

Bài tập ôn thi giữa kỳ

Môn học Kiểm soát hệ thống điện

SVTH: Thi Minh Nhựt – Email: thiminhnhut@gmail.com

Thời gian: Ngày 17 tháng 10 năm 2016

Mục lục

1	Các vấn đề chung của bảo vệ	1
1.1	Nhiệm vụ của bảo vệ	1
1.2	Các yêu cầu cơ bản của hệ thống bảo vệ	1
1.2.1	Yêu cầu với bảo vệ chống ngắn mạch	1
1.2.2	Yêu cầu với bảo vệ chống các chế độ làm việc không bình thường	1
1.3	Các bộ phận của hệ thống bảo vệ	2
1.4	Các nguyên lý cơ bản của bảo vệ relay	2
2	Bảo vệ quá dòng điện	3
2.1	Nguyên tắc bảo vệ	3
2.2	Bảo vệ dòng điện cực đại	3
2.3	Bảo vệ dòng điện cắt nhanh	5
2.4	Bảo vệ dòng điện cực đại có kiểm tra áp	6
2.5	Bảo vệ dòng điện ba cấp	7
2.6	Đánh giá bảo vệ quá dòng điện	7
2.7	Bài tập Bảo vệ quá dòng điện	8
3	Bảo vệ dòng điện có hướng	15
3.1	Nguyên tắc hoạt động	15
3.2	Phần tử định hướng công suất	16
3.3	Tính toán bảo vệ có hướng	16
3.4	Một số mạng điện cần áp dụng bộ phận định hướng công suất cho bảo vệ dòng điện .	17
3.5	Đánh giá bảo vệ dòng điện có hướng	17
3.6	Bài tập Bảo vệ dòng điện có hướng	18
4	Bảo vệ dòng điện chống chạm đất	23
4.1	Bảo vệ dòng điện chống chạm đất trong mạng điện có dòng chạm đất lớn	23
4.1.1	Bảo vệ dòng cực đại thứ tự không	23
4.1.2	Bảo vệ dòng cực đại thứ tự không có hướng	24
4.1.3	Bảo vệ dòng cắt nhanh thứ tự không không có hướng	24
4.1.4	Đánh giá và phạm vi sử dụng	24
4.2	Bảo vệ chống chạm đất trong mạng điện có dòng chạm đất nhỏ	24
4.2.1	Những yêu cầu đối với bảo vệ	24
4.2.2	Nguyên tắc thực hiện bảo vệ	24

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Hoàng Việt, *Bảo vệ role và Tự động hóa trong hệ thống điện*, Tái bản lần thứ hai, NXB ĐHQG TP. Hồ Chí Minh, Năm 2005.
- [2]. Nguyễn Hoàng Việt, *Các bài toán tính ngắn mạch và bảo vệ role trong hệ thống điện*, Tái bản lần thứ ba, NXB ĐHQG TP. Hồ Chí Minh, Năm 2010.
- [3]. Trần Quang Khánh, *Bảo vệ role và Tự động hóa hệ thống điện*, NXB Giáo dục, Năm 2005.

1 Các vấn đề chung của bảo vệ

1.1 Nhiệm vụ của bảo vệ

- Duy trì hoạt động bình thường của hệ thống và các hộ tiêu thụ trong trường hợp có sự cố.
- Phát hiện kịp thời sự cố.
- Nhanh chóng tác động cắt các phần tử sự cố ra khỏi hệ thống để hạn chế hư hỏng và giảm thiệt hại.
- Tác động đến các cơ cấu khác: tự đóng lặp lại, tự đóng nguồn dự phòng,...
- Hệ thống bảo vệ là phần không thể thiếu trong các mạng điện hiện đại.
- Hệ thống bảo vệ gồm tổ hợp của các phần tử cơ bản là relay.

1.2 Các yêu cầu cơ bản của hệ thống bảo vệ

1.2.1 Yêu cầu với bảo vệ chống ngắn mạch

- *Tính chọn lọc*: chỉ cắt phần tử hư hỏng khi ngắn mạch.
- *Tác động nhanh*: bảo vệ cần tác động nhanh nhằm mục đích:
 - Đảm bảo ổn định làm việc song song của các máy phát, giảm ảnh hưởng của điện áp thấp lên phụ tải.
 - Giảm tác hại dòng ngắn mạch với thiết bị.
 - Giảm xác suất dẫn đến hư hỏng nặng hơn.
 - Nâng cao hiệu quả của thiết bị tự đóng lại.

Thời gian cắt hư hỏng: $t = t_{bv} + t_{MC}$.

Việc chọn các thiết bị vừa có tính chọn lọc vừa tác động nhanh rất khó, nên người ta thực hiện phương pháp là *cắt nhanh không chọn lọc*, sau đó dùng các *thiết bị tự đóng lại* để đóng các phần tử bị cắt không chọn lọc.

- *Độ nhạy*: mỗi bảo vệ cần tác động khi có sự cố trong vùng bảo vệ của mình với bảo vệ chính và bảo vệ dự trữ.
- *Độ tin cậy*: bảo vệ phải chắc chắn tác động khi ngắn mạch xảy ra trong vùng được giao bảo vệ và không tác động đối với các chế độ mà nó không có nhiệm vụ tác động.
Để bảo vệ tác động tin cậy: dùng sơ đồ đơn giản, giảm số lượng relay và tiếp xúc, cấu tạo đơn giản, chế độ và lắp ráp đảm bảo chất lượng, kiểm tra thường xuyên trong quá trình vận hành.
- *Tính kinh tế*: các relay cần đảm bảo yêu cầu kỹ thuật và tính kinh tế.

1.2.2 Yêu cầu với bảo vệ chống các chế độ làm việc không bình thường

Cần tác động chọn lọc, độ nhạy và tin cậy, không đề cập đến tác động nhanh.

1.3 Các bộ phận của hệ thống bảo vệ

Hệ thống bảo vệ gồm 2 thành phần chính là: *phần đo lường* và *phần logic*.

- *Phần đo lường*: ghi nhận thông tin tình trạng của phần tử được bảo vệ, ghi nhận sự cố xuất hiện và tình trạng làm việc không bình thường và gửi tín hiệu đến phần logic. Ghi nhận thông tin của phần tử được bảo vệ qua các bộ biến đổi đo lường sơ cấp *biến dòng* – *BI* và *biến áp* – *BU*.
 - Đo lường sơ cấp: biến áp và biến dòng.
 - Đo lường thứ cấp và các bộ phận so sánh.
- *Phần logic tiếp nhận tín hiệu từ phần đo lường*: Nếu giá trị, thứ tự và tổng hợp các tín hiệu phù hợp với chương trình định trước nó sẽ phát tín hiệu điều khiển (cắt máy cắt hoặc báo hiệu qua thiết bị điều khiển).
 - Phần logic của bảo vệ.
 - Mạch thực hiện điều khiển máy cắt.
- Ngoài ra, cần có *nguồn thao tác*: nguồn một chiều và nguồn xoay chiều.

1.4 Các nguyên lý cơ bản của bảo vệ relay

- *Bảo vệ dòng cực đại*: dòng điện khởi động của bảo vệ lớn hơn dòng làm việc cực đại chạy qua đối tượng được bảo vệ.
- *Bảo vệ cắt nhanh*: dòng điện làm việc của bảo vệ lớn hơn dòng ngắn mạch cực đại tại điểm sau đối tượng được bảo vệ.
- *Bảo vệ kết hợp quá dòng và sụt áp*: bảo vệ thực hiện theo nguyên lý *AND*.
- *Bảo vệ bằng bộ lọc*: bảo vệ được chỉnh định theo thành phần thứ tự nghịch hoặc thứ tự không của dòng điện và điện áp.
- *Bảo vệ theo hướng dòng công suất*: bảo vệ được thực hiện với sự tham gia của relay công suất, xác định hướng của dòng điện ngắn mạch.
- *Bảo vệ khoảng cách*: bảo vệ thực hiện theo phương pháp đo điện trở từ điểm đặt bảo vệ đến điểm ngắn mạch.
- *Bảo vệ so lệch dòng điện*: dựa trên so sánh trị số và góc pha của dòng điện ở đầu và cuối vùng bảo vệ.
- *Bảo vệ so lệch pha của dòng điện*: dựa vào so sánh pha của dòng điện ở hai đầu đường dây được bảo vệ.

2 Bảo vệ quá dòng điện

2.1 Nguyên tắc bảo vệ

Nguyên tắc Bảo vệ tác động khi dòng điện qua chỗ đặt thiết bị bảo vệ tăng quá giá trị đặt trước.

Chức năng Bảo vệ chống các hiện tượng ngắn mạch.

Phân loại Có thể chia bảo vệ dòng điện thành: *bảo vệ dòng điện cực đại* và *bảo vệ dòng điện cắt nhanh*.

- Hai loại bảo vệ trên khác nhau về: *yêu cầu tác động chọn lọc* và *vùng bảo vệ tác động*.
- *Bảo vệ dòng điện cực đại*:
 - Nguyên lý: bảo vệ quá dòng có thời gian trì hoãn.
 - Vùng bảo vệ: gồm phần tử bảo vệ và các phần tử lân cận.
- *Bảo vệ dòng điện cắt nhanh*:
 - Nguyên lý: bảo vệ quá dòng tác động tức thời chỉnh định theo dòng ngắn mạch bên ngoài.
 - Vùng bảo vệ: chỉ một phần của phần tử được bảo vệ.

Mã số relay

- Bảo vệ dòng điện cực đại: 51.
- Bảo vệ dòng điện cắt nhanh: 50.

2.2 Bảo vệ dòng điện cực đại

- *Nguyên tắc đặt thời gian trì hoãn*: đặt theo nguyên tắc từng cấp, thời gian tăng dần tính từ hộ tiêu thụ cho đến nguồn.
- *Dòng khởi động của bảo vệ*: $I_{kd} > I_{lvmax}$.
- Công thức tính toán dòng khởi động bảo vệ:
 - Dòng khởi động của bảo vệ: $I_{kd} = \frac{K_{at}K_{mm}}{K_{tv}} \times I_{lvmax}$.
 - Dòng khởi động relay: $I_{kdR} = \frac{K_{at}K_{mm}}{K_{tv}n_{BI}} \times I_{lvmax} = \frac{I_{kd}}{n_{BI}}$.
 - * Trong đó: K_{at} là hệ số an toàn, K_{mm} là hệ số mở máy động cơ (thường cho $K_{mm} = 2 \div 3$), K_{tv} là hệ số trở về, n_{BI} là tỉ số biến dòng, I_{lvmax} là dòng làm việc cực đại.
- Công thức tính toán độ nhạy của bảo vệ:
 - Độ nhạy bảo vệ chính: $K_{nhbvc} = \frac{I_{Nmin}}{I_{kd}}$, với I_{Nmin} là dòng ngắn mạch nhỏ nhất của phần tử bảo vệ chính. Yêu cầu: $K_{nhbvc} > 1.5$.
 - Độ nhạy bảo vệ dự trữ: $K_{nhbdtr} = \frac{I_{Nmin}}{I_{kd}}$, với I_{Nmin} là dòng ngắn mạch nhỏ nhất của các phần tử bảo vệ lân cận. Yêu cầu: $K_{nhbdtr} > 1.2$.

