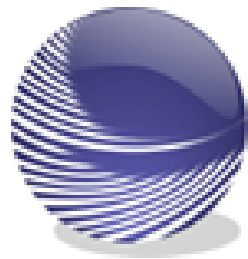


Curso: Protección de sistemas eléctricos de potencia



CONSSAP

Cap. I: Sistemas eléctricos de potencia

- 1.1 Características de los sistemas eléctricos de potencia.
- 1.2 Elementos de los sistemas eléctricos de potencia.
- 1.3 Configuraciones típicas de subestaciones.
- 1.4 Tipos de fallas en los sistemas eléctricos de potencia.

1.1 Características de los SEP.

Generación, transmisión, distribución.

Sistema principal, secundario de transmisión.

Sistema anillado, sistema radial.

Potencia en barras y corrientes de cortocircuito.

1.1 Características de los SEP.

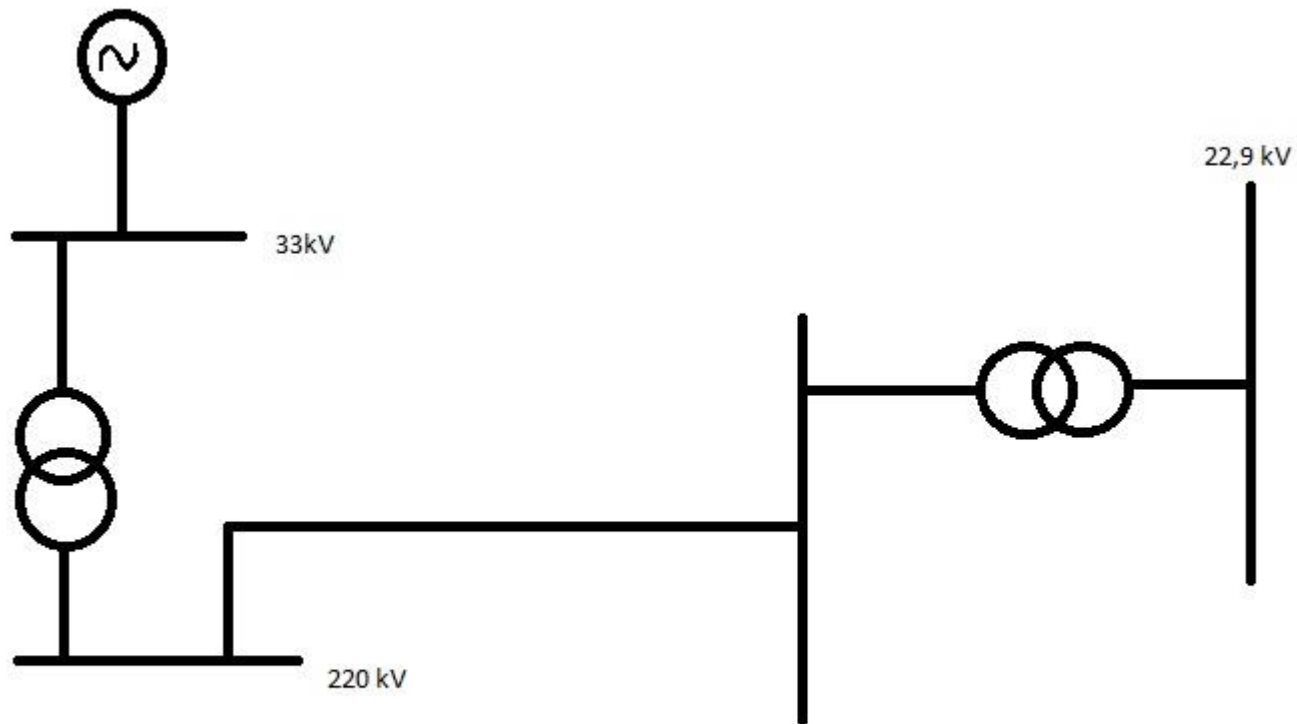
Generación, transmisión, distribución.

Sistema principal, secundario de transmisión.

Sistema anillado, sistema radial.

Potencia en barras y corrientes de cortocircuito.

Generación, transmisión y distribución



1.1 Características de los SEP.

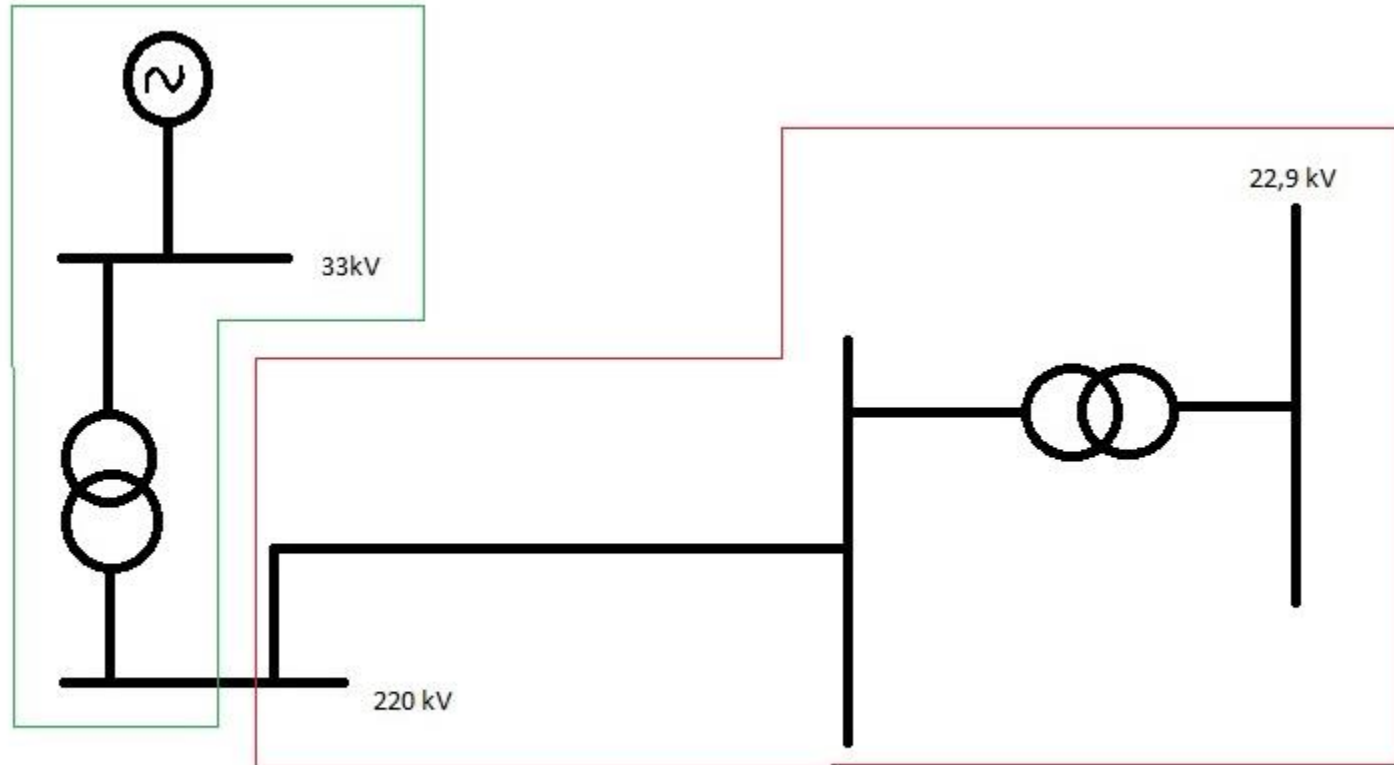
Generación, transmisión, distribución.

Sistema principal, secundario de transmisión.

Sistema anillado, sistema radial.

Potencia en barras y corrientes de cortocircuito.

Sistema principal, secundario de transmisión



1.1 Características de los SEP.

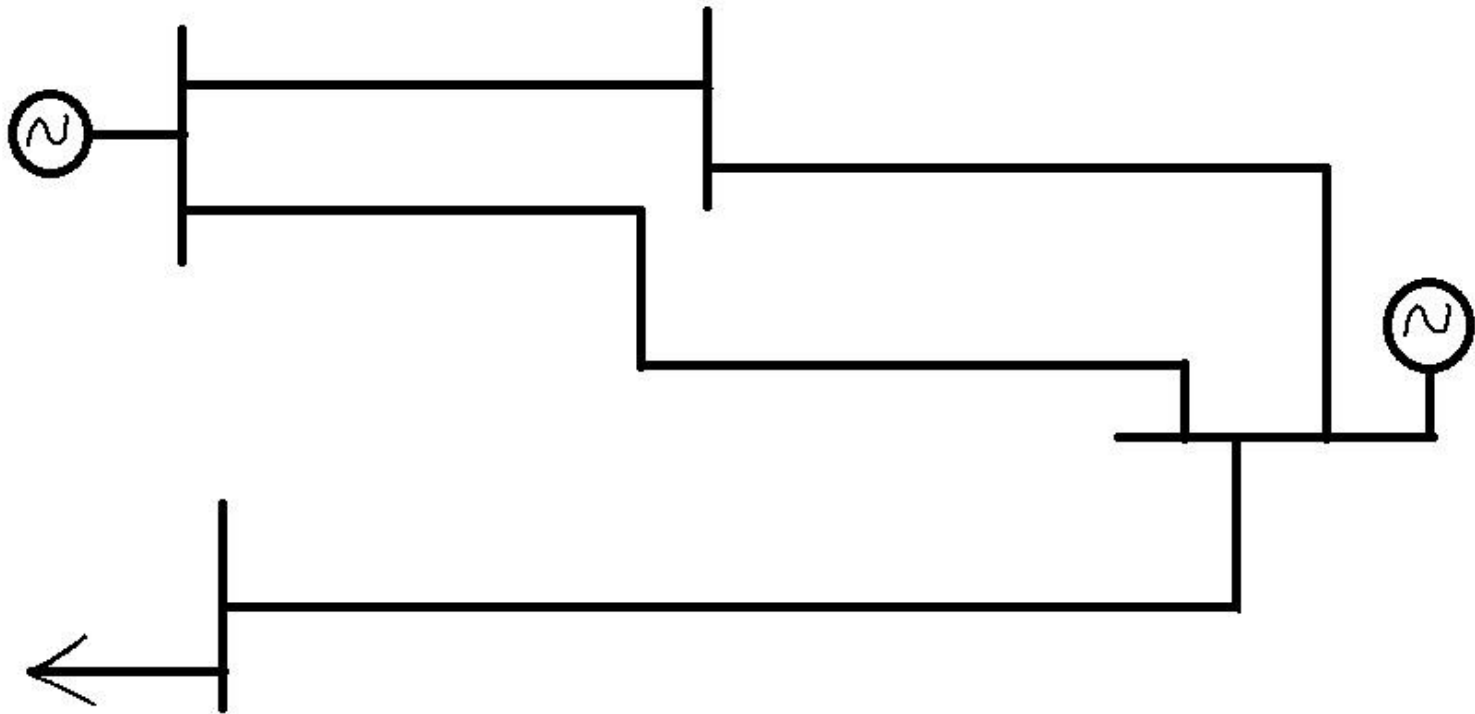
Generación, transmisión, distribución.

