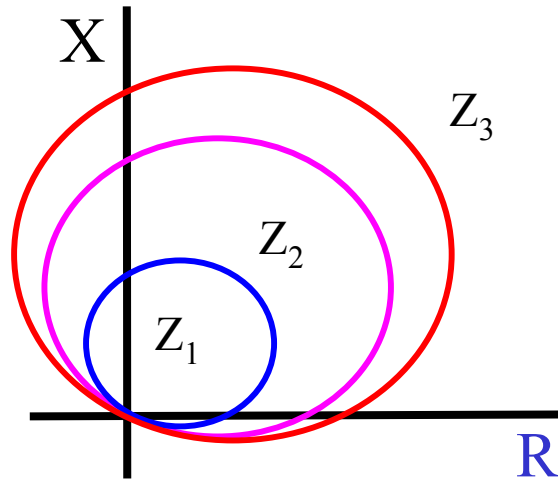


RELAI JARAK



Oleh

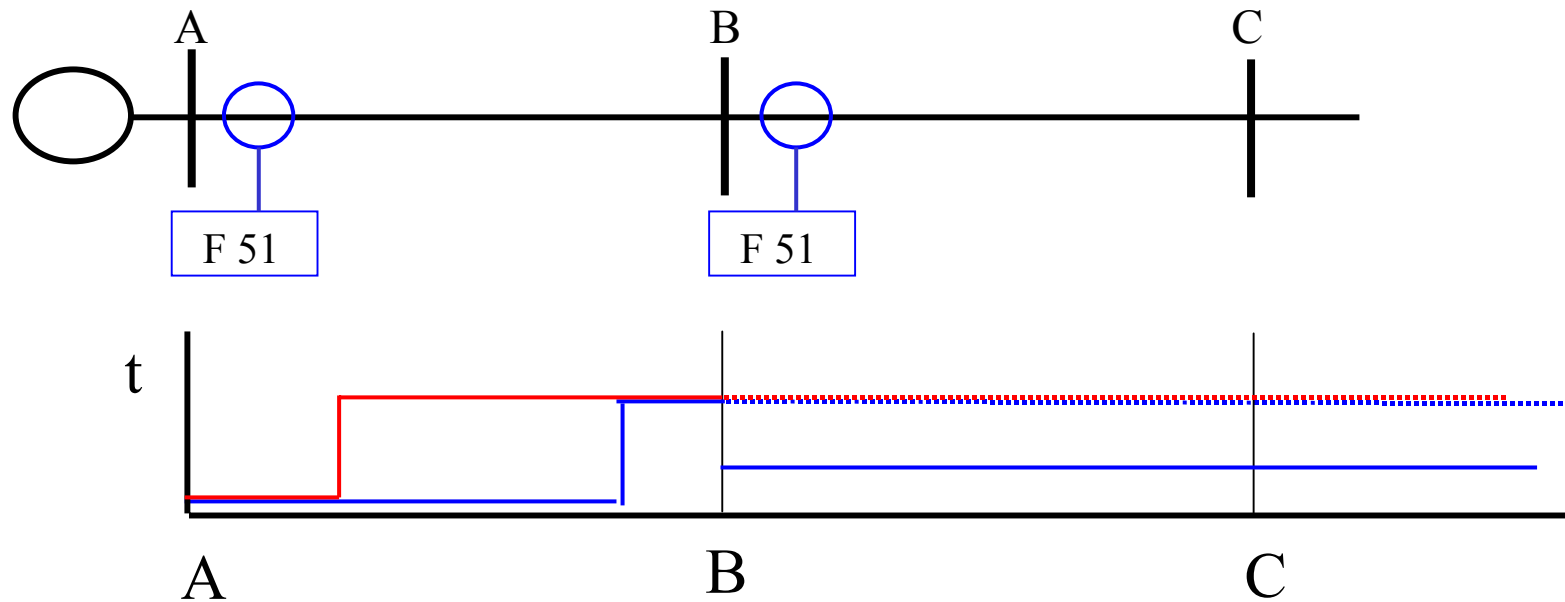
Ir. J. Soekarto

MATERI RELAI JARAK

- Pendahuluan
- Prinsip kerja dan karakteristik
- Impedans beban
- Penyambungan relai
- Seting
- Struktur relai
- Faktor infeed
- Tahanan busur listrik
- Hal-hal khusus

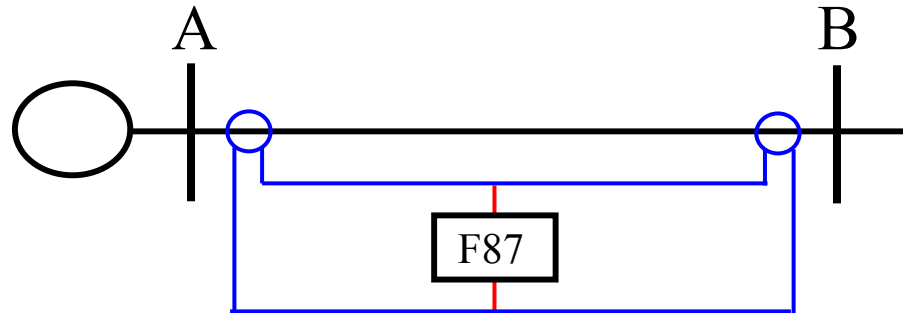
1. PENDAHULUAN

1.1 Pengaman Dengan Relai Arus Lebih



Jangkauan relai sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya pembangkitan

1.2 Pengaman Diferensial



Pengaman diferensial merupakan pengaman yang mempunyai selektif mutlak, apakah pembangkitan dari satu arah ataupun dari dua arah.

Yang membatasi daerah pengamanan ialah CT_1 dan CT_2 begitu melewati CT arah akan membalik.

Tidak dapat menjadi pengamanan cadangan seksi berikutnya.

Perlu kawat penghubung antar kedua GI

1.3 Dasar pengukuran jarak



$$R = \frac{V}{I} \quad R = \rho \frac{L}{A}$$

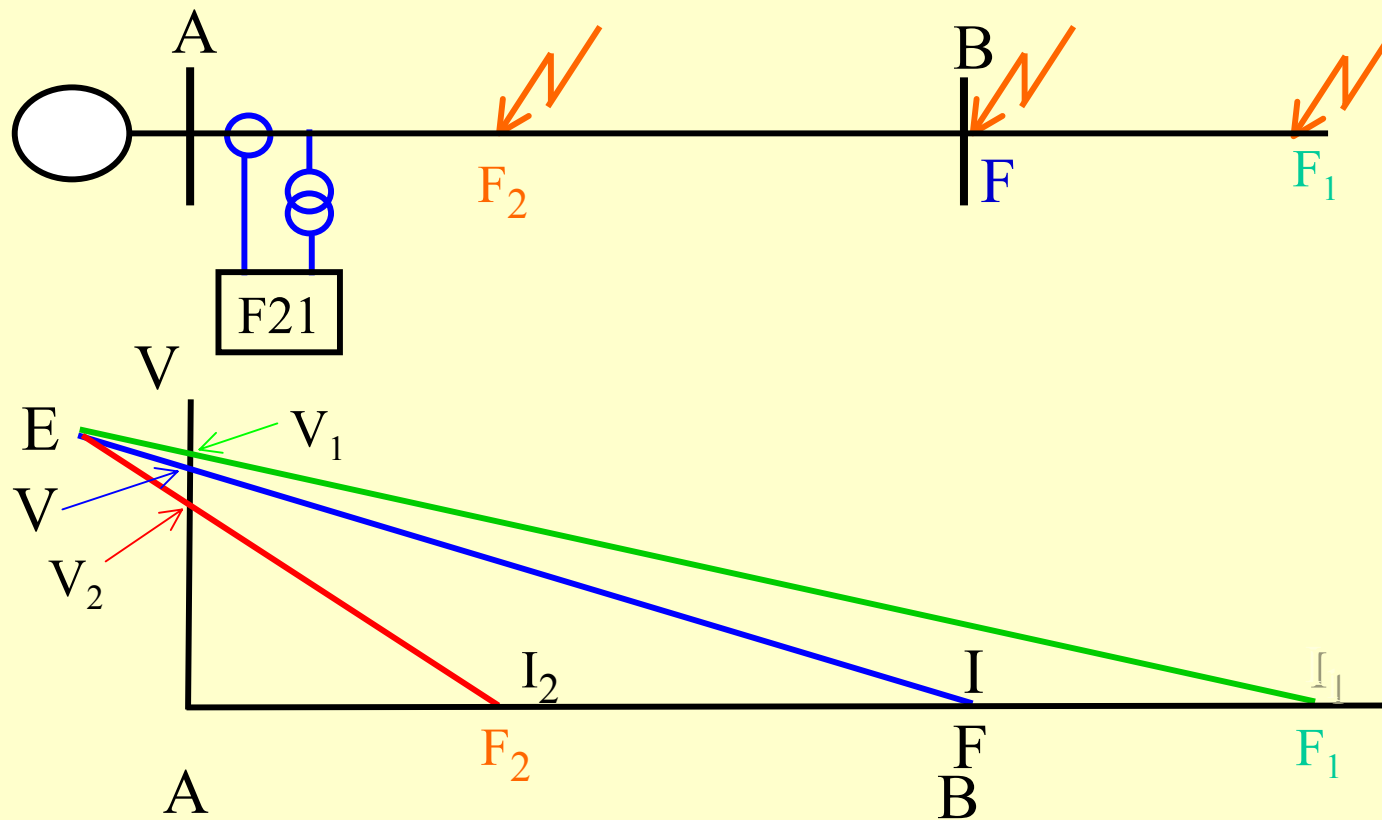
Untuk dc bila dapat diukur V dan I , dapat diukur R

R adalah sebanding dengan L (panjang)

Untuk ac bila dapat diukur V dan I , dapat diukur Z

Bila diketahui z/km , Z juga sebanding dengan L (panjang)

2. PRINSIP DASAR KERJA RELAI JARAK



A. Gangguan di batas daerah proteksi B

$$\frac{V}{I} = \frac{I \times Z_{AB}}{I} = Z_{AB}$$

B. Gangguan di luar daerah proteksi F₁

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{I_1 \times Z_{AF_1}}{I_1} = Z_{AF_1}$$

$$V_1 > V \text{ dan } I_1 < I \text{ sehingga } Z_{AF_1} > Z_{AB}$$

Karena gangguan di luar daerah proteksi relai tidak boleh bekerja.

C. Gangguan di dalam daerah proteksi F_2

$$\frac{V_2}{I_2} = \frac{I_2 \times Z_{AF_2}}{I_2} = Z_{AF_2}$$

Karena gangguan di dalam daerah proteksi relai harus bekerja.

Jadi bila

$Z_F > Z_{AB}$ relai tidak boleh bekerja

$Z_F < Z_{AB}$ relai harus bekerja

Z_{AB} merupakan batas dan relai pick-up

Bila pembangkit bertambah besar ;

I bertambah besar

V juga bertambah besar

Akibatnya V/I yaitu Z akan tetap, atau RELAI JARAK tidak dipengaruhi besar kecilnya PEMBANGKITAN

Yang berpengaruh terhadap jangkauan relai jarak :

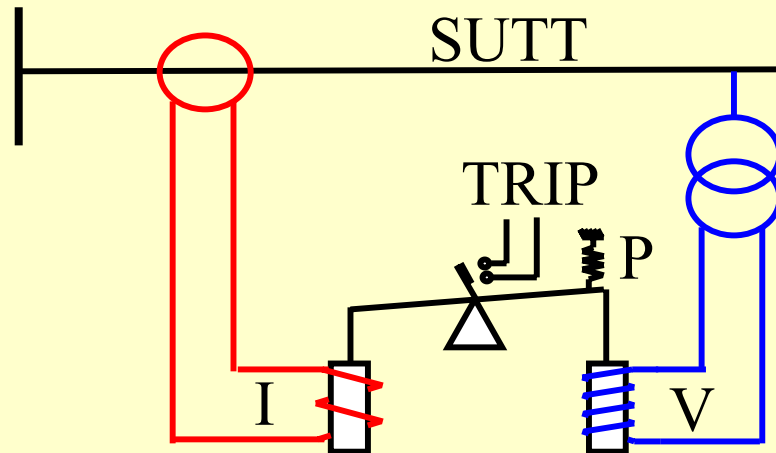
A. Ketelitian/kesalahan trafo arus

B. Ketelitian/kesalahan trafo tegangan

C. Ketelitian/kesalahan relainya sendiri

PRINSIP KERJA RELAI JARAK ELEKTROMEKANIS

JENIS IMPEDANS



$$T_1 < T_v + T_p$$

Relai tidak bekerja

$$T_1 \geq T_v + T_p$$

Relai bekerja

$$T_1 = k_1 I^2$$

$$T_2 = k_2 V^2$$

$$k_1 I^2 \geq k_2 V^2 + T_p$$

$$\frac{k_1}{k_2} - \frac{k_3}{k_2 I^2} \geq \frac{V^2}{I^2}$$

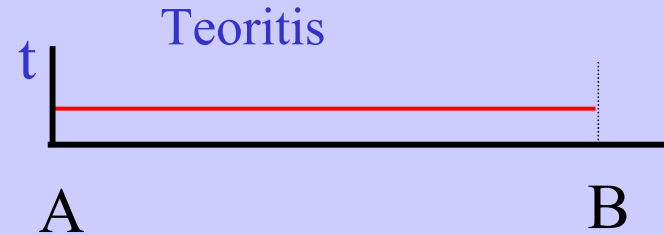
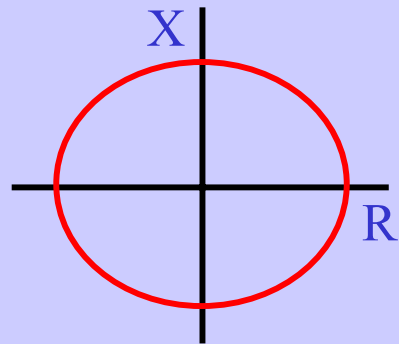
$T_p = k_3 = \text{Torsi pegas}$

$$Z \leq k$$

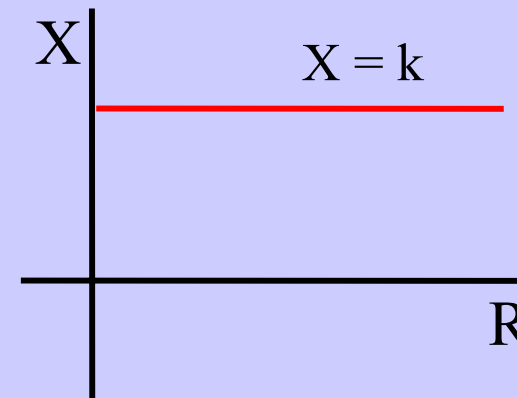
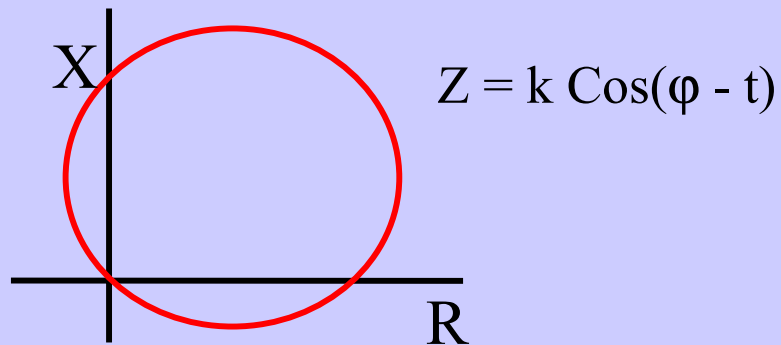
$$\frac{V^2}{I^2} \leq \frac{k_1}{k_2} \longrightarrow \frac{V}{I} \leq \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} := k$$

KARAKTERISTIK RELAI

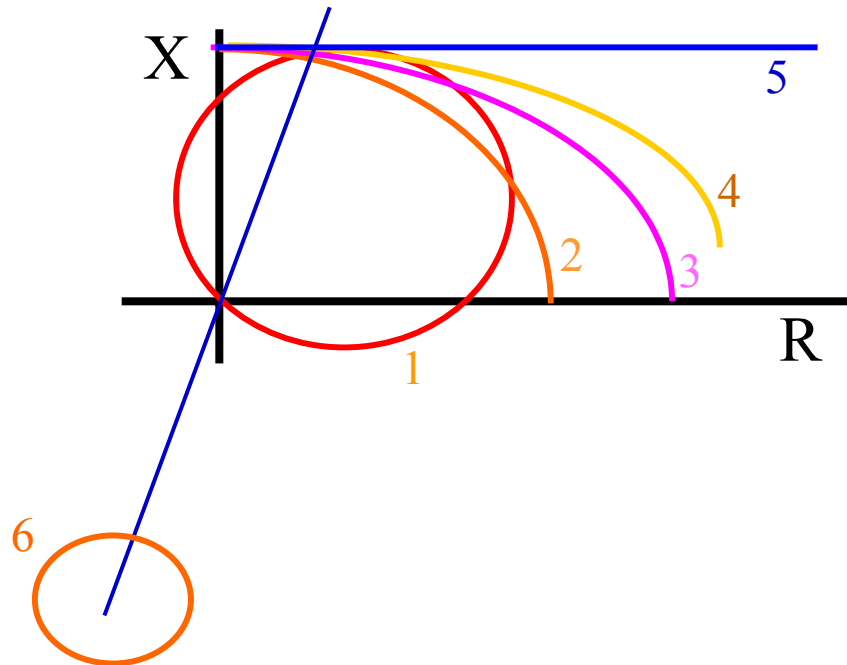
Karakteristik Waktu



Karakteristik relai Mho & Reaktans

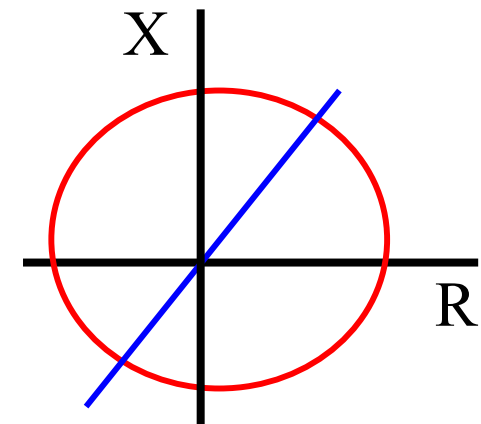
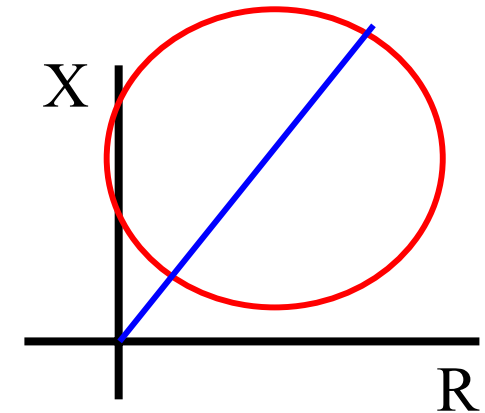


CROSS POLARISE MHO

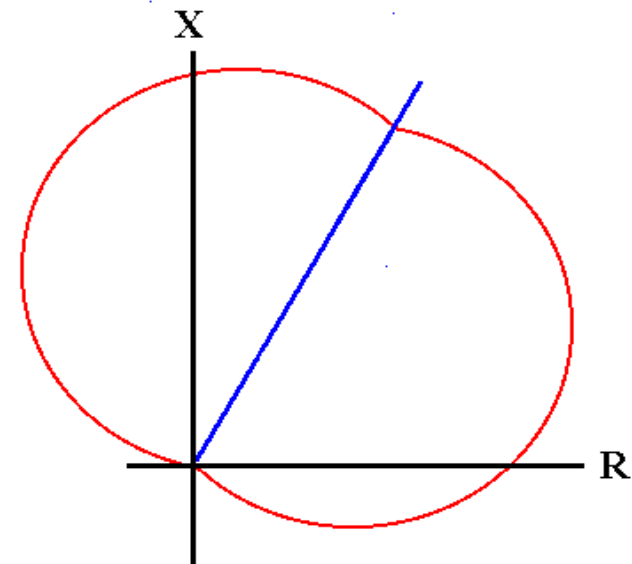
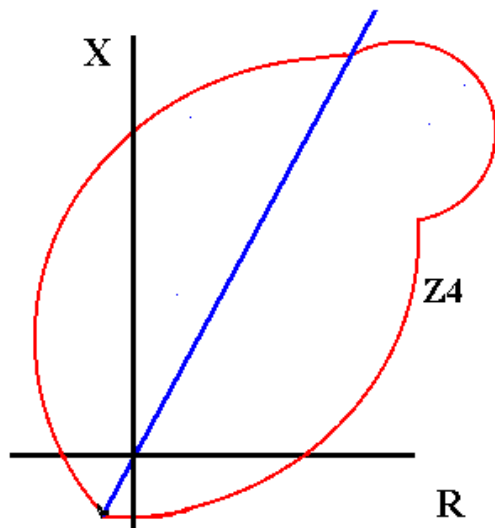
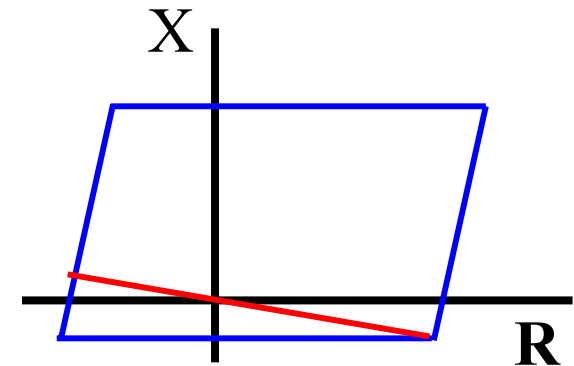
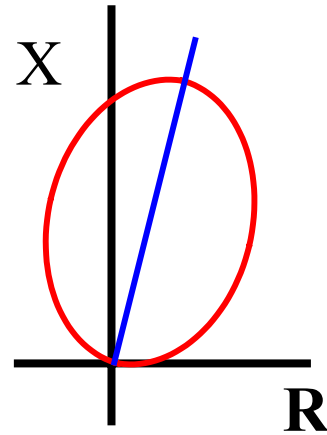
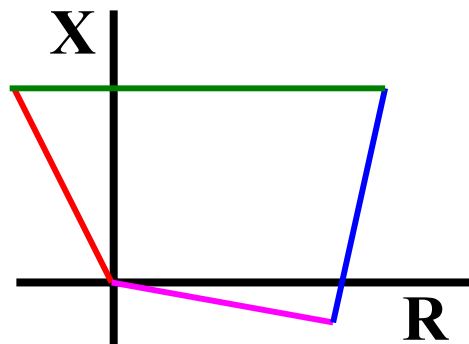


1. Gangguan hs 3 fase
2. Gangguan hs 1 fase
3. Gangguan hs 1 fase Impedans sumber membesar
4. Gangguan hs 1 fase Impedans sumber tak terhingga
5. Gangguan di belakang