- Dòng khởi động của bảo vệ phụ thuộc vào K_{tv} và I_{lvmax} : muốn giảm dòng khởi động để tăng độ nhạy cho bảo vệ cần chọn relay có hệ số trở về cao.
- Thời gian tác động của bảo vệ:

– *Relay dòng điện có đặc tính thời gian độc lập:*

- + Thời gian trì hoãn tạo ra nhờ vào *relay thời gian* và *không phụ thuộc vào dòng ngắn mạch*.
- + Thời gian tác động: $t_2 = \max t_i + \Delta t$. Thường chọn $\Delta t = 0.35 \div 0.6$ s. Chọn thời gian t_i lớn nhất để tính thời gian tác động cho bảo vệ.

– *Relay dòng điện có đặc tính thời gian phụ thuộc:*

- + Relay làm việc với thời gian xác định nào đó khi *dòng điện vượt quá giá trị khởi động*. Thời gian tác động của relay *phụ thuộc vào dòng điện qua relay*, thời gian làm việc giảm khi dòng tăng cao.
- + Phương trình đường cong của Mỹ:
 - * Đường cong có độ dốc U_1 :

$$t_{td} = \left(0.0226 + \frac{0.01014}{m^{0.02} - 1} \right) TD; \quad t_{tv} = \frac{1.08TD}{1 - m^2}$$

- * Đường cong có độ dốc U_2 :

$$t_{td} = \left(0.18 + \frac{5.95}{m^2 - 1} \right) TD; \quad t_{tv} = \frac{5.95TD}{1 - m^2}$$

- * Đường cong có độ dốc U_3 :

$$t_{td} = \left(0.0963 + \frac{3.88}{m^2 - 1} \right) TD; \quad t_{tv} = \frac{3.88TD}{1 - m^2}$$

- * Đường cong có độ dốc U_4 :

$$t_{td} = \left(0.0352 + \frac{5.67}{m^2 - 1} \right) TD; \quad t_{tv} = \frac{5.67TD}{1 - m^2}$$

- * Trong đó:

t_{td} : thời gian tác động của bảo vệ quá dòng (s).

t_{tv} : thời gian trở về của bảo vệ (s).

TD : hệ số chọn thời gian (trị đặt thời gian).

$m = \frac{I_{NM}}{I_{đặt}}$: bộ số dòng ngắn mạch so với dòng đặt của bảo vệ.

Với $I_{đặt} = I_{kd} = I_s = I_p = I$ (các ký hiệu dòng đặt được dùng).

- + Phương trình đường cong theo tiêu chuẩn IEC:

- * Đường cong dốc chuẩn $SIT - C1$:

$$t_{td} = \frac{0.14TMS}{m^{0.02} - 1} = \frac{0.14T}{2.97(m^{0.02} - 1)}; \quad t_{tv} = -\frac{1.08TMS}{m^2 - 1}; \quad TMS = \frac{T}{2.97}$$

- * Đường cong rất dốc $VIT - C2$:

$$t_{td} = \frac{13.5TMS}{m - 1} = \frac{13.5T}{1.5(m - 1)}; \quad t_{tv} = -\frac{13.5TMS}{m - 1}; \quad TMS = \frac{T}{1.5}$$

* Đường cong cực dốc $EIT - C3$:

$$t_{td} = \frac{80TMS}{m^2 - 1} = \frac{80T}{0.808(m^2 - 1)}; \quad t_{tv} = -\frac{80TMS}{m^2 - 1}; \quad TMS = \frac{T}{0.808}$$

* Đường cong siêu dốc UIT :

$$t_{td} = \frac{315TMS}{m^{2.5} - 1} = \frac{315T}{2.97(m^{2.5} - 1)}; \quad TMS = \frac{T}{2.97}$$

* Đường cong dành cho chống chạm đất RI :

$$t_{td} = \frac{0.315T}{0.399 - \frac{0.236}{m}}$$

* Đường cong có thời gian tác động lâu $C4$:

$$t_{td} = \frac{120TMS}{m - 1}; \quad t_{tv} = \frac{120TMS}{m - 1}$$

* Trong đó:

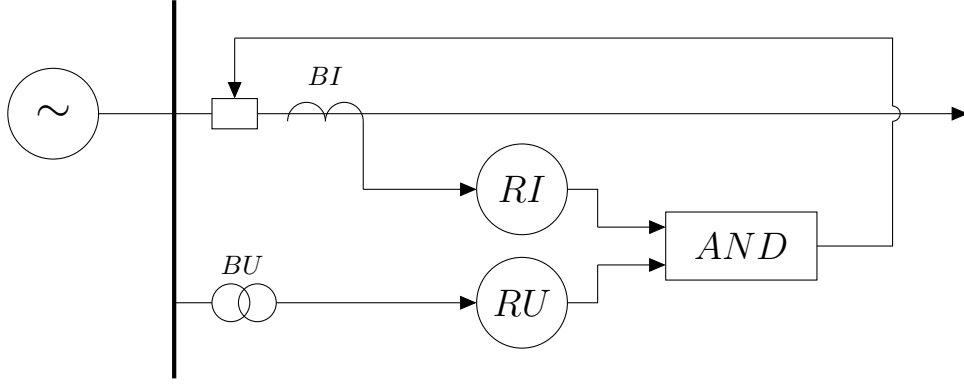
TMS : hệ số chọn thời gian, giá trị đặt thời gian, hệ số nhân thời gian (giống hệ số TD của Mỹ, ký hiệu khác là T_p, K).

T : thời gian tác động của bảo vệ lúc ngắn mạch bằng 10 lần giá trị đặt dòng điện ($m = 10$) với $m = \frac{I_{NM}}{I_{đặt}}$.

* Nhận xét $t_{td} = k_1 TMS = k_1 TD = k_2 T$ với k_1, k_2 là các hằng số.

2.3 Bảo vệ dòng điện cắt nhanh

- Bảo vệ dòng cắt nhanh: là bảo vệ chống quá dòng tác động một cách tức thời.
- *Nguyên lý*: bảo vệ dòng cắt nhanh đảm bảo tính chọn lọc dựa vào chọn dòng điện khởi động lớn hơn dòng điện ngắn mạch lớn nhất qua chỗ đặt bảo vệ khi ngắn mạch ở ngoài phần tử được bảo vệ (cuối vùng bảo của phần tử được bảo vệ).
- Dòng khởi động bảo vệ: $I_{kd} > I_{Nmax}$.
- Các công thức tính toán dòng khởi động bảo vệ:
 - Dòng khởi động của bảo vệ: $I_{kd} = K_{at} I_{Nmax}$.
 - Dòng khởi động relay: $I_{kd} = \frac{K_{at} I_{Nmax}}{n_{BI}} = \frac{I_{kd}}{n_{BI}}$.
- * Trong đó: K_{at} là hệ số an toàn, n_{BI} là tỉ số biến dòng, I_{Nmax} là dòng ngắn mạch lớn nhất ngoài vùng bảo vệ.
- Độ nhạy của bảo vệ: $K_{nh} = \frac{I_{Nmin}}{I_{kd}}$, với I_{Nmin} là dòng ngắn mạch nhỏ nhất trong vùng bảo vệ cắt nhanh.



Hình 1: Sơ đồ cấu trúc của bảo vệ dòng điện có kiểm tra áp

2.4 Bảo vệ dòng điện cực đại có kiểm tra áp

- Dòng khởi động của bảo vệ dòng điện cực đại có giá trị lớn và đôi khi không đảm bảo yêu cầu về độ nhạy.
- Để tăng cường bảo vệ, người ta dùng relay điện áp làm bộ phận khởi động.
- Cấu trúc của bảo vệ dòng điện cực đại có kiểm tra áp: hình 1.
- Mã số relay: 51V.
- Bảo vệ chỉ tác động khi relay giảm áp RU đã tác động. Giá trị đặt cho relay giảm áp RU sao cho nó tác động khi có ngắn mạch (vì khi ngắn mạch điện áp giảm rất nhiều).
- Dòng khởi động của RI :

– Dòng khởi động bảo vệ: $I_{kd} = \frac{K_{at}}{K_{tv}} \times I_{lv}$

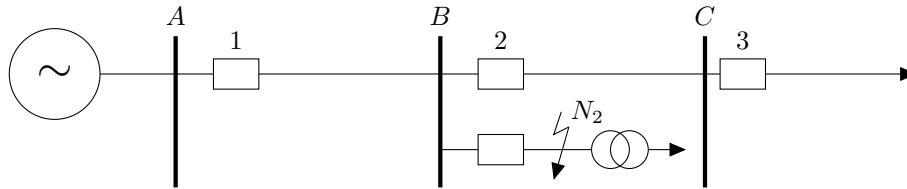
– Dòng khởi động relay: $I_{kdR} = \frac{K_{at}}{K_{tv}n_{BI}} \times I_{lv} = \frac{I_{kd}}{nh_{BI}}$

* Trong đó: K_{at} là hệ số an toàn, K_{tv} là hệ số trở về, n_{BI} là tỉ số biến dòng, I_{lv} là dòng làm việc (thường chọn $I_{lv} \leq \frac{I_{lvmax}}{1.5}$, với I_{lvmax} là dòng làm việc cực đại).

- Độ nhạy của bảo vệ RI : $K_{nh} = \frac{I_{Nmin}}{I_{kd}}$, với I_{Nmin} là dòng ngắn mạch nhỏ nhất trong vùng bảo.
- Điện áp khởi động của relay giảm áp RU được chọn theo yêu cầu:
 - Relay giảm áp RU không được tác động đối với điện áp làm việc tối thiểu.
 - Relay giảm áp RU phải trở về trạng thái bình thường sau khi sự cố ngắn mạch được loại trừ.
- Chọn điện áp khởi động cho relay giảm áp RU : $U_{kd} = (0.7 \div 0.75) U_{lvmax}$.
- Độ nhạy của bảo vệ RU : $K_{nh} = \frac{U_{kd}}{U_{Nmax}} \geq 1.5$, với U_{Nmax} là điện áp lớn nhất khi ngắn mạch ở cuối vùng bảo vệ.