Sistema principal, secundario de transmisión.

Sistema anillado, sistema radial.

Potencia en barras y corrientes de cortocircuito.

Sistema anillado, sistema radial



1.1 Características de los SEP.

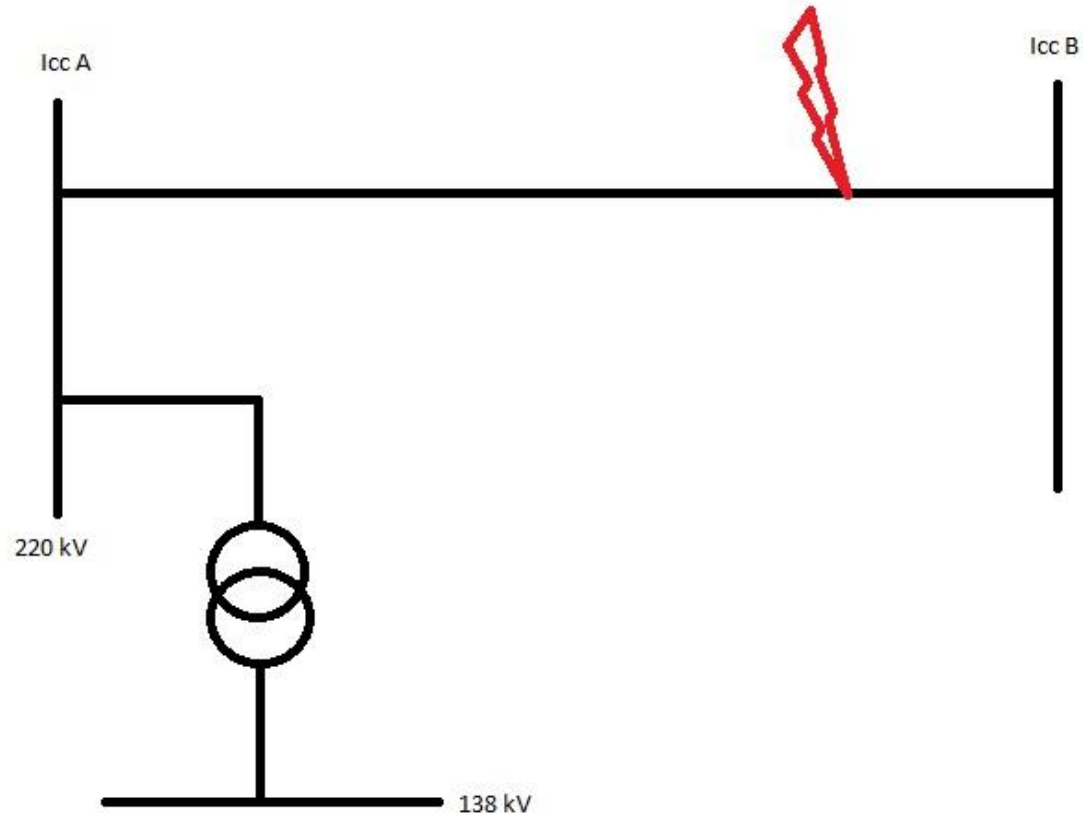
Generación, transmisión, distribución.

Sistema principal, secundario de transmisión.

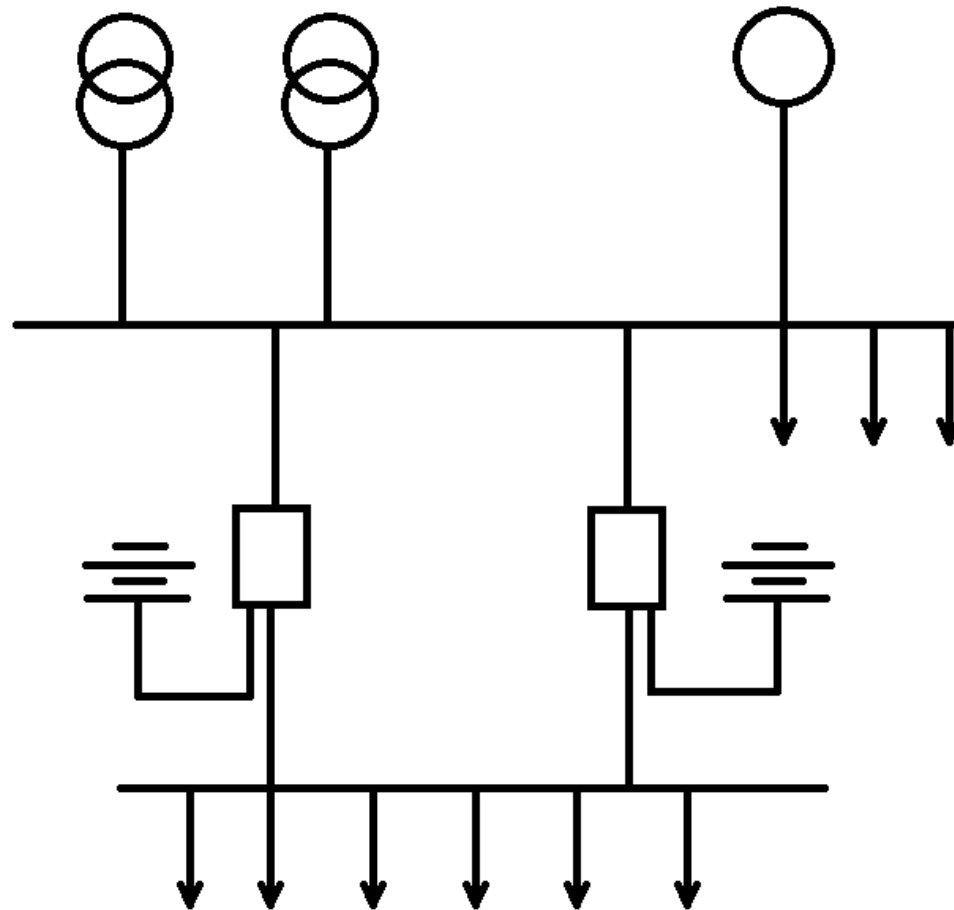
Sistema anillado, sistema radial.

Potencia en barras y corrientes de cortocircuito.

Potencia en barras y corrientes de cortocircuito



Servicios auxiliares Vca y Vcc



1.2 Elementos de los SEP.

Seccionadores

Interruptores

Transformadores de corriente

Transformadores de tensión

1.2 Elementos de los SEP.

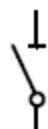
Seccionadores

Interruptores

Transformadores de corriente

Transformadores de tensión

Seccionador



Seccionador

1.2 Elementos de los SEP.

Seccionadores

[Interruptores](#)

Transformadores de corriente

Transformadores de tensión

Interruptor



Interruptor de Potencia

1.2 Elementos de los SEP.

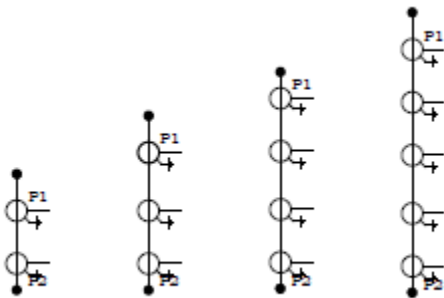
Seccionadores

Interruptores

Transformadores de corriente

Transformadores de tensión

Transformador de corriente



Transformadores de Corriente

Transformador de corriente

- Class 0,1-0,2-0,2S-0,5-0,5S-1-3-5
- VA 2,5-5-10-15-30

Table 201 – Limits of ratio error and phase displacement for measuring current transformers (classes 0,1 to 1)

Accuracy class	Ratio error ± %				Phase displacement							
					± Minutes				± Centiradians			
	at current (% of rated)				at current (% of rated)				at current (% of rated)			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Table 202 – Limits of ratio error and phase displacement for measuring current transformers (classes 0,2S and 0,5S)

Accuracy class	Ratio error ± %					Phase displacement									
						± Minutes					± Centiradians				
	at current (% of rated)					at current (% of rated)					at current (% of rated)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

Table 203 – Limits of ratio error for measuring current transformers (classes 3 and 5)

Class	Ratio error ± %	
	at current (% of rated)	
	50	120
3	3	3
5	5	5

1.2 Elementos de los SEP.

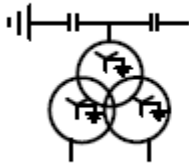
Seccionadores

Interruptores

Transformadores de corriente

Transformadores de tensión

Transformador de tensión



Transformadores de tensión
tipo capacitivo 2 núcleos secundarios

Transformador de tensión

Burden range I 1,0-2,5-5,0-10 VA 0<carga<100%

Burden range II 10-25-50-100 VA 25%<carga<100%

Class 0,1-0,2-0,5-1-3

Table 301 – Limits of voltage error and phase displacement for measuring voltage transformers

Class	Voltage (ratio) error ε_u $\pm\%$	Phase displacement $\Delta\phi$	
		$\pm$ Minutes	$\pm$ Centiradians
0,1	0,1	5	0,15
0,2	0,2	10	0,3
0,5	0,5	20	0,6
1,0	1,0	40	1,2
3,0	3,0	Not specified	Not specified

D1			
500/ $\sqrt{3}$ kV - 110/ $\sqrt{3}$ V	VA	10	
D2			
500/ $\sqrt{3}$ kV - 110/ $\sqrt{3}$ V	VA	10	
D3			
500/ $\sqrt{3}$ kV - 110/ $\sqrt{3}$ V	VA	10	

1.3 Configuraciones típicas de subestaciones.

Barra simple

Barra simple con barra de transferencia

Doble barra

Doble barra con transferencia

Anillo

Interruptor y medio

- **Flexibilidad:** es la propiedad de la instalación para acomodarse a las diferentes condiciones que se puedan presentar por cambios operativos en el sistema y, además, por contingencias y/o mantenimiento del mismo.
- **Confiabilidad:** es la probabilidad de que una subestación pueda suministrar energía durante un período de tiempo dado, bajo la condición de que al menos un componente de la subestación no pueda recuperarse durante la operación.
- **Seguridad:** es la propiedad de una instalación para dar continuidad de servicio sin interrupción alguna durante fallas en los equipos de potencia, especialmente interruptores y barras.