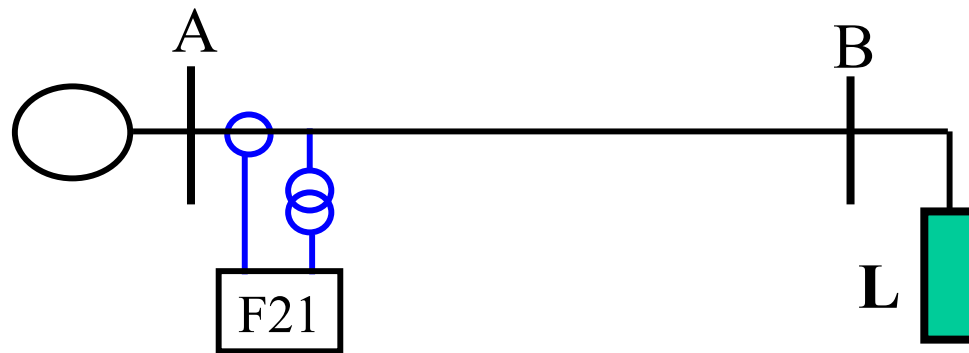
MHO GESER (OFFSET MHO)



Perkembangan karakteristik pada relai statik



3. IMPEDANS BEBAN



$$F.k = 0,9$$

$$V_2 = 69 \text{ kV} \quad I_2 = 800 \text{ A}$$

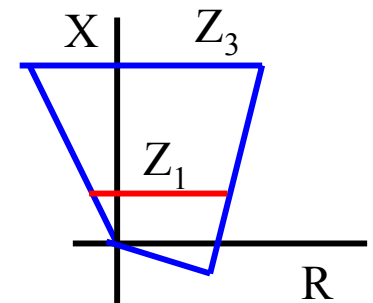
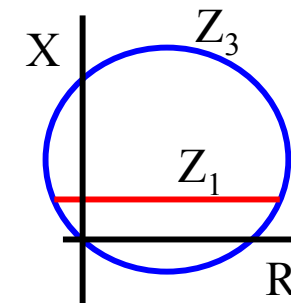
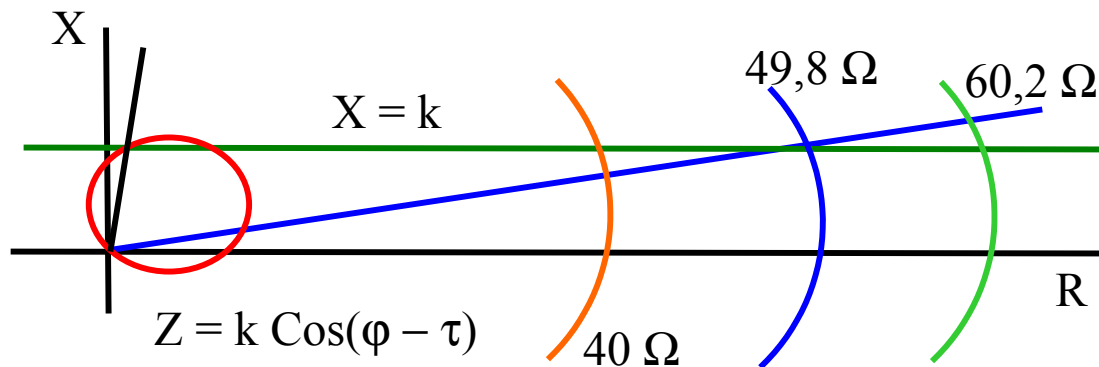
$$Z_2 = 44,8 + j 21,6 = 49,8$$

$$V_1 = 68 \text{ kV} \quad I_1 = 1000 \text{ A}$$

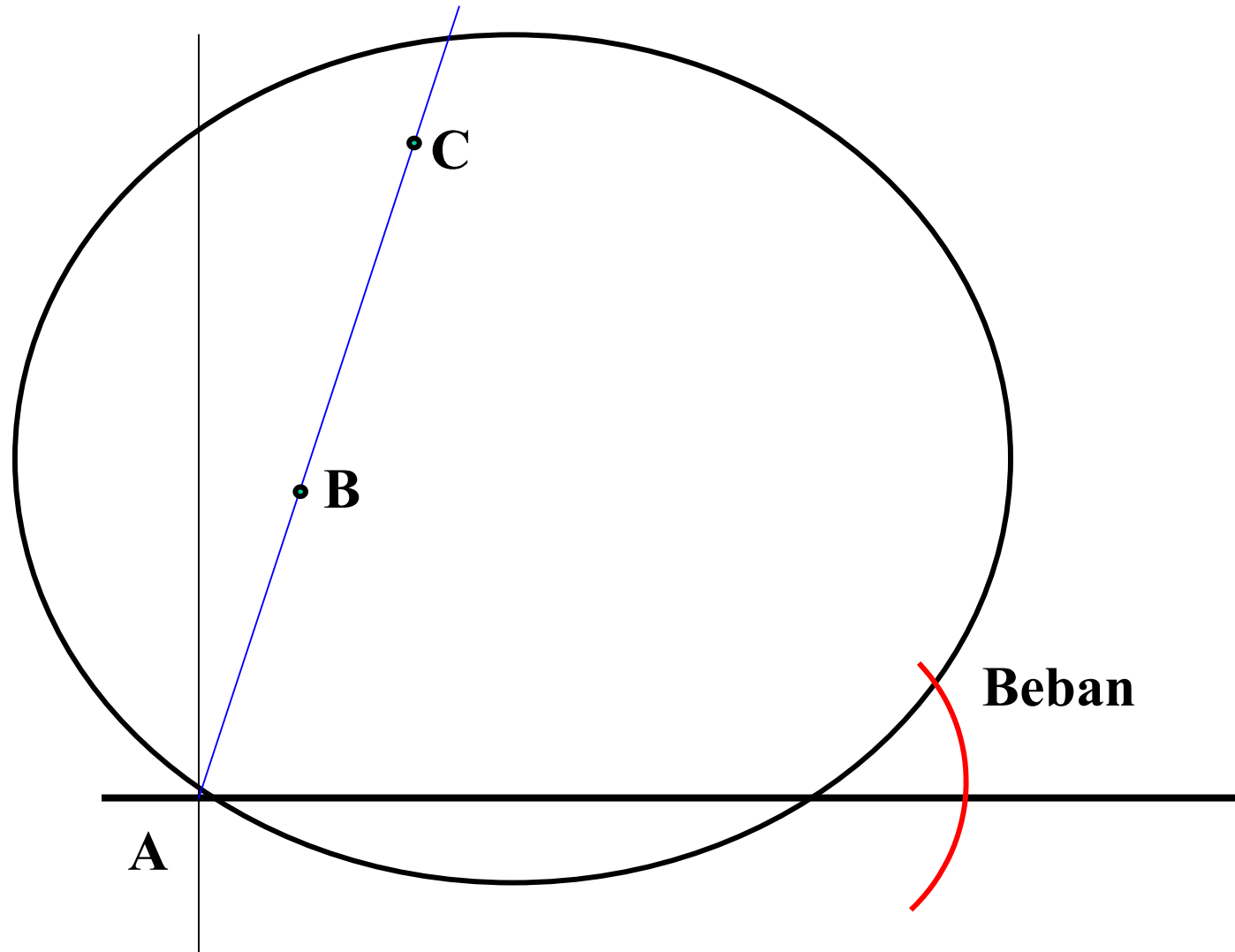
$$Z_1 = 35,3 + j 17,1 = 40$$

$$V_3 = 70 \text{ kV} \quad I_3 = 670 \text{ A}$$

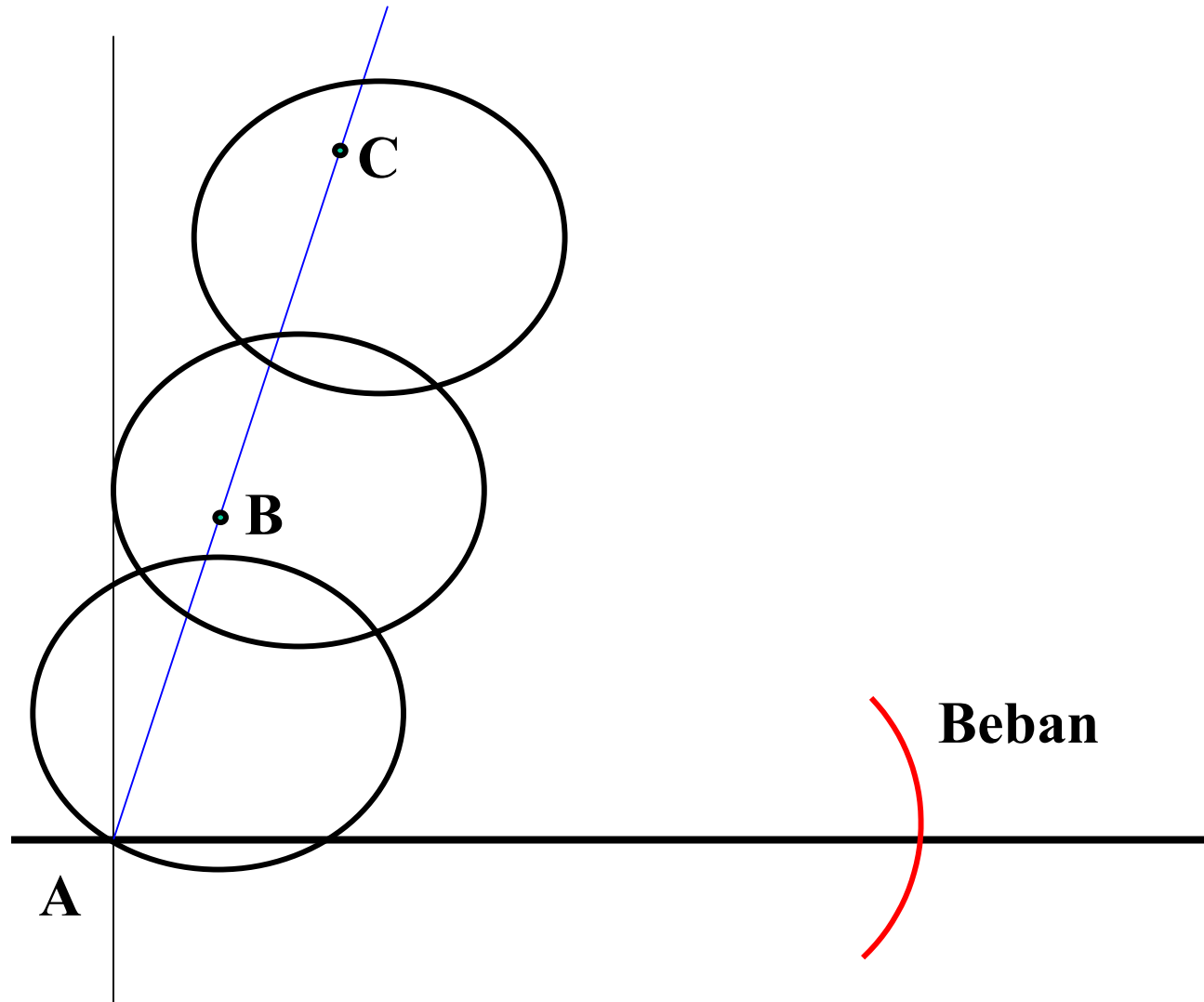
$$Z_3 = 54,3 + j 26 = 60,2$$



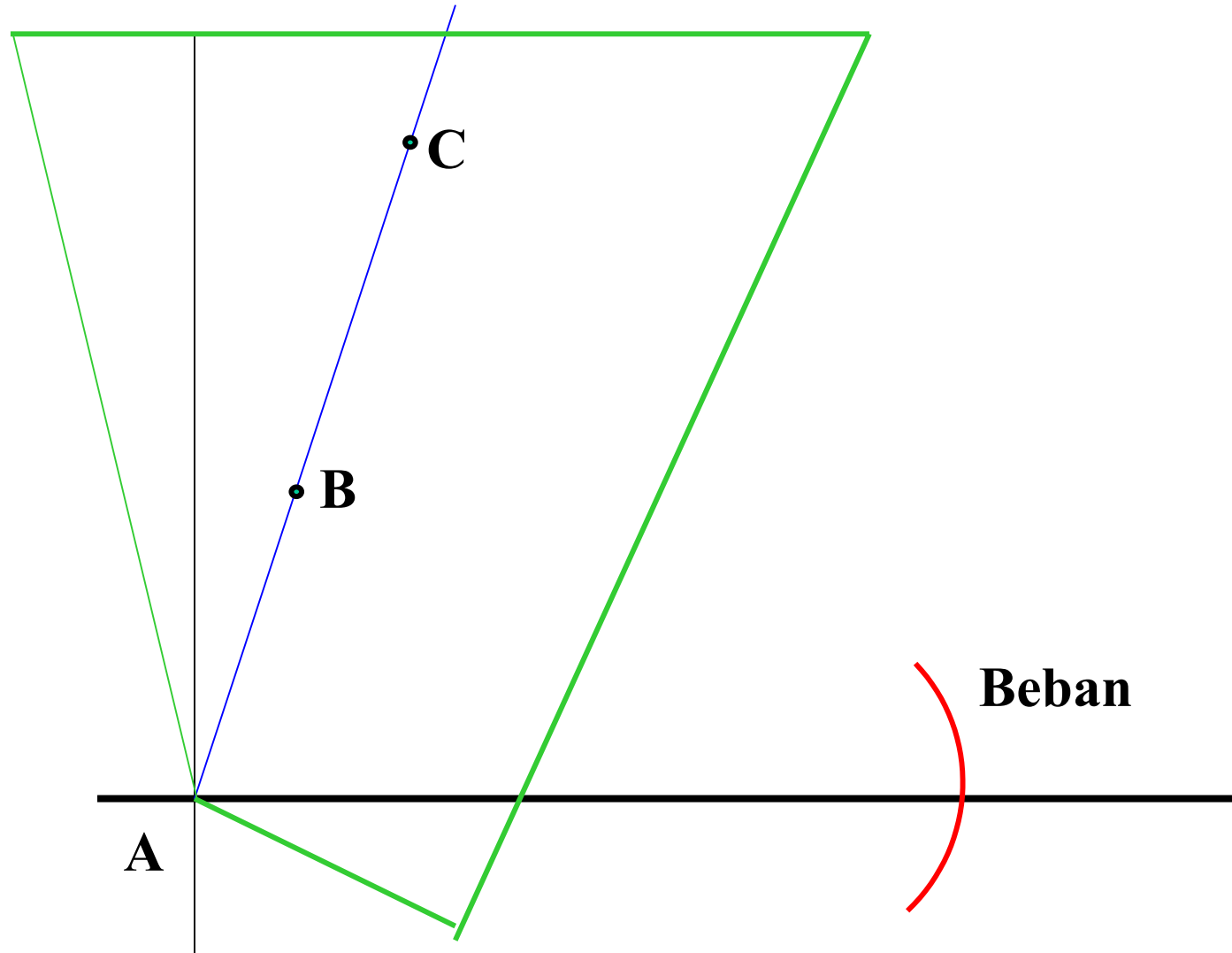
SALURAN PANJANG BEBAN BESAR



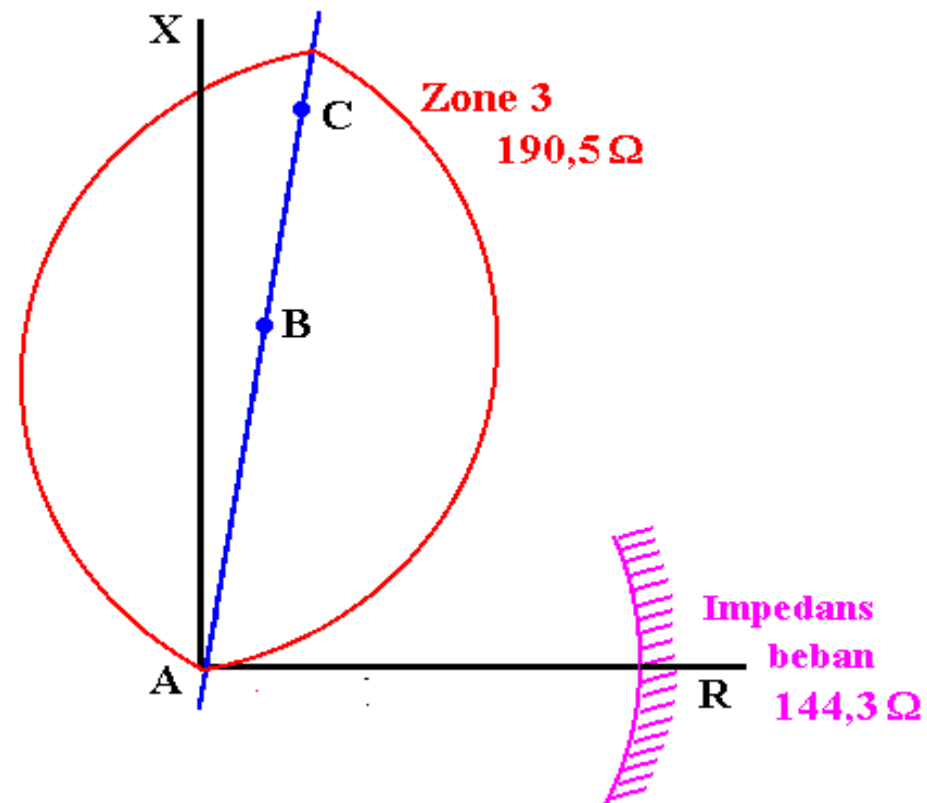
Relai Elektro Mekanik



Relai Statik atau Numerikal



Karakteristik relai berbentuk lensa

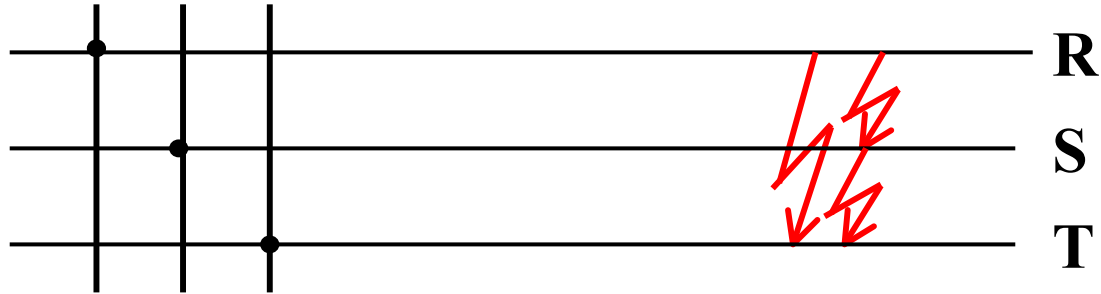


4. CARA PENGUKURAN JARAK.

Cara pengukuran jarak disesuaikan dengan jenis gangguannya.

Dengan demikian tegangan dan arus yang masuk relai disesuaikan dengan jenis gangguannya

4.1. Gangguan Hubung Singkat 3 Fase.



Berdasarkan komponen simetris gangguan 3 fase adalah :

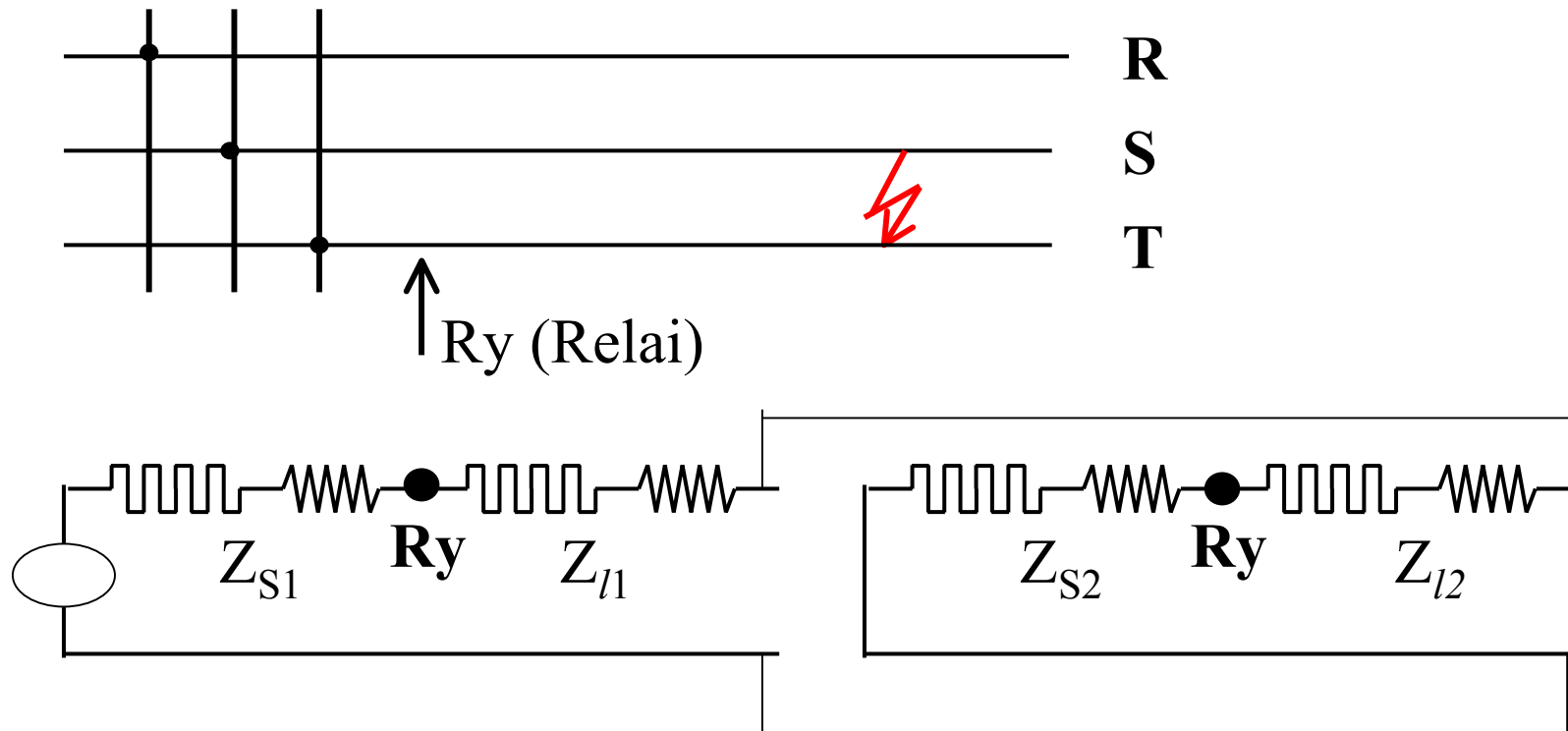
$$I_R := \frac{V_R}{Z_1} \quad \text{atau} \quad Z_1 := \frac{V_R}{I_R}$$

Z_1 : impedansi saluran yang terganggu.

V_R : tegangan fase R.

