điện hãm.

2. Bảo vệ các đường dây phân phối điện

□ Bảo vệ lưới điện trung áp

- ❖ Lưới trung tính nối đất trực tiếp hoặc qua điện trở/kháng nhỏ
 - ✓ Phụ tải nhỏ, ít quan trọng: cầu chì (cầu chì tự rơi (CCTR) hoặc cầu chì thạch anh) đặt tại các nhánh
 - ✓ Phụ tải lớn, quan trọng: máy cắt có bảo vệ cắt nhanh hoặc bảo vệ chống chạm đất bảo vệ ngắn mạch và bảo vệ quá dòng điện có thời gian phụ thuộc dùng bảo vệ chống quá tải.
- ❖ Lưới trung tính cách điện hoặc nối qua cuộn Pertersen
 - ✓ Dòng NM 1 pha bé, được vận hành trong thời gian cho phép.
 - ✓ Điện áp pha không sự cố tăng $\sqrt{3}$, nếu sinh hồ quang gây dao động điện áp dẫn đến NM 2 pha chạm đất

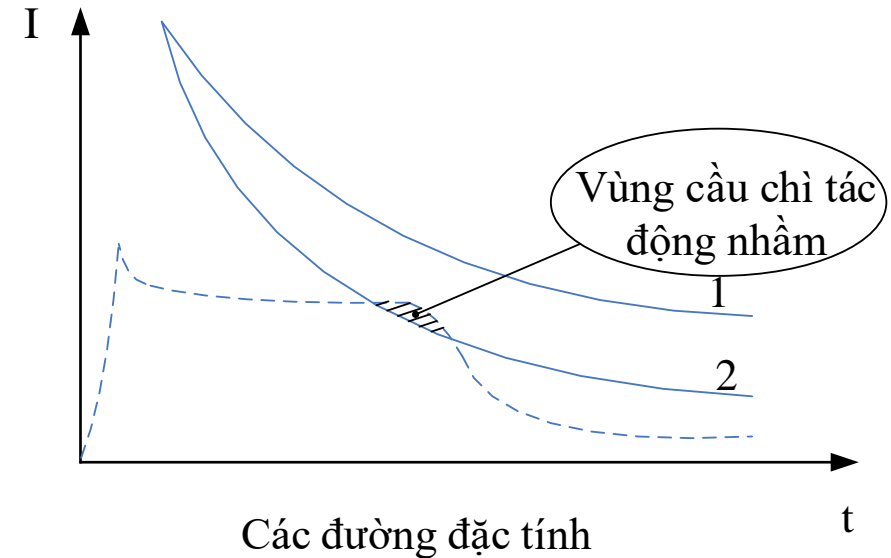


Một số loại bảo vệ dùng trong lưới điện trung áp

2. Bảo vệ các đường dây phân phối điện

□ Bảo vệ lưới điện hạ áp

- ❖ Thường là mạng hình tia, cấp điện qua các tủ phân phối điện theo nhiều cấp đến tận các thiết bị tiêu thụ.
- ❖ Dòng điện tăng cao trong lưới điện hạ áp khi: quá tải, ngắn mạch, khởi động các thiết bị động lực.
- ❖ Các thiết bị bảo vệ trong lưới điện hạ áp thường là cầu chì và áp tô mát
- ❖ Bảo vệ bằng cầu chì:
 - ✓ Cho quá tải và NM
 - ✓ 2 cầu chì kế tiếp nhau có I_{dm} hơn kém nhau 2 cấp đảm bảo chọn lọc
 - ✓ Đặc tính cầu chì nằm trên đặc tính khởi động động cơ.

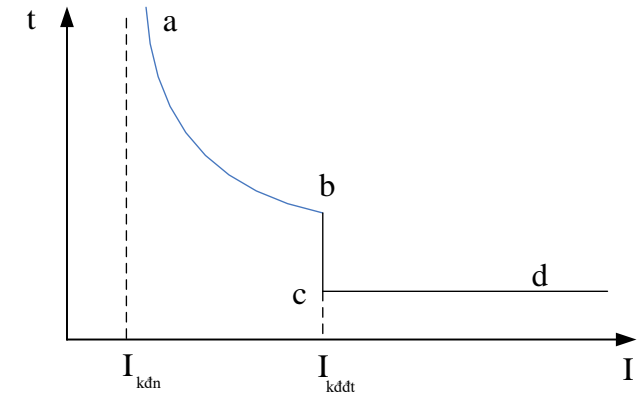


2. Bảo vệ các đường dây phân phối điện

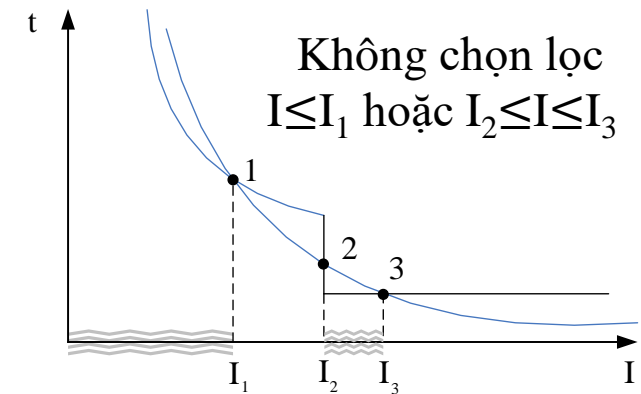
□ Bảo vệ lưới điện hạ áp (tiếp)

❖ Bảo vệ bằng aptomat

- ✓ Quá tải, NM, đóng cắt tải
- ✓ Đặc tính 2 đoạn:
 - Rơ le nhiệt: $I_{kdn} > \sim \text{vài chục \% } I_{dm}$
 - Rơ le điện từ: $(5 \div 20) \cdot I_{dm}$
- ✓ Tin cậy, đa năng, chi phí cao
- ✓ Khi phối hợp với cầu chì:
 - Aptomat thường ở cấp cao hơn
 - Đặc tính bảo vệ aptomat phải nằm trên đặc tính bảo vệ cầu chì
- ✓ Khi khởi động động cơ, aptomat không được tác động



Đặc tính bảo vệ của áp tô mát



Mất tính chọn lọc khi phối hợp giữa cầu chì và áp tô mát

2. Bảo vệ máy biến áp lực

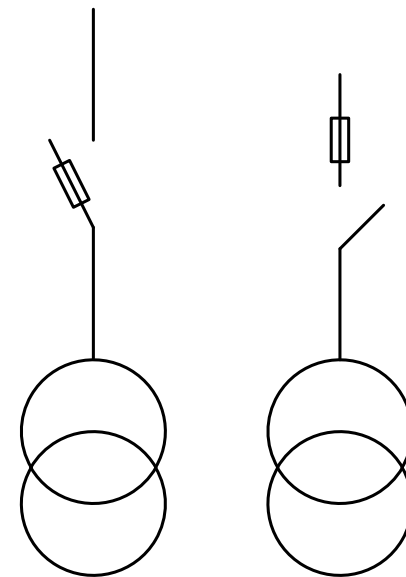
Hư hỏng bên trong	Hư hỏng bên ngoài
<ul style="list-style-type: none"> - Chập giữa các vòng dây trên cùng 1 pha - Ngắn mạch giữa các cuộn dây - Chạm đất (vỏ) và ngắn mạch chạm đất - Hỏng bộ chuyển đổi đầu phân áp - Thùng dầu bị thủng hoặc rò dầu 	<ul style="list-style-type: none"> - Ngắn mạch nhiều pha hoặc một pha trong hệ thống - Quá tải máy biến áp