1.3 Configuraciones típicas de subestaciones.

Barra simple

Barra simple con barra de transferencia

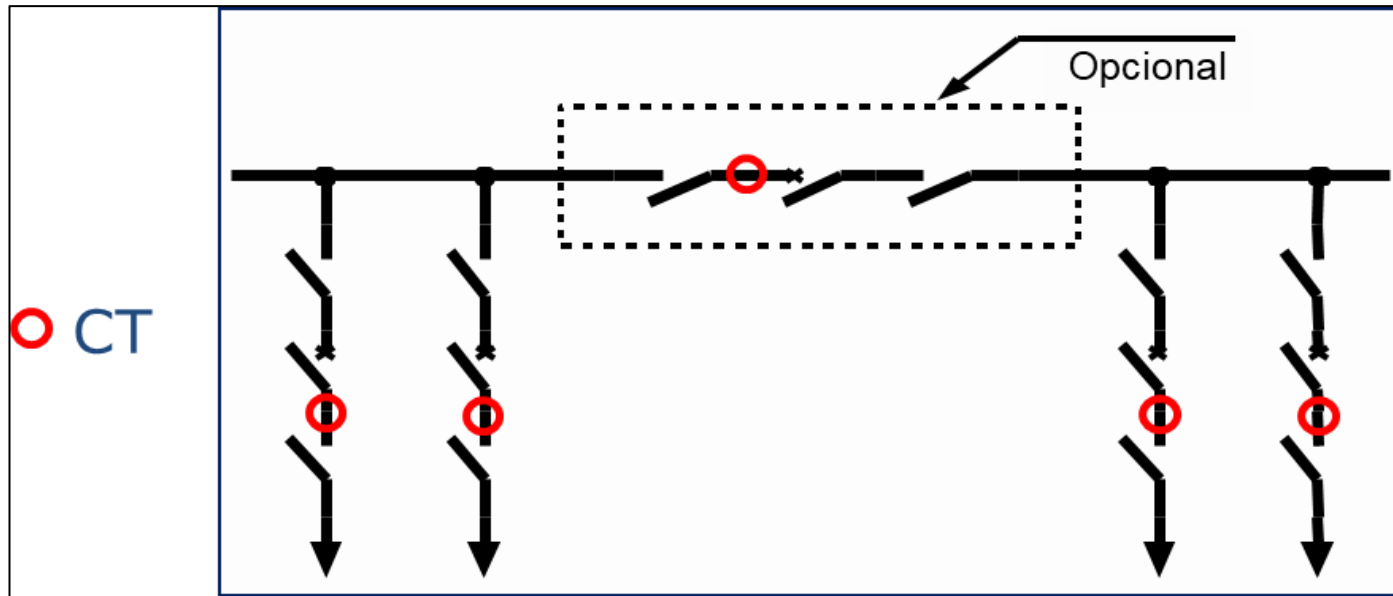
Doble barra

Doble barra con transferencia

Anillo

Interruptor y medio

Barra simple



No tiene flexibilidad.

No tiene confiabilidad, ni en barras ni en interruptores.

No tiene seguridad.

Instalar un seccionamiento de barra brinda confiabilidad en barras .

Utilizada sólo para subestaciones pequeñas o de menor importancia en el sistema.

1.3 Configuraciones típicas de subestaciones.

Barra simple

Barra simple con barra de transferencia

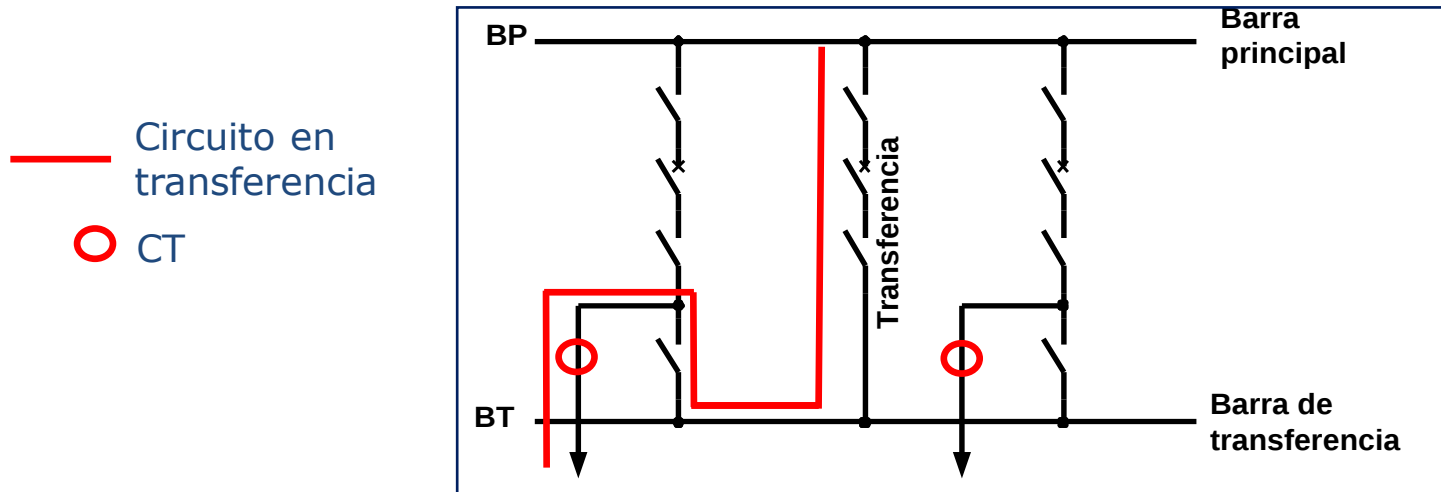
Doble barra

Doble barra con transferencia

Anillo

Interruptor y medio

Barra principal con barra de transferencia



- Condiciones normales de operación la celda de transferencia abierta.
- Falla o mantenimiento en interruptor: la celda con el interruptor fallado se conecta a la barra de transferencia mediante el interruptor de transferencia.
- No tiene flexibilidad.
- No tiene confiabilidad en barras pero sí en interruptor.
- Barra de transferencia puede ser de menor capacidad que la principal, ya que sólo puede haber una celda en transferencia a la vez.

1.3 Configuraciones típicas de subestaciones.

Barra simple

Barra simple con barra de transferencia

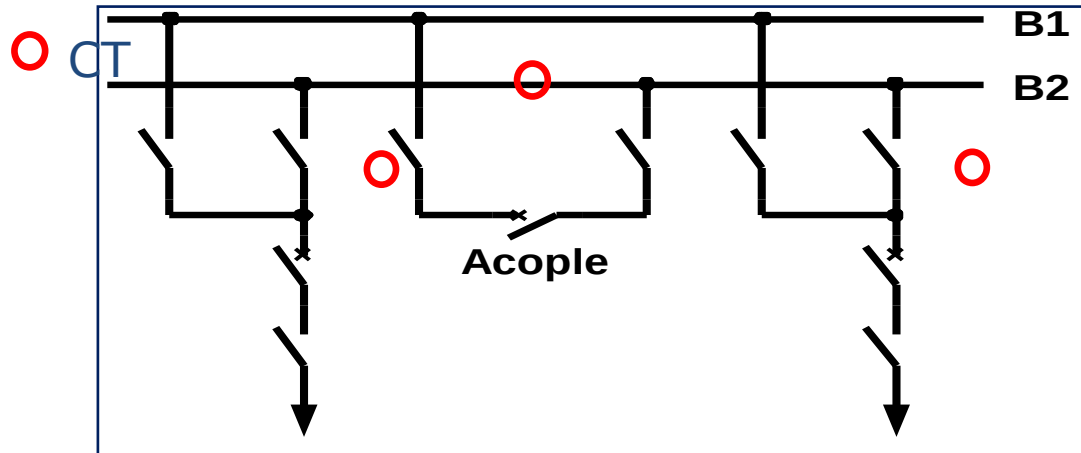
Doble barra

Doble barra con transferencia

Anillo

Interruptor y medio

Doble barra



- Condiciones normales de operación: se pueden tener unas líneas conectadas a B1 y otras a B2, celda de acople cerrada (flexibilidad).
- Falla en barra: se transfieren todas las celdas a la otra barra y se recupera el servicio (confiabilidad).
- Mantenimiento programado en barras: se transfieren previamente todas las celdas a la otra barra sin suspender el servicio (seguridad).
- No tiene confiabilidad en interruptores.
- La Barra 2 debe ser de igual capacidad que la Barra 1.

1.3 Configuraciones típicas de subestaciones.

Barra simple

Barra simple con barra de transferencia

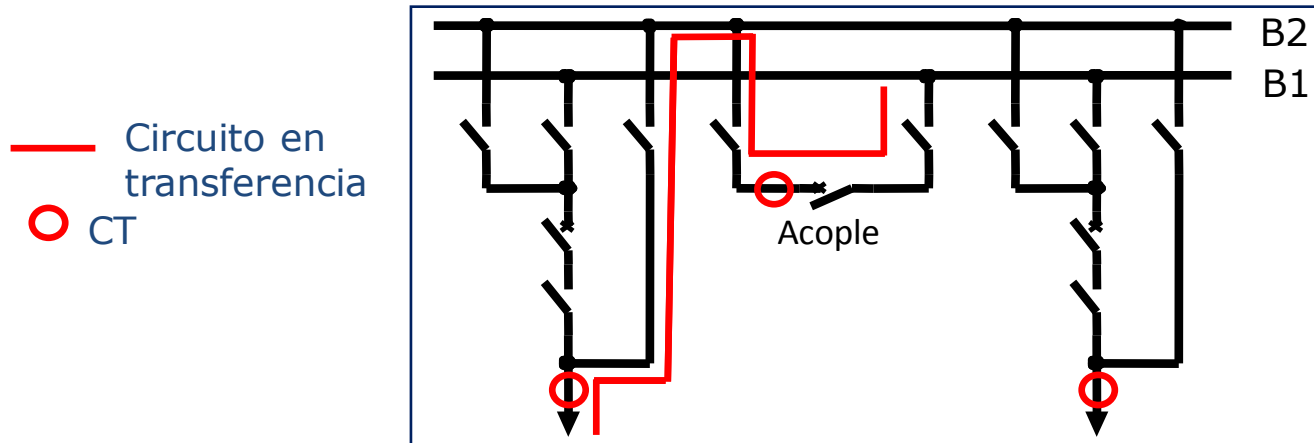
Doble barra

Doble barra con transferencia

Anillo

Interruptor y medio

Doble barra con seccionador de transferencia



- Puede operar como (no simultáneamente):
 - Doble barra: confiabilidad en barras pero no en interruptores, tiene flexibilidad, no tiene seguridad.
 - Barra principal y de transferencia: cuando se requiere hacer mantenimiento a un interruptor.
- Confiabilidad en interruptores pero no en barras, sin flexibilidad.
- B1 actúa como barra principal y B2 como transferencia.
- La Barra 2 debe ser de igual capacidad que la Barra 1.