2.5 Bảo vệ dòng điện ba cấp

- Bảo vệ dòng điện ba cấp gồm các bảo vệ: *cấp I – bảo vệ cắt nhanh tức thời, cấp II – bảo vệ cắt nhanh có thời gian, cấp III – bảo vệ dòng điện cực đại.*
- Mạng điện minh họa bảo vệ dòng điện ba cấp: hình 2.



Hình 2: Sơ đồ cấu trúc của bảo vệ dòng điện ba cấp

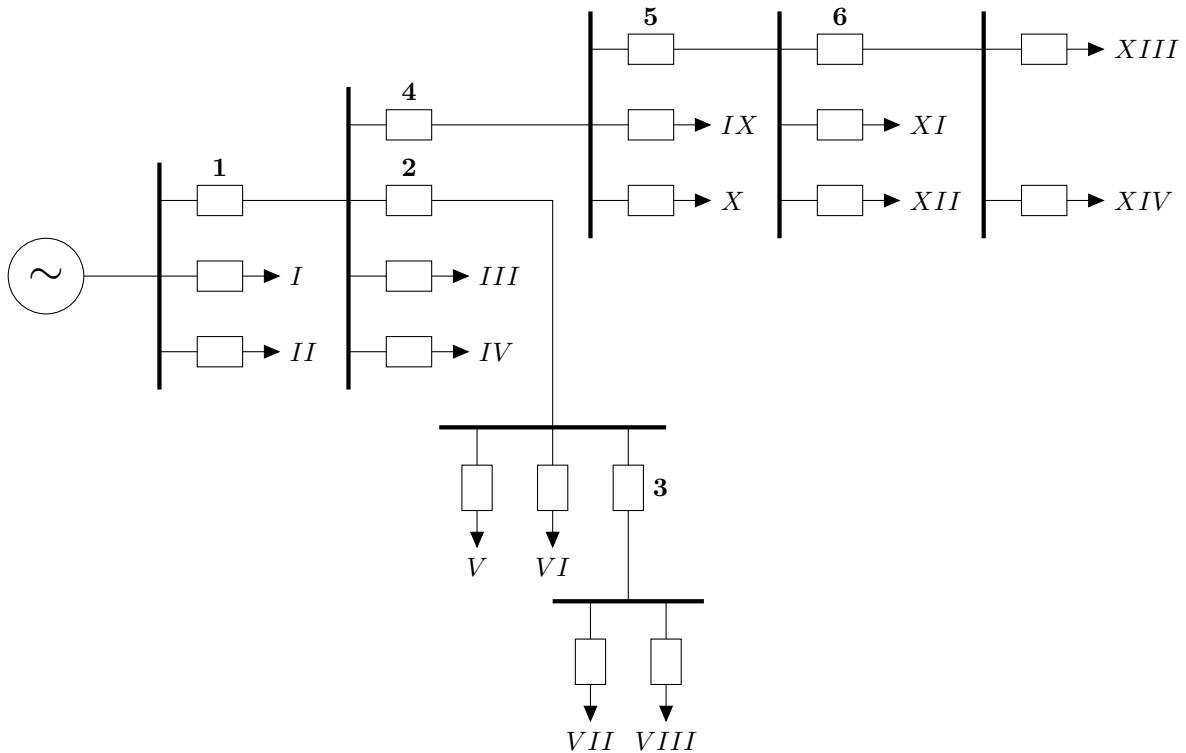
- Vùng bảo vệ cấp I của đoạn gồm A và B với dòng khởi động bảo vệ: $I_{kdA}^I = K_{at} I_{NBmax}$ với I_{NBmax} là dòng ngắn mạch lớn nhất ở thanh cái B.
- Vùng bảo vệ cấp II là đoạn gồm A và B và một phần đoạn kế nối vào trạm B, cấp II là bảo vệ dự trữ cho cấp I:
 - + Thời gian của bảo vệ cấp II: $t_A^{II} = t_A^I + \Delta t$.
 - + Dòng khởi động cấp II: $I_{kdA}^{II} = K_{at} I_{kdB}^I = K_{at} I_{N2max}$.
- Vùng bảo vệ cấp III: thời gian tác động $t_A^{III} = t_A^{II} + \Delta t$.

2.6 Đánh giá bảo vệ quá dòng điện

- *Ưu điểm bảo vệ dòng điện cực đại:* đơn giản, độ tin cậy cao. Bảo vệ tác động chọn lọc trong mạng hình tia với một nguồn cung cấp.
- *Nhược điểm bảo vệ dòng điện cực đại:* thời gian ngắn mạch khá lớn (nhất là các đoạn gần nguồn, trong khi đó ngắn mạch ở gần nguồn cần được cắt nhanh để đảm bảo ổn định của hệ thống), có độ nhạy kém trong mạng phân nhiều nhánh và phụ tải lớn.
- Được dùng phổ biến trong tất cả các cấp điện áp.
- *Ưu điểm bảo vệ dòng điện cắt nhanh:* tác động nhanh, đơn giản, độ tin cậy cao.
- *Nhược điểm bảo vệ dòng điện cắt nhanh:* vùng tác động của bảo vệ không bao gồm toàn bộ đường dây.
- *Bảo vệ dòng điện ba cấp:* cần kết hợp với bảo vệ cắt nhanh và bảo vệ dòng điện cực đại.

2.7 Bài tập Bảo vệ quá dòng điện

1. Cho mạng điện như hình 3, các số liệu tính toán cho ở bảng 1 và bảng 2.



Hình 3: Sơ đồ mạng điện trong bài tập 1 – bảo vệ dòng điện với thời gian độc lập

P.A	Dòng tải (A)						
	$I_I + I_{II}$	$I_{III} + I_{IV}$	$I_V + I_{VI}$	$I_{VII} + I_{VIII}$	$I_{IX} + I_X$	$I_{XI} + I_{XII}$	$I_{XIII} + I_{XIV}$
1	215	37	80	34	78	24	68
2	315	68	19	51	25	36	24
3	135	71	63	48	70	29	41
Dòng ngắn mạch tại thanh góp có phụ tải (A)							
	$I_I + I_{II}$	$I_{III} + I_{IV}$	$I_V + I_{VI}$	$I_{VII} + I_{VIII}$	$I_{IX} + I_X$	$I_{XI} + I_{XII}$	$I_{XIII} + I_{XIV}$
1	2110	1550	1100	770	1200	1080	950
2	1100	840	740	590	780	680	600
3	1430	1090	890	680	930	790	640
Dòng ngắn mạch tại cuối đường (A)							
	$I_I + I_{II}$	$I_{III} + I_{IV}$	$I_V + I_{VI}$	$I_{VII} + I_{VIII}$	$I_{IX} + I_X$	$I_{XI} + I_{XII}$	$I_{XIII} + I_{XIV}$
1	1500	730	930	670	1100	690	710
2	850	550	650	510	680	510	530
3	1100	630	760	570	710	600	610

Bảng 1: Dòng làm việc và dòng ngắn mạch của các phần tử trên hình 3

P.A	t_I	t_{II}	t_{III}	t_{IV}	t_V	t_{VI}	t_{VII}	t_{VIII}	t_{IX}	t_X	t_{XI}	t_{XII}	t_{XIII}	t_{XIV}
1	1	1	0.5	2.5	0.5	1	0	0	1	1.5	0.5	1	0.5	1.5
2	1.5	2	2	1.1	1	2.5	1	1.5	1.5	1.5	1	0.5	1	0.5
3	4	1	3	1.5	2	1	1	1.5	1	2	1	1	0.5	1

Bảng 2: Thời gian tại các phụ tải trên hình 3

Yêu cầu

- Chọn thời gian tác động của bảo vệ dòng điện cực đại có đặc tính thời gian độc lập đặt tại các vị trí máy cắt 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Cho $\Delta t = 0.5$ s.
- Chọn tỉ số máy biến dòng, dòng khởi động bảo vệ (sơ đồ BI nối hình sao). Kiểm tra độ nhạy, cho $K_{at} = 1.2$ và $K_{tv} = 0.85$.

Bài giải

- Chọn thời gian tác động của relay bảo vệ dòng điện cực đại có đặc tính thời gian độc lập

• Phương án 1

- Relay BV 6: $t_6 = \max(t_{XIII}, t_{XIV}) + \Delta t = \max(0.5; 1.5) + 0.5 = 1.5 + 0.5 = 2$ s.
- Relay BV 5: $t_5 = \max(t_{XI}, t_{XII}, t_6) + \Delta t = \max(0.5; 1; 2) + 0.5 = 2 + 0.5 = 2.5$ s.
- Relay BV 4: $t_4 = \max(t_{IX}, t_X, t_5) + \Delta t = \max(1; 1.5; 2.5) + 0.5 = 2.5 + 0.5 = 3$ s.
- Relay BV 3: $t_3 = \max(t_{VII}, t_{VIII}) + \Delta t = \max(0; 0) + 0.5 = 0 + 0.5 = 0.5$ s.
- Relay BV 2: $t_2 = \max(t_V, t_{VI}, t_3) + \Delta t = \max(0.5; 1; 0.5) + 0.5 = 1 + 0.5 = 1.5$ s.
- Relay BV 1: $t_1 = \max(t_{III}, t_{IV}, t_2, t_4) + \Delta t = \max(0.5; 2.5; 1.5; 3) + 0.5 = 3 + 0.5 = 3.5$ s.

- Thực hiện tương tự cho **Phương án 2** và **Phương án 3**, được kết quả trong bảng 3.

Phương án	Thời gian tác động (s)					
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
1	3.5	1.5	0.5	3	2.5	2
2	3.5	3	2	2.5	2	1.5
3	3.5	2.5	2	2.5	2	1.5

Bảng 3: Thời gian tác động của bảo vệ dòng điện cực đại cho các phương án trong bài tập 1

- Chọn tỉ số máy biến dòng, tính dòng khởi động bảo vệ, dòng khởi động relay và độ nhạy bảo vệ chính, độ nhạy bảo vệ dự trữ

• Phương án 1

- Relay BV 6:
 - * Dòng làm việc cực đại: $I_{lvmax_6} = I_t = I_{XIII} + I_{XIV} = 68$ A.
 - + Chọn tỉ số BI là 75/5 và $n_{BI_6} = 15$.
 - + Dòng khởi động bảo vệ: $I_{kdbv_6} = \frac{K_{at} \times I_{lvmax_6}}{K_{tv}} = \frac{1.2 \times 68}{0.85} = 96$ A.
 - + Dòng khởi động relay: $I_{kdr_6} = \frac{I_{kdbv_6}}{n_{BI_6}} = \frac{96}{15} = 6.4$ A.