Loại hư hỏng	Loại bảo vệ
Ngắn mạch nhiều pha hoặc một pha chạm đất	<ul style="list-style-type: none"> - So lệch có hãm (bảo vệ chính) - Khoảng cách (bảo vệ dự phòng) - Quá dòng có thời gian (chính hoặc dự phòng tùy theo công suất) - Quá dòng thứ tự không
Chạm chập giữa các cuộn dây, thùng dầu thủng hoặc rò	<ul style="list-style-type: none"> - Rơ le khí (rơ le Buchholz)
Quá tải	<ul style="list-style-type: none"> - Quá dòng điện - Hình ảnh nhiệt

2. Bảo vệ máy biến áp lực

□ Bảo vệ chống ngắn mạch

- ❖ Đối với trạm biến áp phân phối, công suất nhỏ:
 - ✓ Cầu chì cao áp để bảo vệ quá tải và NM
 - ✓ Cầu chì tự rơi hoặc cầu chì thạch anh dạng ống có lắp kèm cầu dao cách ly
- ❖ Đối với máy biến áp trung gian tùy theo vai trò:
 - ✓ Bảo vệ so lệch dòng điện có hãm (bảo vệ chính) ngăn ngừa NM 1 pha hay nhiều pha chạm đất
 - ✓ Bảo vệ quá dòng điện có thời gian (bảo vệ dự phòng cho bảo vệ so lệch)
 - ✓ Bảo vệ quá dòng điện tránh quá tải cho máy biến áp



Bảo vệ máy biến áp phân phối

2. Bảo vệ máy biến áp lực

□ Bảo vệ chống ngắn mạch (tiếp)

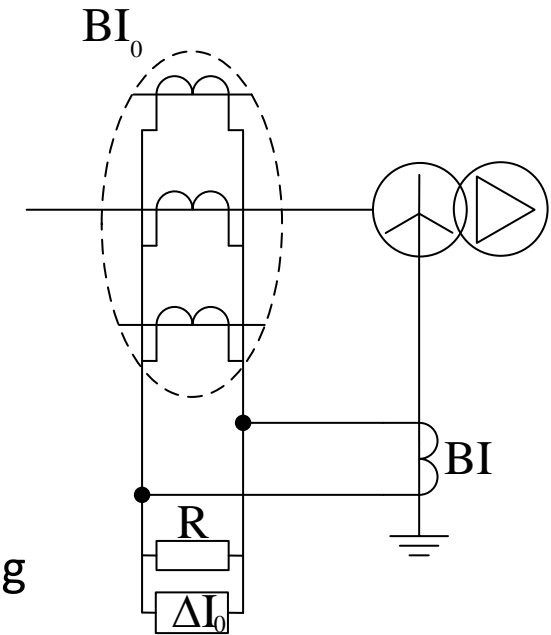
- ✓ Rơ le quá dòng điện (với 1 BI đặt tại trung tính cuộn đấu sao của máy biến áp)
- ✓ Bảo vệ so lệch dòng điện thứ tự không (dùng 1 BI đặt tại trung tính cuộn đấu sao với bộ BI lọc thứ tự không đặt trên phía đầu ra của cuộn đấu sao đó).

$$\Delta I_0 = I_0 - I_{TT}$$

I_0 : Dòng điện thứ tự không trong các pha cuộn dây biến áp

I_{TT} : Dòng điện chạy qua trung tính biến áp

- Nếu NM ngoài vùng bảo vệ, bỏ qua sai số BI
→ Dòng điện qua điện trở R bằng không
- Nếu NM trong vùng bảo vệ
→ Dòng điện so lệch qua R tạo nên điện áp lớn → rơ le tác động

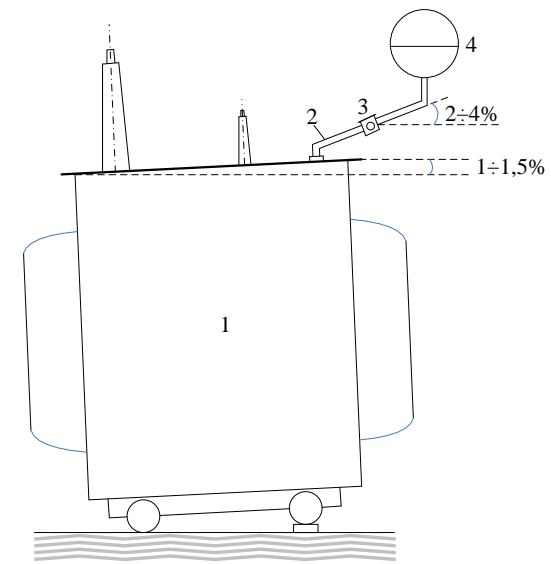


Bảo vệ so lệch thứ tự
không

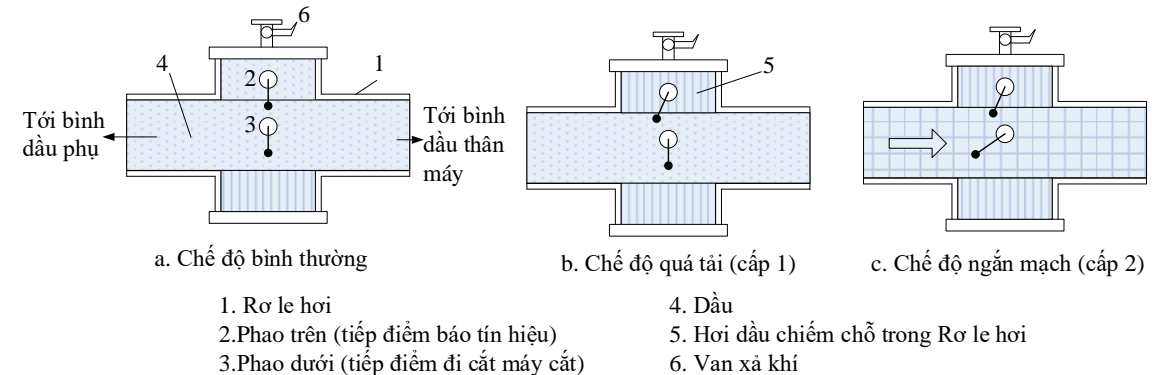
2. Bảo vệ máy biến áp lực

□ Bảo vệ chống chạm chập các vòng dây, thùng dầu

- ❖ Nguyên lý: Hư hỏng (quá tải, chạm chập các vòng dây, thùng thùng dầu) → Dầu bốc hơi và chuyển động → Role hơi/khí
- ❖ Cấu tạo: có 2 cấp tác động nhờ 2 phao
 - ✓ Phao trên: báo tín hiệu bất thường
 - ✓ Phao dưới: gửi tín hiệu đi máy cắt
- ❖ Hoạt động:
 - ✓ Bình thường 2 phao ở vị trí thẳng đứng
 - ✓ Quá tải, dầu bốc hơi ít, phao 2 lệch → báo tín hiệu
 - ✓ NM, dầu bốc hơi nhiều, phao 3 lệch → máy cắt



Bảo vệ rơ le hơi
1. Thùng dầu chính, 2. Ống dẫn dầu, 3. Rơ le hơi, 4. Thùng dầu phụ



Các chế độ làm việc của Rơ le hơi

2. Bảo vệ động cơ

□ Thống kê các loại bảo vệ ứng với các sự cố

Dạng sự cố, không bình thường		Loại bảo vệ
Ngắn mạch giữa các cuộn dây, giữa các pha trên đường dây cấp điện cho động cơ		Quá dòng hoặc so lệch
Chạm chập giữa các vòng dây		Quá dòng hoặc quá dòng có hướng
Quá tải	Khi khởi động	Kiểm tra thời gian khởi động
	Khi làm việc bình thường	Chống quá tải
Mất cân bằng các pha		Dòng thứ tự nghịch
Sụt điện áp		Điện áp thấp
Mất đồng bộ		Chống mất đồng bộ