I_R : arus fase R

4.2. Gangguan Hubung Singkat 2 Fase.



Berdasarkan komponen simetris gangguan 2 fase adalah :

$$I_{R1} = -I_{R2} = \frac{E_{R1}}{(Z_{S1} + Z_{I1}) + (Z_{S2} + Z_{I2})}$$

$$I_R := I_{R1} + I_{R2} + I_{R0} \quad I_R := 0 \quad (1)$$

$$I_S = a^2 I_{R1} + a I_{R2} + I_{R0} = (a^2 - a) I_{R1} \quad (2)$$

$$I_T := a \cdot I_{R1} + a^2 \cdot I_{R2} + I_{R0} \quad I_T := (a - a^2) \cdot I_{R1} \quad (3)$$

$$I_T := -(a^2 - a) \cdot I_{R1}$$

Dari persamaan (2) dan (3) didapat $I_S = -I_T$

Tegangan di A (letak relai) merupakan jatuh tegangan dari titik A sampai titik gangguan F.

$$V_R := V_{R1} + V_{R2} + V_{R0} \quad V_R := I_{R1} \cdot Z_1 + I_{R2} \cdot Z_2 + I_{R0} \cdot Z_0 \quad (4)$$

$$V_S := a^2 \cdot V_{R1} + a \cdot V_{R2} + V_{R0} \quad (5)$$

$$V_S := (a^2 - a) \cdot V_{R1} \quad V_S := (a^2 - a) \cdot I_{R1} Z_1$$

$$\begin{aligned}
 V_T &= a V_{R1} + a^2 V_{R2} + V_{R0} \\
 &= (a - a^2) V_{R1} = -(a^2 - a) I_{R1} Z_1
 \end{aligned} \tag{6}$$

Jika tegangan yang dimasukkan ke relai

$$\begin{aligned}
 V_{Relai} &= V_{ST} \\
 V_{Relai} &= V_{ST} = V_S - V_T = 2 (a^2 - a) I_{R1} Z_1
 \end{aligned} \tag{7}$$

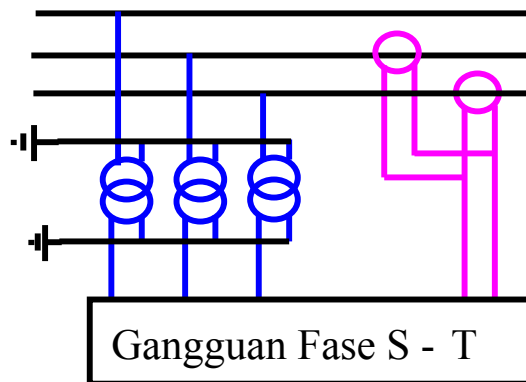
Jika arus yang dimasukkan ke relai

$$\begin{aligned}
 I_{Relai} &= I_S - I_T \\
 I_{Relai} &= I_S - I_T = (a^2 - a) I_{R1} + (a^2 - a) I_{R1} = 2 (a^2 - a) I_{R1}
 \end{aligned} \tag{8}$$

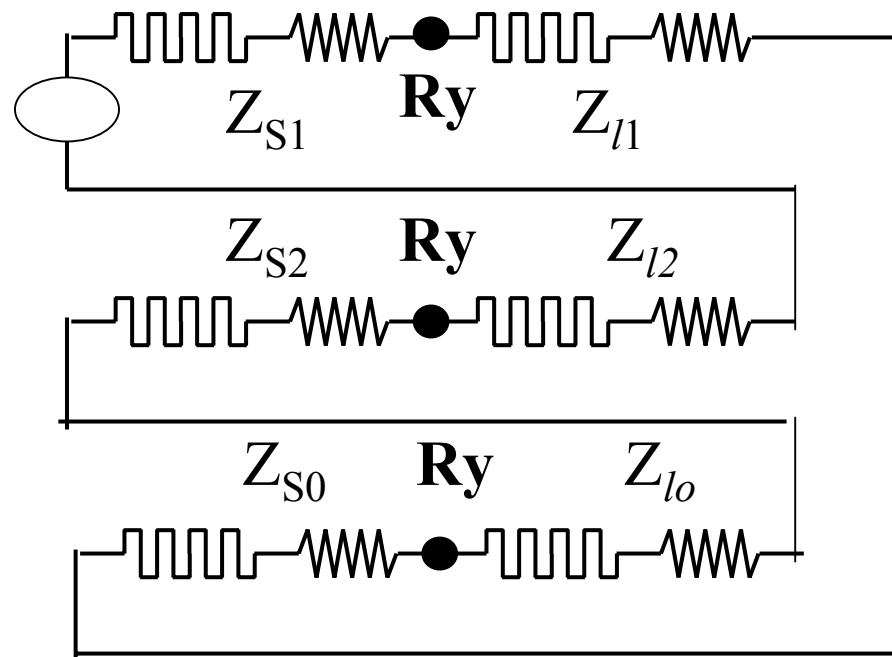
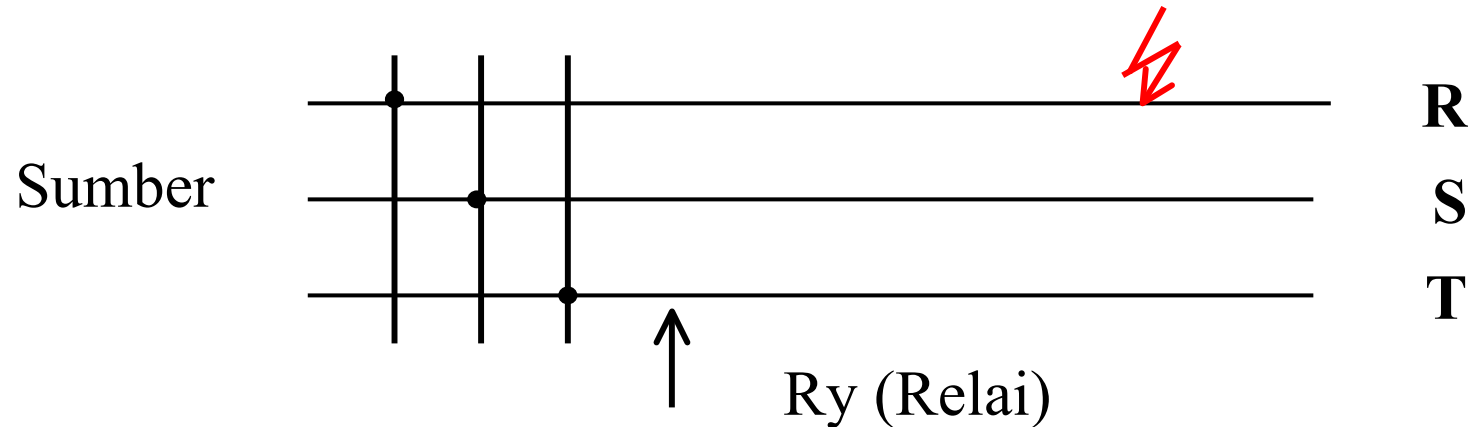
Dari persamaan (6) dan (7) impedans yang dilihat oleh relai menjadi :

$$Z_{\text{Relai}} = \frac{V_{\text{Relai}}}{I_{\text{Relai}}} = \frac{2(a^2 - a)I_{R1} Z_1}{2(a^2 - a)I_{R1}} = Z_1$$

Cara penyambungan relai seperti gambar di bawah



4.3. Gangguan Hubung Singkat 1 Fase ke Bumi.



Misal terjadi gangguan fase R ke bumi.

$$I_{R1} = I_{R2} = I_{R0} .$$

$$I_R = I_{R1} + I_{R2} + I_{R0} = 3 I_{R1} .$$

$$I_{R1} := \frac{I_R}{3} \quad I_{R1} := \frac{V_R}{Z_{R1} + Z_{R2} + Z_{R0}}$$

$$Z_{l1} = Z_{l2} .$$

$$\begin{aligned} V_{Relai} = V &= I_{R1} Z_{l1} + I_{R2} Z_{l2} + I_{R0} Z_{l0} \\ &= I_{R1} Z_{l1} + I_{R2} Z_{l1} + I_{R0} Z_{l1} + I_{R0} Z_{l0} - I_{R0} Z_{l1} . \\ &= Z_{l1} (I_{R1} + I_{R2} + I_{R0}) + I_{R0} (Z_{l0} - Z_{l1}) \\ &= Z_{l1} I_R + 1/3 I_S (Z_{l0} - Z_{l1}) \end{aligned}$$

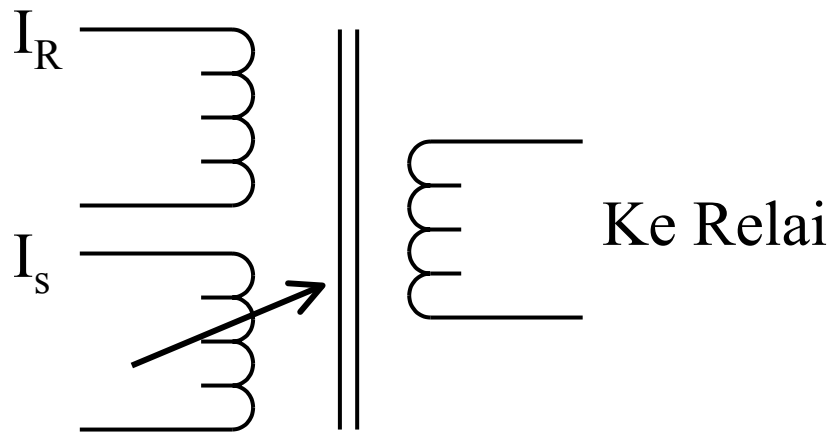
$$\text{bila } I_S := 3 I_{R0}$$

$$\text{bila } I_S := 3 I_{R0}$$

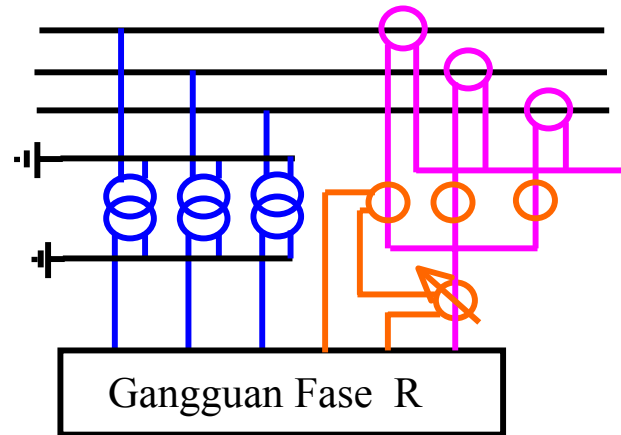
$$V_{\text{Relai}} = Z_{l1} [I_R + I_s (\frac{Z_{l0} - Z_{l1}}{3 Z_{l1}})]$$

$$V_{\text{Relai}} = Z_{l1} (I_R + I_s k_o) \quad \text{dimana} \quad k_o = \frac{Z_{l0} - Z_{l1}}{3 Z_{l1}}$$

$$Z = \frac{V_{\text{Relai}}}{I_R + k_o I_s} \quad \text{dimana } I_{\text{Relai}} = I_R + k_o I_s$$



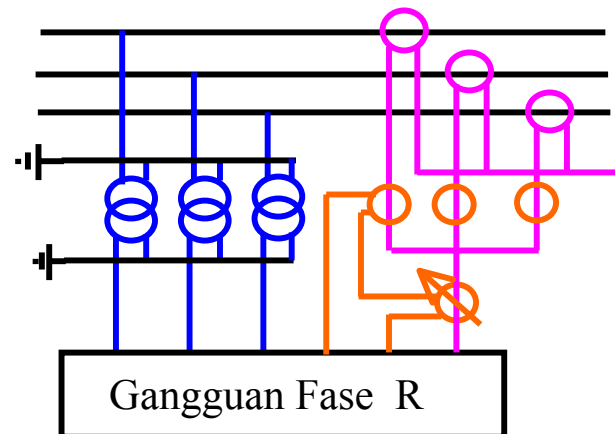
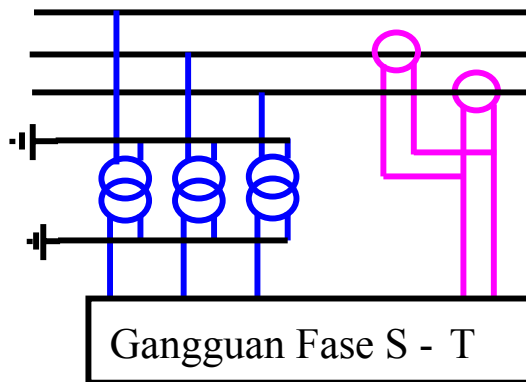
Cara penyambungan relai seperti gambar di bawah



5. CARA PENGUKURAN JARAK.

Cara pengukuran jarak disesuaikan dengan jenis gangguannya.

Tegangan dan arus yang masuk relai disesuaikan dengan jenis gangguannya



Sambungan Tegangan dan Arus untuk gangguan 2 fase dan satu fase

Fase yang terganggu	Tegangan	Arus
R - S	V_{RS}	$I_R - I_S$
S - T	V_{ST}	$I_S - I_T$
T - R	V_{TR}	$I_T - I_R$
R - Tanah	V_{RN}	$I_R + k_0 I_S$
S - Tanah	V_{SN}	$I_S + k_0 I_S$
T - Tanah	V_{TN}	$I_T + k_0 I_S$

$$k_0 = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$$

Dari penghantar

6. PENYETELAN RELAI JARAK

6.1 Syarat Utama Relai Jarak

Dapat menentukan arah letak gangguan

- Gangguan di depan relai harus bekerja
- Gangguan di belakang relai tidak boleh bekerja

Dapat menentukan letak gangguan

- Gangguan di dalam daerahnya relai harus bekerja
- Gangguan di luar daerahnya relai tidak boleh bekerja

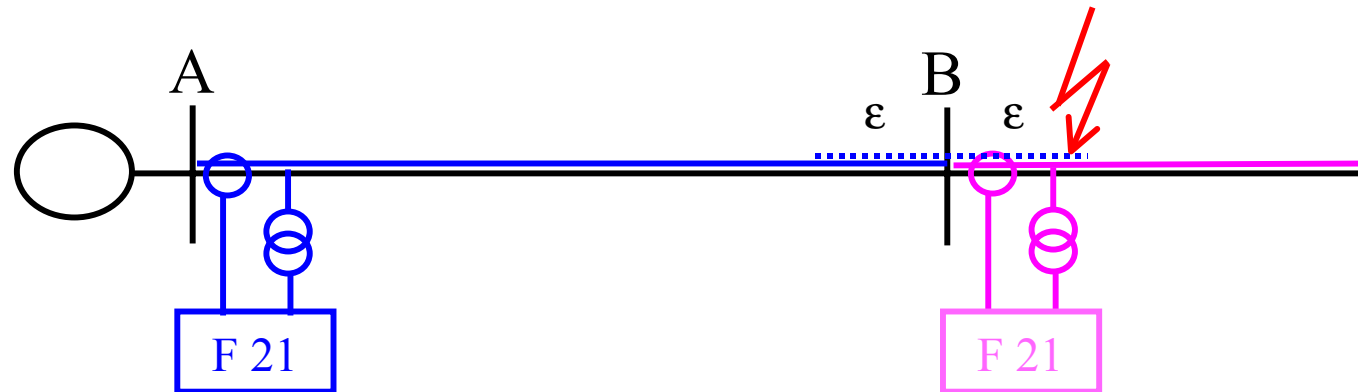
Beban maksimum tidak boleh masuk jangkauan relai

Dapat membedakan gangguan dan ayunan daya

6.2 Tujuan Relai Jarak Tiga Tingkat

Zone 1

Karena adanya kesalahan pengukuran jarak akibat kesalahan CT, PT, dan relainya sendiri, tidak mungkin menset relai sampai ujung saluran yang diamankan, yang lazim disebut Zone 1



Zone 2

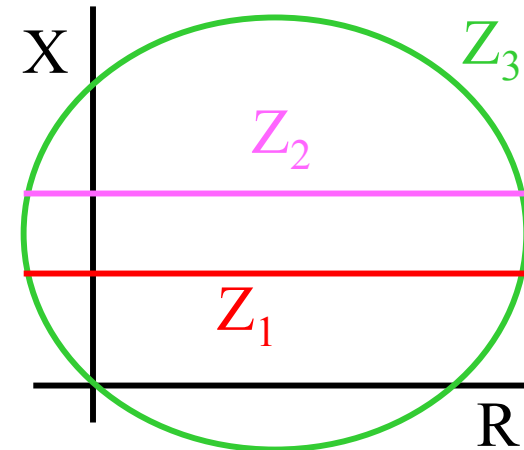
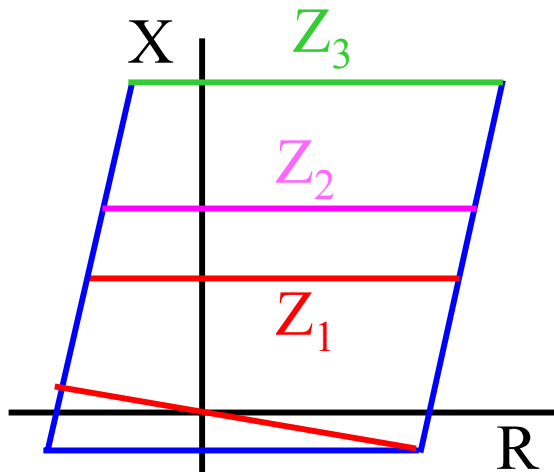
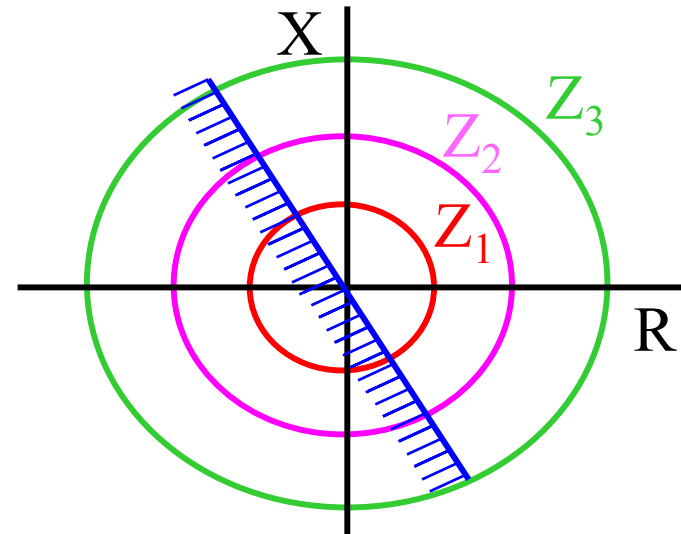
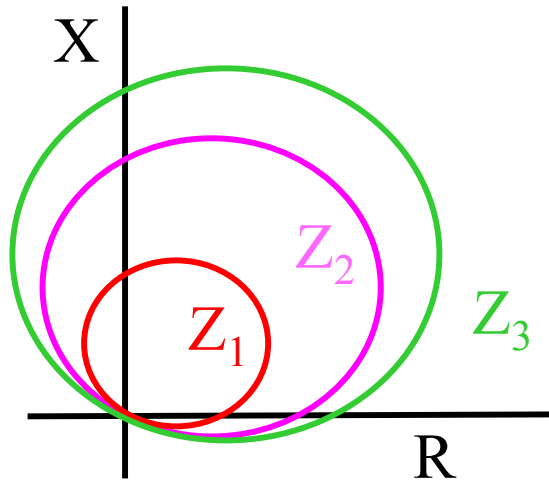
Untuk mengamankan sisa yang tidak diamankan Zone 1, diamankan oleh Zone 2 dengan perlambatan waktu

Zone 2 juga sebagai pengaman rel ujung seksi yang diamankan bila tidak mempunyai proteksi rel

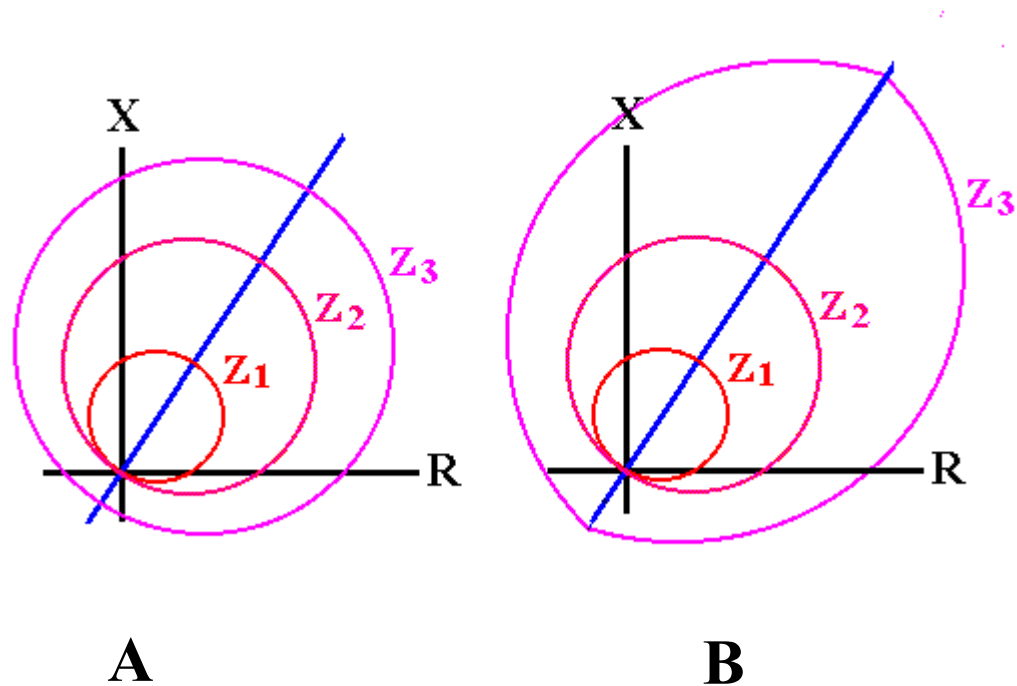
Zone 3

Sebagai pengamanan cadangan ditambah relai yang lazim disebut Zone 3, dalam hal ini harus dapat menjangkau ujung seksi berikutnya, waktunya diperlambat terhadap Zone 2 seksi berikutnya

6.3 Karakteristik Relai Jarak 3 Tingkat



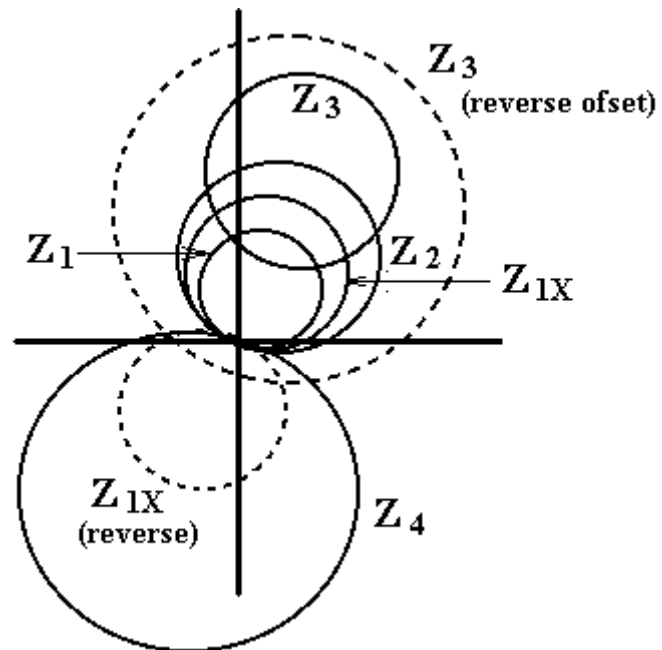
Karakteristik QUADRAN MHO



A Zone 1, Zone 2 parsial cross-polarised Mho, Zone 3 Off set Mho

B Zone 1, Zone 2 parsial cross-polarised Mho, Sone 3 Off Set lens

Karakteristik relai numerikal LFZR (Alstom)