- * Độ nhạy:
 - + Bảo vệ chính: $K_{nhbvc} = \frac{I_{NminTG}}{I_{kdbv_6}} = \frac{950}{96} = 9.90.$
 - + Bảo vệ dự trữ: $K_{nhbvdtr} = \frac{I_{NminDD}}{I_{kdbv_6}} = \frac{710}{96} = 7.40.$
- Relay BV 5:
 - * Dòng làm việc cực đại: $I_{lvmax_5} = I_{XI} + I_{XII} + I_{lvmax_6} = 24 + 68 = 92 \text{ A}.$
 - + Chọn tỉ số BI là $100/5$ và $n_{BI_5} = 20.$
 - + Dòng khởi động bảo vệ: $I_{kdbv_5} = \frac{K_{at} \times I_{lvmax_5}}{K_{tv}} = \frac{1.2 \times 92}{0.85} = 129.88 \text{ A}.$
 - + Dòng khởi động relay: $I_{kdR_5} = \frac{I_{kdbv_5}}{n_{BI_5}} = \frac{129.88}{20} = 6.94 \text{ A}.$
 - * Độ nhạy:
 - + Bảo vệ chính: $K_{nhbvc} = \frac{I_{NminTG}}{I_{kdbv_5}} = \frac{1080}{129.88} = 8.32.$
 - + Bảo vệ dự trữ: $K_{nhbvdtr} = \frac{I_{NminDD}}{I_{kdbv_5}} = \frac{690}{129.88} = 5.31.$
- Relay BV 4:
 - * Dòng làm việc cực đại: $I_{lvmax_4} = I_{IX} + I_X + I_{lvmax_5} = 78 + 92 = 170 \text{ A}.$
 - + Chọn tỉ số BI là $200/5$ và $n_{BI_4} = 40.$
 - + Dòng khởi động bảo vệ: $I_{kdbv_4} = \frac{K_{at} \times I_{lvmax_4}}{K_{tv}} = \frac{1.2 \times 170}{0.85} = 240 \text{ A}.$
 - + Dòng khởi động relay: $I_{kdR_4} = \frac{I_{kdbv_4}}{n_{BI_4}} = \frac{240}{40} = 6 \text{ A}.$
 - * Độ nhạy:
 - + Bảo vệ chính: $K_{nhbvc} = \frac{I_{NminTG}}{I_{kdbv_4}} = \frac{1200}{240} = 5.$
 - + Bảo vệ dự trữ: $K_{nhbvdtr} = \frac{I_{NminDD}}{I_{kdbv_4}} = \frac{1100}{240} = 4.58.$
- Relay BV 3:
 - * Dòng làm việc cực đại: $I_{lvmax_3} = I_{t_3} = I_{VII} + I_{VIII} = 34 \text{ A}.$
 - + Chọn tỉ số BI là $40/5$ và $n_{BI_3} = 8.$
 - + Dòng khởi động bảo vệ: $I_{kdbv_3} = \frac{K_{at} \times I_{lvmax_3}}{K_{tv}} = \frac{1.2 \times 34}{0.85} = 48 \text{ A}.$
 - + Dòng khởi động relay: $I_{kdR_3} = \frac{I_{kdbv_3}}{n_{BI_3}} = \frac{48}{8} = 6 \text{ A}.$
 - * Độ nhạy:
 - + Bảo vệ chính: $K_{nhbvc} = \frac{I_{NminTG}}{I_{kdbv_3}} = \frac{770}{48} = 16.04.$
 - + Bảo vệ dự trữ: $K_{nhbvdtr} = \frac{I_{NminDD}}{I_{kdbv_3}} = \frac{670}{48} = 13.96.$
- Relay BV 2:
 - * Dòng làm việc cực đại: $I_{lvmax_2} = I_V + I_{VI} + I_{lvmax_3} = 80 + 34 = 114 \text{ A}.$
 - + Chọn tỉ số BI là $150/5$ và $n_{BI_2} = 30.$
 - + Dòng khởi động bảo vệ: $I_{kdbv_2} = \frac{K_{at} \times I_{lvmax_2}}{K_{tv}} = \frac{1.2 \times 114}{0.85} = 160.94 \text{ A}.$
 - + Dòng khởi động relay: $I_{kdR_2} = \frac{I_{kdbv_2}}{n_{BI_2}} = \frac{160.94}{30} = 5.36 \text{ A}.$

* Độ nhạy:

$$+ \text{ Bảo vệ chính: } K_{nhbvc} = \frac{I_{NminTG}}{I_{kdbv2}} = \frac{1100}{160.94} = 6.83.$$

$$+ \text{ Bảo vệ dự trữ: } K_{nhbvdr} = \frac{I_{NminDD}}{I_{kdbv2}} = \frac{930}{160.94} = 5.78.$$

– Relay BV 1:

$$* \text{ Dòng làm việc cực đại: } I_{lvmax1} = I_{III} + I_{IV} + I_{lvmax2} + I_{lvmax4} = 37 + 114 + 170 = 321 \text{ A.}$$

$$+ \text{ Chọn tỉ số BI là } 400/5 \text{ và } n_{BI1} = 80.$$

$$+ \text{ Dòng khởi động bảo vệ: } I_{kdbv2} = \frac{K_{at} \times I_{lvmax1}}{K_{tv}} = \frac{1.2 \times 321}{0.85} = 453.18 \text{ A.}$$

$$+ \text{ Dòng khởi động relay: } I_{kdr1} = \frac{I_{kdbv1}}{n_{BI1}} = \frac{453.18}{80} = 5.66 \text{ A.}$$

* Độ nhạy:

$$+ \text{ Bảo vệ chính: } K_{nhbvc} = \frac{I_{NminTG}}{I_{kdbv1}} = \frac{1550}{453.18} = 3.42.$$

$$+ \text{ Bảo vệ dự trữ: } K_{nhbvdr} = \frac{I_{NminDD}}{I_{kdbv1}} = \frac{730}{453.18} = 1.61.$$

• Thực hiện tương tự cho **Phương án 2** và **Phương án 3**, được kết quả trong bảng 4

Phương án	Bảo vệ	Tỉ số biến dòng	Dòng khởi động bảo vệ	Dòng khởi động relay	Độ nhạy bảo vệ chính	Độ nhạy bảo vệ dự trữ
1	1	400/5	453.18	5.66	3.42	1.61
	2	150/5	160.94	5.36	6.83	5.78
	3	40/5	48	6	16.04	13.96
	4	200/5	240	6	5	4.58
	5	100/5	129.88	6.94	8.32	5.31
	6	75/5	96	6.4	9.90	7.40
2	1	250/5	314.82	6.30	2.67	1.75
	2	75/5	98.82	6.56	7.49	6.58
	3	60/5	72	6	8.19	7.08
	4	100/5	120	6	6.5	5.67
	5	60/5	84.71	7.06	8.03	6.02
	6	25/5	33.88	6.78	17.71	15.64
3	1	400/5	454.59	5.68	2.40	1.39
	2	150/5	156.71	5.22	5.68	4.85
	3	50/5	67.76	6.78	10.04	8.41
	4	150/5	197.56	6.59	4.71	3.59
	5	75/5	98.82	6.59	7.99	6.07
	6	50/5	57.88	5.79	11.06	10.54

Bảng 4: Tỉ số biến dòng và kiểm tra độ nhạy của relay với các phương án trong bài tập 1

2. Cho sơ đồ như hình 4 và số liệu hệ thống, tổng trở hệ thống và dòng ngắn mạch ba pha trong đơn vị tương đối và có tên trong bảng 5a. Chọn $S_{cb} = 100 \text{ MVA}$ và $U_{cb} = 34.5 \text{ kV}$.

Dòng ngắn mạch lớn nhất sau cầu chì là 350 A (tại điểm N_6).

Mỗi 4 tải tại thanh cái A, B, C và tuyến phát từ D là 3 MVA và dự kiến tăng 5 MVA , mỗi tải được cung cấp bởi một máy biến áp giảm 5 MVA có đặt cầu chì bảo vệ phía 34.5 kV , đặc tính cầu chì cho ở bảng 5b.

Tất cả các relay dòng điện đặt tại A, B, C có đặc tính phụ thuộc theo tiêu chuẩn Mỹ. Yêu cầu dòng tác động nhỏ nhất phải lớn hơn hai lần dòng tải cực đại, chọn $\Delta t = 0.3 \text{ s}$.

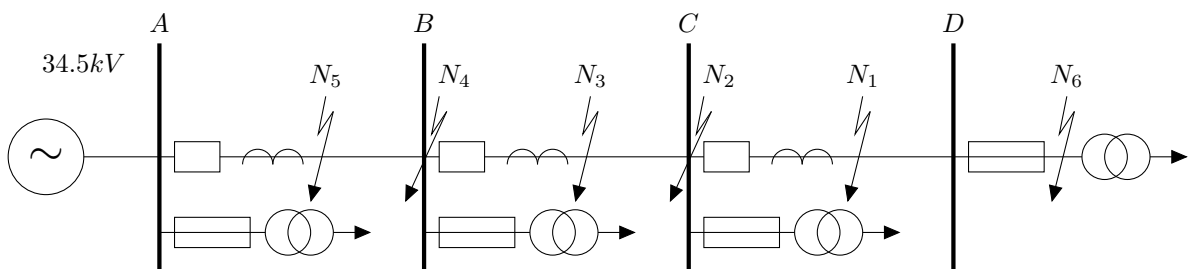
Vị trí chạm	Tổng trở ngắn mạch tới điểm		Dòng ngắn mạch ba pha	
	Ngắn mạch lớn nhất	Ngắn mạch nhỏ nhất	Lớn nhất	Nhỏ nhất
N_1 hay N_2	$0.741 + j2.629$ 12.7321	$0.741 + j2.199$ 12.2551	$ 0.444 $ 743.3 A	$ 0.366 $ 612.6 A
N_3 hay N_4	$0.247 + j1.541$ 11.5611	$0.247 + j1.041$ 11.0701	$ 0.935 $ 1564.1 A	$ 0.641 $ 1072.3 A
N_5	$j1$ 11.0001	$j0.5$ 10.5001	$ 2000 $ 3342 A	$ 1000 $ 6673.5 A

(a) Tổng trở hệ thống và dòng ngắn mạch ba pha

Thời gian đứt (s)	500	10	3	1	0.1
Dòng điện (A)	160	220	350	520	1600

(b) Đặc tính của cầu chì

Bảng 5: Bảng số liệu dùng tính toán trong bài tập 2



Hình 4: Sơ đồ mạng điện trong bài tập 2 – bảo vệ dòng điện cực đại với thời gian phụ thuộc

Yêu cầu Xác định các giá trị đặt của bảo vệ dòng điện tại các vị trí A, B, C với đường cong theo tiêu chuẩn của Mỹ có độ dốc U_2 .

Bài giải

• Relay C

– Dòng tải tại thanh cái C : $I_{tc} = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{5 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 34.5 \times 10^3} = 83.67 \text{ A}$.