2. Bảo vệ động cơ

□ Bảo vệ quá tải

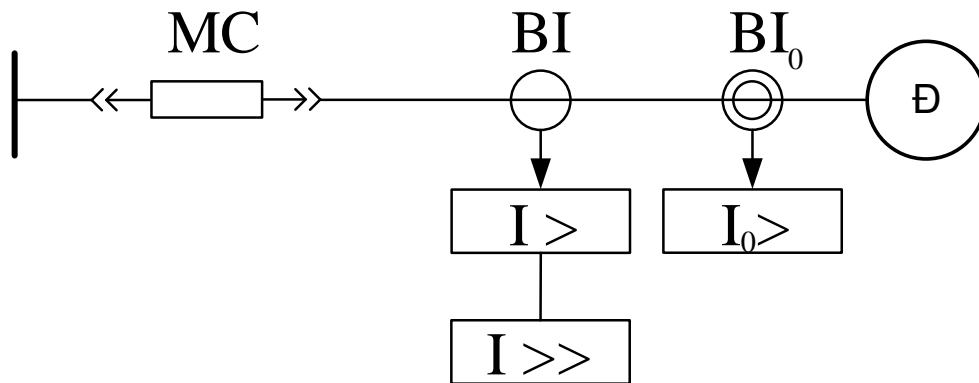
- ❖ Dừng rơ le nhiệt hoặc bảo vệ quá dòng điện tùy thuộc vào điện áp làm việc của động cơ.
- ❖ Động cơ điện hạ áp dùng khởi động từ bảo vệ quá tải.
- ❖ Động cơ điện cao áp (công suất lớn) dùng rơ le quá dòng điện có đặc tính thời gian phụ thuộc.

Lưu ý: thời gian cắt của bảo vệ phải lớn hơn thời gian mở máy của động cơ tức là khi mở máy rơ le có thể khởi động nhưng động cơ không bị cắt.

2. Bảo vệ động cơ

□ Bảo vệ chống ngắn mạch

- ❖ Dùng cầu chì hoặc áp tô mát có rơle quá dòng điện cắt nhanh
 - ✓ Động cơ hạ áp công suất nhỏ hơn 200kW: dùng cầu chì
 - ✓ Động cơ công suất lớn: dùng rơle quá dòng điện cắt nhanh. Dòng khởi động: $I_{kd} = \frac{K_{sd} \cdot K_{at}}{K_{BI}} \cdot I_{mmĐ}$ ($I_{mmĐ}$: Dòng mở máy)
- ❖ Để bảo vệ ngắn mạch một pha chạm đất (có dòng chạm đất lớn hơn 10A), dùng bảo vệ quá dòng thứ tự không.



Bảo vệ động cơ công suất lớn

I> : Bảo vệ quá tải

I>> : Bảo vệ ngắn mạch pha-pha

I₀> : Bảo vệ ngắn mạch chạm đất

BI : Bộ biến dòng điện

BI₀ : Bộ biến dòng điện lọc thứ tự không

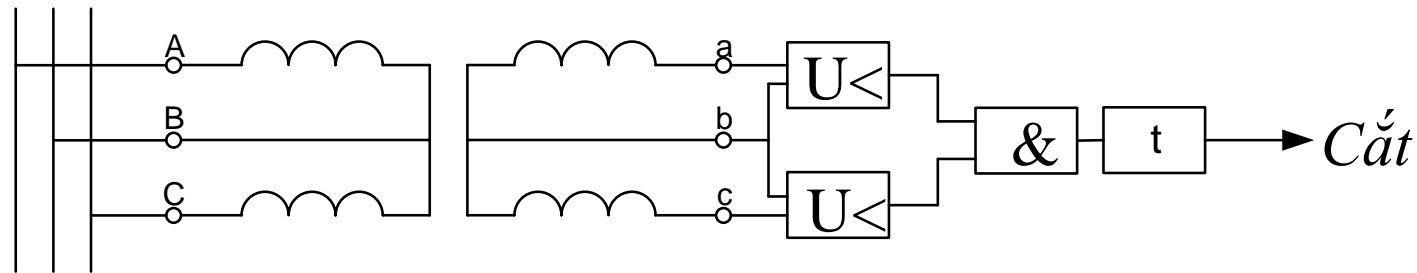
2. Bảo vệ động cơ

□ Bảo vệ tránh sụt áp

❖ Dùng Rơle điện áp thấp gửi tín hiệu cắt động cơ:

- ✓ Do yêu cầu công nghệ, một số động cơ không được phép tự động khởi động lại khi điện áp nguồn được phục hồi.
- ✓ Cần cắt một số động cơ không quan trọng để đảm bảo điều kiện tự khởi động cho các động cơ không đồng bộ quan trọng khi điện áp nguồn được phục hồi.

❖ Tránh bảo vệ tác động nhầm do hư hỏng mạch thứ cấp của BU (nổ cầu chì hoặc nhảy áp tô mát) → Dùng hai rơ le điện áp thấp ghép với nhau theo logic AND.



Bảo vệ chống điện áp thấp cho động cơ
không đồng bộ 3 pha cao áp

2. Bảo vệ động cơ

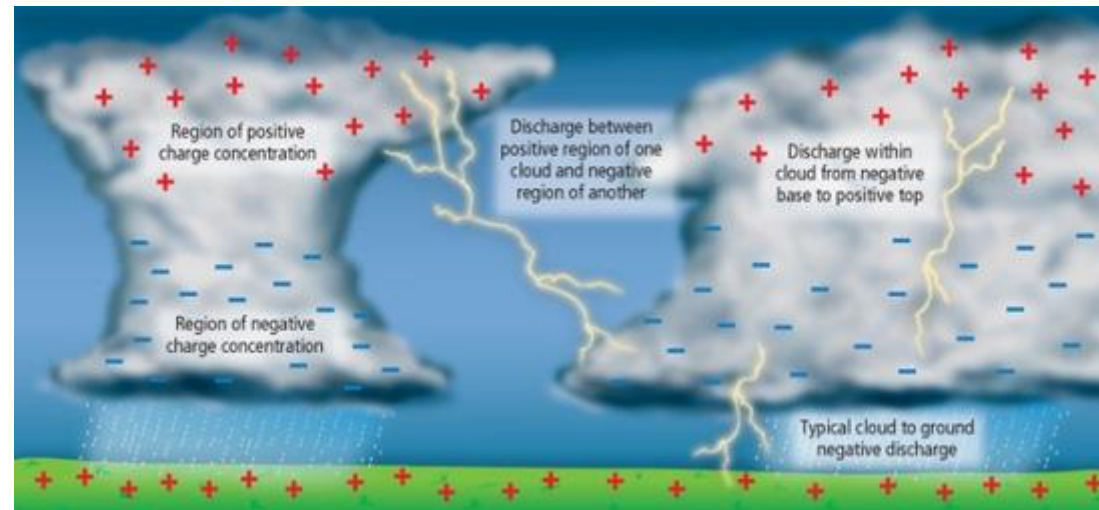
❑ Bảo vệ chống mất đồng bộ cho động cơ điện đồng bộ

- ❖ Mất đồng bộ là hiện tượng tốc độ của rotor không bằng tốc độ của từ trường quay do stator tạo ra.
 - ✓ Nguyên nhân: Do điện áp nguồn giảm thấp, quá tải cơ học, dao động điện hoặc hỏng mạch kích thích.
 - ✓ Hậu quả: phát nóng rotor, gây ứng lực trên trục động cơ hoặc quá điện áp cuộn kích thích với hệ thống kích từ kiểu chỉnh lưu.
- ❖ Các phương pháp phát hiện mất đồng bộ dựa trên giám sát các hiệu ứng xảy ra khi mất đồng bộ như sau:
 - ✓ Động cơ tiêu thụ công suất phản kháng từ lưới điện vì chuyển sang chế độ của động cơ không đồng bộ
 - ✓ Có xuất hiện dòng điện dao động trong mạch kích thích

3. Chống sét: quá điện áp khí quyển và đặc tính sét

☐Sét

- ❖Sét là hiện tượng phóng điện trong khí quyển giữa các đám mây mang điện tích trái dấu với nhau và với đất.
- ❖Nguyên nhân: luồng không khí nóng và hơi nước bốc lên→tích lũy điện tích trong các đám mây: phần dưới âm, trên dương→ Khi tích tụ tăng dần vượt 25-30kV/cm, không khí giữa mây và đất bị ion hóa dẫn điện→phóng điện sét



3. Chống sét: quá điện áp khí quyển và đặc tính sét

❑ Quá trình phóng điện của sét được chia làm ba giai đoạn.