1.3 Configuraciones típicas de subestaciones.

Barra simple

Barra simple con barra de transferencia

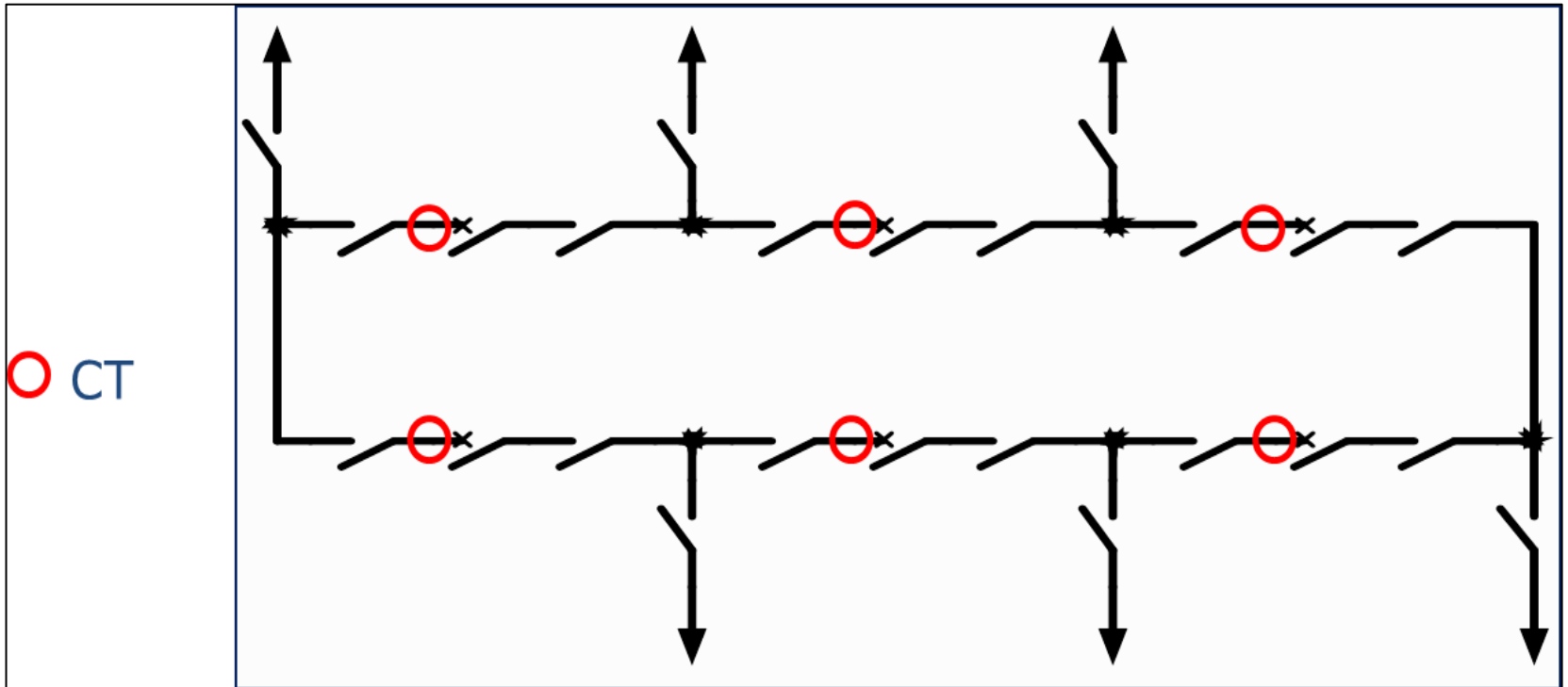
Doble barra

Doble barra con transferencia

Anillo

Interruptor y medio

Anillo



1.3 Configuraciones típicas de subestaciones.

Barra simple

Barra simple con barra de transferencia

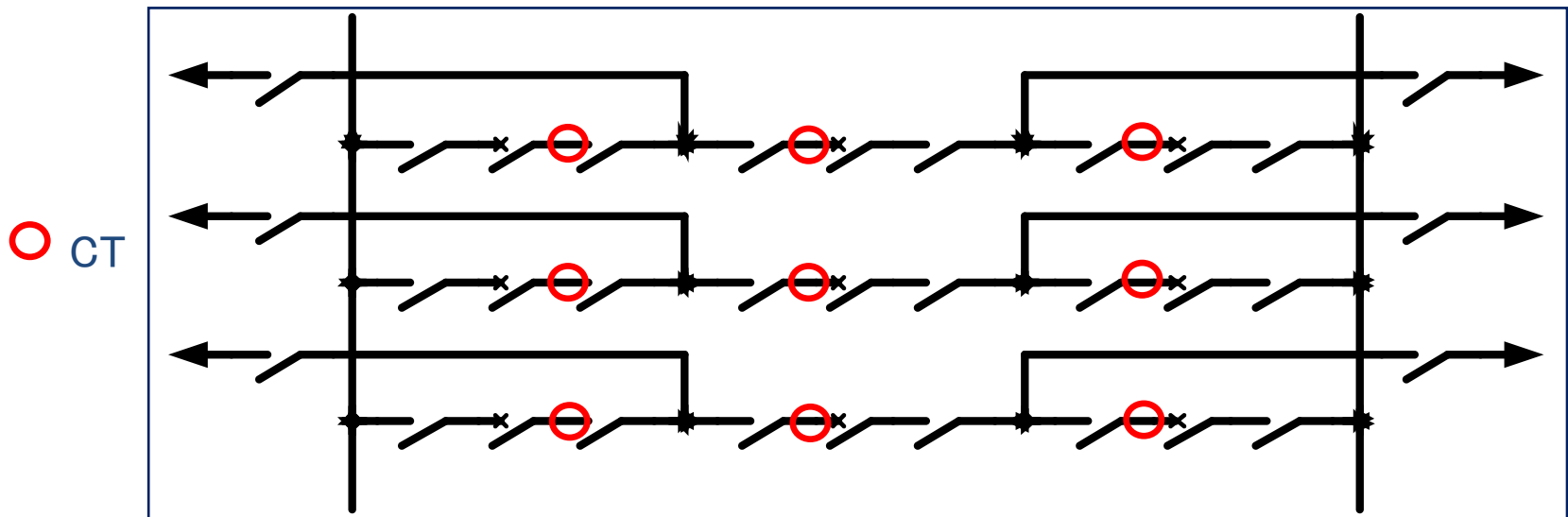
Doble barra

Doble barra con transferencia

Anillo

[Interruptor y medio](#)

Interruptor y medio



1.4 Tipos de fallas.

Concepto de cortocircuito

Falla monofásica

Falla bifásica

Falla trifásica

1.4 Tipos de fallas.

Concepto de cortocircuito

Falla monofásica

Falla bifásica

Falla trifásica

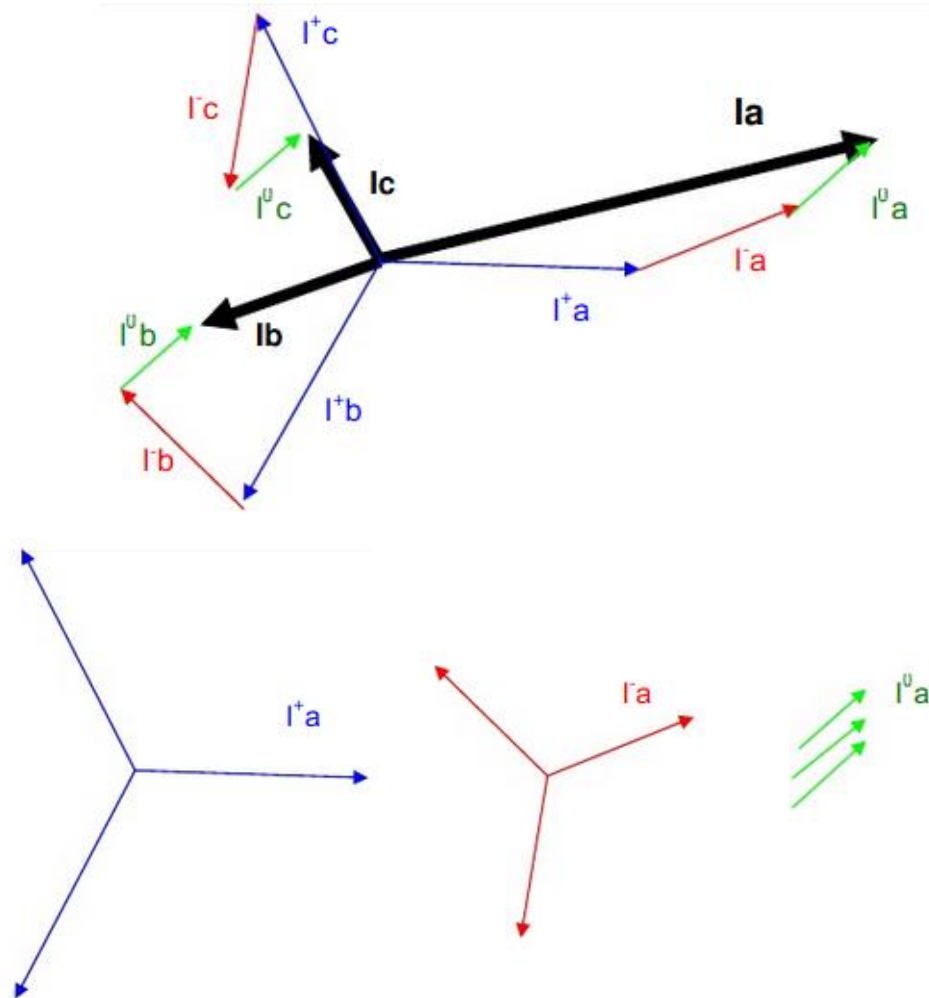
Cortocircuito

- Ocurre en un punto aleatorio de la red eléctrica.
- Deben ser eliminados rápidamente para evitar daños a los equipos que integran la red eléctrica.
- Las corrientes de corto circuito deberán ser conocidas en todo el sistema eléctrico para todas las posibles fallas.