- Chọn tỉ số BI là $100/5$ và $n_{BI_C} = 20$.
- Dòng khởi động bảo vệ: $I_{kdC} = 2I_{t_C} = 2 \times 83.67 = 167.34 \text{ A}$.
- Dòng khởi động relay: $I_{kdRC} = \frac{I_{kdC}}{n_{BI_C}} = \frac{167.34}{20} = 8.37 \text{ A}$.
- Tại điểm N_6 dòng ngắn mạch $I_{Nmax} = 350 \text{ A}$ và thời gian cắt của cầu chì $t_{cc} = 3 \text{ s}$ (bảng 5b). Suy ra, thời gian cắt của relay C khi có ngắn mạch tại N_6 :

$$t_C = t_{cc} + \Delta t = 3 + 0.3 = 3.3 \text{ s}$$

- Bội số dòng ngắn mạch so với đặc tính bảo vệ: $m_C = \frac{I_{Nmax}}{I_{kdC}} = \frac{350}{167.34} = 2.09$.
- Phương trình đường cong theo tiêu chuẩn Mỹ với độ dốc U_2 :

$$t_C = \left(0.18 + \frac{5.95}{m_C^2 - 1}\right) TD \iff 3.3 = \left(0.18 + \frac{5.95}{2.09^2 - 1}\right) TD \iff TD = 1.69$$

- Chọn $TD = 2$ (làm tròn lên).
- Tại N_1 : $I_{Nmax} = 743.3 \text{ A}$, suy ra: bội số dòng ngắn mạch $m = \frac{I_{Nmax}}{I_{kdC}} = \frac{743.3}{167.34} = 4.44$.
Thay vào phương trình đường cong với độ dốc U_2 :

$$t_C = \left(0.18 + \frac{5.95}{m^2 - 1}\right) TD = \left(0.18 + \frac{5.95}{4.44^2 - 1}\right) \times 2 = 1 \text{ s}$$

• Relay B

- Dòng tải tại thanh cái B : $I_{t_B} = \frac{S}{\sqrt{3}U} + I_{t_C} = \frac{5 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 34.5 \times 10^3} + 83.67 = 167.34 \text{ A}$.
- Chọn tỉ số BI là $200/5$ và $n_{BI_B} = 40$.
- Dòng khởi động bảo vệ: $I_{kdB} = 2I_{t_B} = 2 \times 167.34 = 334.68 \text{ A}$.
- Dòng khởi động relay: $I_{kdRB} = \frac{I_{kdB}}{n_{BI_B}} = \frac{334.68}{40} = 8.37 \text{ A}$.
- Khi ngắn mạch tại N_1 : dòng ngắn mạch lớn nhất $I_{Nmax} = 743.3 \text{ A}$ thì thời gian cắt của relay C là $t_C = 1 \text{ s}$.
- Suy ra, thời gian cắt của relay B khi có ngắn mạch tại N_1 :

$$t_B = t_C + \Delta t = 1 + 0.3 = 1.3 \text{ s}$$

- Bội số dòng ngắn mạch so với đặc tính bảo vệ: $m_B = \frac{I_{Nmax}}{I_{kdB}} = \frac{743.3}{334.68} = 2.22$.
- Phương trình đường cong theo tiêu chuẩn Mỹ với độ dốc U_2 :

$$t_B = \left(0.18 + \frac{5.95}{m_B^2 - 1}\right) TD \iff 1.3 = \left(0.18 + \frac{5.95}{2.22^2 - 1}\right) TD \iff TD = 0.77$$

- Chọn $TD = 1$ (làm tròn lên).
- Tại N_3 : $I_{Nmax} = 1564.1 \text{ A}$, suy ra: bội số dòng ngắn mạch $m = \frac{I_{Nmax}}{I_{kdB}} = \frac{1564.1}{334.68} = 4.67$.
Thay vào phương trình đường cong với độ dốc U_2 :

$$t_B = \left(0.18 + \frac{5.95}{m^2 - 1}\right) TD = \left(0.18 + \frac{5.95}{4.67^2 - 1}\right) \times 1 = 0.47 \text{ s}$$

• Relay A

- Dòng tải tại thanh cái B: $I_{t_A} = \frac{S}{\sqrt{3}U} + I_{t_B} = \frac{5 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 34.5 \times 10^3} + 167.34 = 251.01 \text{ A}$.
- Chọn tỉ số BI là $300/5$ và $n_{BI_A} = 60$.
- Dòng khởi động bảo vệ: $I_{kdB} = 2I_{t_B} = 2 \times 251.01 = 502.02 \text{ A}$.
- Dòng khởi động relay: $I_{kdRA} = \frac{I_{kdA}}{n_{BI_A}} = \frac{502.02}{60} = 8.37 \text{ A}$.
- Khi ngắn mạch tại N_3 : dòng ngắn mạch lớn nhất $I_{Nmax} = 1564.1 \text{ A}$ thì thời gian cắt của relay B là $t_C = 0.47 \text{ s}$.
- Suy ra, thời gian cắt của relay A khi có ngắn mạch tại N_5 :

$$t_A = t_B + \Delta t = 0.47 + 0.3 = 0.77 \text{ s}$$

- Bội số dòng ngắn mạch so với đặc tính bảo vệ: $m_A = \frac{I_{Nmax}}{I_{kdA}} = \frac{1564.1}{502.02} = 3.12$.
- Phương trình đường cong theo tiêu chuẩn Mỹ với độ dốc U_2 :

$$t_C = \left(0.18 + \frac{5.95}{m_A^2 - 1}\right) TD \iff 0.77 = \left(0.18 + \frac{5.95}{3.12^2 - 1}\right) TD \iff TD = 0.89$$

- Chọn $TD = 1$ (làm tròn lên).
- Tại N_5 : $I_{Nmax} = 3342 \text{ A}$, suy ra: bội số dòng ngắn mạch $m = \frac{I_{Nmax}}{I_{kdA}} = \frac{3342}{502.02} = 6.65$.

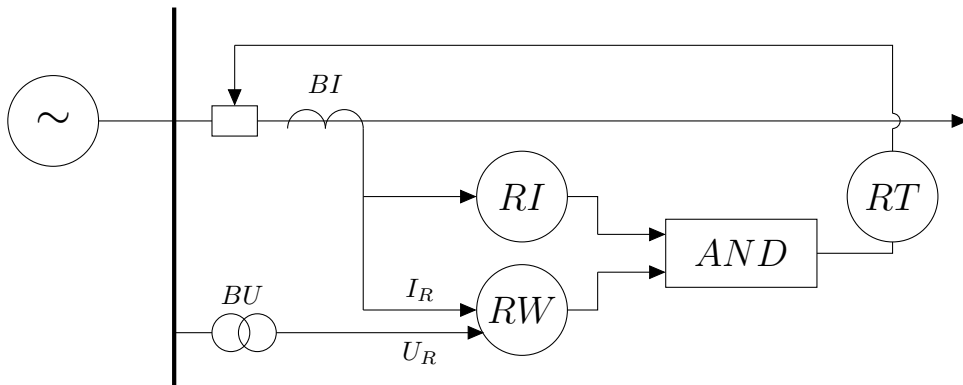
Thay vào phương trình đường cong với độ dốc U_2 :

$$t_A = \left(0.18 + \frac{5.95}{m^2 - 1}\right) TD = \left(0.18 + \frac{5.95}{6.65^2 - 1}\right) \times 1 = 0.32 \text{ s}$$

3 Bảo vệ dòng điện có hướng

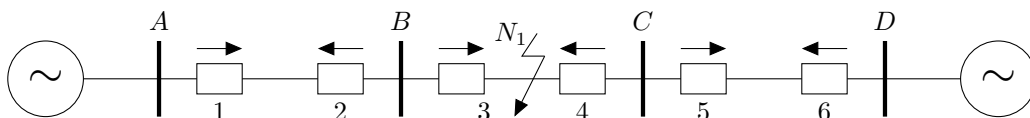
3.1 Nguyên tắc hoạt động

- Với các mạng cung cấp điện hình vòng và mạch có hai nguồn cung cấp thì bảo vệ dòng cực đại có thời gian làm việc chọn theo từng cấp không thể đảm bảo cắt ngắn mạch một cách chọn lọc.
- Với các mạng điện trên, người ta dùng bảo vệ dòng điện có hướng. Trong bảo vệ dòng điện có hướng, relay công suất làm nhiệm vụ định hướng công suất.
- Mã số relay:
 - Relay quá dòng có định hướng: 67.
 - Relay định hướng công suất: 32.
- Cấu trúc của bảo vệ dòng điện có hướng: hình 5. Gồm 3 bộ phận chính: bộ phận khởi động – RI , bộ phận định hướng – RW , bộ phận trễ – RT .



Hình 5: Sơ đồ cấu trúc của bảo vệ dòng điện có hướng

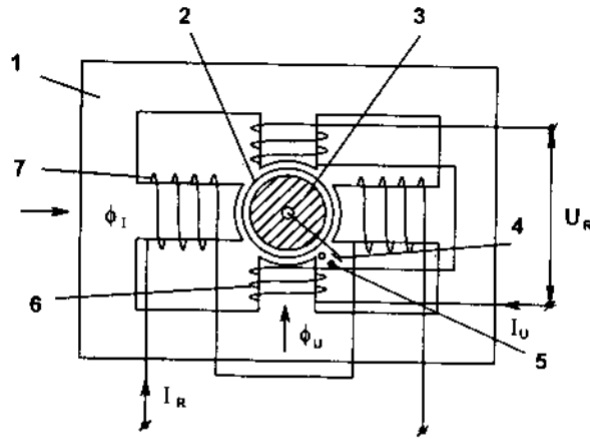
- Bảo vệ dòng điện có hướng tác động khi có dòng ngắn mạch đi từ thanh góp ra đường dây theo cùng chiều của bảo vệ. Ví dụ trên hình 6, khi ngắn mạch tại N_1 thì các bảo vệ 1, 3, 4, 6 khởi động.



Hình 6: Ví dụ minh họa tác động của bảo vệ dòng điện có hướng

3.2 Phần tử định hướng công suất

- Phần tử định hướng công suất có nhiệm vụ định hướng cho bảo vệ, cần có các yêu cầu sau:
 - Tác động nhanh.
 - Độ tin cậy cao, muốn vậy thì giá trị công suất và điện áp phải nhỏ đến mức có thể.
 - Loại trừ hiện tượng tự quay khi chỉ có U hoặc I .
- Phân loại theo nguyên lý làm việc: relay cảm ứng, relay điện động, relay cảm ứng điện động,...
- Cấu tạo của relay cảm ứng: mạch từ (tạo các cặp cực), trống quay (rotor), lõi thép, tiếp điểm động, tiếp điểm tĩnh, cuộn dòng và cuộn áp (hình 7).