❖ Giai đoạn thứ nhất - giai đoạn phóng điện tiên đạo từng bậc

- ✓ Bắt đầu bằng dòng tiên đạo mang điện tích âm (-) từ đám mây phát triển xuống đất với tốc độ $100 \div 10^3$ km/s.
- ✓ Đầu dòng điện tích có thể đạt tới điện thế hàng triệu Volt.
- ✓ Điện trường của tia tiên đạo hình thành sự tập trung điện tích dương (+) lớn tương ứng ở dưới mặt đất.

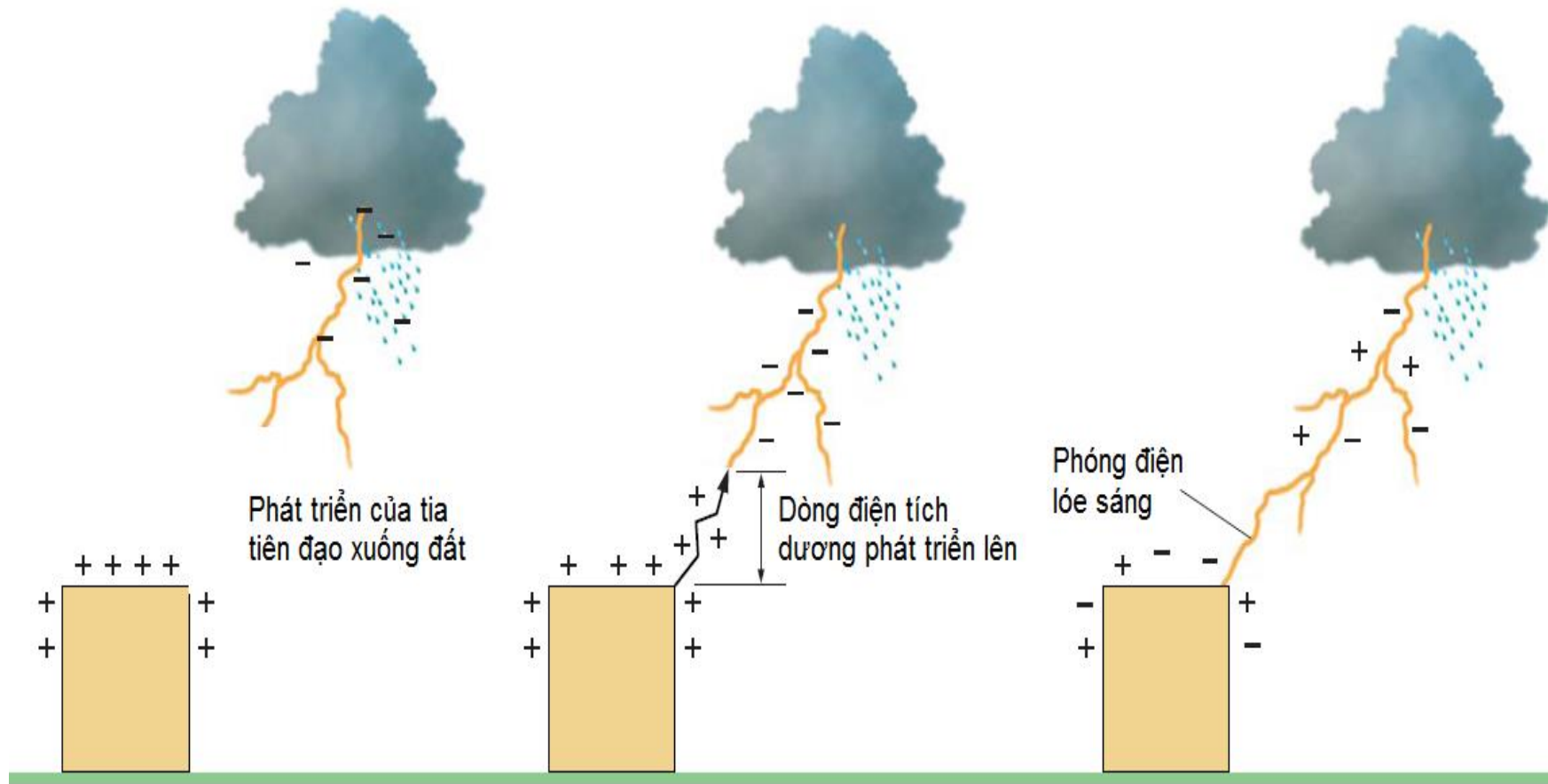
❖ Giai đoạn thứ hai - giai đoạn phóng điện chủ yếu của sét

- ✓ Bắt đầu khi dòng tiên đạo phát triển tới đất.
- ✓ Điện tích dương (+) từ đất phát triển ngược lên với tốc độ $6.10^4 \div 10^5$ km/s để trung hòa điện tích âm (-) của dòng tiên đạo.
- ✓ Sự phóng điện được đặc trưng bởi dòng điện lớn qua chỗ sét đánh và sự phát sáng mãnh liệt, không khí trong dòng phóng điện được nung nóng đến 10.000°C bị dẫn nổ đột ngột tạo thành sóng âm thanh.

❖ Giai đoạn cuối, dòng điện tích dương từ đất phóng ngược lên đám mây, nơi bắt đầu sự phóng điện. Sự lóe sáng dần biến mất.

3. Chống sét: quá điện áp khí quyển và đặc tính sét

□ Quá trình phóng điện của sét được chia làm ba giai đoạn.



3. Chống sét: quá điện áp khí quyển và đặc tính sét

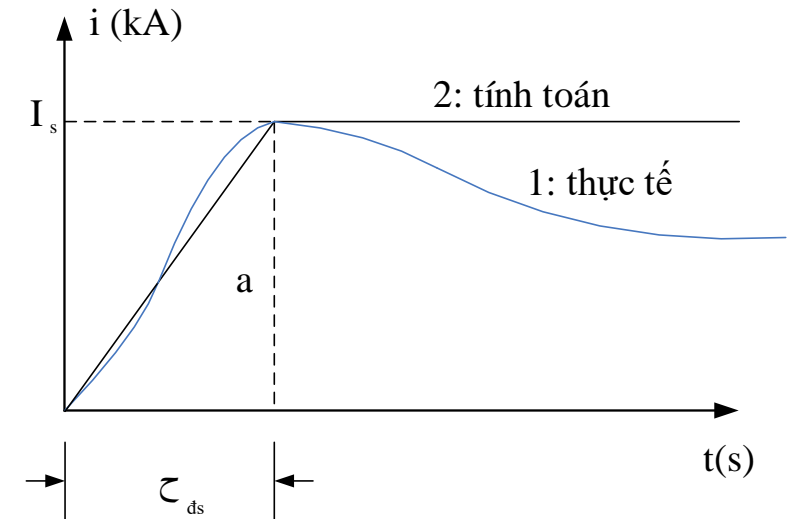
❑ Hai tham số đặc trưng của dòng điện sét