Corrientes de cortocircuito

- Dimensionar la línea de transmisión en su límite soportable de elevación de temperatura debido al cortocircuito.
- Dimensionar el interruptor en cuanto a la sección de sus contactos y capacidad disruptiva de su cámara de extinción de arco eléctrico.
- Dimensionar el transformador de corriente referido al nivel de saturación de su curva de magnetización definida por su clase de precisión.
- Efectuar coordinación de relés
- Etc...

Componentes simétricas de un sistema trifásico



Componentes simetricas

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{a0} \\ \bar{I}_{a1} \\ \bar{I}_{a2} \end{bmatrix}$$

$$\bar{a} = -\left(\frac{1}{2}\right) + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)i$$

1.4 Tipos de fallas.

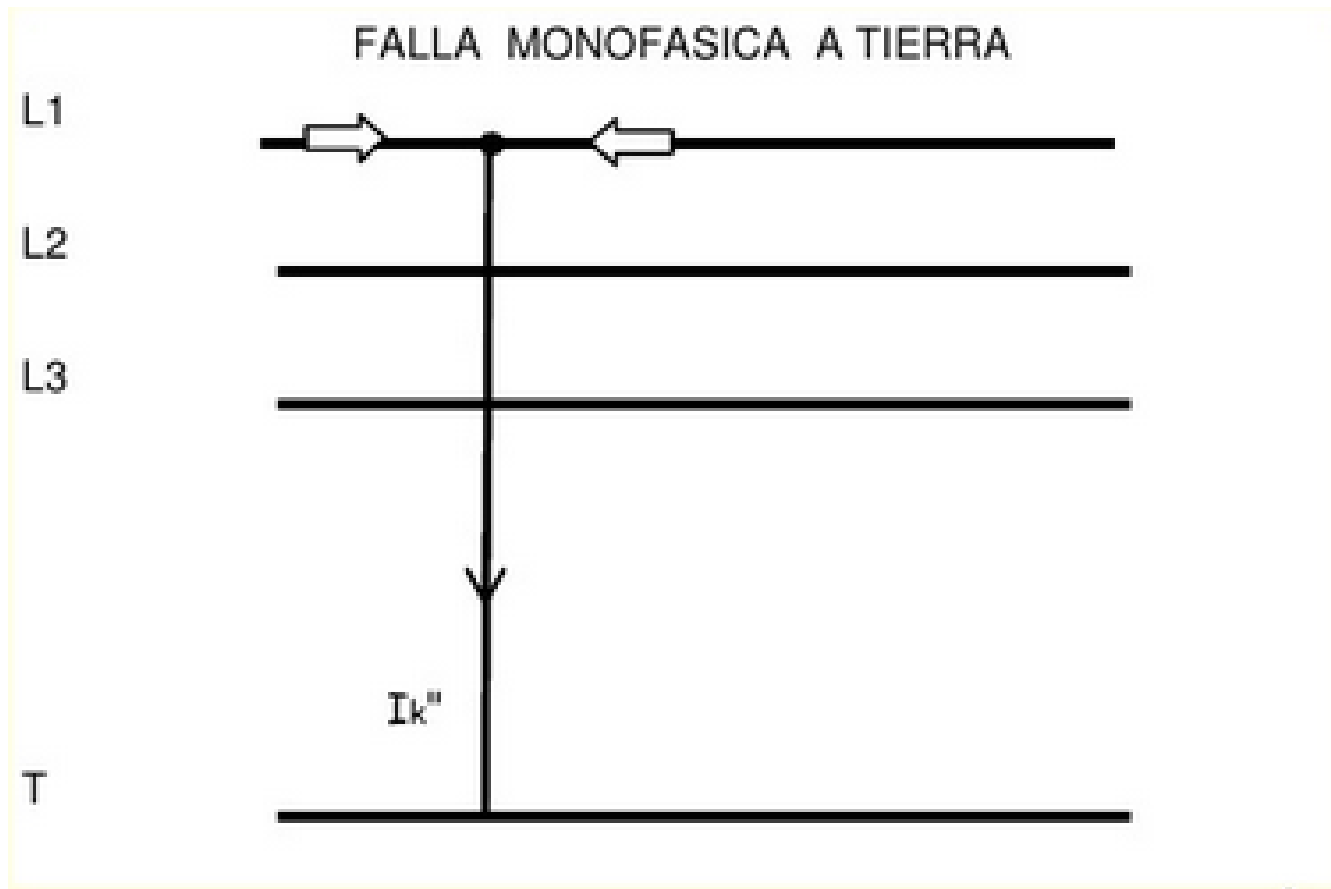
Concepto de cortocircuito

Falla monofásica

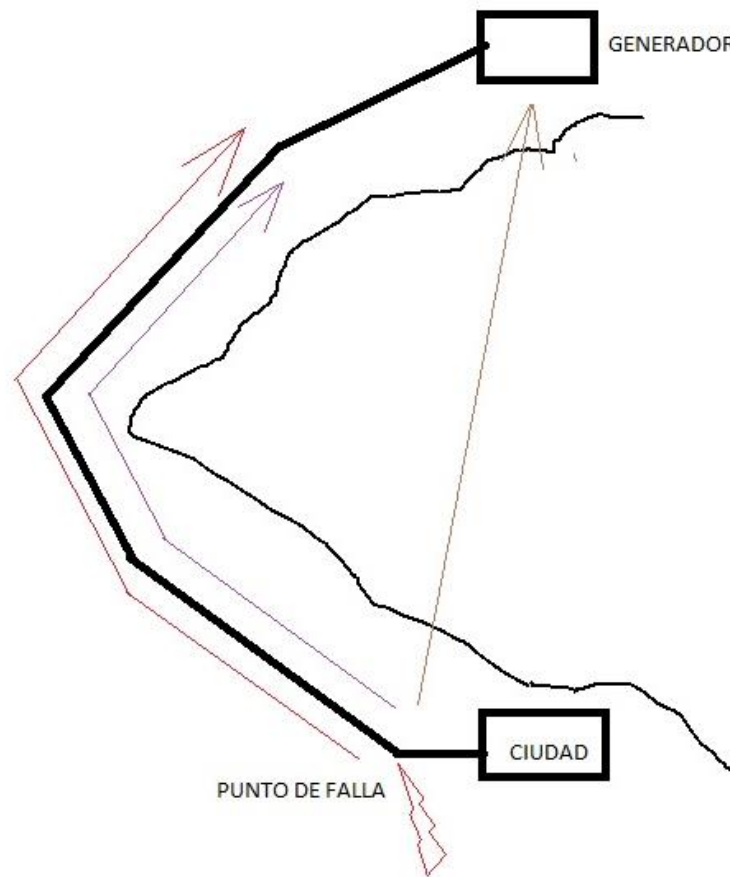
Falla bifásica

Falla trifásica

Falla monofasica



Falla a tierra



1.4 Tipos de fallas.

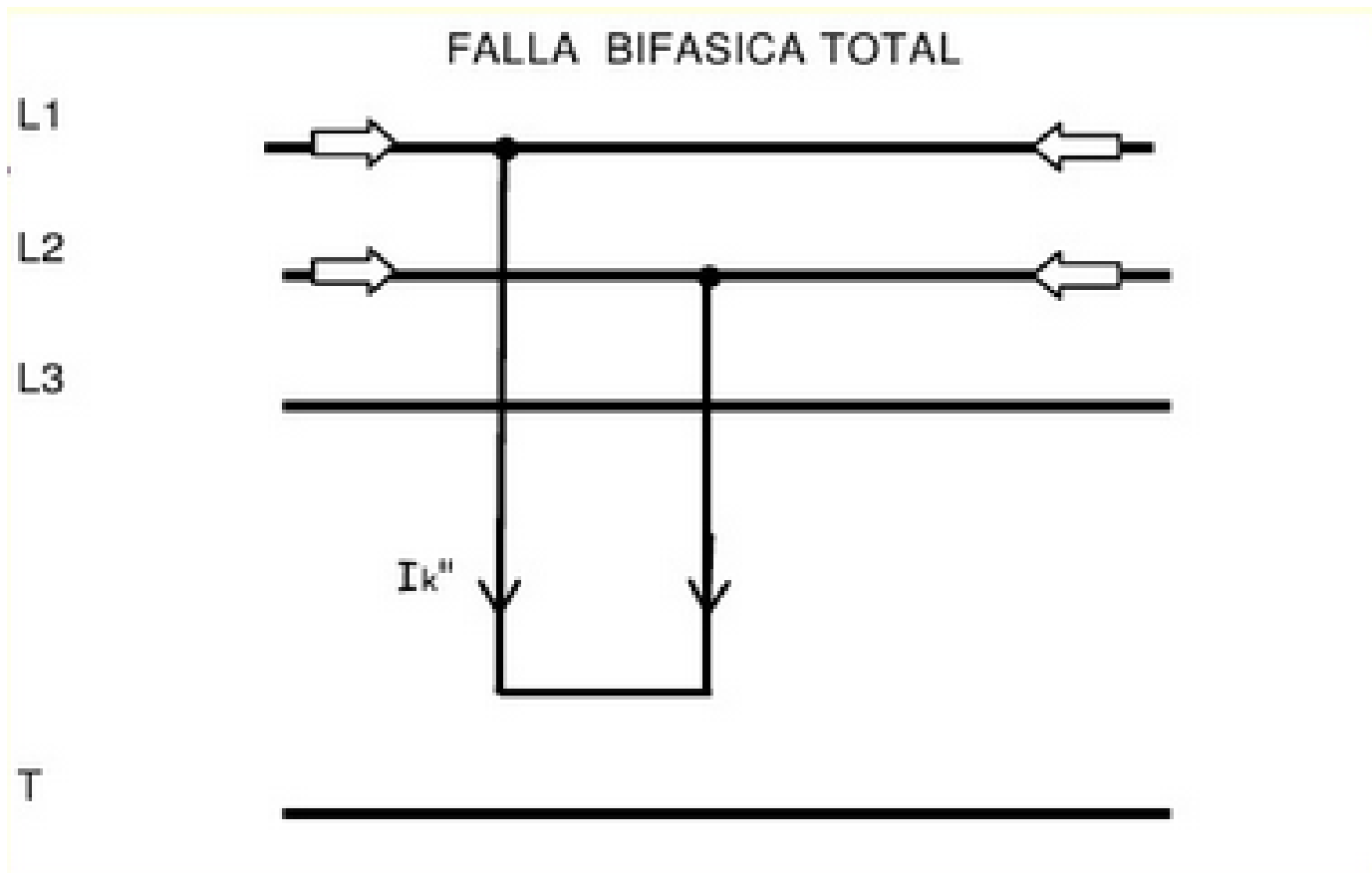
Concepto de cortocircuito

Falla monofásica

Falla bifásica

Falla trifásica

Falla bifasica



1.4 Tipos de fallas.

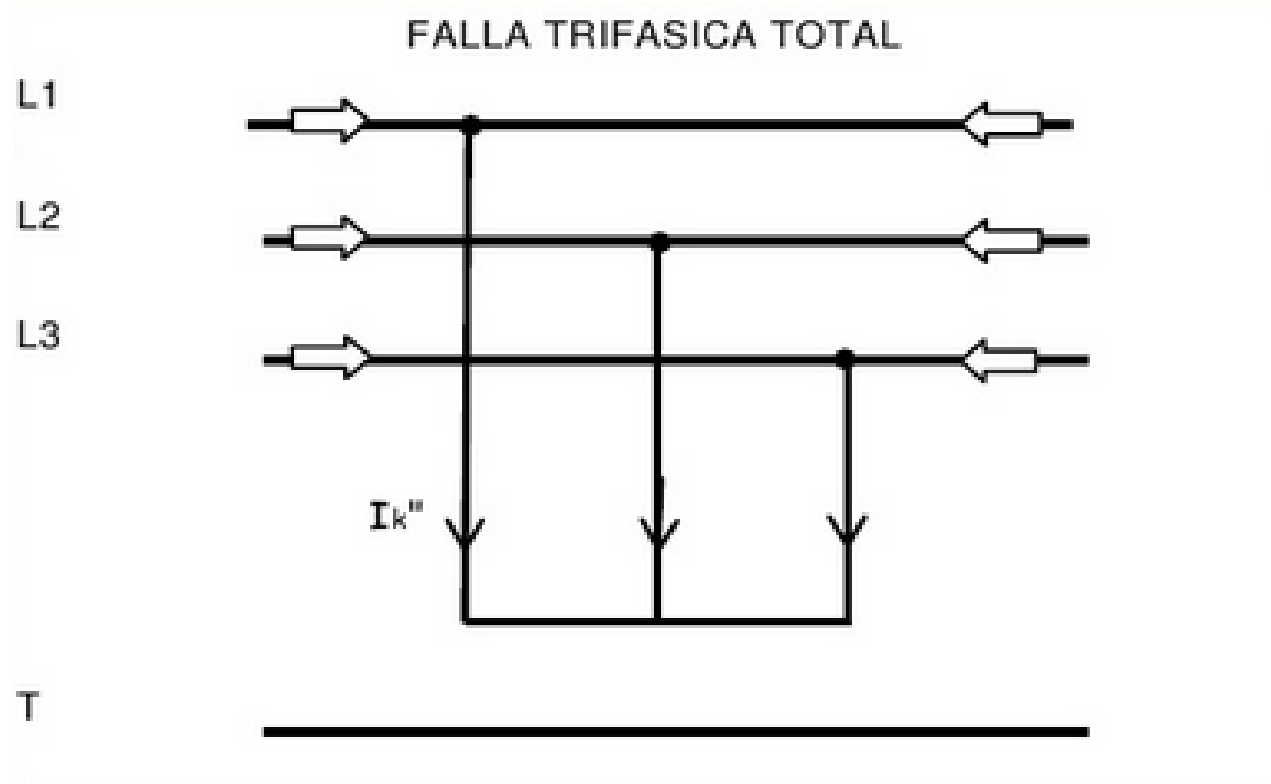
Concepto de cortocircuito

Falla monofásica

Falla bifásica

Falla trifásica

Falla trifasica



Cap. II: Protección de línea de transmisión

- 2.1 Protecciones de sobrecorriente.
- 2.2 Protección de falla interruptor.
- 2.3 Protección diferencial de barras.
- 2.4 Protección diferencial de línea.
- 2.5 Protección de impedancia.
- 2.6 Oscilación de potencia.
- 2.7 Localización de fallas.
- 2.8 Verificación de sincronismo y recierre.

2.1 Protección de sobrecorriente

Función de protección de sobrecorriente
temporizada 51

Tipos de curvas NI, MI, EI, TD

Función de protección de sobrecorriente