Sơ đồ cấu tạo rơle công suất kiểu cảm ứng
 1. mạch từ ; 2. trống quay ; 3. lõi thép ;
 4. tiếp điểm động ; 5. tiếp điểm tĩnh ;
 6. cuộn áp ; 7. cuộn dòng

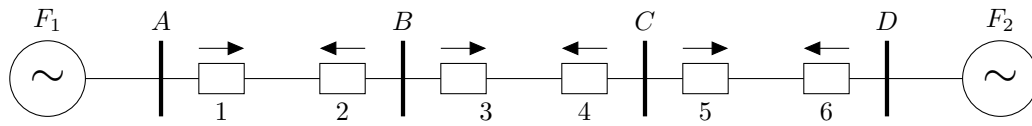
Hình 7: cấu trúc của relay định hướng công suất kiểu cảm ứng

- Nguyên lý hoạt động của relay định hướng công suất kiểu cảm ứng: khi có dòng điện I_R và điện áp U_R đưa vào các cuộn dây, thì tạo ra từ thông, dưới tác dụng của từ thông tạo ra moment quay. Khi moment quay lớn hơn moment cản thì relay định hướng công suất sẽ tác động.

3.3 Tính toán bảo vệ có hướng

- Dòng khởi động của bảo vệ cần thỏa hai điều kiện sau: $I_{kd} > I_{lvmax}$ và $I_{kd} > I_{pha\ lảnh}$.
 - Dòng khởi động của bảo vệ: $I_{kd} = \frac{K_{at}K_{mm}}{K_{tv}} \times I_{lvmax}$.
 - Với ngắn mạch một pha trong mạng điện có trung tính nối đất: $I_{kd} = K_{at}I_{pha\ lảnh}$.
 - Dòng khởi động relay: $I_{kdR} = \frac{K_{at}K_{mm}}{K_{tv}n_{BI}} \times I_{lvmax} = \frac{I_{kd}}{n_{BI}}$.
 - * Trong đó: K_{at} là hệ số an toàn, K_{mm} là hệ số mở máy động cơ (thường cho $K_{mm} = 2 \div 3$), K_{tv} là hệ số trở về, n_{BI} là tỉ số biến dòng, I_{lvmax} là dòng làm việc cực đại, $I_{pha\ lảnh}$ là dòng điện của pha lành khi xảy ra ngắn mạch một pha chạm đất ở một pha khác.
- Độ nhạy của bảo vệ RI: $K_{nh} = \frac{I_{Nmin}}{I_{kd}}$, với I_{Nmin} là dòng ngắn mạch nhỏ nhất trong vùng bảo.

- Thời gian tác động của bảo vệ: chọn theo quy tắc bậc thang ngược chiều. Ví dụ sơ đồ trên hình 8.



Hình 8: cấu trúc của relay định hướng công suất kiểu cảm ứng

- Thời gian nhóm 1 (tính từ máy phát F_1) cần thỏa:
 - + Gồm các bảo vệ 1, 3, 5 thì $t_5 < t_3 < t_1$.
 - + Cài đặt thời gian cho nhóm 1: $t_3 = t_5 + \Delta t$ và $t_1 = t_3 + \Delta t$.
- Thời gian nhóm 2 (tính từ máy phát F_2) cần thỏa:
 - + Gồm các bảo vệ 6, 4, 2 thì $t_2 < t_4 < t_6$.
 - + Cài đặt thời gian cho nhóm 2: $t_4 = t_2 + \Delta t$ và $t_6 = t_4 + \Delta t$.
- Có nhiều nhánh thì chọn thời gian t_{max} để tính toán cho bảo vệ.
- Vị trí cần đặt bộ phận định hướng công suất:
 - Không phải bảo vệ nào cũng cần đặt bộ phận định hướng công suất.
 - Xét bảo vệ ở hai đầu của một đường dây: bảo vệ nào có thời gian tác động nhỏ hơn thì cần đặt bộ phận định hướng công suất.
 - Nếu thời gian tác động của bảo vệ ở hai đầu đường dây bằng nhau thì không cần đặt bộ phận định hướng công suất.

3.4 Một số mạng điện cần áp dụng bộ phận định hướng công suất cho bảo vệ dòng điện

- Hai đường dây song song với hai nguồn cung cấp.
- Đường dây có hai nguồn cung cấp từ hai phía.
- Mạng vòng kín một nguồn cung cấp.
- Mạng vòng kín có nhiều nguồn cung cấp.

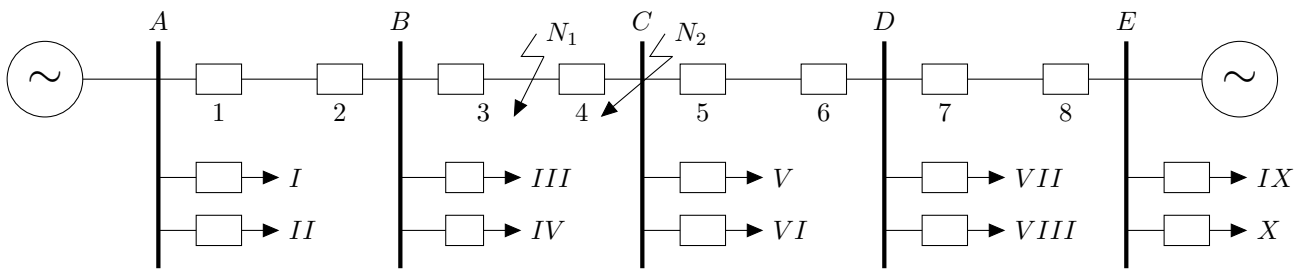
3.5 Đánh giá bảo vệ dòng điện có hướng

- *Ưu điểm:*
 - Bảo vệ dòng điện có hướng: đơn giản và đảm bảo tác động chọn lọc đối với mạng điện được cung cấp từ hai phía.
 - Sử dụng kết hợp cắt nhanh có hướng với bảo vệ dòng điện có hướng, nhận được bảo vệ với độ nhạy cao, thời gian tác động thỏa mãn yêu cầu.
 - Bảo vệ làm việc chắc chắn.
- *Nhược điểm:*

- Thời gian tác động khá lớn, nhất là bảo vệ gần nguồn.
 - Có độ nhạy kém trong mạng với phụ tải lớn và bội số dòng ngắn mạch nhỏ.
 - Có vùng chết khi ngắn mạch ba pha.
- *Phạm vi áp dụng*: dùng làm bảo vệ chính trong các mạng điện lên đến 35 kV được cung cấp từ hai phía.

3.6 Bài tập Bảo vệ dòng điện có hướng

- Cho mạng điện như hình 9, các số liệu tính toán cho ở bảng 6. Cho $\Delta t = 0.5$ s.



Hình 9: Sơ đồ mạng điện trong bài tập 1 – bảo vệ dòng điện có hướng

Phương án	t_I	t_{II}	t_{III}	t_{IV}	t_V	t_{VI}	t_{VII}	t_{VIII}	t_{IX}	t_X
1	1.5	2	3.5	1.5	4	2.5	3	1	2	1.5
2	0.5	1	1.5	1.5	2	2.5	3	1.5	4	0.5
3	1	0.5	1.5	1.5	2	1	1	0.5	1.5	1

Bảng 6: Bảng số liệu dùng tính toán cho bài tập 9

Yêu cầu

- Chọn thời gian làm việc của bảo vệ dòng điện cực đại có hướng, có đặc tính thời gian độc lập tại các vị trí máy cắt (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).
- Cho biết bảo vệ tại vị trí nào cần đặt và không cần đặt bộ phận định hướng công suất RW .
- Giải thích cách làm việc của hệ thống bảo vệ khi có ngắn mạch tại N_1 và N_2 .

Bài giải

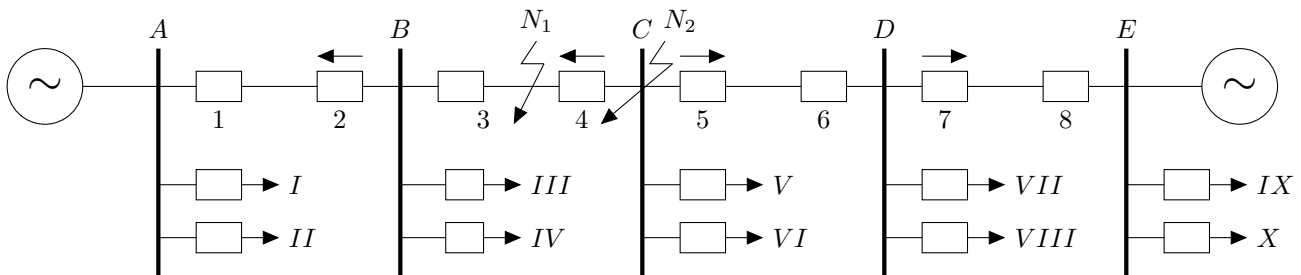
- Giả sử hướng công suất ngắn mạch từ thanh góp ra đường dây, chia thành 2 nhóm:
 - Nhóm 1: Gồm các bảo vệ 1, 3, 5, 7.
 - Nhóm 2: Gồm các bảo vệ: 8, 6, 4, 2.