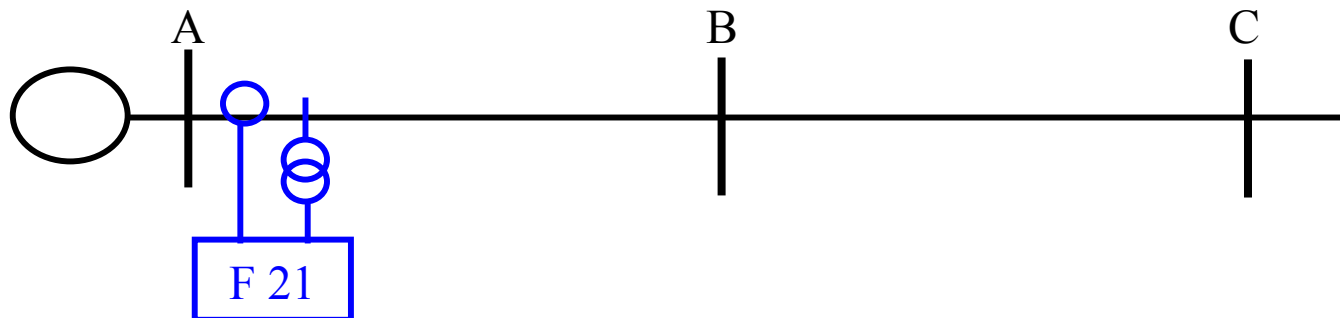
6.4 Seting Relai Jarak 3 Tingkat

Jangkauan relai jarak dipengaruhi kesalahan :

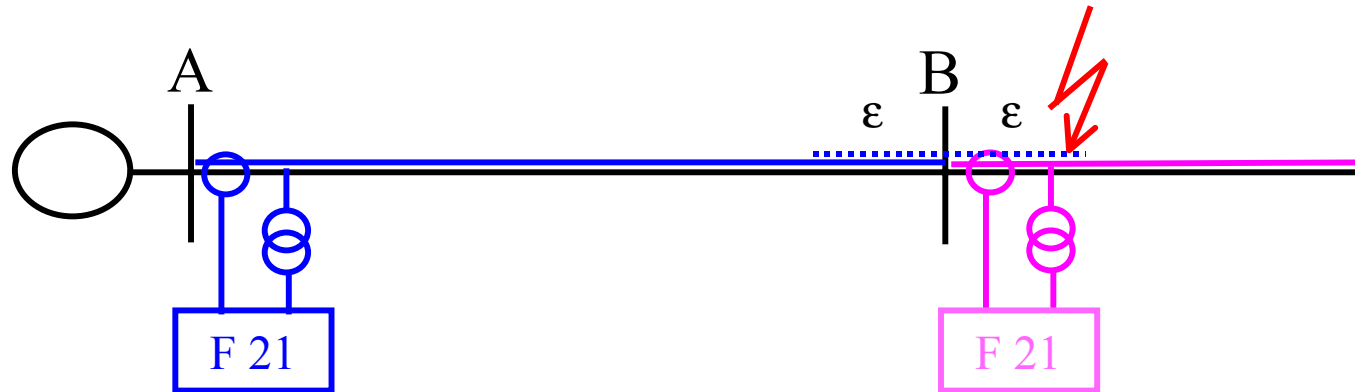
- Trafo arus CT ----> ϵ_{CT}
- Trafo tegangan PT ----> ϵ_{PT}
- Relai ----> ϵ_R

Kesalahan total $\epsilon = \epsilon_{CT} + \epsilon_{PT} + \epsilon_R = 10\% - 20\%$

Seting relai jarak pada GI. A

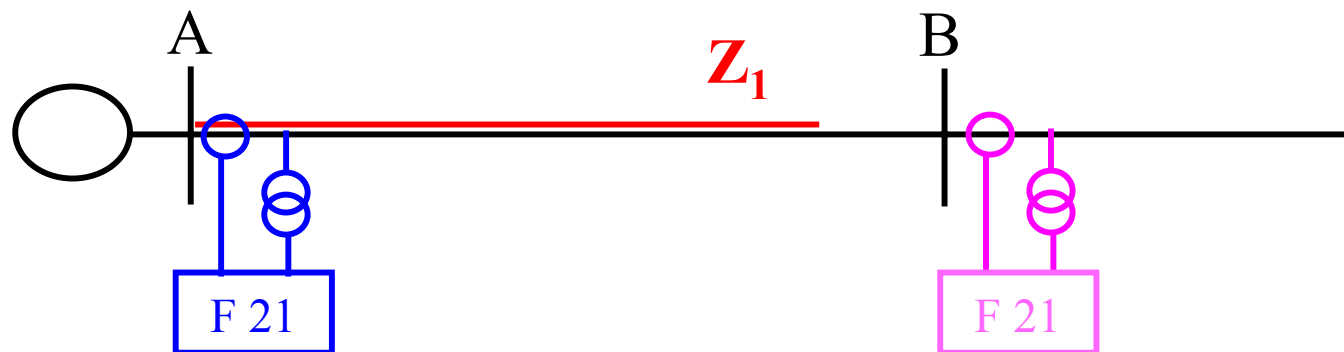


Zone 1



Untuk menghindari bekerja relai tidak selektif seting

$$\text{Zone 1} = (1-\epsilon) Z_{AB} = \alpha Z_{AB}.$$

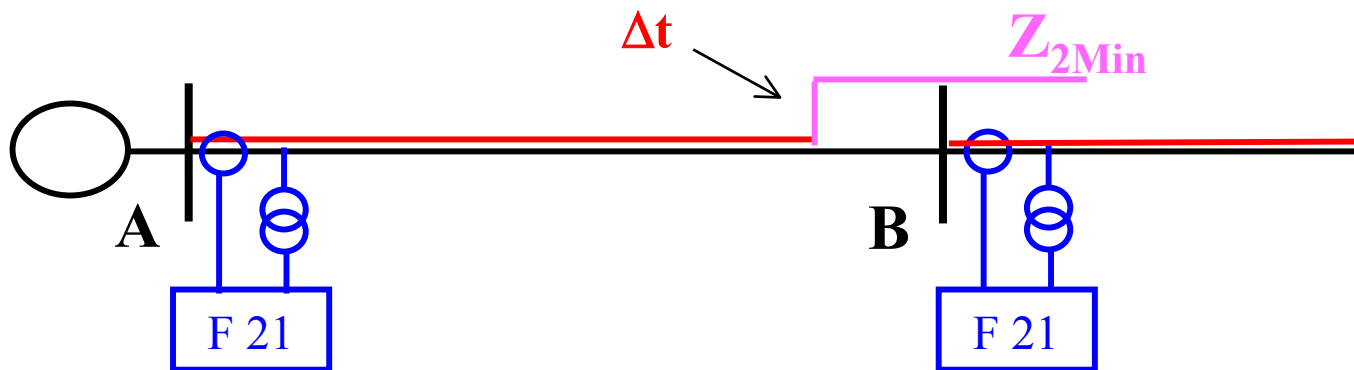


Zone 2_{Minimum}

Z_{2Min} harus mencapai ujung seksi yang diamankan

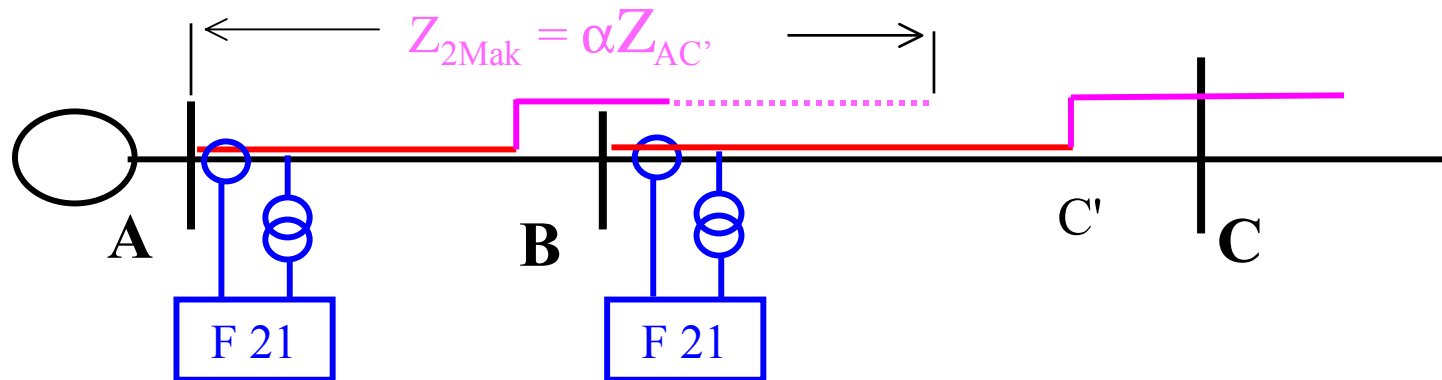
$$Z_{2Min} = (1+\epsilon) Z_{AB} = \beta Z_{AB} . \quad (\beta = 1+\epsilon)$$

Untuk mendapatkan selektifitas terhadap Z_1 relai di B, Zone 2 diberi waktu tunda Δt (0,3 dt - 0,5 dt)



Zone 2_{Maksimum}

Z_{2Mak} diusahakan memberikan pengaman cadangan sejauh mungkin Z_1 seksi berikutnya, tetapi tidak boleh tumpang tindih dengan Z_2 seksi berikutnya



$$Z_{2Mak} = \alpha Z_{AC'}$$

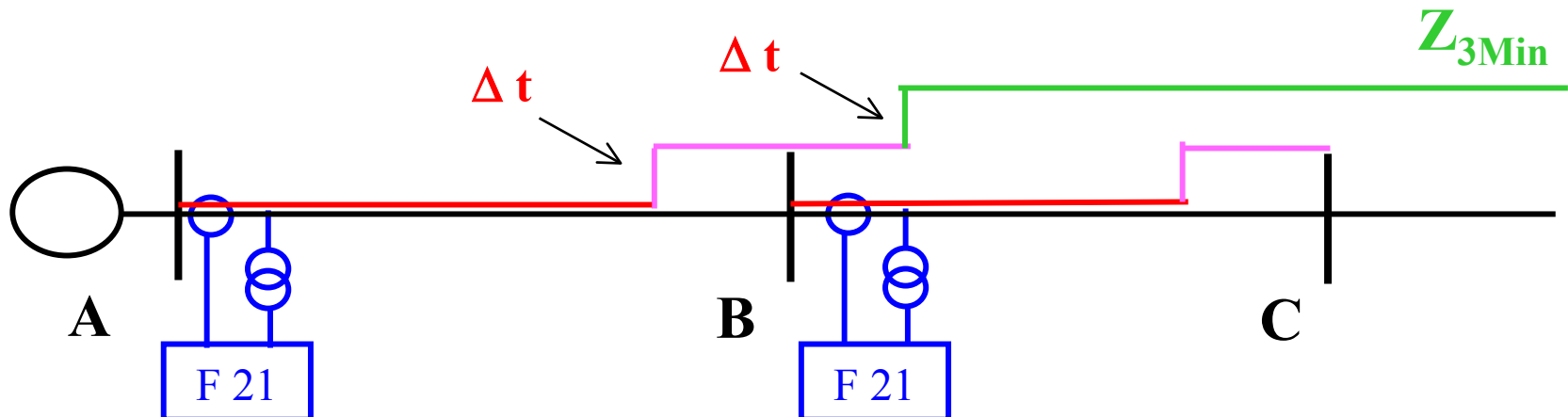
$$Z_{2Mak} = \alpha(Z_{AB} + k Z_{BC}) \quad (k = \text{faktor infeed})$$

Zone 3_{Minimum}

Z_{3Min} harus dapat pengaman cadangan seksi berikutnya, sehingga dapat mencapai ujung seksi berikutnya.

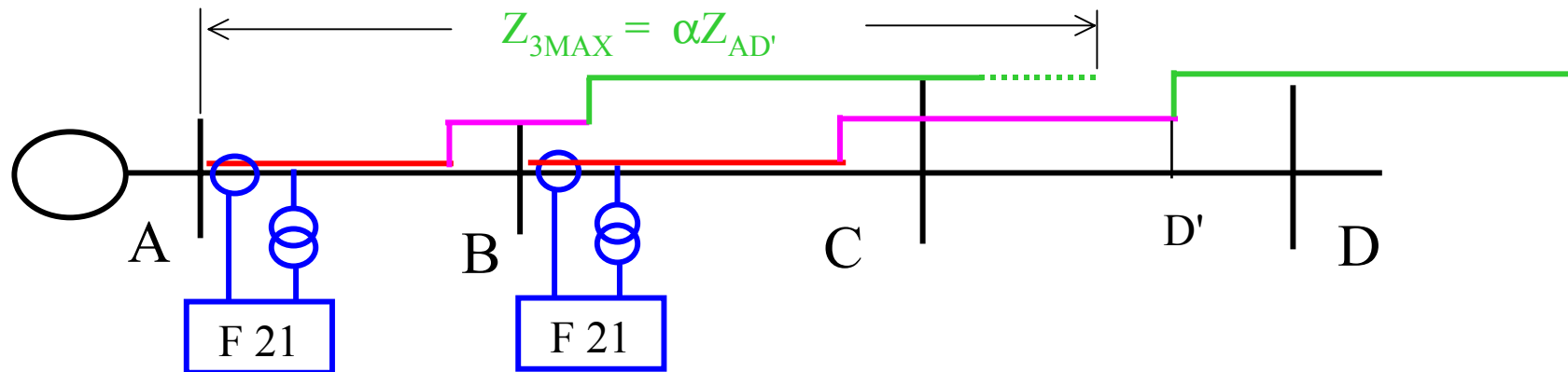
$$Z_{2Min} = \beta Z_{AC} = \beta (Z_{AC} + kZ_{AC}) \quad (k = \text{faktor infeed})$$

Untuk mendapatkan selektifitas terhadap Z_{Z2} di B, Zone 2 diberi waktu tunda Δt (0,3 dt - 0,5 dt)



Zone 3_{Maksimum}

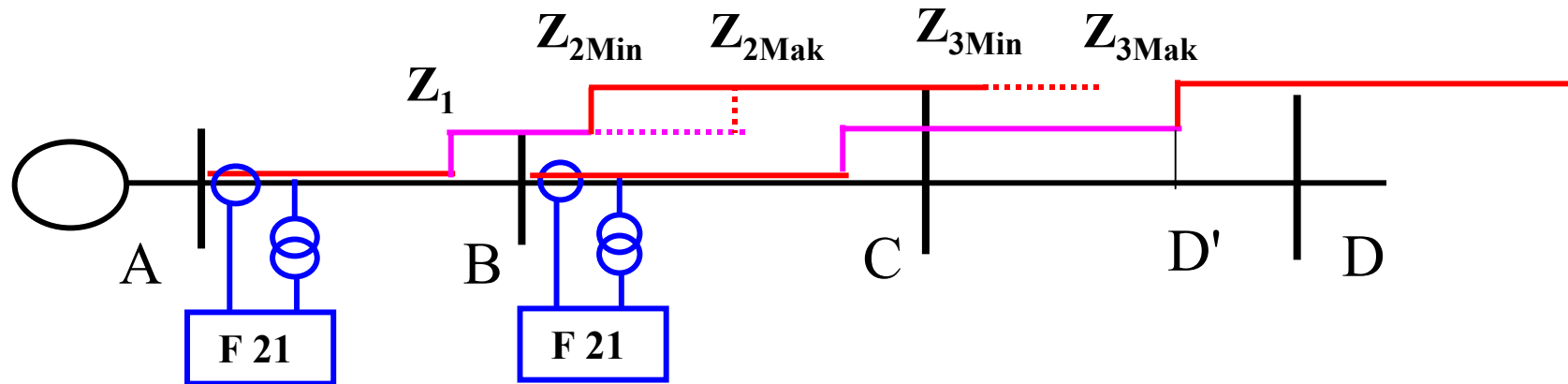
Z_{2Mak} diusahakan memberikan pengaman cadangan sejauh mungkin Z_2 seksi berikutnya, tetapi tidak boleh tumpang tindih dengan Z_3 seksi berikutnya



$$Z_{3Mak} = \alpha Z_{AD'} = \alpha(Z_{AB} + k Z_{2MakB})$$

$$Z_{3Mak} = \alpha(Z_{AB} + k\alpha (Z_{BC} + k\alpha Z_{CD}))$$

Kesimpulan Seting



$$\text{Zone 1} = \alpha Z_{AB}$$

$$\alpha = (1-\varepsilon) \quad \beta = 1+\varepsilon) \quad k : \text{f. infeed}$$

$$Z_{2Min} = \beta Z_{AB} \cdot$$

$$Z_{2Mak} = \alpha(Z_{AB} + k Z_{BC})$$

$$Z_{2Min} = \beta (Z_{AC} + k Z_{AC})$$

$$Z_{3Mak} = \alpha(Z_{AB} + k \alpha (Z_{BC} + k \alpha Z_{CD}))$$

6.5 Relai Deteksi Gangguan (Starting Relay)

Relai perasa gangguan berfungsi untuk :

Memindah tegangan dan arus yang masuk ke relai (pada jenis pindah kontak)

Menstart relai waktu

Persyaratan :

Bekerja cepat (seketika)

Dapat merasakan gangguan di Zone 3

Beban maksimum tidak bekerja

Jenis :

Relai impedans turun

Relai arus lebih

Seting relai deteksi gangguan

Relai impedans turun Z_S

$$Z_S = k Z_3 \quad (k = 1,2 - 1,5)$$

$$Z_S = \frac{k_1 V_{\text{Min}}}{\sqrt{3} k_2 I_{\text{Mak}}} \quad \begin{array}{l} k_1 = 0,8 - 0,9 \\ k_2 = 1,2 - 1,5 \end{array}$$

Relai arus lebih

$$I_S = \frac{k_s}{k_d} I_{\text{Maks}} \quad \begin{array}{l} k_s = 1,2 - 1,5 \\ k_d = 0,8 - 1,0 \end{array}$$

Bila dilengkapi relai waktu untuk trip lebih lama dari Z_3 , dan tidak mempunyai arah

6.6 Konversi impedans Primer ke Sekunder

Untuk memasukkan data impedans jaringan ke relai harus dikonversi ke impedans sekunder.

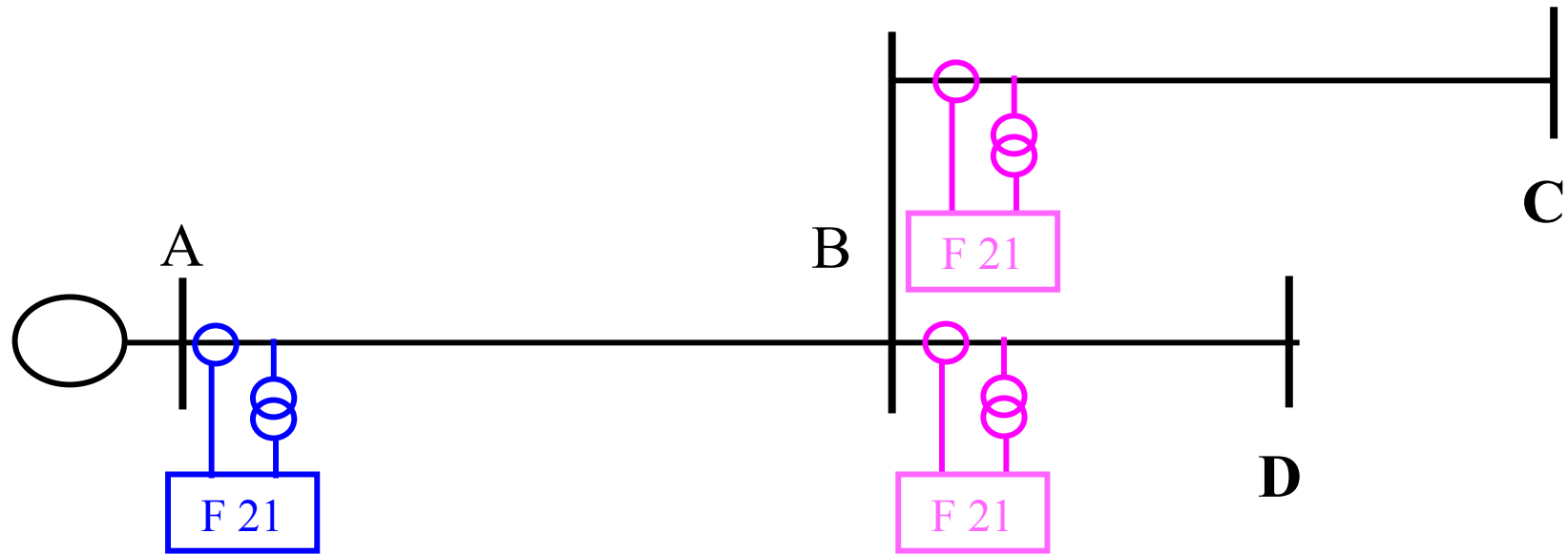
$$Z_P := \frac{V_P}{I_P} \quad Z_P := \frac{k_{PT} \cdot V_S}{k_{CT} \cdot I_S} \quad Z_P := \frac{k_{PT}}{k_{CT}} \cdot Z_S$$

$$Z_S := \frac{k_{CT}}{k_{PT}} \cdot Z_P$$

k_{CT} = Rasio CT

k_{PT} = Rasio PT

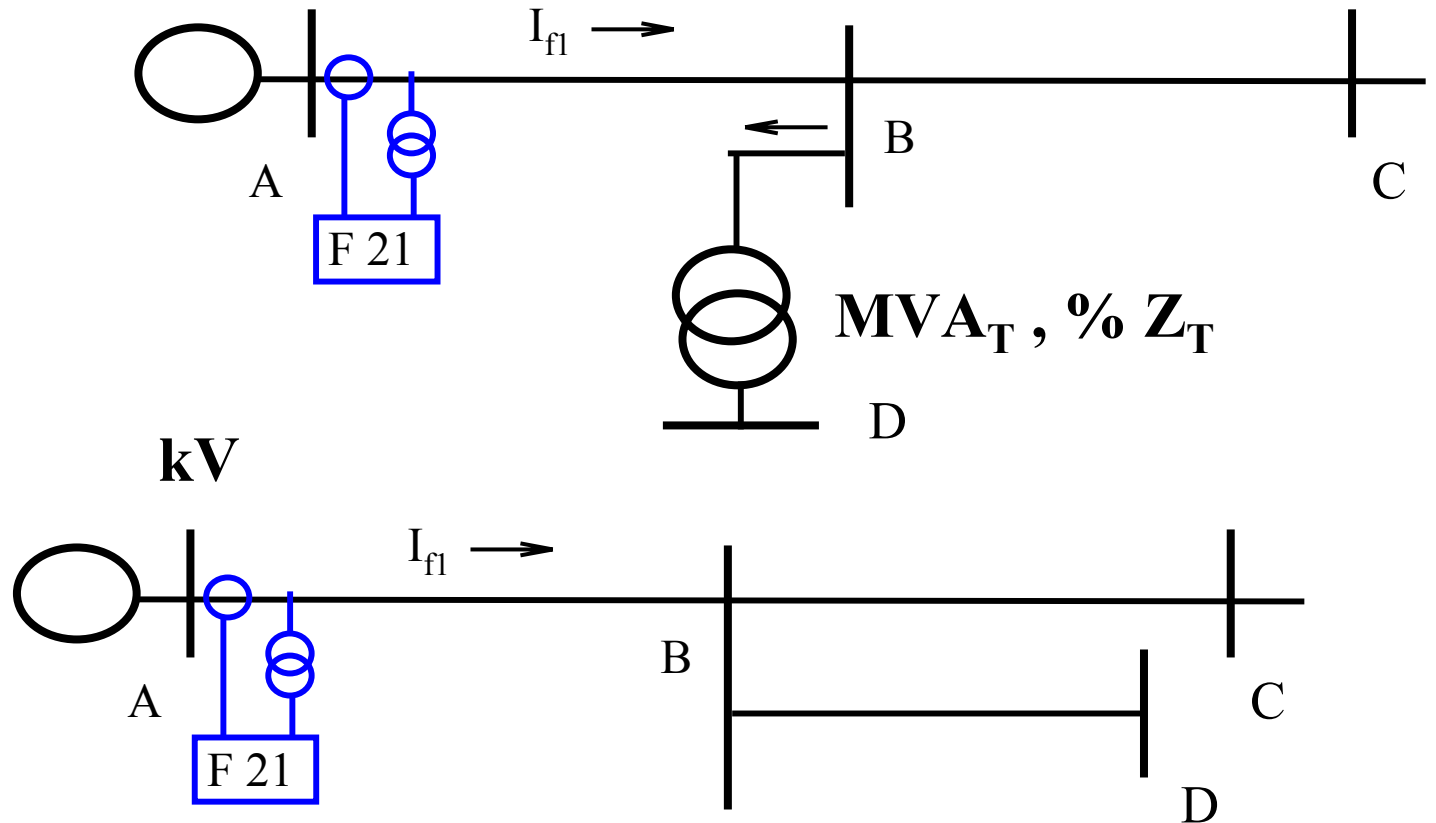
6.7 Ujung Saluran terdapat 2 Saluran Yang berbeda