instantánea 50

Función de protección 50N/51N

Función de sobrecorriente direccional 67/67N

2.1 Protección de sobrecorriente

Función de protección de sobrecorriente temporizada 51

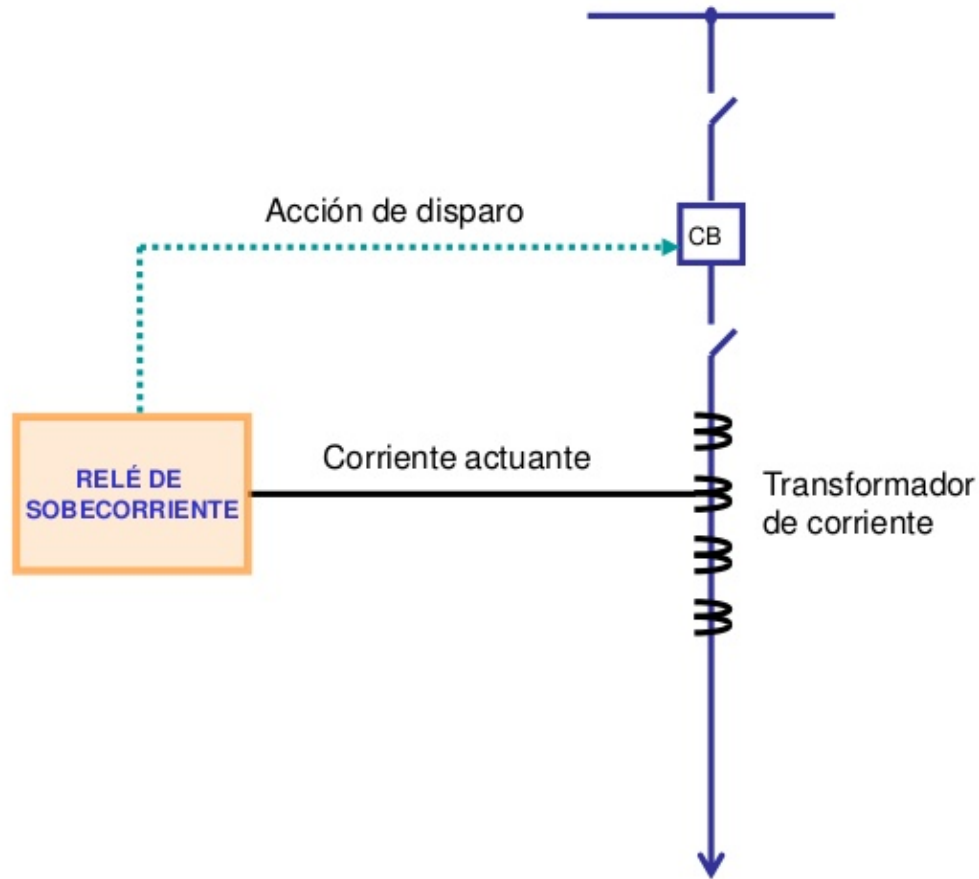
Tipos de curvas NI, MI, EI, TD

Función de protección de sobrecorriente instantánea 50

Función de protección 50N/51N

Función de sobrecorriente direccional 67/67N

Sobrecorriente temporizada



2.1 Protección de sobrecorriente

Función de protección de sobrecorriente temporizada 51

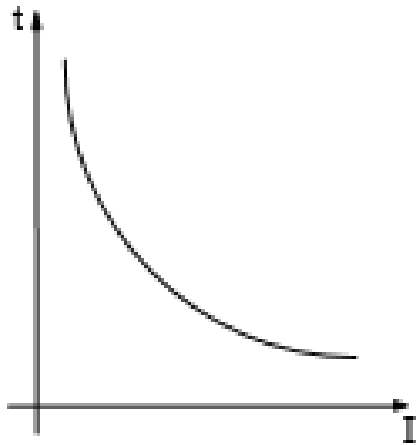
[Tipos de curvas NI, MI, EI, TD](#)

Función de protección de sobrecorriente instantánea 50

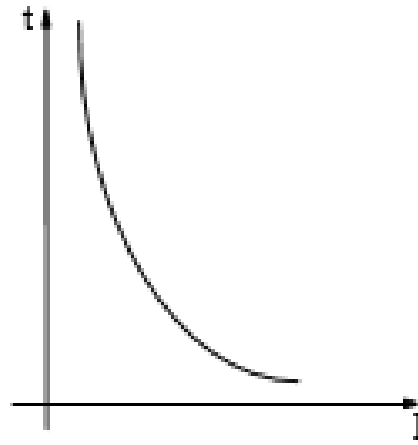
Función de protección 50N/51N

Función de sobrecorriente direccional 67/67N

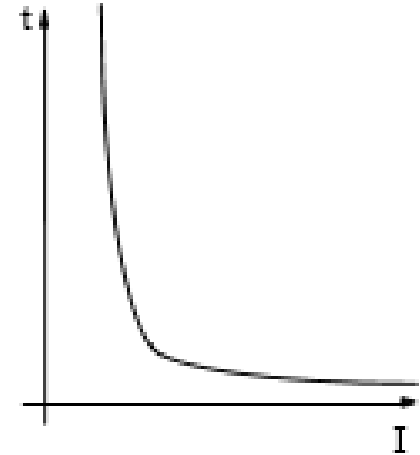
Tipos de curvas temporizadas



a)



b)



c)

a) Normalmente inverso

b) Moderadamente inverso

c) Extremadamente inverso

Tabla 619: Características de tiempo inverso ANSI

Función	Margen o valor	Precisión
Característica de funcionamiento: $t = \left(\frac{A}{(I^P - 1)} + B \right) \cdot k$ Característica de reposición: $t = \frac{t_r}{(I^2 - 1)} \cdot k$ $I = I_{\text{medido}}/I_{\text{definido}}$	k = (0,05-999) en etapas de 0,01 a menos que se indique de manera diferente	-
ANSI Extremadamente inversa	A=28,2, B=0,1217, P=2 , tr=29,1	ANSI/IEEE C37.112, clase 5 + 30 ms
ANSI Muy inversa	A=19,61, B=0,491, P=2 , tr=21,6	
ANSI Inversa normal	A=0,0086, B=0,0185, P=0,02, tr=0,46	
ANSI Moderadamente inversa	A=0,0515, B=0,1140, P=0,02, tr=4,85	
ANSI Extremadamente inversa de tiempo largo	A=64,07, B=0,250, P=2, tr=30	
ANSI Muy inversa de tiempo largo	A=28,55, B=0,712, P=2, tr=13,46	
ANSI Inversa de tiempo largo	k=(0.05-999) en etapas de 0.01 A=0,086, B=0,185, P=0,02, tr=4,6	