• Phương án 1

- Chọn thời gian làm việc của bảo vệ dòng điện cực đại có hướng

- Nhóm 1:

- Relay BV 7: $t_7 = \max(t_{IX}, t_X) + \Delta t = \max(2; 1.5) + 0.5 = 2 + 0.5 = 2.5 \text{ s}$.
- Relay BV 5: $t_5 = \max(t_{VII}, t_{VIII}, t_7) + \Delta t = \max(3; 1; 2.5) + 0.5 = 3 + 0.5 = 3.5 \text{ s}$.
- Relay BV 3: $t_3 = \max(t_V, t_{VI}, t_5) + \Delta t = \max(4; 2.5; 3.5) + 0.5 = 4 + 0.5 = 4.5 \text{ s}$.
- Relay BV 1: $t_1 = \max(t_{III}, t_{IV}, t_3) + \Delta t = \max(3.5; 1.5; 4.5) + 0.5 = 4.5 + 0.5 = 5 \text{ s}$.
- Nhóm 2:
 - Relay BV 2: $t_2 = \max(t_I, t_{II}) + \Delta t = \max(1.5; 2) + 0.5 = 2 + 0.5 = 2.5 \text{ s}$.
 - Relay BV 4: $t_4 = \max(t_{III}, t_{IV}, t_2) + \Delta t = \max(3.5; 1.5; 2.5) + 0.5 = 3.5 + 0.5 = 4 \text{ s}$.
 - Relay BV 6: $t_6 = \max(t_V, t_{VI}, t_4) + \Delta t = \max(4; 2.5; 4) + 0.5 = 4 + 0.5 = 4.5 \text{ s}$.
 - Relay BV 8: $t_8 = \max(t_{VII}, t_{VIII}, t_6) + \Delta t = \max(3; 1; 4.5) + 0.5 = 4.5 + 0.5 = 5 \text{ s}$.
- b. Cho biết bảo vệ tại vị trí nào cần đặt và không cần đặt bộ phận định hướng công suất RW
- Xét cho từng cặp bảo vệ ở 2 đầu đường dây:
 - Giữa thanh cái A và B có: $t_1 = 5 \text{ s} > t_2 = 2.5 \text{ s}$, nên chỉ cần đặt bộ phận định hướng RW tại relay BV 2.
 - Giữa thanh cái B và C có: $t_3 = 4.5 \text{ s} > t_4 = 4 \text{ s}$, nên chỉ cần đặt bộ phận định hướng RW tại relay BV 4.
 - Giữa thanh cái C và D có: $t_5 = 3.5 \text{ s} < t_6 = 4.5 \text{ s}$, nên chỉ cần đặt bộ phận định hướng RW tại relay BV 5.
 - Giữa thanh cái D và E có: $t_7 = 2.5 \text{ s} < t_8 = 5 \text{ s}$, nên chỉ cần đặt bộ phận định hướng RW tại relay BV 7.
- Kết luận: hình 10.
 - Cần đặt bộ phận định hướng công suất RW tại các relay BV: 2, 4, 5, 7.
 - Không cần đặt bộ phận định hướng công suất RW tại các relay BV: 1, 3, 6, 8.



Hình 10: Sơ đồ mạng điện trong bài tập 1 phương án 1 – bảo vệ dòng điện có hướng

c. Giải thích cách làm việc của hệ thống bảo vệ khi có ngắn mạch tại N_1 và N_2

- Khi có ngắn mạch tại N_1 :
 - Các relay BV khởi động khi có sự cố: relay BV 1, 3, 4, 6, 8. Giải thích:
 - + Các relay không đặt định hướng công suất đều khởi động: relay BV 1, 3, 6, 8.
 - + Theo chiều định hướng công suất (từ thanh góp ra đường dây): chỉ có relay BV 4 là khởi động (relay BV 2 không khởi động).
 - Các relay BV tác động cắt máy cắt: BV 3, 4. Giải thích:
 - + Thời gian tác động: $t_4 = 4 \text{ s} < t_3 = t_6 = 4.5 \text{ s} < t_1 = t_8 = 5 \text{ s}$.
 - + Do đặc tính chọn lọc: BV 3, 4 sẽ tác động cắt máy cắt.
- Khi có ngắn mạch tại N_2 :
 - Các relay BV khởi động khi có sự cố: relay BV 1, 3, 6, 8. Giải thích:

- + Các relay không đặt định hướng công suất đều khởi động: relay BV 1, 3, 6, 8.
- + Theo chiều định hướng công suất (từ thanh góp ra đường dây): không có relay BV nào khởi động.
- Các relay BV tác động cắt máy cắt: BV 3, 6. Giải thích:
 - + Thời gian tác động: $t_3 = t_6 = 4.5 \text{ s} < t_1 = t_8 = 5 \text{ s}$.
 - + Do đặc tính chọn lọc và thời gian tác động: BV 3, 6 sẽ tác động cắt máy cắt.

• Phương án 2

a. Chọn thời gian làm việc của bảo vệ dòng điện cực đại có hướng

• Nhóm 1:

- Relay BV 7: $t_7 = \max(t_{IX}, t_X) + \Delta t = \max(4; 0.5) + 0.5 = 4 + 0.5 = 4.5 \text{ s}$.
- Relay BV 5: $t_5 = \max(t_{VII}, t_{VIII}, t_7) + \Delta t = \max(3; 1.5; 4.5) + 0.5 = 4.5 + 0.5 = 5 \text{ s}$.
- Relay BV 3: $t_3 = \max(t_V, t_{VI}, t_5) + \Delta t = \max(2; 2.5; 5) + 0.5 = 5 + 0.5 = 5.5 \text{ s}$.
- Relay BV 1: $t_1 = \max(t_{III}, t_{IV}, t_3) + \Delta t = \max(1.5; 1.5; 5.5) + 0.5 = 5.5 + 0.5 = 6 \text{ s}$.

• Nhóm 2:

- Relay BV 2: $t_2 = \max(t_I, t_{II}) + \Delta t = \max(0.5; 1) + 0.5 = 1 + 0.5 = 1.5 \text{ s}$.
- Relay BV 4: $t_4 = \max(t_{III}, t_{IV}, t_2) + \Delta t = \max(1.5; 1.5; 1.5) + 0.5 = 1.5 + 0.5 = 2 \text{ s}$.
- Relay BV 6: $t_6 = \max(t_V, t_{VI}, t_4) + \Delta t = \max(2; 2.5; 2) + 0.5 = 2.5 + 0.5 = 3 \text{ s}$.
- Relay BV 8: $t_8 = \max(t_{VII}, t_{VIII}, t_6) + \Delta t = \max(3; 1.5; 3) + 0.5 = 3 + 0.5 = 3.5 \text{ s}$.

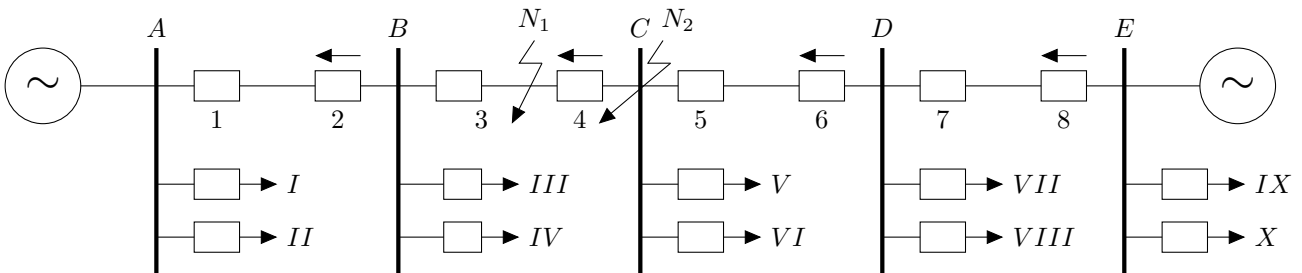
b. Cho biết bảo vệ tại vị trí nào cần đặt và không cần đặt bộ phận định hướng công suất RW

• Xét cho từng cặp bảo vệ ở 2 đầu đường dây:

- Giữa thanh cái A và B có: $t_1 = 6 \text{ s} > t_2 = 1.5 \text{ s}$, nên chỉ cần đặt bộ phận định hướng RW tại relay BV 2.
- Giữa thanh cái B và C có: $t_3 = 5.5 \text{ s} > t_4 = 2 \text{ s}$, nên chỉ cần đặt bộ phận định hướng RW tại relay BV 4.
- Giữa thanh cái C và D có: $t_5 = 5 \text{ s} > t_6 = 3 \text{ s}$, nên chỉ cần đặt bộ phận định hướng RW tại relay BV 6.
- Giữa thanh cái D và E có: $t_7 = 4.5 \text{ s} > t_8 = 3.5 \text{ s}$, nên chỉ cần đặt bộ phận định hướng RW tại relay BV 8.

• Kết luận: hình 11.

- Cần đặt bộ phận định hướng công suất RW tại các relay BV: 2, 4, 6, 8.
- Không cần đặt bộ phận định hướng công suất RW tại các relay BV: 1, 3, 5, 7.



Hình 11: Sơ đồ mạng điện trong bài tập 1 phương án 2 – bảo vệ dòng điện có hướng

c. *Giải thích cách làm việc của hệ thống bảo vệ khi có ngắn mạch tại N_1 và N_2*

- Khi có ngắn mạch tại N_1 :
 - Các relay BV khởi động khi có sự cố: relay BV 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8. Giải thích:
 - + Các relay không đặt định hướng công suất đều khởi động: relay BV 1, 3, 5, 7.
 - + Theo chiều định hướng công suất (từ thanh góp ra đường dây): các relay BV 8, 6, 4 khởi động (relay BV 2 không khởi động).
 - Các relay BV tác động cắt máy cắt: BV 3, 4. Giải thích:
 - + Thời gian tác động: $t_4 = 4\text{ s} < t_3 = t_6 = 4.5\text{ s} < t_1 = t_8 = 5\text{ s}$.
 - + Do đặc tính chọn lọc: BV 3, 4 sẽ tác động cắt máy cắt.
- Khi có ngắn mạch tại N_2 :
 - Các relay BV khởi động khi có sự cố: relay BV 1, 3, 5, 6, 7, 8. Giải thích:
 - + Các relay không đặt định hướng công suất đều khởi động: relay BV 1, 3, 5, 7.
 - + Theo chiều định hướng công suất (từ thanh góp ra đường dây): các relay BV 6, 8 khởi động (relay BV 4, 2 không khởi động).
 - Các relay BV tác động cắt máy cắt: BV 3, 6. Giải thích:
 - + Thời gian tác động: $t_6 = 3\text{ s} < t_5 = 5\text{ s}$.
 - + Mặc dù relay BV 5 gần sự cố N_2 hơn relay BV 6 nhưng relay BV 6 có thời gian tác động nhanh hơn nên relay BV 6 tác động trước.
 - + Do đặc tính chọn lọc: BV 3, 6 sẽ tác động cắt máy cắt.