❖ Biên độ I_s

- ✓ Không vượt quá 200-300kA
- ✓ Hiếm khi vượt quá 100kA → lấy 50-100kA

❖ Độ dốc đầu sóng $a = \frac{di_s}{dt}$

- ✓ $a \sim \frac{I_s}{\tau_{ds}}$ (τ_{ds} : Độ dài đầu sóng)
- ✓ Không quá 50kA/ μ s và thường tỷ lệ thuận với biên độ I_s
 - Đối với $I_s \geq 100\text{kA}$, lấy $a = 30\text{kA}/\mu\text{s}$
 - Đối với $I_s < 100\text{kA}$, lấy $a = 10\text{kA}/\mu\text{s}$



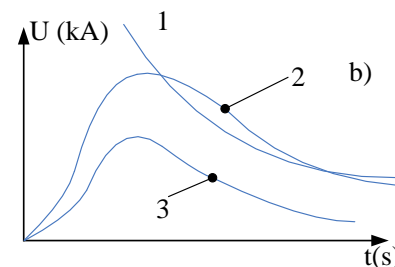
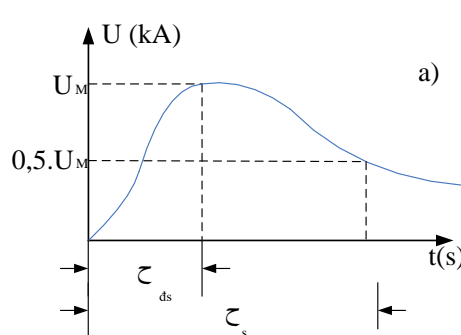
Dạng sóng dòng điện sét

3. Chống sét: quá điện áp khí quyển và đặc tính sét

❑ Quá điện áp khí quyển

- ❖ *Định nghĩa*: hiện tượng quá điện áp do sét đánh trực tiếp vào các thiết bị điện hoặc cảm ứng của sét gần nơi đặt các thiết bị điện.
- ❖ *Đặc điểm*: Chỉ kéo dài vài chục μ s và điện áp tăng cao có dạng xung kích
- ❖ *Tham số đặc trưng*: biên độ điện áp (U_M), thời gian đầu đạt tới U_M (τ_{ds}), độ dài sóng (τ_s): Đến khi điện áp giảm 50% U_M
- ❖ *So sánh đặc tính*: [sóng quá điện áp; vôn-giây thiết bị cách điện]
- ❖ *Cách điện*: cao quá tăng giá thành, thấp quá gây sự cố khi bị sét đánh
- ❖ *Bảo vệ*: hệ thống cột thu lôi, dây thu sét, chống sét van...để hạ thấp quá điện áp xuống dưới đặc tính chịu cách điện

Sóng chuẩn
để thử nghiệm
 $\tau_{ds}/\tau_s=1,2/50 \mu$ s



1. Đặc tính V-s của cách điện thiết bị
2. Dạng sóng quá điện áp gây ra phóng điện
3. Dạng sóng quá điện áp không gây phóng điện

Đóng sóng quá điện áp do sét và đặc tính V-s của cách điện thiết bị điện

3. Bảo vệ chống sét cho đường dây

❑ Yêu cầu bảo vệ chống sét đường dây

- ❖ ĐZ kéo dài trong một không gian rộng → xác suất sét đánh lớn
- ❖ Cách tốt nhất là treo dây chống sét trên toàn tuyến lớn
 - ✓ Tốn kém chỉ dùng ĐZ $U \geq 110\text{kV}$, treo 1 hoặc 2 dây chống sét
 - ✓ ĐZ 35kV không treo toàn tuyến, các cột phải được nối đất
- ❖ Tiêu chuẩn nối đất

Điện trở suất của đất ($\Omega\cdot\text{cm}$)	Điện trở nối đất cột điện (Ω)
$\rho \leq 10^4$	10
$10^4 < \rho \leq 5 \cdot 10^4$	15
$5 \cdot 10^4 < \rho \leq 10^5$	20
$10^5 < \rho$	30

- ❖ Tăng cường chống sét: đặt thêm chống sét ở chỗ cách điện yếu, cột vượt cao, gần trạm điện
- ❖ Nơi yêu cầu an toàn rất cao: sử dụng đường cáp

3. Bảo vệ chống sét cho đường dây

□ Phạm vi bảo vệ của hệ thống dây chống sét

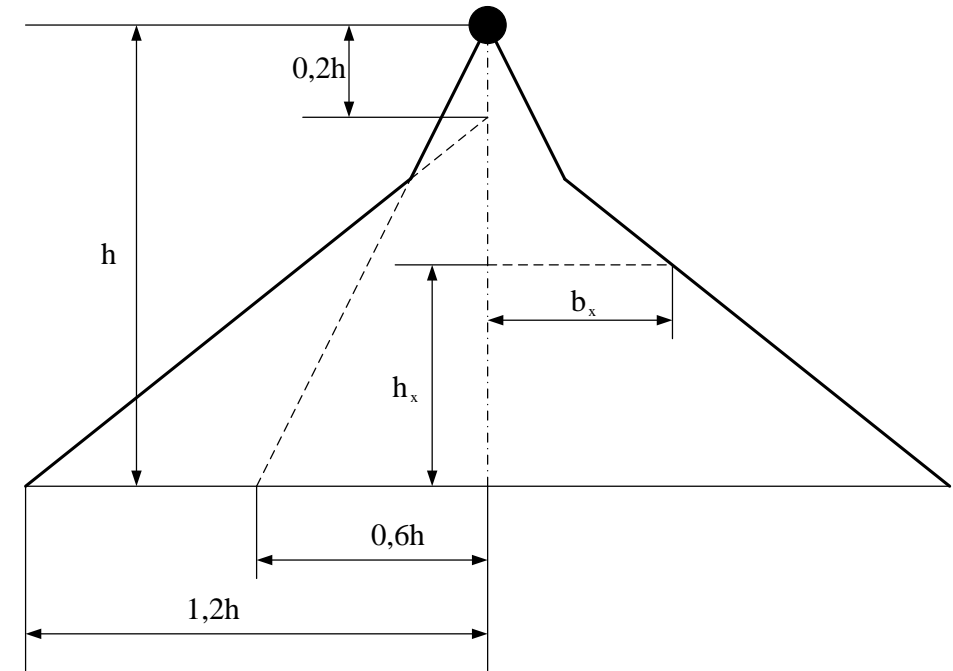
❖ Dùng một dây chống sét

✓ Dây chống sét treo ở chiều cao h

✓ h_x : chiều cao bảo vệ, b_x : chiều rộng bảo vệ

- Khi $h_x > \frac{2}{3}h$ thì $b_x = 0,6h \cdot \left(1 - \frac{h_x}{h}\right)$
- Khi $h_x \leq \frac{2}{3}h$ thì $b_x = 1,2h \cdot \left(1 - \frac{h_x}{0,8h}\right)$

✓ Chiều dài của phạm vi bảo vệ chính là chiều dài của đường dây có đặt dây chống sét