2.1 Protección de sobrecorriente

Función de protección de sobrecorriente temporizada 51

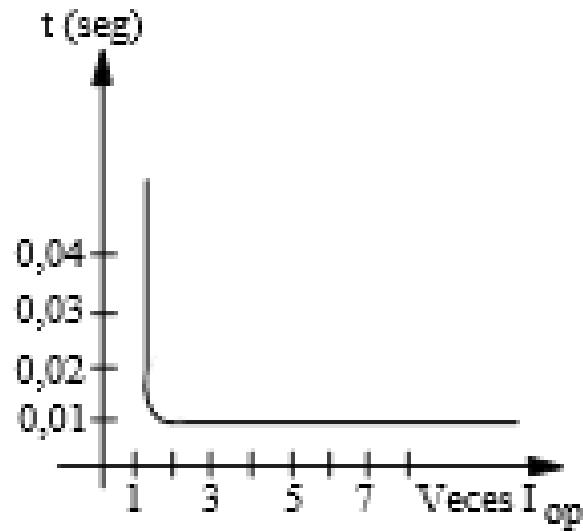
Tipos de curvas NI, MI, EI, TD

Función de protección de sobrecorriente instantánea 50

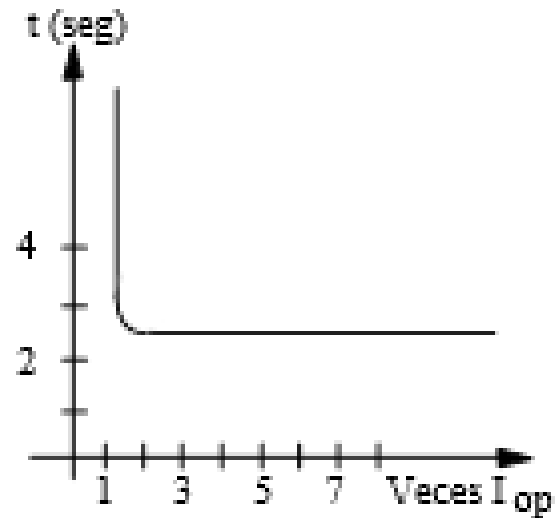
Función de protección 50N/51N

Función de sobrecorriente direccional 67/67N

Sobrecorriente instantánea



a)



b)

a)Instantánea

b)Tiempo definido

2.1 Protección de sobrecorriente

Función de protección de sobrecorriente temporizada 51

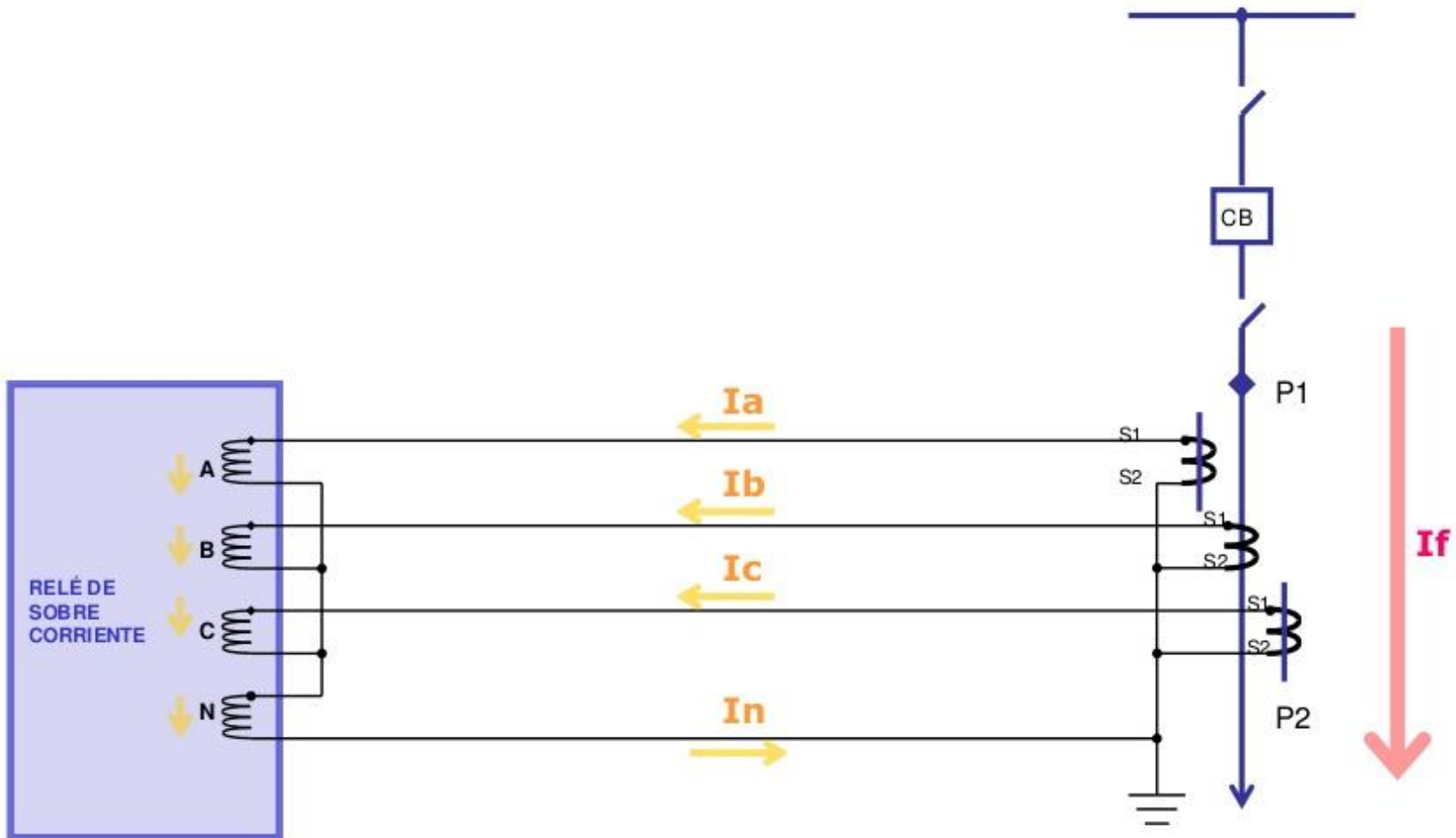
Tipos de curvas NI, MI, EI, TD

Función de protección de sobrecorriente instantánea 50

[Función de protección 50N/51N](#)