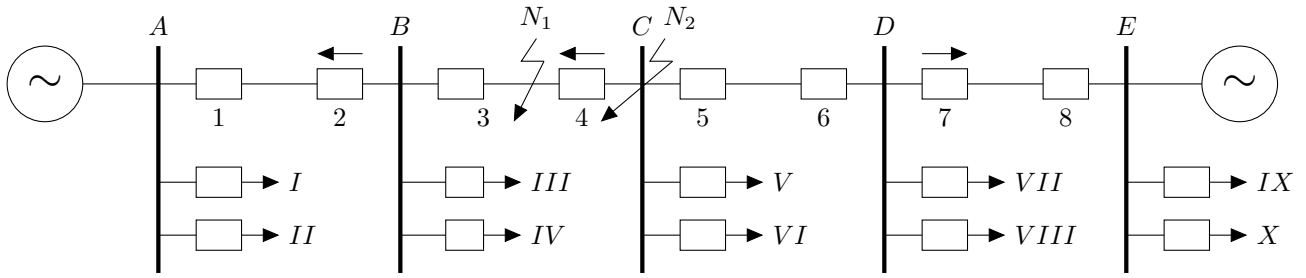
• Phương án 3

a. *Chọn thời gian làm việc của bảo vệ dòng điện cực đại có hướng*

- Nhóm 1:
 - Relay BV 7: $t_7 = \max(t_{IX}, t_X) + \Delta t = \max(1.5; 1) + 0.5 = 1.5 + 0.5 = 2\text{ s}$.
 - Relay BV 5: $t_5 = \max(t_{VII}, t_{VIII}, t_7) + \Delta t = \max(1; 0.5; 2) + 0.5 = 2 + 0.5 = 2.5\text{ s}$.
 - Relay BV 3: $t_3 = \max(t_V, t_{VI}, t_5) + \Delta t = \max(2; 1; 2.5) + 0.5 = 2.5 + 0.5 = 3\text{ s}$.
 - Relay BV 1: $t_1 = \max(t_{III}, t_{IV}, t_3) + \Delta t = \max(1.5; 1.5; 3) + 0.5 = 3 + 0.5 = 3.5\text{ s}$.
- Nhóm 2:
 - Relay BV 2: $t_2 = \max(t_I, t_{II}) + \Delta t = \max(1; 0.5) + 0.5 = 1 + 0.5 = 1.5\text{ s}$.
 - Relay BV 4: $t_4 = \max(t_{III}, t_{IV}, t_2) + \Delta t = \max(1.5; 1.5; 1.5) + 0.5 = 1.5 + 0.5 = 2\text{ s}$.
 - Relay BV 6: $t_6 = \max(t_V, t_{VI}, t_4) + \Delta t = \max(2; 1; 2) + 0.5 = 2 + 0.5 = 2.5\text{ s}$.
 - Relay BV 8: $t_8 = \max(t_{VII}, t_{VIII}, t_6) + \Delta t = \max(1; 0.5; 2.5) + 0.5 = 2.5 + 0.5 = 3\text{ s}$.

b. *Cho biết bảo vệ tại vị trí nào cần đặt và không cần đặt bộ phận định hướng công suất RW*

- Xét cho từng cặp bảo vệ ở 2 đầu đường dây:
 - Giữa thanh cái A và B có: $t_1 = 3.5\text{ s} > t_2 = 1.5\text{ s}$, nên chỉ cần đặt bộ phận định hướng RW tại relay BV 2.
 - Giữa thanh cái B và C có: $t_3 = 3\text{ s} > t_4 = 2\text{ s}$, nên chỉ cần đặt bộ phận định hướng RW tại relay BV 4.
 - Giữa thanh cái C và D có: $t_5 = t_6 = 2.5\text{ s}$, nên không cần thêm bộ phận định hướng công suất RW.
 - Giữa thanh cái D và E có: $t_7 = 2\text{ s} < t_8 = 3\text{ s}$, nên chỉ cần đặt bộ phận định hướng RW tại relay BV 7.
- Kết luận: hình 12.
 - Cần đặt bộ phận định hướng công suất RW tại các relay BV: 2, 4, 7.



Hình 12: Sơ đồ mạng điện trong bài tập 1 phương án 3 – bảo vệ dòng điện có hướng

- Không cần đặt bộ phận định hướng công suất RW tại các relay BV: 1, 3, 5, 6, 8.
- c. *Giải thích cách làm việc của hệ thống bảo vệ khi có ngắn mạch tại N_1 và N_2*
 - Khi có ngắn mạch tại N_1 :
 - Các relay BV khởi động khi có sự cố: relay BV 1, 3, 4, 5, 6, 8. Giải thích:
 - + Các relay không đặt định hướng công suất đều khởi động: relay BV 1, 3, 5, 6, 8.
 - + Theo chiều định hướng công suất (từ thanh góp ra đường dây): chỉ relay BV 4 khởi động (relay BV 2, 7 không khởi động).
 - Các relay BV tác động cắt máy cắt: BV 3, 4. Giải thích:
 - + Thời gian tác động: $t_4 = 2\text{ s} < t_5 = t_6 = 2.5\text{ s} < t_3 = t_8 = 3\text{ s} < t_1 = 3.5\text{ s}$.
 - + Do đặc tính chọn lọc và thời gian tác động: BV 3, 4 sẽ tác động cắt máy cắt.
 - Khi có ngắn mạch tại N_2 :
 - Các relay BV khởi động khi có sự cố: relay BV 1, 3, 5, 6, 8. Giải thích:
 - + Các relay không đặt định hướng công suất đều khởi động: relay BV 1, 3, 5, 6, 8.
 - + Theo chiều định hướng công suất (từ thanh góp ra đường dây): không có relay BV nào khởi động.
 - Các relay BV tác động cắt máy cắt: BV 3, 6. Giải thích:
 - + Thời gian tác động: $t_5 = t_6 = 2.5\text{ s} < t_3 = t_8 = 3\text{ s} < t_1 = 3.5\text{ s}$.
 - + Do đặc tính chọn lọc: BV 3, 6 sẽ tác động cắt máy cắt.
 - Tổng hợp kết quả tính toán với 3 phương án trong bài tập 1.

P.A	Thời gian LV (s)		Vị trí cần đặt RW	Ngắn mạch tại N ₁		Ngắn mạch tại N ₂	
	Nhóm 1	Nhóm 2		Các BV khởi động	Các BV tác động cắt MC	Các BV khởi động	Các BV tác động cắt MC
1	$t_1 = 5.0$	$t_2 = 2.5$	2, 4, 5, 7	1, 3, 4, 6, 8	3, 4	1, 3, 6, 8	3, 6
	$t_3 = 4.5$	$t_4 = 4.0$					
	$t_5 = 3.5$	$t_6 = 4.5$					
	$t_7 = 2.5$	$t_8 = 5.0$					
2	$t_1 = 6.0$	$t_2 = 1.5$	2, 4, 6, 8	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8	3, 4	1, 3, 5, 6, 7, 8	3, 6
	$t_3 = 5.5$	$t_4 = 2.0$					
	$t_5 = 5.0$	$t_6 = 3.0$					
	$t_7 = 4.5$	$t_8 = 3.5$					
3	$t_1 = 3.5$	$t_2 = 1.5$	2, 4, 7	1, 3, 4, 5, 6, 8	3, 4	1, 3, 5, 6, 8	3, 6
	$t_3 = 3.0$	$t_4 = 2.0$					
	$t_5 = 2.5$	$t_6 = 2.5$					
	$t_7 = 2.0$	$t_8 = 3.0$					

Bảng 7: Tổng hợp kết tính toán trong bài tập 1 – bảo vệ dòng điện có hướng

4 Bảo vệ dòng điện chống chạm đất

Mã số relay

- Bảo vệ chống chạm đất: 64.
- Bảo vệ quá dòng chống chạm đất: 51G.
- Bảo vệ quá dòng chống chạm đất thời gian trễ: 51N.
- Bảo vệ quá dòng cắt nhanh, chống chạm đất: 50N.
- Bảo vệ dòng định hướng, chống chạm đất: 67N.

4.1 Bảo vệ dòng điện chống chạm đất trong mạng điện có dòng chạm đất lớn

Bảo vệ có dòng chạm đất lớn, trung tính nối trực tiếp với đất.

4.1.1 Bảo vệ dòng cực đại thứ tự không

- Relay được nối vào bộ lọc dòng thứ tự không.
- Thời gian tác động của bảo vệ được chọn theo nguyên tắc bậc thang tăng dần tính từ đầu nhận về phía có máy biến áp có trung tính nối đất.
- Dòng khởi động của bảo vệ cần thỏa hai điều kiện sau: $I_{kd} < 3I_{oNmin}$ và $I_{kd} > I_{kcbmax}$.
 - Dòng khởi động của bảo vệ: $I_{kd} = K_{at}I_{kcbmax}$.

* Trong đó: K_{at} là hệ số an toàn, I_{kcbmax} là dòng không cân bằng cực đại, I_{oNmin} là dòng điện thứ tự không nhỏ nhất.

- Độ nhạy của bảo vệ: $K_{nh} = \frac{3I_{oNmin}}{I_{kd}}$. Yêu cầu: $K_{nh} > 1.5$.

4.1.2 Bảo vệ dòng cực đại thứ tự không có hướng

- Bộ phận định hướng công suất xác định dấu hoặc định hướng công suất thứ tự không khi ngắn mạch. Do đó bảo vệ thứ tự không có hướng chỉ tác động khi ngắn mạch xảy ra trên đường dây của bảo vệ.
- Thời gian tác động của các bảo vệ cùng hướng được chọn theo nguyên tắc bậc thang.

4.1.3 Bảo vệ dòng cắt nhanh thứ tự không không có hướng

- Dùng cho đường dây có dòng I_o chỉ ở một phía khi ngắn mạch chạm đất (trung tính nối đất của máy biến áp nằm về một phía của đường dây), bảo vệ cắt nhanh sẽ tác động tức thời.
- Dòng khởi động: $I_{kd} = 3K_{at}I_{omax}$ với K_{at} là hệ số an toàn và I_{omax} là dòng thứ tự không lớn nhất.

4.1.4 Đánh giá và phạm vi sử dụng

- Bảo vệ thứ tự không được dùng rộng rãi trong mạng điện 110 – 220 kV.
- *Ưu điểm*: vận hành chính xác, sơ đồ đơn giản và độ tin cậy cao, độ nhạy cao.
- *Nhược điểm*: bảo vệ phản ứng theo dòng trong chế độ không toàn pha và có thể tác động sai khi đứt dây pha trong mạch thứ cấp của máy biến dòng.

4.2 Bảo vệ chống chạm đất trong mạng điện có dòng chạm đất nhỏ

Bảo vệ có dòng chạm đất nhỏ, trung tính cách điện hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang.

4.2.1 Những yêu cầu đối với bảo vệ

- Với mạng điện này, chạm đất không làm tăng cao dòng, không làm biến dạng các đại lượng áp dây, các thiết bị không bị quá tải về dòng, việc cung cấp điện cho các phụ tải không bị ảnh hưởng.
- Khi chạm đất một điểm, thường bảo vệ chỉ báo tín hiệu, tuy nhiên việc cắt chỗ chạm đất là cần thiết (có thể biến chạm đất một pha thành ngắn mạch giữa các pha; xảy ra hiện tượng tăng áp ở các pha không bị hư hỏng khi có chạm đất, cách điện các pha bị hỏng, tạo nên chạm đất hai pha tại hai điểm khác nhau trong mạng điện).

4.2.2 Nguyên tắc thực hiện bảo vệ

- Bảo vệ phản ứng theo dòng thứ tự không.
- Bảo vệ phản ứng theo dòng dư ổn định đi qua đường dây bị hư hỏng trong trường hợp mạng điện được bù hoàn toàn.
- Bảo vệ phản ứng theo dòng trong giai đoạn quá độ xuất hiện ở điểm đầu khi xảy ra sự cố.