Untuk menentukan Zone 2 relai di A didasarkan pada penghantar BD yaitu saluran yang pendek

Untuk menentukan Zone 3 relai di A didasarkan pada penghantar BC yaitu saluran yang panjang

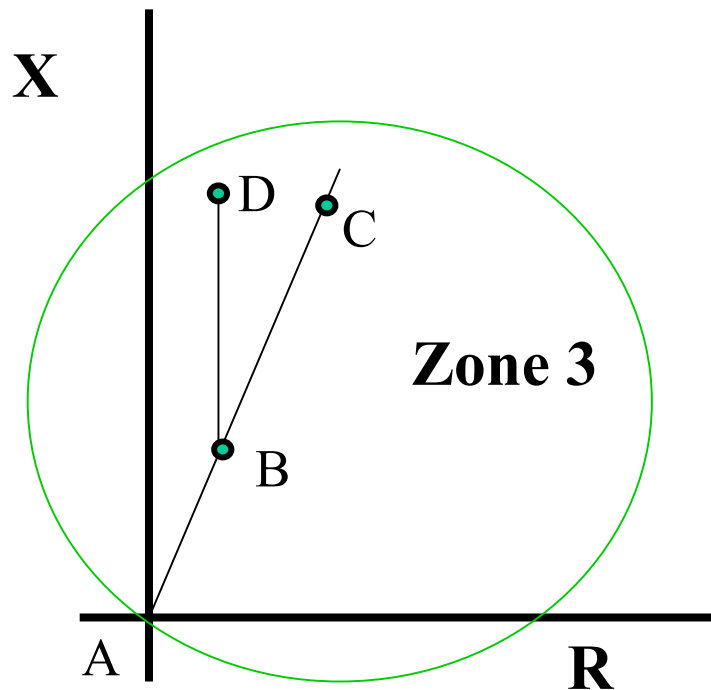
Impedans trafo dilihat oleh relai jarak



$$Z_{BD} = \% Z_T \times Z_b / 100$$

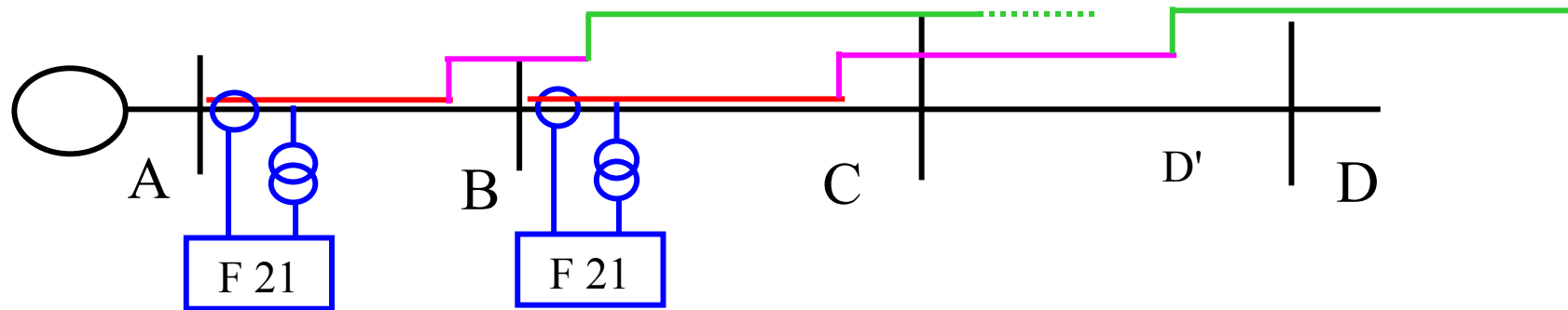
$$Z_T = (kV^2) / MVA_T$$

Impedans saluran dan trafo pada diagram R - X



**Letak D dapat di dalam
jangkauan Zone 3
tergantung besar kecilnya
tranformator dan panjang
pendeknya saluran BC**

6.8 Tinjauan Seting



Zone 1

$$\text{Zone 1} = \alpha Z_{AB} \cdot$$

α umumnya diambil 85% atau 90%

Zone 2 (a)

$$Z_{2\text{Min}} = \beta Z_{AB} \cdot$$

$$Z_{2\text{Mak}} = \alpha(Z_{AB} + k Z_{BC})$$

$$\beta = 110\% \text{ atau } 115\% Z_{AB} \cdot$$

Zone 2 (b)

$$Z_2 = Z_{AB} + 0,7 Z_{BC}$$

Zone 2 (c)

$$Z_2 = Z_{AB} + 0,5 Z_{BC}$$

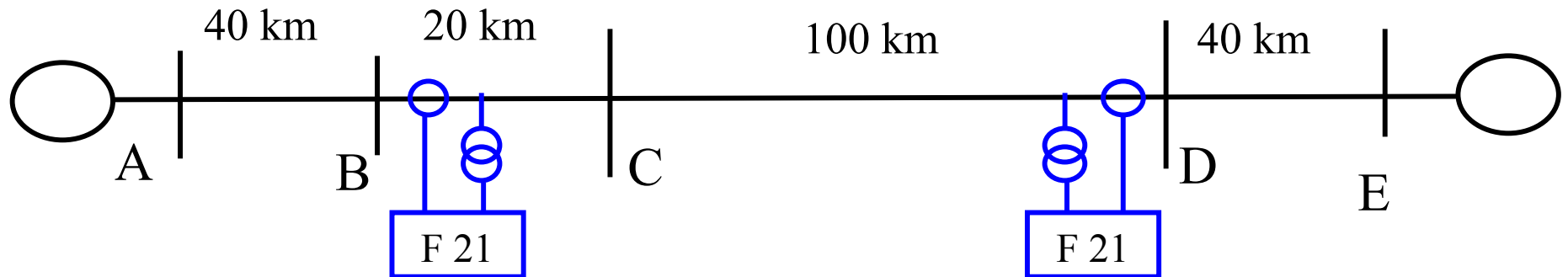
Zone 3 (a)

$$Z_{3Min} = \beta (Z_{AC} + kZ_{AC}) \quad Z_{3Mak} = \alpha(Z_{AB} + k\alpha (Z_{BC} + k \alpha Z_{CD}))$$

Zone 3 (b)

$$Z_2 = Z_{AB} + Z_{BC} + 0,7 Z_{CD}$$

PEMBAHASAN KASUS



Asumsi : $\epsilon = 10\%$, $\alpha = 90\%$, $\beta = 110\%$, $k = 1$

Untuk memberikan gambaran dengan mudah impedans dinyatakan dengan panjang (km)

Relai B

$$\text{Zone 1} = 0,9 \times 20 \text{ km} = 18 \text{ km}$$

Zone 2 (a)

$$\text{Zone } 2_{\min} = 1,1 \times 20 \text{ km} = 22 \text{ km}$$

$$\text{Zone } 2_{\max} = 0,9 (20 + 0,9 \times 100) \text{ km} = 99 \text{ km}$$

Zone 2 (b)

$$\text{Zone } 2 = 20 + 0,8 \times 100 \text{ km} = 100 \text{ km}$$

Zone 2 (c)

$$\text{Zone } 2 = 20 + 0,5 \times 100 \text{ km} = 70 \text{ km}$$

Zone 2 optimum 99 km memberikan pengaman cadangan sejauh mungkin tetapi tidak tumpang tindih dengan Zone 2 seksi berikutnya

Zone 3 (a)

$$\text{Zone } 3_{\min} = 1,1 (20 + 100) \text{ km} = 132 \text{ km}$$

$$\text{Zone } 3_{\min} = 0,9 (20 + 0,9 (100 + 0,9 \times 40)) \text{ km} = 128,2 \text{ km}$$

Zone 3 (b)

$$\text{Zone } 2 = 20 + 100 + 0,7 \times 40 \text{ km} = 148 \text{ km}$$

Bila Zone 3 diambil 132 km memberikan pengaman cadangan seluruh seksi berikutnya, tetapi terdapat kemungkinan tumpang tindih dengan Zone 3 seksi berikutnya maka Δt dinaikkan 1 tingkat lagi

Relai D

$$\text{Zone 1} = 0,9 \times 100 \text{ km} = 90 \text{ km}$$

Zone 2 (a)

$$\text{Zone } 2_{\min} = 1,1 \times 100 \text{ km} = 110 \text{ km}$$

$$\text{Zone } 2_{\max} = 0,9 (100 + 0,9 \times 20) \text{ km} = 106,2 \text{ km}$$

Zone 2 (b)

$$\text{Zone 2} = 100 + 0,8 \times 20 \text{ km} = 116 \text{ km}$$

Zone 2 (c)

$$\text{Zone 2} = 100 + 0,5 \times 20 \text{ km} = 110 \text{ km}$$

Bila Zone 2 diambil 106,2 km supaya tidak tumpang tindih dengan Zone 2 seksi berikutnya tetapi dalam hal ini ada kemungkinan tidak seluruh seksi diamankan oleh Zone 1 dan Zone 2, atau Zone 2 diambil 110 km dengan Δt dinaikkan satu tingkat supaya tidak terjadi kemungkinan tumpang tindih dengan Zone berikutnya

Zone 3 (a)

$$\text{Zone } 3_{\min} = 1,1 (100 + 20) \text{ km} = 132 \text{ km}$$

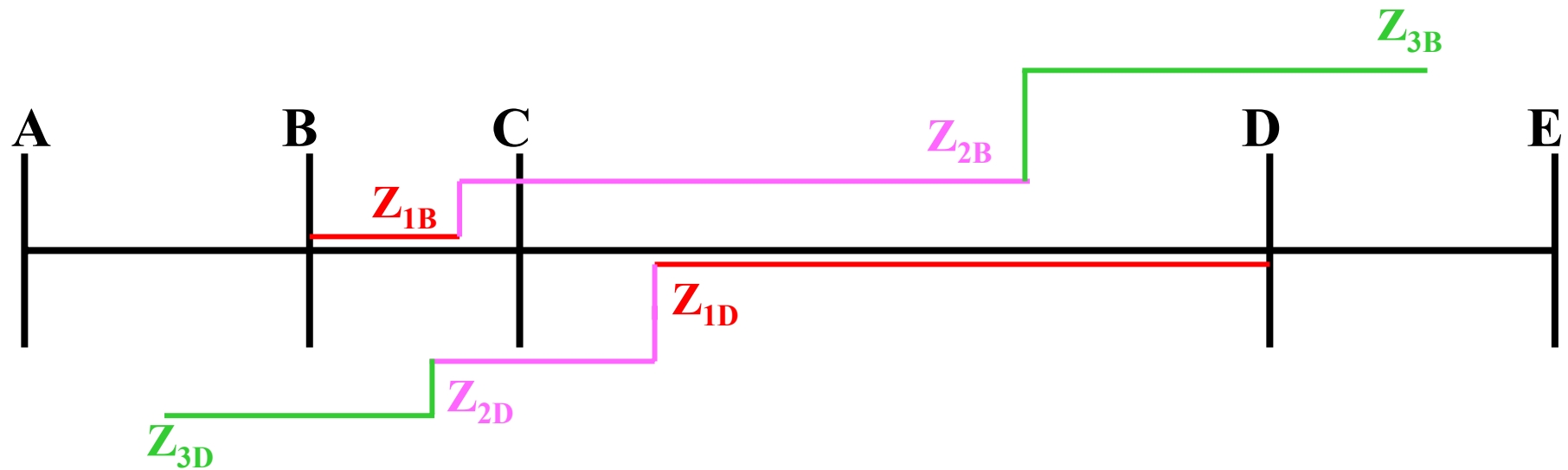
$$\text{Zone } 3_{\max} = 0,9 (100 + 0,9 (20 + 0,9 \times 40)) \text{ km} = 135,4 \text{ km}$$

Zone 3 (b)

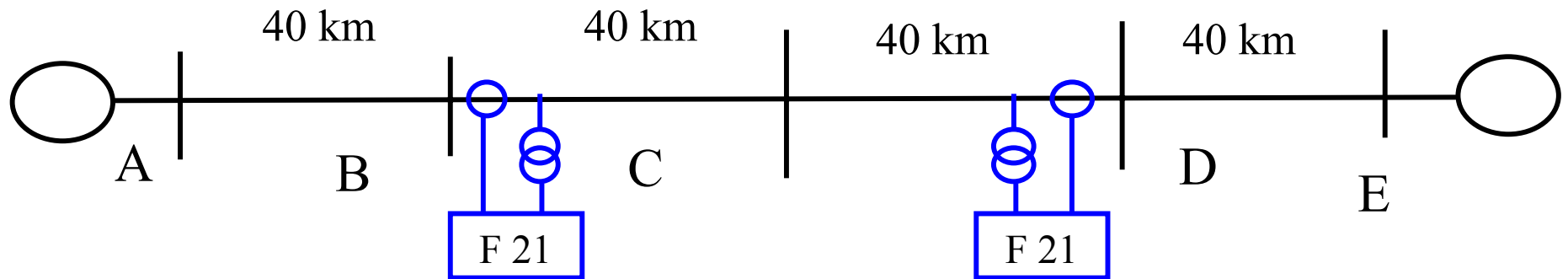
$$\text{Zone } 3 = 100 + 20 + 0,7 \times 40 \text{ km} = 148 \text{ km}$$

Zone 3 optimum 135,4 km memberikan pengaman cadangan sejauh mungkin tetapi tidak tumpang tindih dengan Zone 3 seksi berikutnya

Gambaran seting relai B dan D



Catatan : Bila Δt harus 2 kalikan, Δt dapat dipersingkat misalnya dari 0,4 detik menjadi 0,3 detik



Relai B dan D

$$\text{Zone 1} = 0,9 \times 40 \text{ km} = 36 \text{ km}$$

Zone 2 (a)

$$\text{Zone 2}_{\min} = 1,1 \times 40 \text{ km} = 44 \text{ km}$$

$$\text{Zone 2}_{\text{maks}} = 0,9 (40 + 0,9 \times 40) \text{ km} = 68,4 \text{ km}$$

Zone 2 (b)

$$\text{Zone 2} = 40 + 0,8 \times 40 \text{ km} = 72 \text{ km}$$

Zone 2 (c)

$$\text{Zone 2} = 40 + 0,5 \times 40 \text{ km} = 60 \text{ km}$$

Zone 2 optimum 68,4 km memberikan pengaman cadangan sejauh mungkin tetapi tidak tumpang tindih dengan Zone 2 seksi berikutnya

Zone 3 (a)

$$\text{Zone } 3_{\min} = 1,1 (40 + 40) \text{ km} = 88 \text{ km}$$

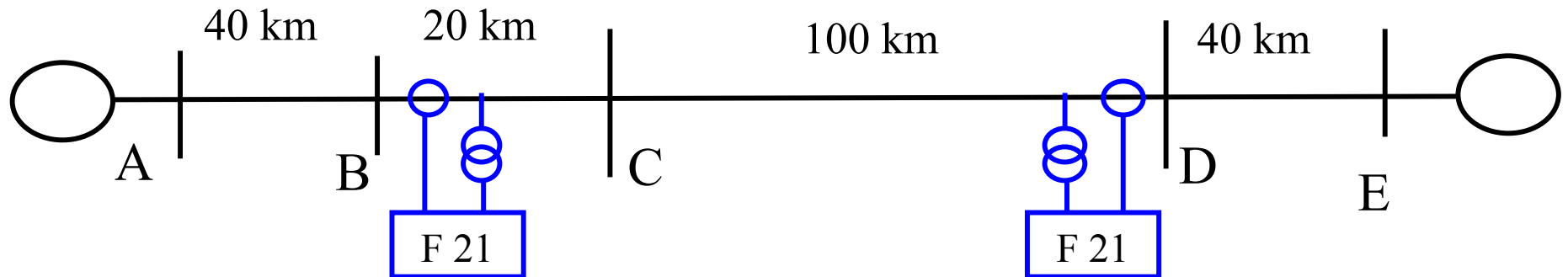
$$\text{Zone } 3_{\max} = 0,9 (40 + 0,9 (40 + 0,9 \times 40)) \text{ km} = 97,56 \text{ km}$$

Zone 3 (b)

$$\text{Zone } 3 = 40 + 40 + 0,7 \times 40 \text{ km} = 108 \text{ km}$$

Zone 3 optimum 97,56 km memberikan pengaman cadangan sejauh mungkin tetapi tidak tumpang tindih dengan Zone 3 seksi berikutnya

PEMBAHASAN KASUS



Asumsi : $\epsilon = 15\%$, $\alpha = 85\%$, $\beta = 115\%$, $k = 1$

Relai B

$$\text{Zone 1} = 0,85 \times 20 \text{ km} = 17 \text{ km}$$

Zone 2 (a)

$$\text{Zone } 2_{\min} = 1,15 \times 20 \text{ km} = 23 \text{ km}$$

$$\text{Zone } 2_{\max} = 0,85 (20 + 0,85 \times 100) \text{ km} = 89,25 \text{ km}$$

Zone 2 optimum 89,25 km memberikan pengaman cadangan sejauh mungkin tetapi tidak tumpang tindih dengan Zone 2 seksi berikutnya

Zone 3 (a)

$$\text{Zone } 3_{\min} = 1,1 (20 + 100) \text{ km} = 132 \text{ km}$$

$$\text{Zone } 3_{\min} = 0,9 (20 + 0,9 (100 + 0,9 \times 40)) \text{ km} = 113,8 \text{ km}$$

Bila Zone 3 diambil 132 km memberikan pengaman cadangan seluruh seksi berikutnya, tetapi terdapat kemungkinan tumpang tindih dengan Zone 3 seksi berikutnya maka Δt dinaikkan 1 tingkat lagi

Relai D

$$\text{Zone 1} = 0,85 \times 100 \text{ km} = 85 \text{ km}$$

Zone 2

$$\text{Zone } 2_{\min} = 1,15 \times 100 \text{ km} = 130 \text{ km}$$

$$\text{Zone } 2_{\max} = 0,85 (100 + 0,85 \times 20) \text{ km} = 99,45 \text{ km}$$

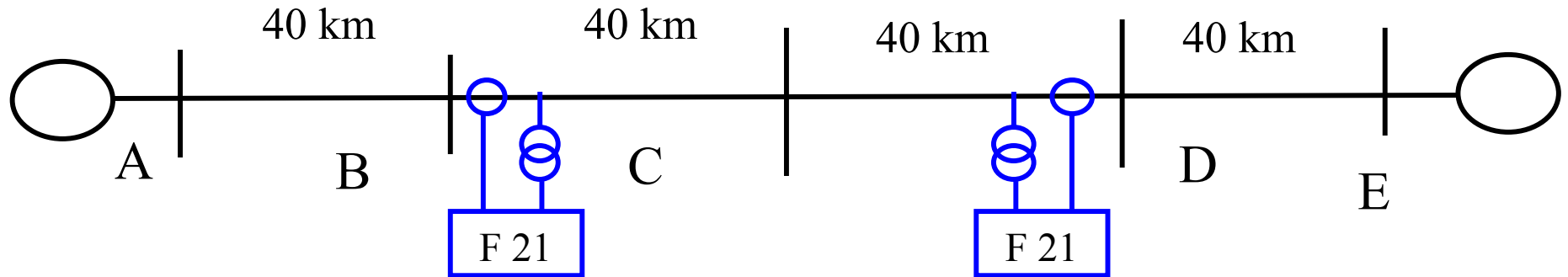
Zone 2 diambil 99,45 km agar tidak tumpang tindih dengan Zone 2 seksi berikutnya. Tetapi dalam hal ini ada kemungkinan tidak seluruh seksi diamankan oleh Zone 1 dan Zone 2. Bisa juga Zone 2 diambil 130 km dengan Δt dinaikkan satu tingkat supaya tidak terjadi kemungkinan tumpang tindih dengan Zone berikutnya.