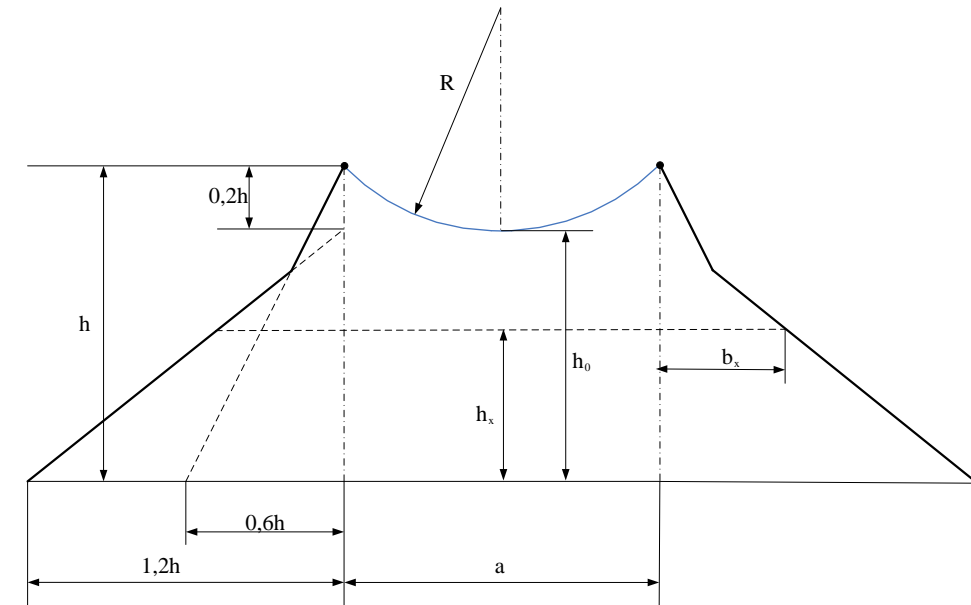
Phạm vi bảo vệ của một dây thu sét

3. Bảo vệ chống sét cho đường dây

□ Phạm vi bảo vệ của hệ thống dây chống sét

❖ Dùng 2 dây chống sét

- ✓ Không gian ngoài hai dây chống sét có phạm vi bảo vệ tương tự trường hợp một dây chống sét.
- ✓ Không gian giữa hai dây chống sét, phạm vi bảo vệ có dạng mặt trụ tròn có mặt cắt đứng đi qua vị trí treo hai dây chống sét.
 - $a < 4h$: bảo vệ tới điểm $h_0 = h - \frac{a}{4}$
- ✓ Phạm vi bảo vệ biểu hiện góc bảo vệ α
 - Góc bảo vệ tới hạn $\alpha_{th} = \arctan(0,6) = 31^\circ$
 - Thực tế $\alpha = 20 \div 25^\circ$



Phạm vi bảo vệ của hai dây thu sét

3. Bảo vệ chống sét cho trạm biến áp

□ Bảo vệ chống sét đánh trực tiếp vào trạm biến áp

❖ TBA nằm tập trung → thường dùng cột thu sét: cột kim loại dựng cao hơn vật được bảo vệ để thu dẫn dòng sét xuống đất

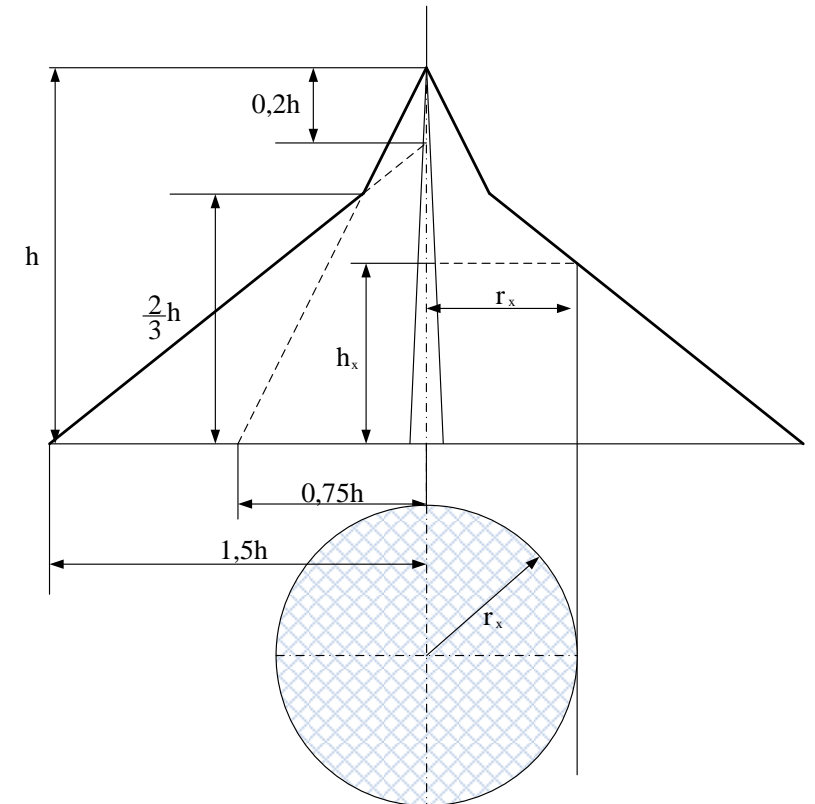
❖ Phạm vi bảo vệ 1 cột thu sét

✓ Mặt nón tròn xoay: $r_x = \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h} \cdot p} (h - h_x)$

- h : Độ cao cột thu sét
- h_x : Độ cao của vật cần được bảo vệ.
- r_x : Bán kính phạm vi bảo vệ ở độ cao h_x
- p : Hệ số.
 - Nếu $h_x \leq 30\text{m}$ thì $p = 1$
 - Nếu $h_x > 30\text{m}$ thì $p = \frac{5,5}{\sqrt{h}}$

✓ Tiện thiết kế, phạm vi bảo vệ đơn giản hóa:

- Nếu $h_x > \frac{2}{3}h$ thì $r_x = 0,75h \cdot p \left(1 - \frac{h_x}{h}\right)$
- Nếu $h_x \leq \frac{2}{3}h$ thì $r_x = 1,5h \cdot p \left(1 - \frac{h_x}{0,8h}\right)$



Phạm vi bảo vệ của một cột thu sét

3. Bảo vệ chống sét cho trạm biến áp

□ Bảo vệ chống sét đánh trực tiếp vào trạm biến áp

Phạm vi bảo vệ nhiều cột thu sét

❖ $a < 7h$: $h_0 = h - \frac{a}{7}$, $r_{0x} = 2r_x \frac{7h_a - a}{14h_a - a}$; $h_a = h - h_x$

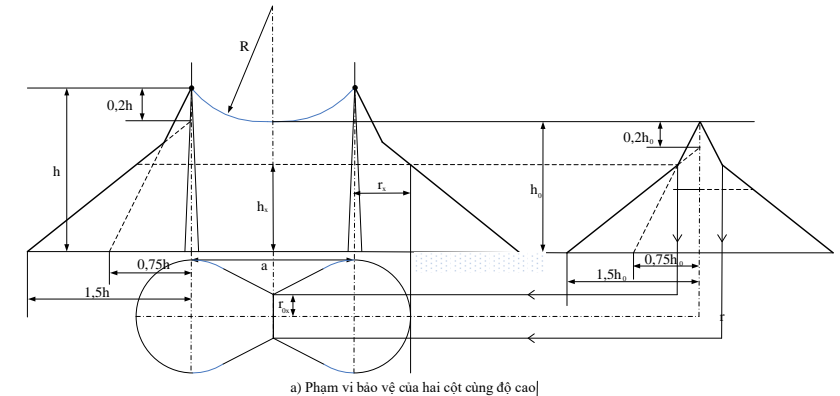
- Phần phạm vi bảo vệ hẹp nhất $2.r_0$ suy ra từ phạm vi bảo vệ của cột thu sét giả tưởng có chiều cao h_0 dạng tương tự phạm vi bảo vệ của 1 cột
- Phần ngoài khoảng hai cột phạm vi bảo vệ tương tự phạm vi bảo vệ 1 cột