Zone 3

$$\text{Zone } 3_{\min} = 1,15 (100 + 20) \text{ km} = 138 \text{ km}$$

$$\text{Zone } 3_{\max} = 0,85 (100 + 0,85 (20 + 0,85 \times 40)) \text{ km} = 124 \text{ km}$$

Bila Zone 3 diambil 138 km memberikan pengaman cadangan seluruh seksi berikutnya, tetapi terdapat kemungkinan tumpang tindih dengan Zone 3 seksi berikutnya maka Δt dinaikkan 1 tingkat lagi



Relai B dan D

$$\text{Zone 1} = 0,85 \times 40 \text{ km} = 34 \text{ km}$$

Zone 2

$$\text{Zone 2}_{\min} = 1,15 \times 40 \text{ km} = 46 \text{ km}$$

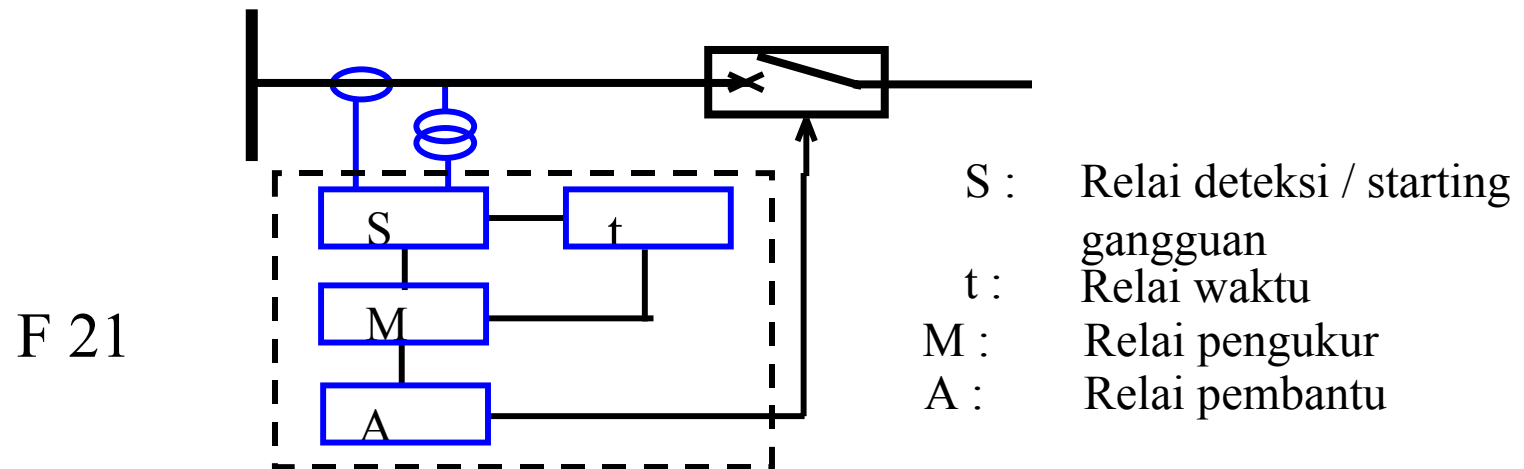
$$\text{Zone 2}_{\text{maks}} = 0,85 (40 + 0,85 \times 40) \text{ km} = 62,9 \text{ km}$$

Zone 3

$$\text{Zone 3}_{\min} = 1,15 (40 + 40) \text{ km} = 92 \text{ km}$$

$$\text{Zone 3}_{\text{maks}} = 0,85 (40 + 0,85 (40 + 0,85 \times 40)) \text{ km} = 87,47 \text{ km}$$

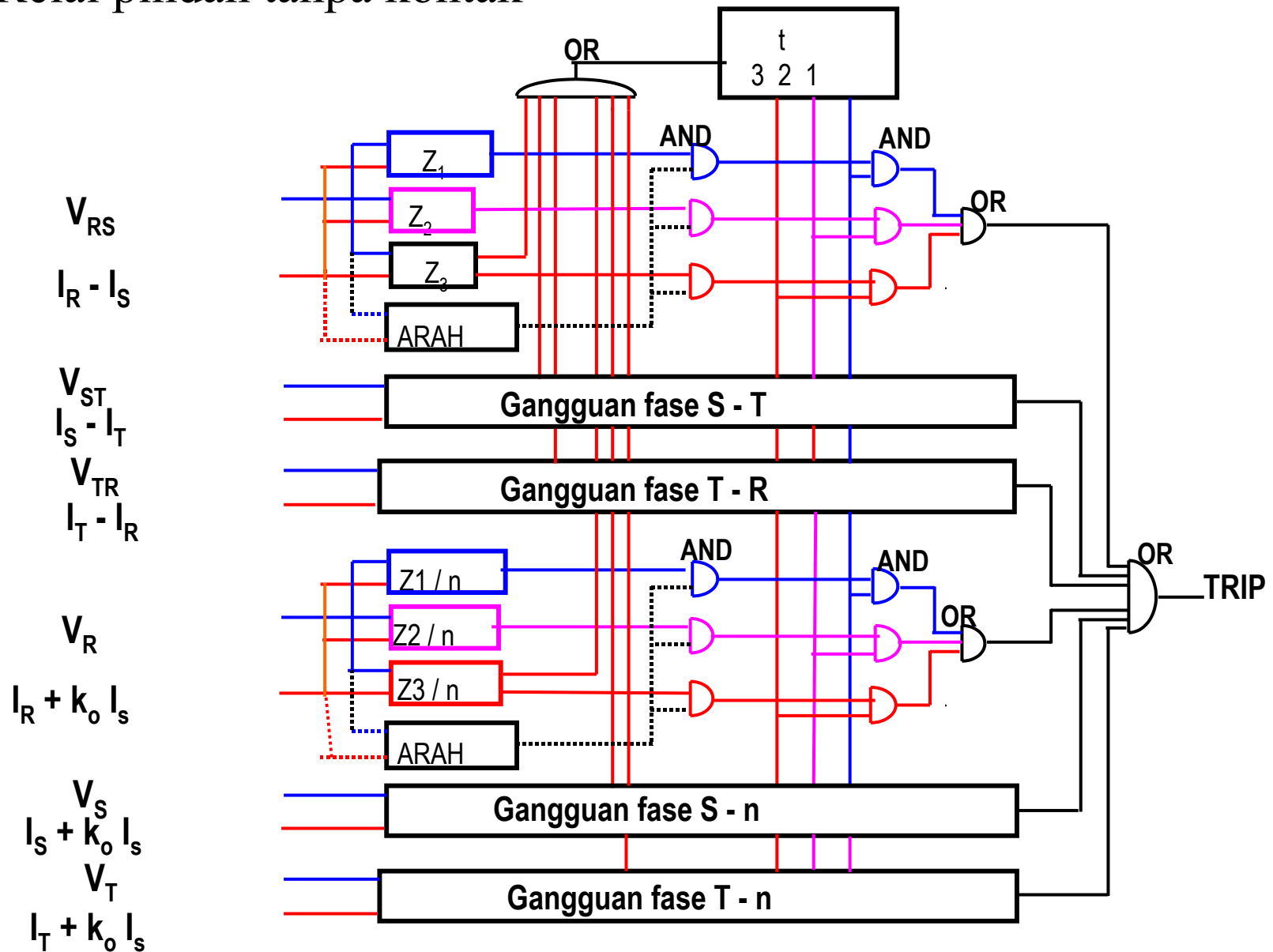
7. STRUKTUR RELAI



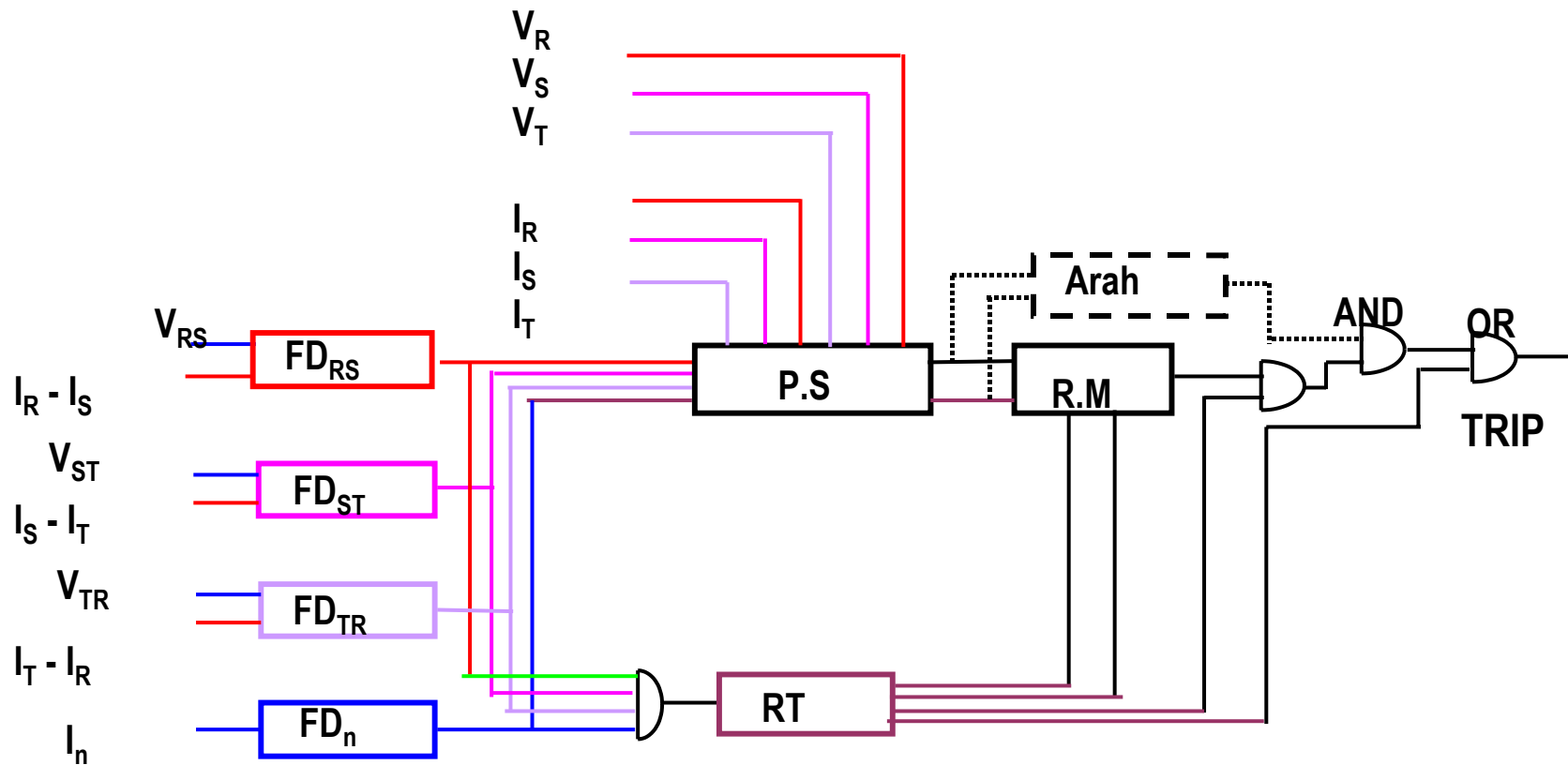
Struktur relai deteksi gangguan S dan relai waktu t pengukur gangguan M (Z_1 , Z_2 , Z_3 , dan relai bantu (auxilliary))

- a. Relai tanpa pindah kontak
- b. Relai pindah kontak
- c. Relai pindah kontak

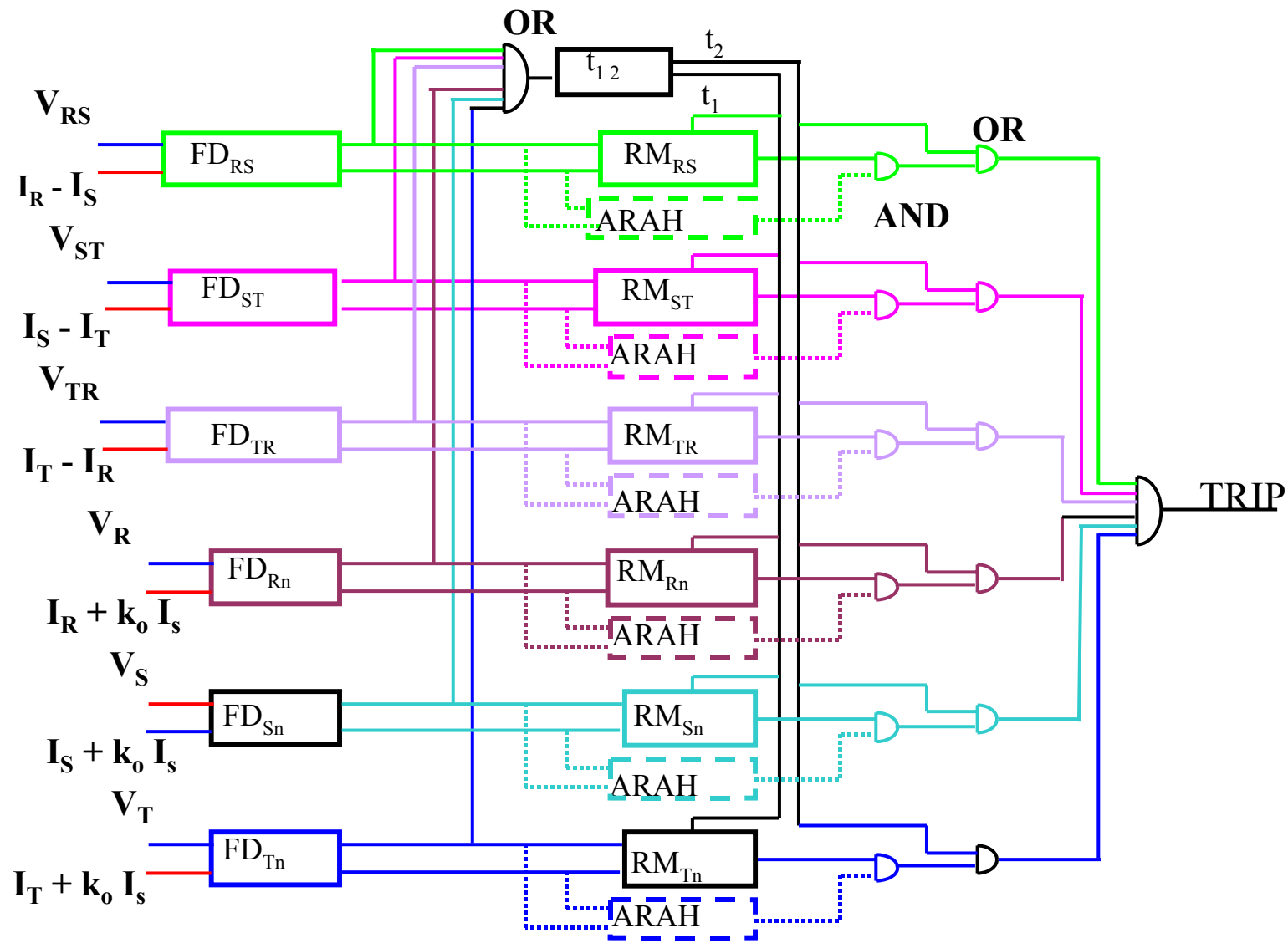
Relai pindah tanpa kontak



Relai pindah kontak



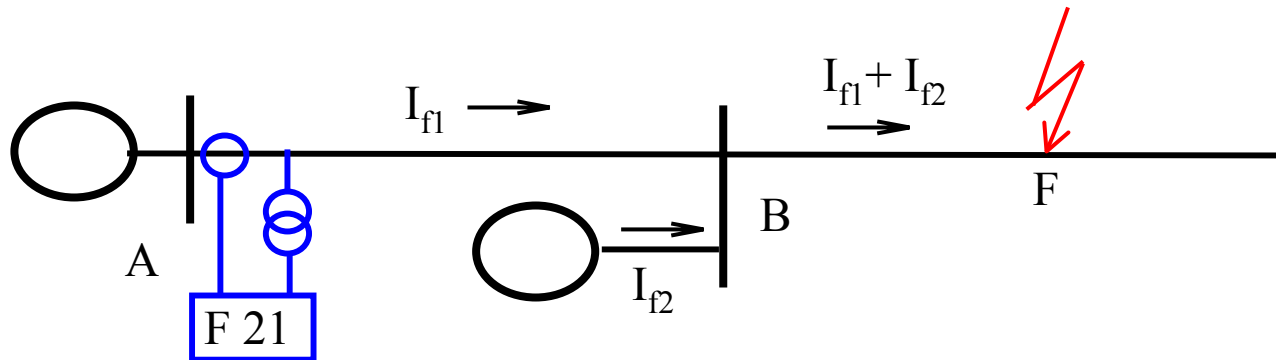
Relai kombinasi



8. FAKTOR INFEED

Adanya pembangkit ataupun perubahan jaringan, misalnya dari tunggal (single) ke ganda (double) atau sebaliknya akan berpengaruh terhadap jangkauan relai jarak.

8.1. Pembangkit Di Ujung Saluran Yang Diamankan



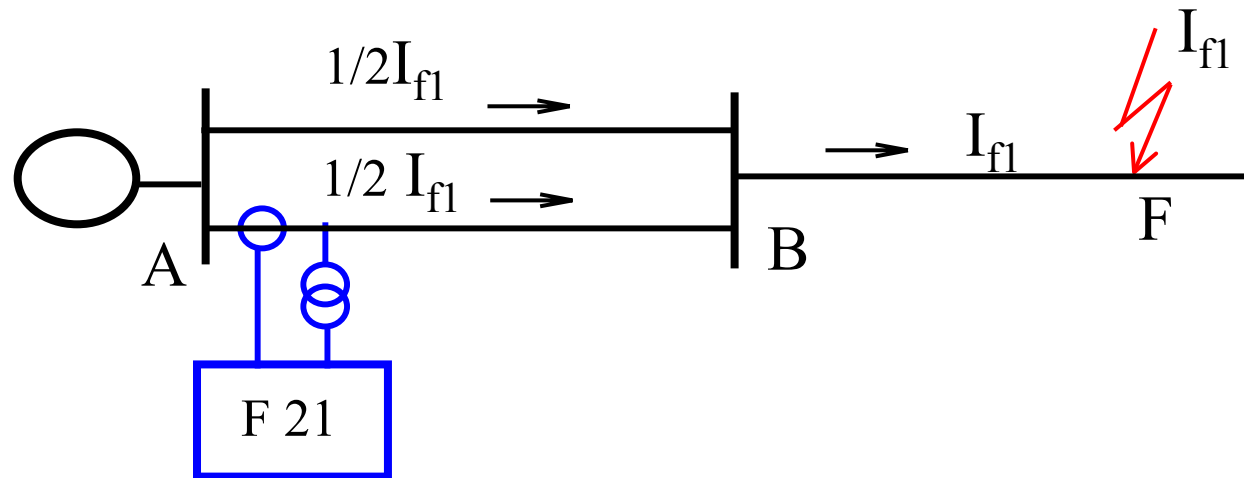
$$Z_{RAF} = \frac{V_{RA}}{I_{RA}} = \frac{I_{f1}Z_{AB} + (I_{f1} + I_{f2})Z_{BF}}{I_{f1}} = Z_{AB} + \frac{(I_{f1} + I_{f2})}{I_{f1}}Z_{BF}$$

$$Z_{RAF} = Z_{AB} + k Z_{BF} . \quad k = \frac{I_{f1} + I_{f2}}{I_{f1}}$$

k.: faktor infeed selalu lebih besar dari 1 bila di B ada pembangkit yang operasi

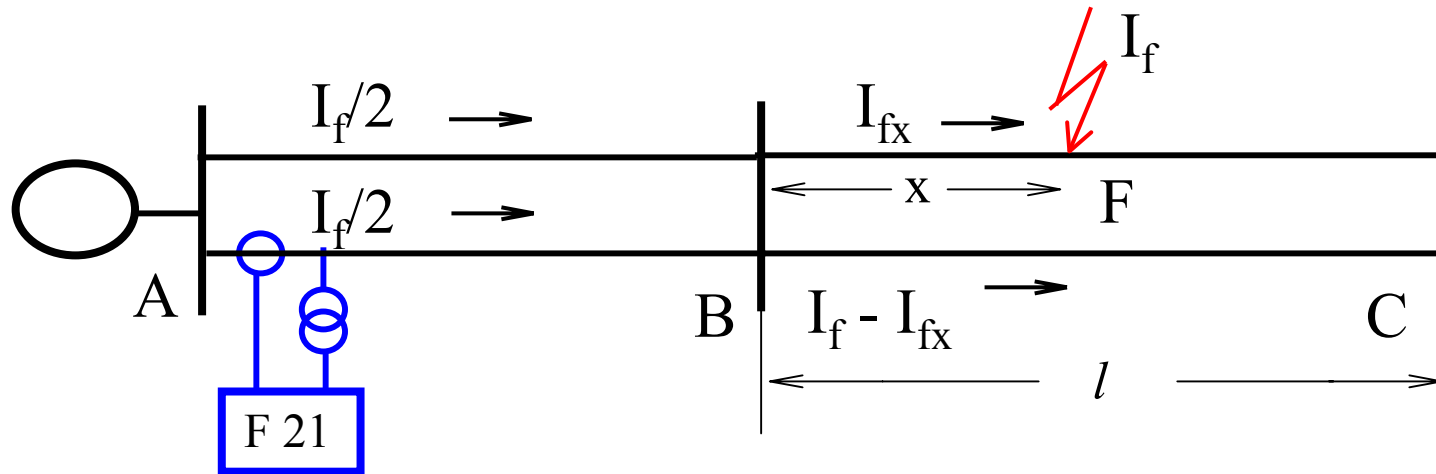
Letak gangguan dilihat oleh relai menjadi lebih jauh, atau jangkauan relai menjadi lebih pendek

8.2 Saluran Transmisi Ganda ke Tunggal



$$Z_{AF} = \frac{\frac{1}{2}I_f Z_{AB} + I_f Z_{BF}}{\frac{1}{2}I_f} = Z_{AB} + 2Z_{BF}$$

8.3 Saluran Transmisi Ganda ke Ganda



$$Z_{AF} = \frac{V_R}{I_R} = \frac{1/2 I_f Z_{AB} + I_X Z_{BF}}{1/2 I_f} = Z_{AB} + \frac{I_X}{I_f/2} Z_{BF}$$

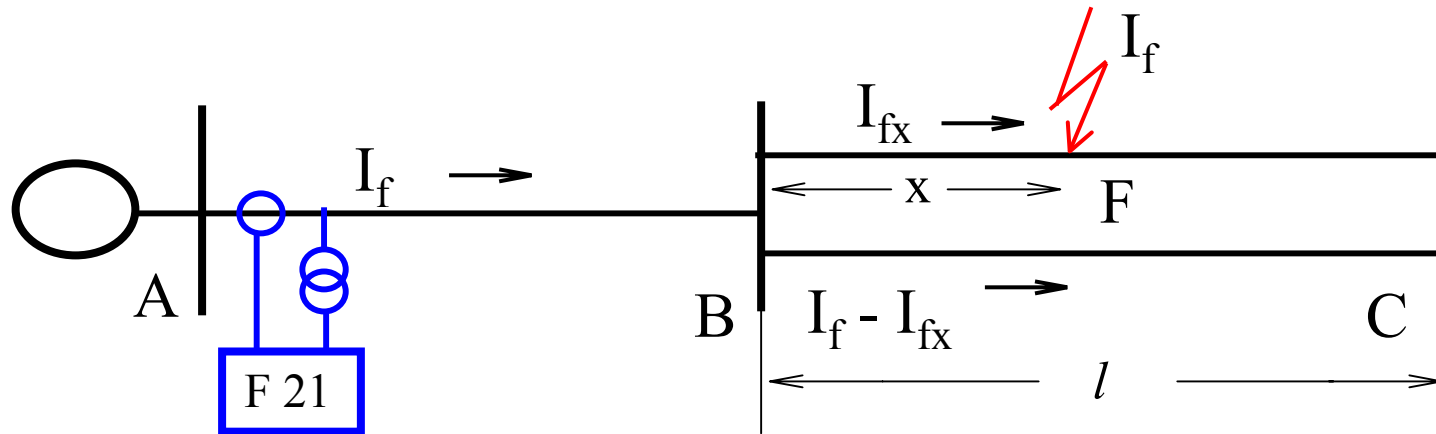
$$\frac{I_X}{I_f/2} = \frac{(2l - x)}{2l}$$

$$Z_{AF} = Z_{AB} + \frac{(2l - x)}{l} Z_{BF} \quad k = \frac{(2l - x)}{l}$$

Gangguan di dekat B $x = 0$ $k = 1$

Gangguan di rel C $x = l$ $k = 1/2$

8.4 Saluran Transmisi Tunggal ke Ganda



$$Z_{AF} = \frac{V_R}{I_R} = \frac{I_f Z_{AB} + I_X Z_{BF}}{I_f} = Z_{AB} + \frac{I_X}{I_f} Z_{BF}$$

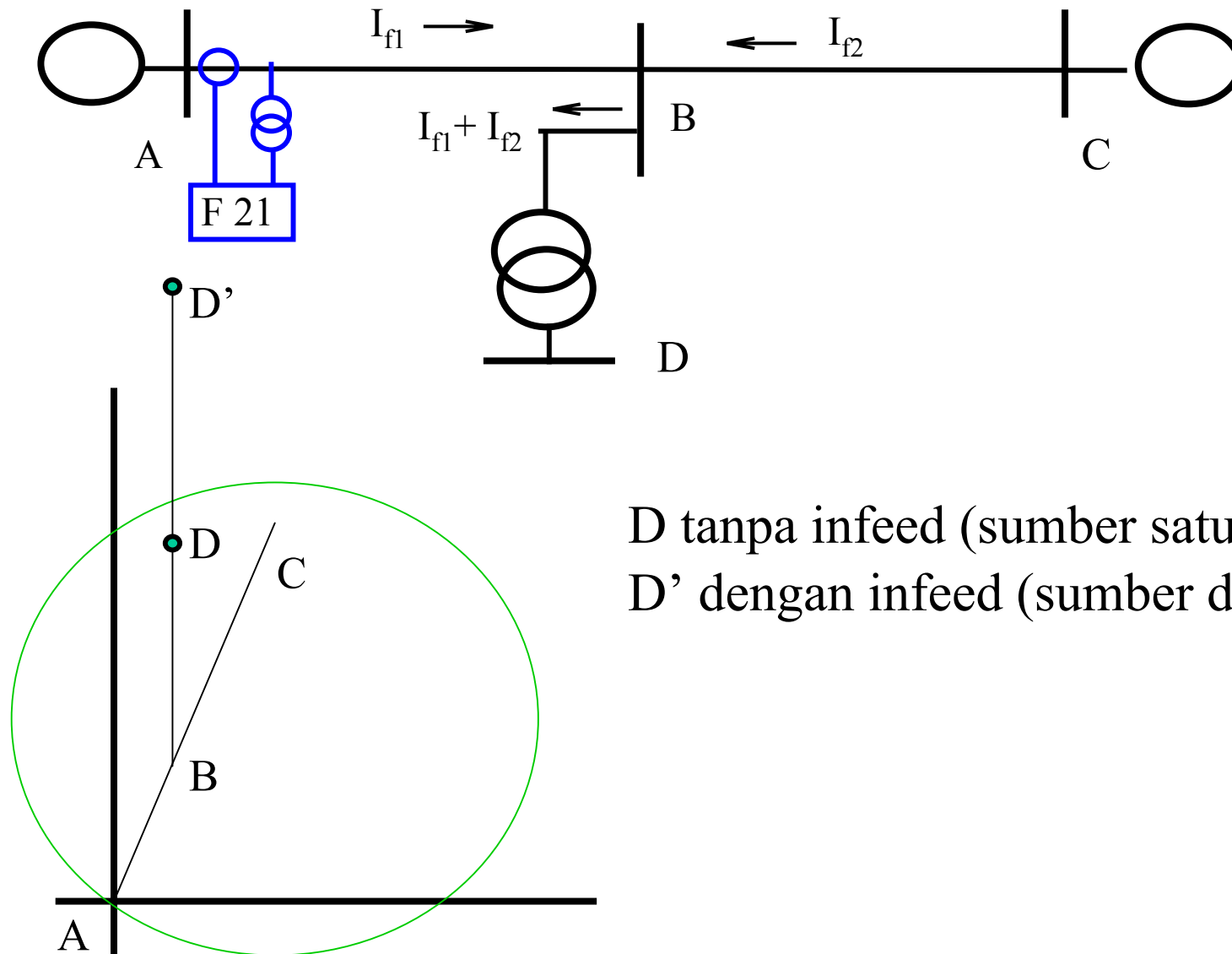
$$\frac{I_X}{I_f} = \frac{(2l - x)}{2l}$$

$$Z_{AF} = Z_{AB} + \frac{(2l - x)}{2l} Z_{BF} \quad k = \frac{(2l - x)}{l}$$

Gangguan di dekat B $x = 0$ $k = 1$

Gangguan di rel C $x = l$ $k = 1/2$

Impedans trafo dilihat adanya 2 sumber



D tanpa infeed (sumber satu sisi)
D' dengan infeed (sumber dua sisi)

9. TAHANAN BUSUR

Gangguan pada saluran transmisi dimulai adanya sambaran petir.

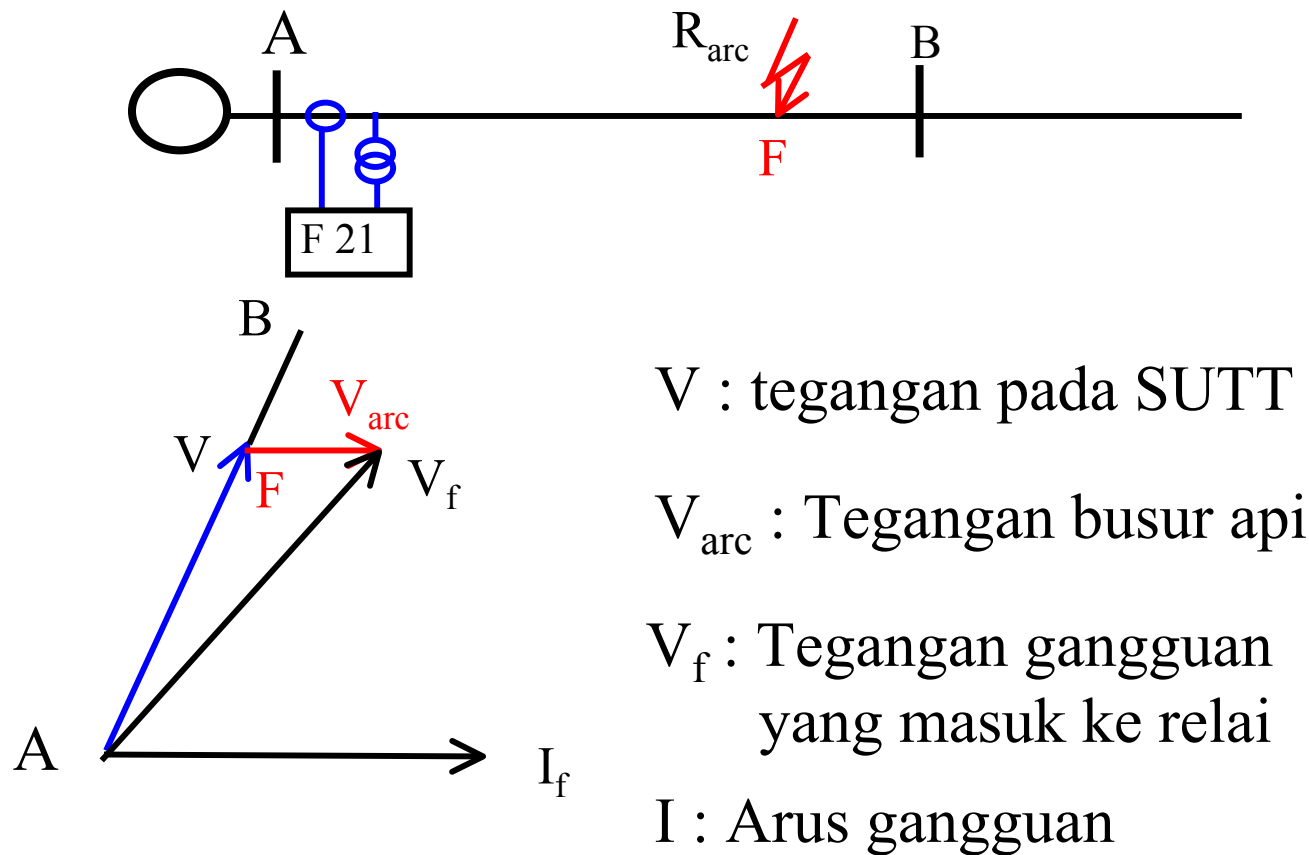
Sambaran petir mengakibatkan adanya busur api listrik



Busur api listrik merupakan tahanan murni

Busur api ini mengakibatkan hubung singkat antar fase ataupun fase dengan bumi.

9.1 Pengaruh Tahanan Busur Terhadap Vektor Tegangan & Arus



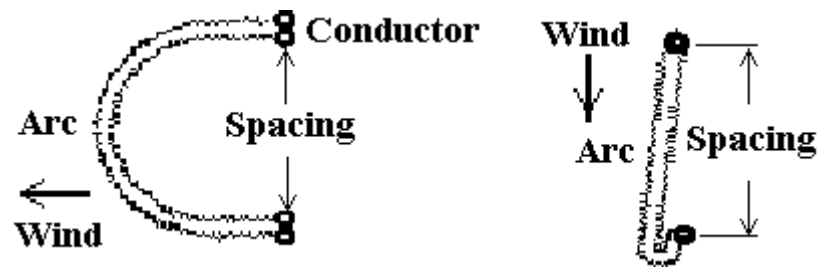
Tegangan yang masuk relai berubah nilainya dan sudut fasenya

9.2 Nilai Tahanan Busur

$$R_{\text{arc}} = \frac{2870 d}{I^{1,4}} \Omega$$

R_{arc} : tahanan busur ohm
 d : panjang busur m
 I : arus gangguan A

R_{arc} tidak bermasa, sehingga panjangnya mudah dipengaruhi angin



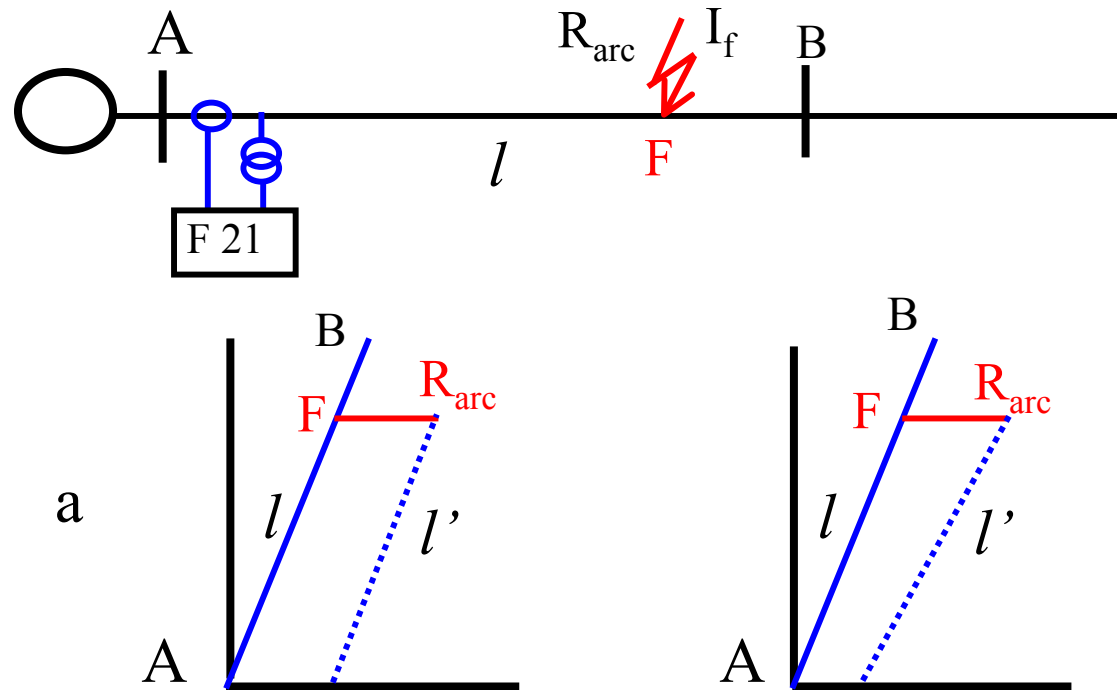
Pengaruh angin

$$R_{\text{arc}} = \frac{28707 (d + 0,855Ut)}{I^{1,4}} \Omega$$

U : Kecepatan angin [km/jam]

t : Lama waktu mulai saat terjadinya busur api [detik]

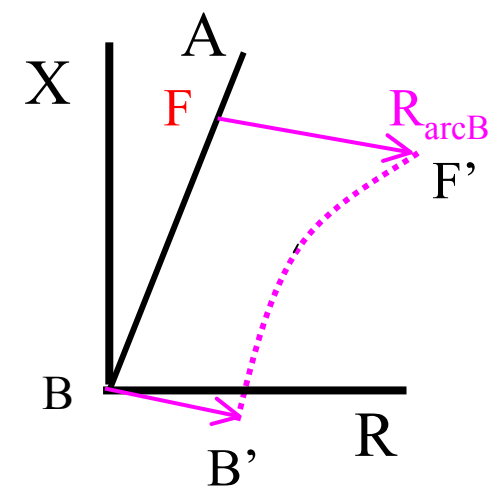
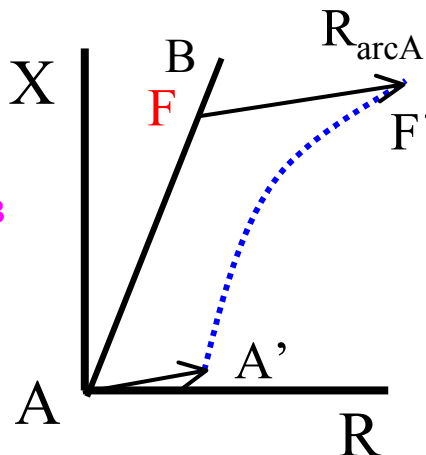
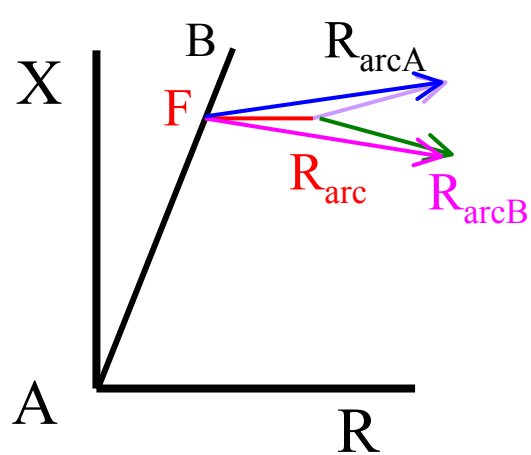
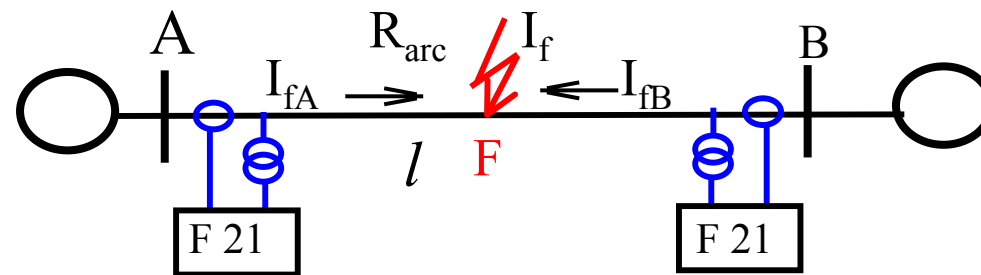
9.3 Pengaruh R_{arc} Terhadap Saluran Transmisi



a : I_f dianggap tetap untuk SUTT jauh dari sumber

b : I_f bertambah besar untuk SUTT dekat dari sumber

Sumber dua arah



Pengaruh infeed terhadap R_{arc} dilihat dari sisi A dan B

$$R_{arc \text{ sisi A}} = \frac{I_f R_{arc}}{I_{fA}} = \frac{I_{fA} + I_{fB}}{I_{fA}} R_{arc} = R_{arc} + \frac{I_{fB}}{I_{fA}} R_{arc}$$

$$R_{arc \text{ sisi B}} = \frac{I_f R_{arc}}{I_{fB}} = \frac{I_{fA} + I_{fB}}{I_{fB}} R_{arc} = R_{arc} + \frac{I_{fA}}{I_{fB}} R_{arc}$$

I_f : besarnya arus gangguan

I_{fA} : kontribusi arus gangguan dari sisi A

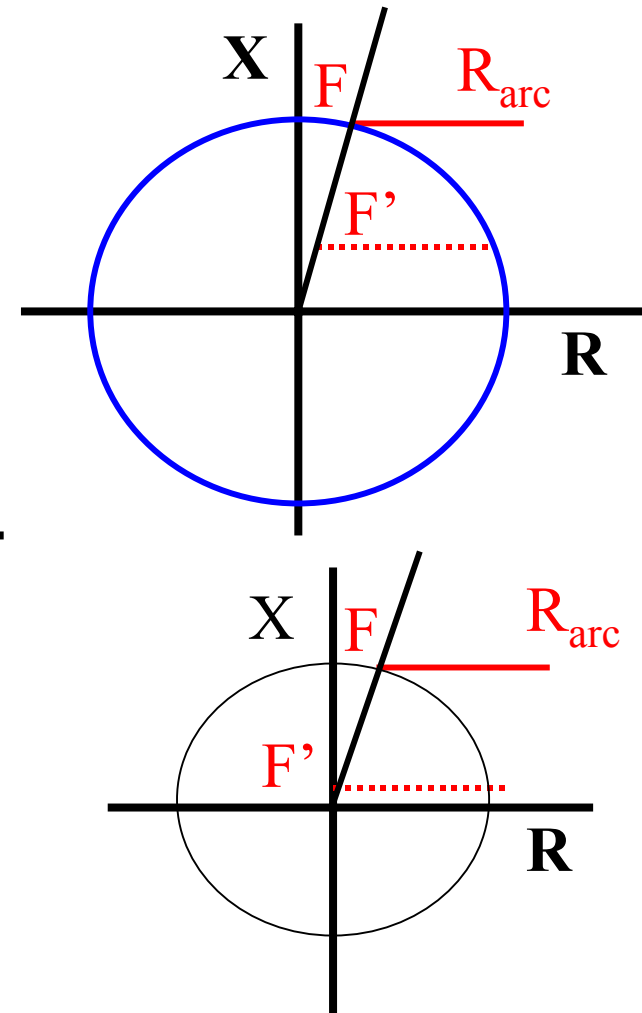
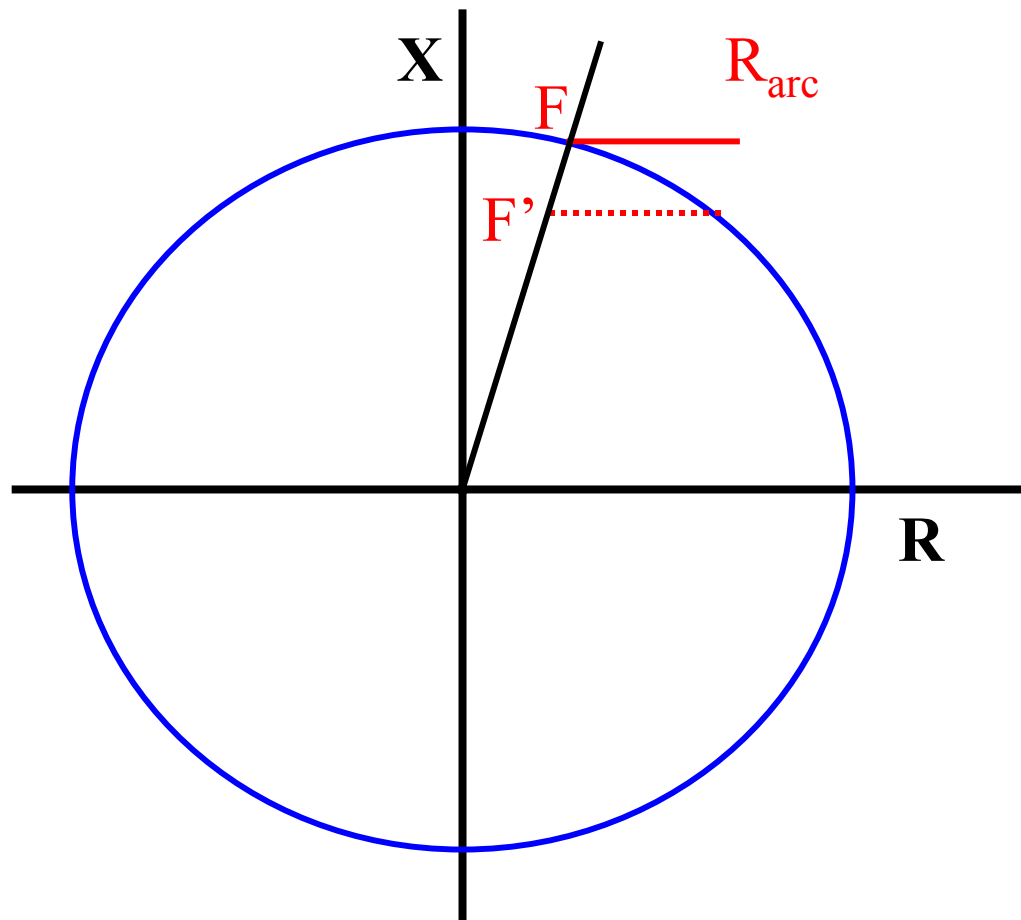
I_{fB} : kontribusi arus gangguan dari sisi B

Bila I_{fA} dan I_{fB} tidak sefase maka seolah-olah R mengandung reaktans

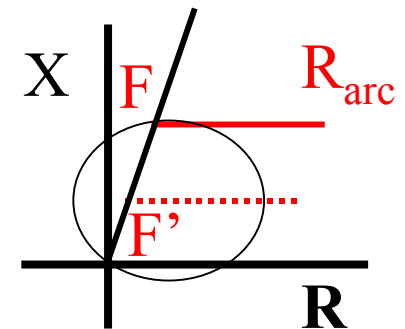
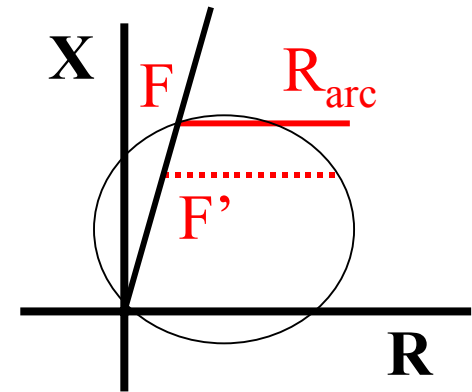
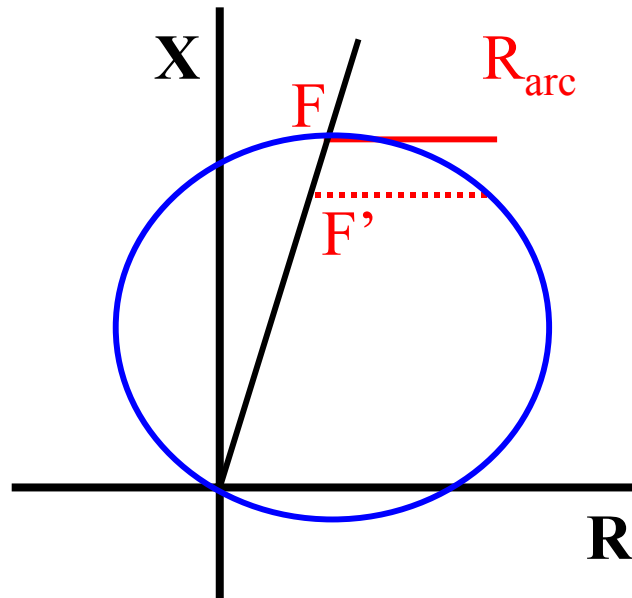
Bila dari A R_{arcA} mengarah ke atas, dari B R_{arcB} mengarah ke bawah