❖ Hai cột khác độ cao: trụ tròn đi qua 2,3

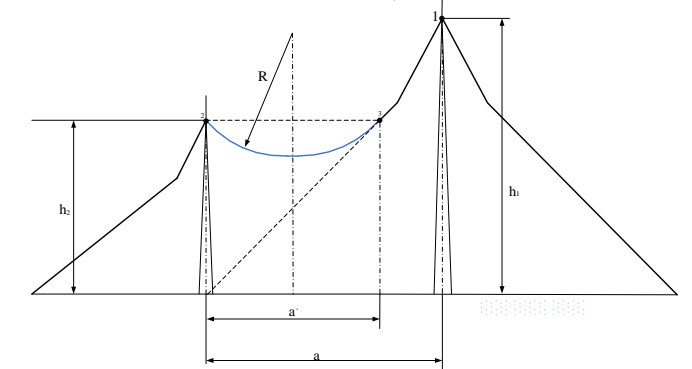
❖ Ba cột thu sét bảo vệ được độ cao h_x

- $D < 8(h - h_x) = 8h_a$ với $h \leq 30m$
- $D \leq 8(h - h_x).p = 8h_a.p$ với $h > 30m$

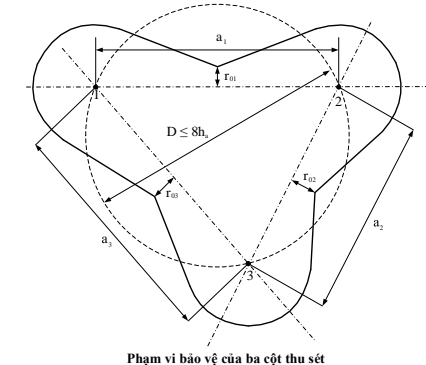
D là đường kính vòng tròn ngoại tiếp đa giác tạo bởi các vị trí đặt cột thu sét
 h_a : Chiều cao hiệu dụng cột thu lôi.



a) Phạm vi bảo vệ của hai cột cùng độ cao



b) Phạm vi bảo vệ của hai cột có chiều cao khác nhau



Phạm vi bảo vệ của ba cột thu sét

3. Bảo vệ chống sét cho trạm biến áp

□ *Bảo vệ chống sét truyền từ đường dây vào trạm*

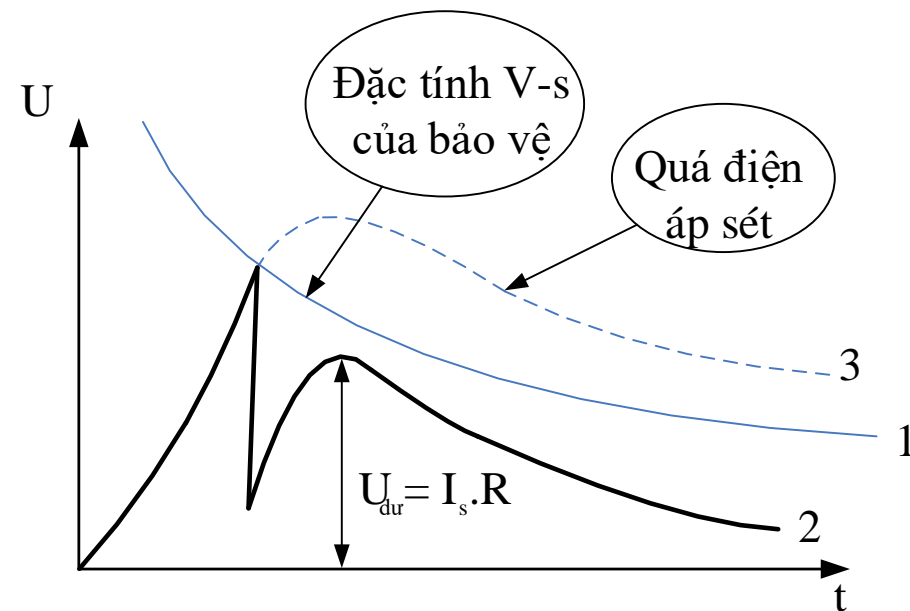
- ❖ *Hiện tượng lan truyền*: Sét đánh trực tiếp vào đường dây hay do cảm ứng khi sét đánh gần đường dây → Lan truyền quá điện áp từ nơi bị sét đánh dọc theo đường dây đến TBA.
 - ✓ *Chọc thủng*: quá điện áp lớn gây phóng điện chọc thủng cách điện thiết bị.
 - ✓ *Dao động*: độ dốc đầu sóng lớn sẽ tạo ra dao động điện áp lớn trong mạch L- giữa điện cảm của dây dẫn với điện dung cách điện của thiết bị → quá điện áp lớn đặt trên thiết bị điện
- ❖ *Thiết bị chống sét*: để giảm quá điện áp đặt lên thiết bị tới trị số an toàn đối với cách điện của thiết bị
- ❖ *Nguyên lý chống sét*: Thiết bị chống sét phóng điện tản dòng điện sét xuống đất, đồng thời cũng tạo nên ngắn mạch chạm đất
 - ✓ Khi hết quá điện áp, phải nhanh chóng dập hồ quang của ngắn mạch chạm đất trước khi các bảo vệ trong hệ thống điện tác động
 - ✓ Phóng điện hết, *điện áp dư* trên chống sét là điện áp giáng trên nối đất

3. Bảo vệ chống sét cho trạm biến áp

☐ Bảo vệ chống sét truyền từ đường dây vào trạm

❖ Khe hở phóng điện

- ✓ Cấu tạo: thiết bị đơn giản nhất gồm 2 điện cực, một nối với mạch điện, một nối đất.
 - Bình thường: cách ly những phần tử mang điện với đất.
 - Khi sóng quá điện áp chạy qua chỗ đặt khe hở, nó sẽ phóng điện và truyền xuống đất.
- ✓ **Ưu:** đơn giản, rẻ tiền.
- ✓ **Nhược:** không dập ngay được hồ quang nên thiết bị bảo vệ rơ le có thể tác động cắt mạch điện.
- ✓ **Ứng dụng:** làm bảo vệ phụ hoặc 1 bộ phận trong các loại chống sét khác.



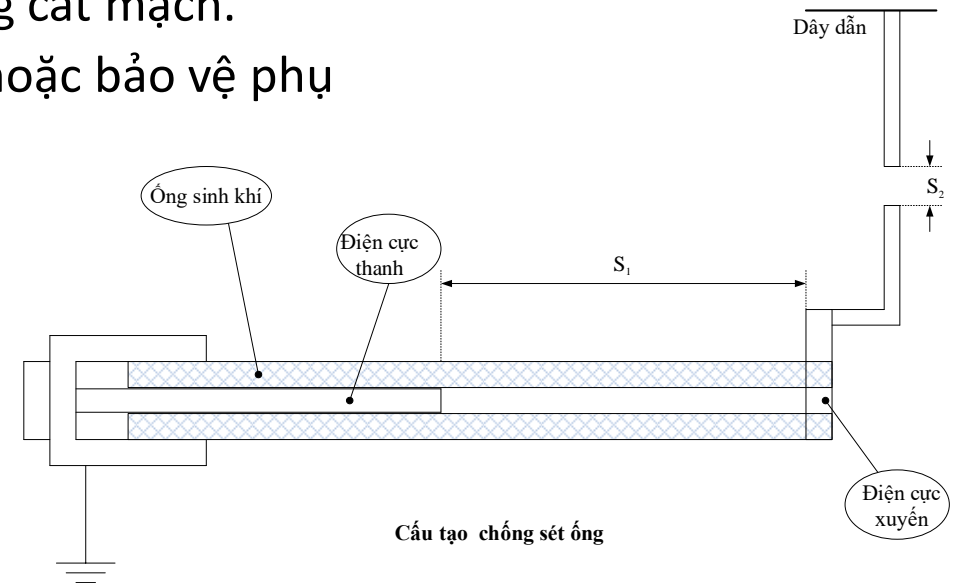
Tác dụng bảo vệ của khe sét và chống sét ống