9.4 Pengaruh R_{arc} Terhadap Karakteristik Relai

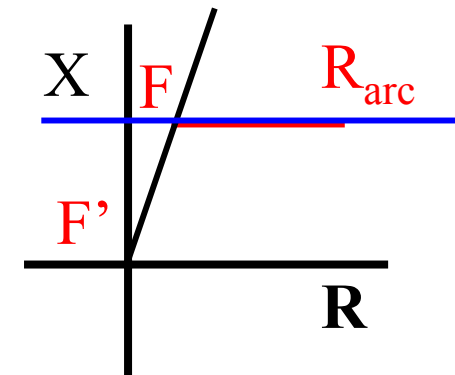
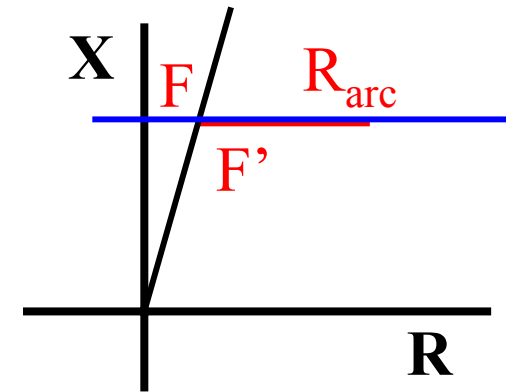
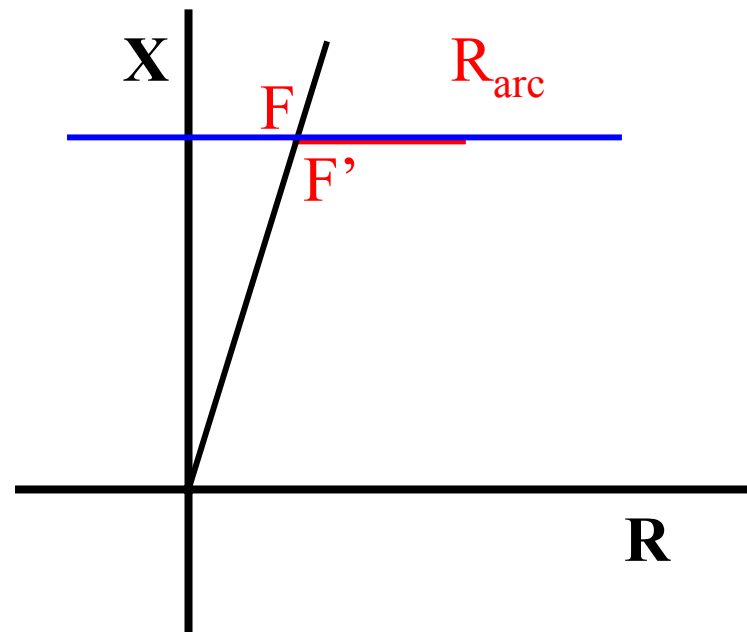
Relai jarak jenis Impedans



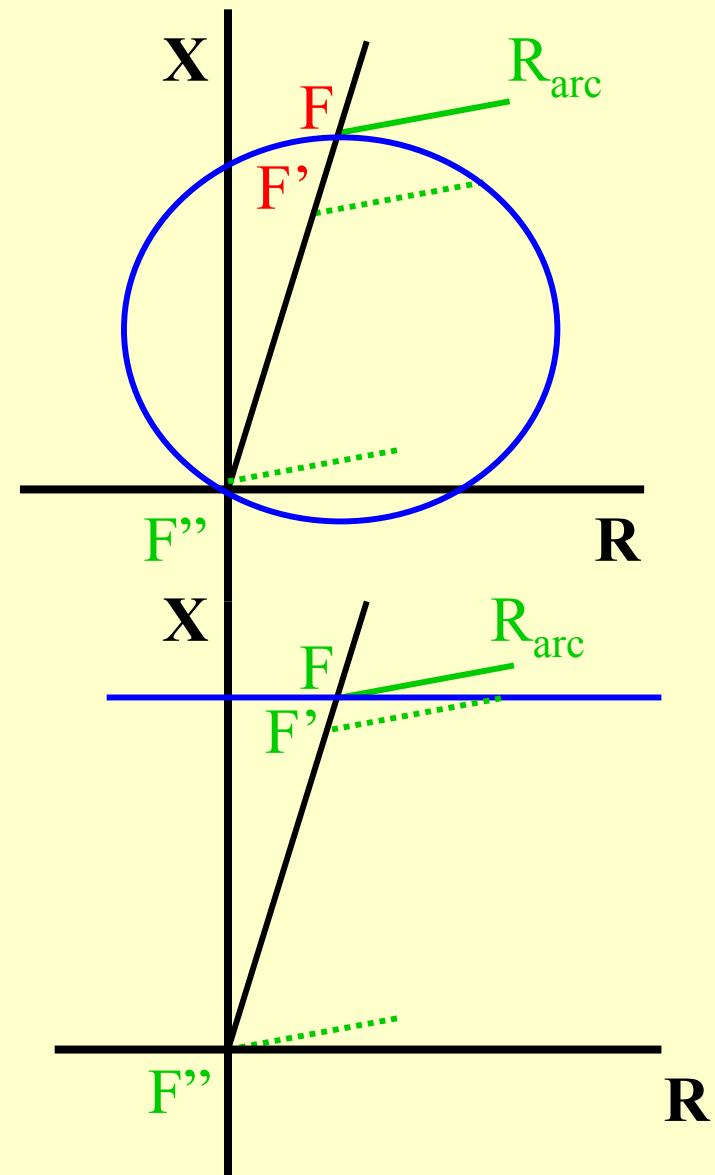
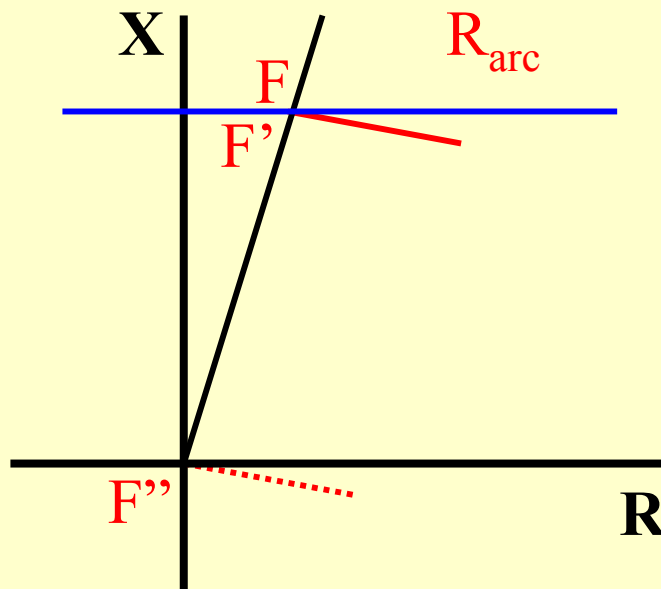
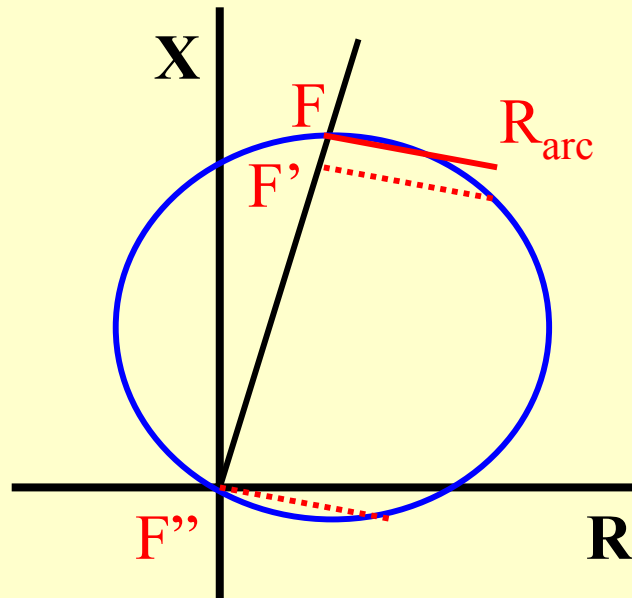
Relai jarak jenis Mho



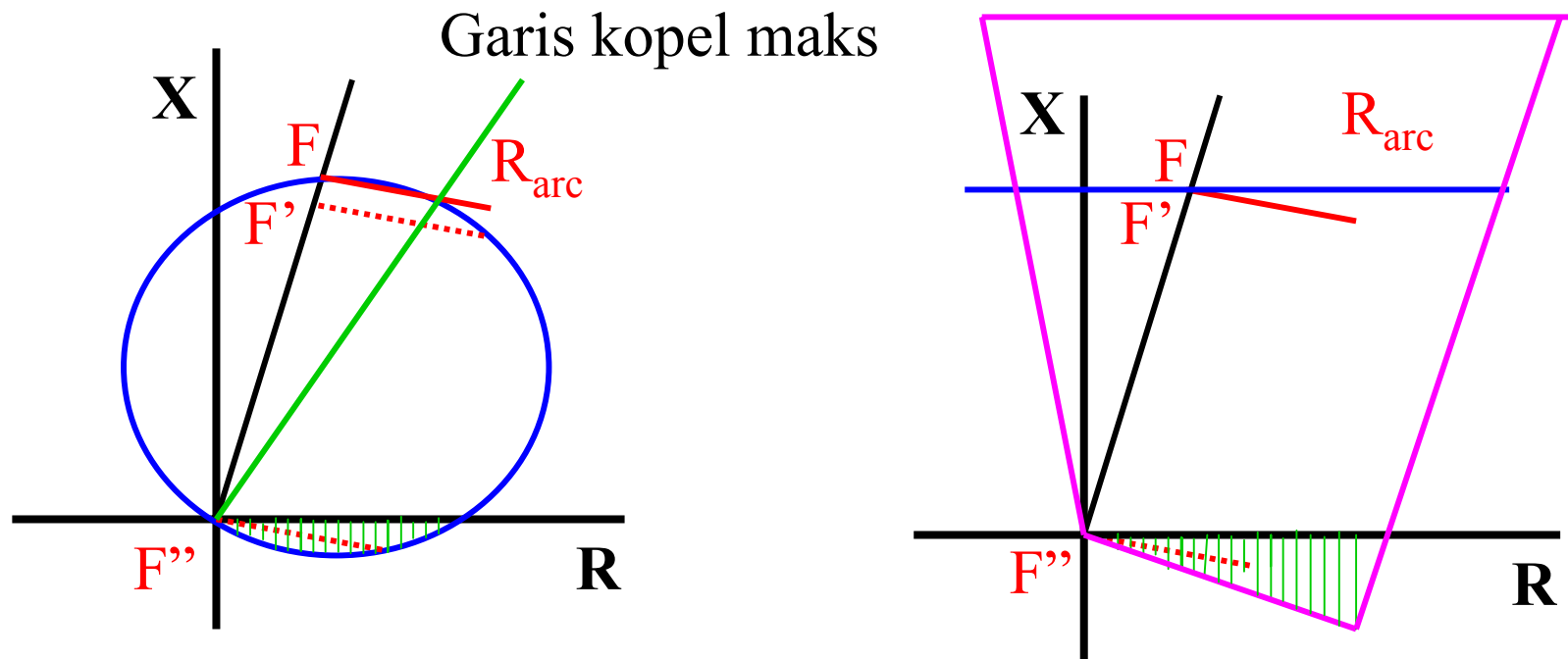
Relai jarak jenis reaktans



Pengaruh adanya infeed Relai



Untuk mengantisipasi adanya tahanan busur yang menuju ke bawah, dalam design selalu ada bagian di bawah sumbu R



Garis kopel maksimum mempunyai sudut 15 - 30 lebih kecil dari sudut penghantar, untuk mendapatkan daerah kerja di bawah sumbu R

10. Power Swing Blocking

Ciri-ciri ayunan daya

Ayunan daya mempunyai frekuensi yang rendah, yaitu 1 sampai 2 cycle.

Ayunan daya dapat terus membesar tetapi dapat kembali mengecil

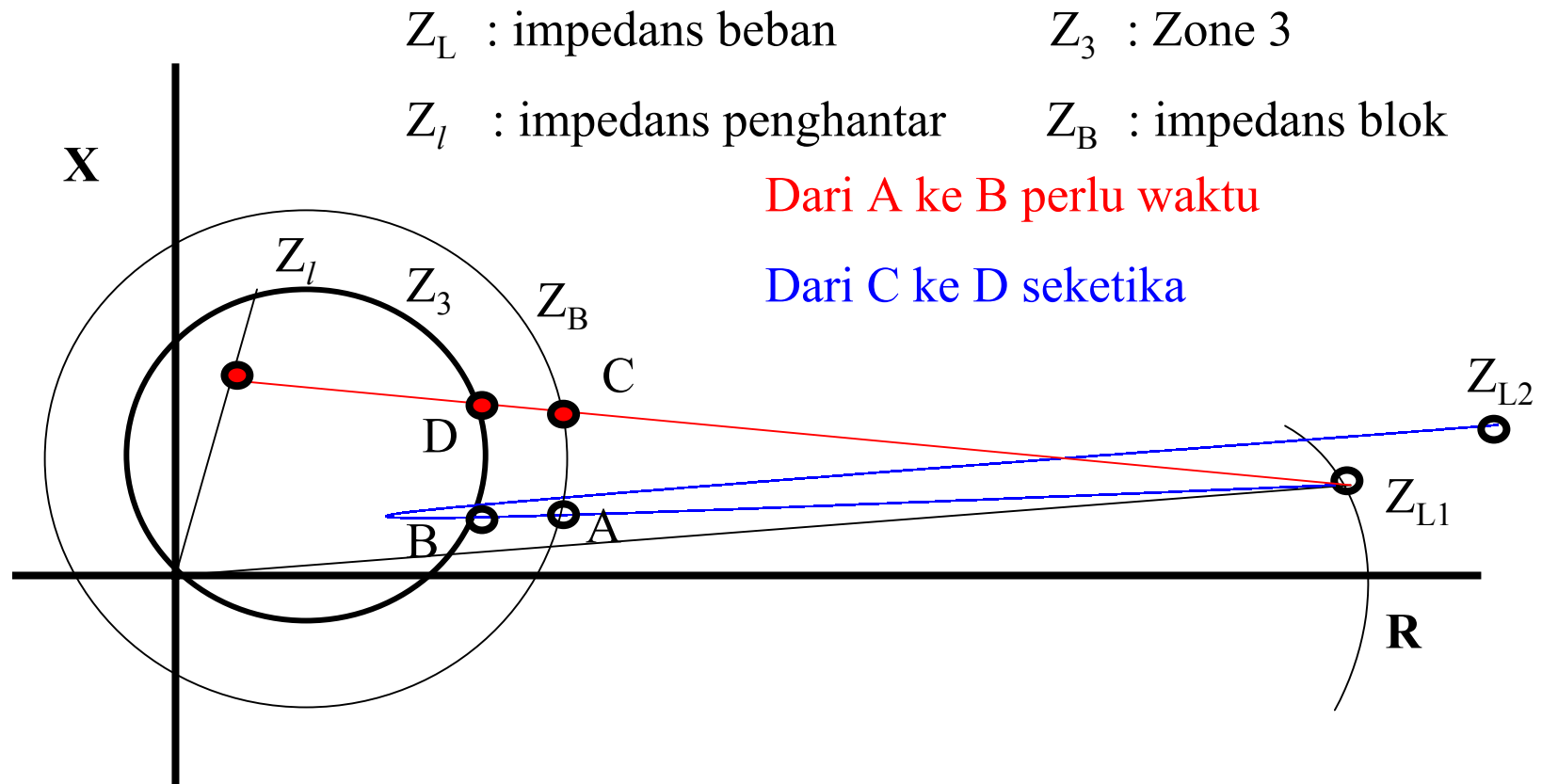
Ditinjau dari impedans.

Impedans ayunan daya akan bergerak lambat, dapat mendekati dan masuk ke daerah pengamanan secara lambat dan dapat keluar lagi

Hubung singkat.

Dari keadaan normal ke hubung singkat Impedans berubah sangat cepat seolah-olah melompat dan menetap, sampai gangguan dihilangkan

Pergerakan impedans beban dalam keadaan ayunan daya
dan saat hubung singkat

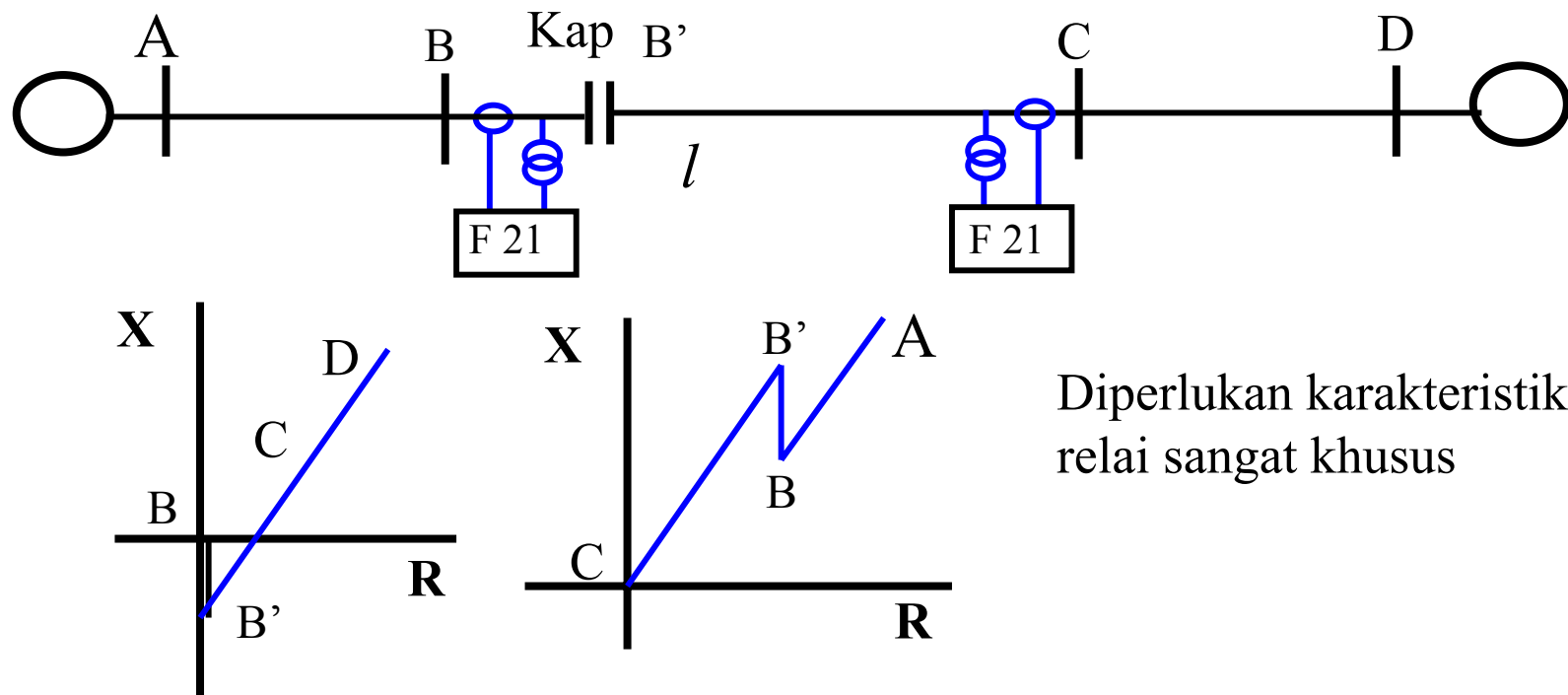


Bila waktu dari Z_B ke Z_3 melebihi waktu tertentu, langsung mengblok relai

11. HAL-HAL YANG PERLU DIPERHATIKAN PADA RELAI JARAK

11.1. Saluran Dengan Kompensasi Seri

Dengan adanya kompensasi seri impedans akan berubah dari kapasitif ke induktif atau sebaliknya.



11.2 Gangguan Fase Tiga Sangat Dekat Dengan Rel

Gangguan fase tiga sangat dekat tegangan sangat kecil (collapse), sedang relai arahnya harus tetap betul, dalam hal ini relai dilengkapi dengan sirkit memori.

11.3 Putusnya Rangkaian Tegangan AC

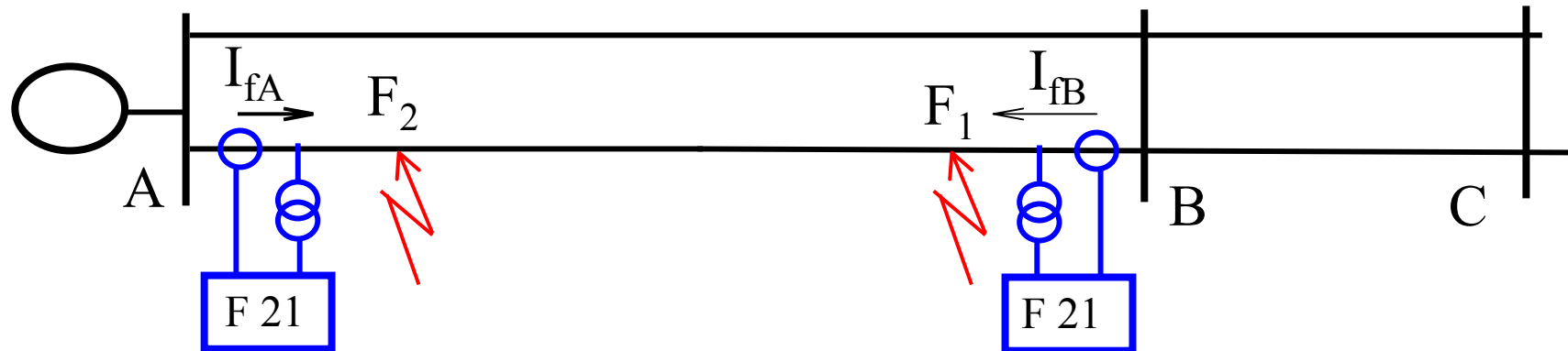
Untuk mencegah salah kerja, sirkit tegangan dilengkapi :

Kontaktor yang akan membuka jika tegangan hilang, disamping sirkit dikontrol bersama, sehingga segera rangkaian trip dibuka, supaya tidak salah kerja.

Untuk mengatasi tegangan hilang, relai numerikal dilengkapi kontrol yang segera membuka rangkaian trip.

11.4 Sumber Lemah (Weak Infeed)

Pada SUTT dimana salah satu ujung tanpa pembangkit, dan merupakan saluran ganda arus gangguan dilihat dari sisi tanpa sumber akan sangat berubah tergantung letak gangguannya



Untuk gangguan di F_1 dekat rel B I_{fA} dan I_{fB} hampir sama, relai bekerja di Zone 2 dan relai B bekerja di Zone 1

Bila gangguan di F_1 bergerak menuju ke A, I_{fA} semakin besar dan I_{fB} semakin kecil.

Gangguan di F_2 dekat GI A arus I_{fA} menjadi besar, sedang I_{fB} menjadi sangat kecil, sehingga relai di A bekerja di Zone 1 dan relai B karena arus sangat kecil relai tidak bekerja (sementara relai I_f kurang dari 25% Irelai tidak dapat bekerja)

Setelah relai A trip, I_{fB} menjadi besar dan relai B bekerja di Zone 2, atau relai di A dan B bekerja bergantian