3. Bảo vệ chống sét cho trạm biến áp

□ Bảo vệ chống sét truyền từ đường dây vào trạm

❖ Chống sét ống – CSO:

- ✓ Hai khe phóng điện S_1 và S_2 .
 - S_1 được đặt trong ống làm bằng vật liệu sinh khí. Trong khe hở S_1 , hồ quang đốt nóng chất sinh khí sinh ra nhiều khí. Áp lực khí tăng cao tới hàng chục ata sẽ thổi tắt hồ quang.
- ✓ Chỉ dập được các dòng hồ quang điện có trị số nhỏ, nếu dòng lớn, gây ngắn mạch tạm thời làm bảo vệ rơ le tác động cắt mạch.
- ✓ Bảo vệ các đường dây không treo dây chống sét hoặc bảo vệ phụ trong sơ đồ bảo vệ chống sét các trạm biến áp.



3. Bảo vệ chống sét cho trạm biến áp

□ *Bảo vệ chống sét truyền từ đường dây vào trạm*

❖ Chống sét van – CSV:

✓ Hai phần tử chính là khe hở phóng điện và điện trở làm việc phi tuyến

- Khe hở phóng điện có dạng chuỗi các khe hở nối tiếp nhau vừa có tác dụng phóng điện, vừa dập hồ quang
- Điện trở phi tuyến:
 - Có trị số rất lớn ở điện áp vận hành bình thường
 - Giảm đến trị số rất nhỏ khi có quá điện áp sét

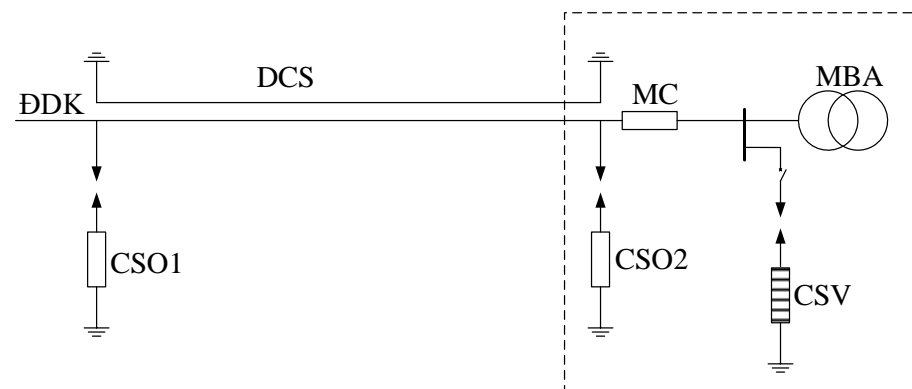
→ Dòng điện sét được tản nhanh trong đất dễ dàng, tạo điện áp dư nhỏ và ổn định khi tản dòng điện sét đồng thời hạn chế được dòng điện ngắn mạch sau đó.

3. Bảo vệ chống sét cho trạm biến áp

□ Bảo vệ chống sét truyền từ đường dây vào trạm

❖ Sơ đồ nguyên lý bảo vệ trạm biến áp:

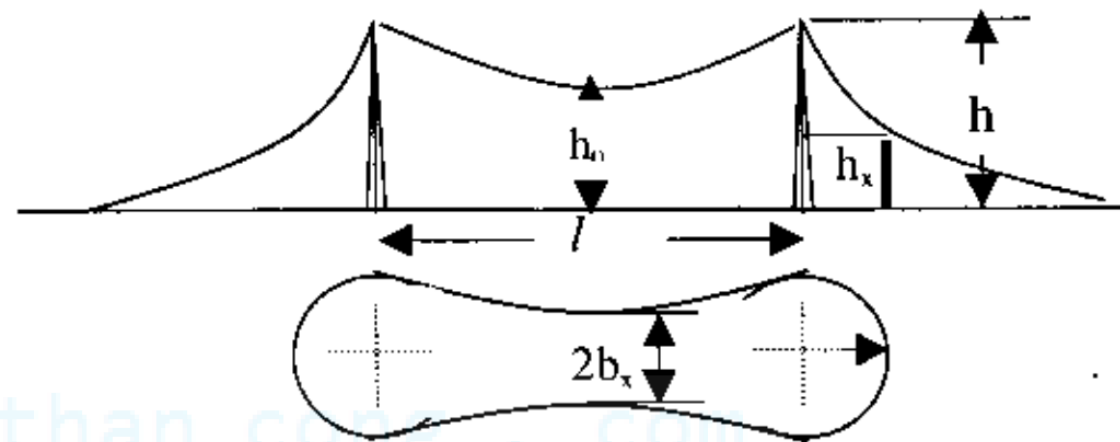
- ✓ Nếu Đz có DCS → không cần CSO
- ✓ Nếu Đz không DCS → treo DCS đoạn gần vào trạm (1÷2)km và đặt CSO ở đầu đường dây.
 - CSO1 cắt giảm biên độ sóng đến mức cách điện của đường dây
 - CSO2 dùng để bảo vệ máy cắt MC khi ở trạng thái mở vì hiện tượng phản xạ của sóng sét tại **nơi hở mạch** có thể làm điện áp đặt vào cách điện máy cắt tăng cao
- ✓ CSV giảm biên độ sóng sét đến điện áp dư thấp hơn mức cách điện của các thiết bị trong trạm.
- ✓ Trạm 3÷10kV
 - Không DCS ở đoạn gần trạm
 - Đặt CSO cách trạm 200m,
 - Đặt CSV trên thanh cái hay sát MBA



Sơ đồ bảo vệ chống sét truyền vào trạm 35÷kV

Bài tập tự luyện

Xác định vùng bảo vệ của cột thu lôi kép có chiều cao $h = 27,4$ m, bảo vệ cho thiết bị có chiều cao $h_x = 18,25$ m. Khoảng cách giữa 2 cột thu lôi là $l = 38,25$ m.



Vùng bảo vệ cho cột chống sét kép trong đề bài

Bài tập tự luyện

Xác định vùng bảo vệ của cột thu lôi kép có chiều cao $h = 27,4$ m, bảo vệ cho thiết bị có chiều cao $h_x = 18,25$ m. Khoảng cách giữa 2 cột thu lôi là $l = 38,25$ m.

Bài giải:

Chiều cao hiệu dụng:

$$h_a = 27,4 - 18,25 = 9,15 \text{ (m)}$$

$$\text{Bán kính vùng bảo vệ ở độ cao } h_x: r_x = \frac{1,6 \cdot h \cdot h_a}{h + h_x} = \frac{1,6 \cdot 27,4 \cdot 9,15}{27,4 + 18,25} = 8,79 \text{ (m)}$$

Bề ngang hẹp nhất của vùng bảo vệ xác định theo biểu thức:

$$2b_x = \frac{7 \cdot h_a - 1}{14 \cdot h_a - 1} \cdot 4 \cdot r_x = \frac{(7 \cdot 9,15 - 38,25)}{14 \cdot 9,15 - 38,25} \cdot 4 \cdot 8,79 = 10,09 \text{ (m)}$$

$$\text{Ta có, chiều cao: } h_0 = h - \frac{l}{7} = 27,4 - \frac{38,25}{7} = 21,94 \text{ (m)}$$

THE END!

Q&A