Función de sobrecorriente direccional 67/67N

Sobrecorriente de tierra



2.1 Protección de sobrecorriente

Función de protección de sobrecorriente temporizada 51

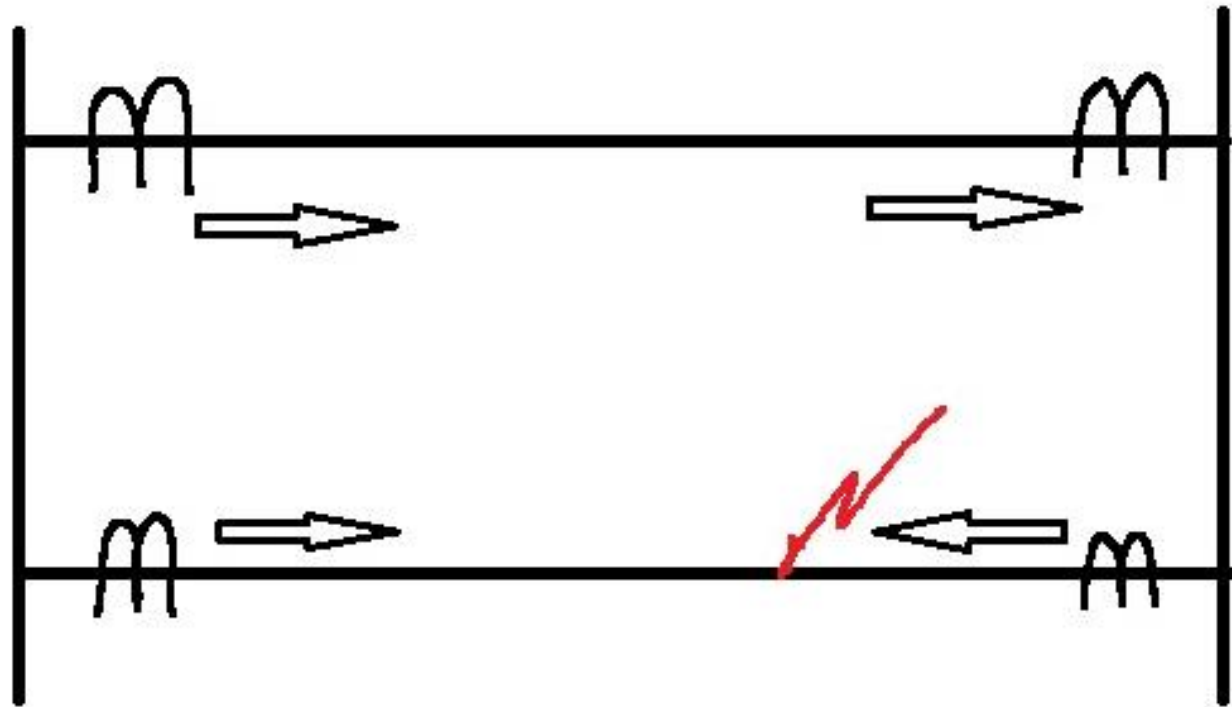
Tipos de curvas NI, MI, EI, TD

Función de protección de sobrecorriente instantánea 50

Función de protección 50N/51N

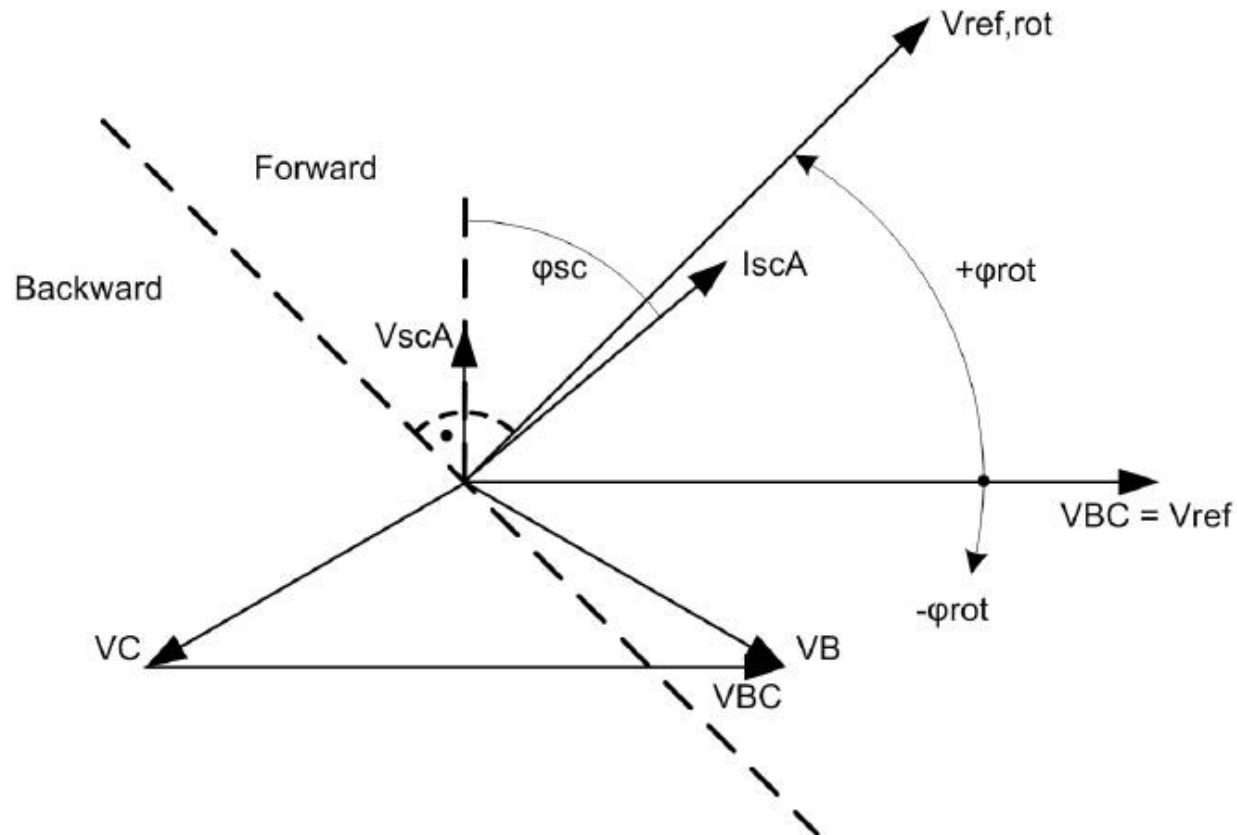
[Función de sobrecorriente direccional 67/67N](#)

Sobrecorriente direccional de fases y tierra



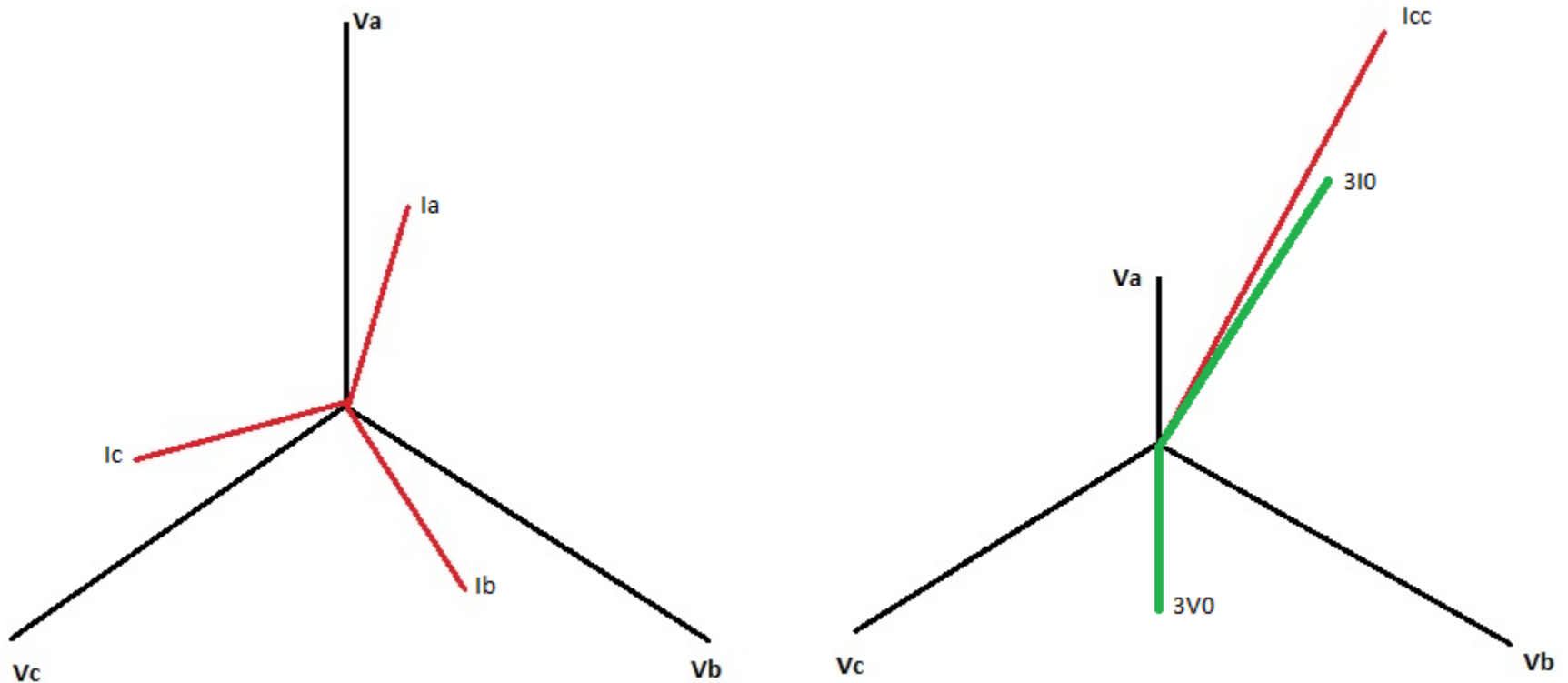
Aplicación en sistema anillado.

Sobrecorriente direccional de fases y tierra



Referencia de polarización 67.

Sobrecorriente direccional de fases y tierra



Referencia de polarización 67N.

2.2 Protección de falla interruptor

Circuito de disparo del interruptor

Protección de falla interruptor 50BF

50BF etapa 1 ó retrip, 50BF etapa 2 ó disparo definitivo

2.2 Protección de falla interruptor

Circuito de disparo del interruptor

Protección de falla interruptor 50BF

50BF etapa 1 ó retrip, 50BF etapa 2 ó disparo definitivo

Protección 50 BF

- Circuito de disparo 1
- Circuito de disparo 2
- Supervisión circuito de disparo
- Baja presión SF6
- Resorte descargado

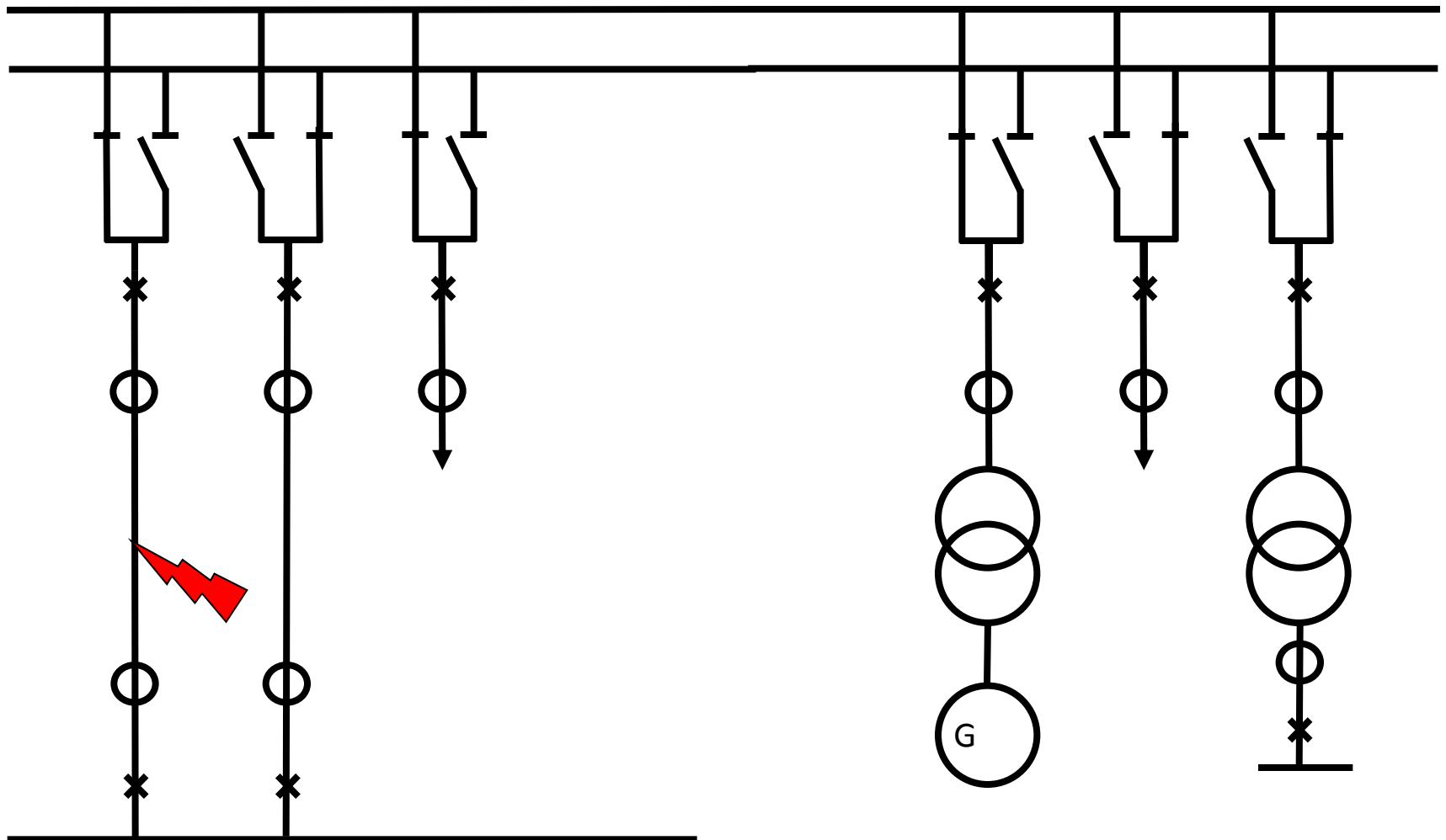
2.2 Protección de falla interruptor

Circuito de disparo del interruptor

[Protección de falla interruptor 50BF](#)

50BF etapa 1 ó retrip, 50BF etapa 2 ó disparo definitivo

Protección 50BF



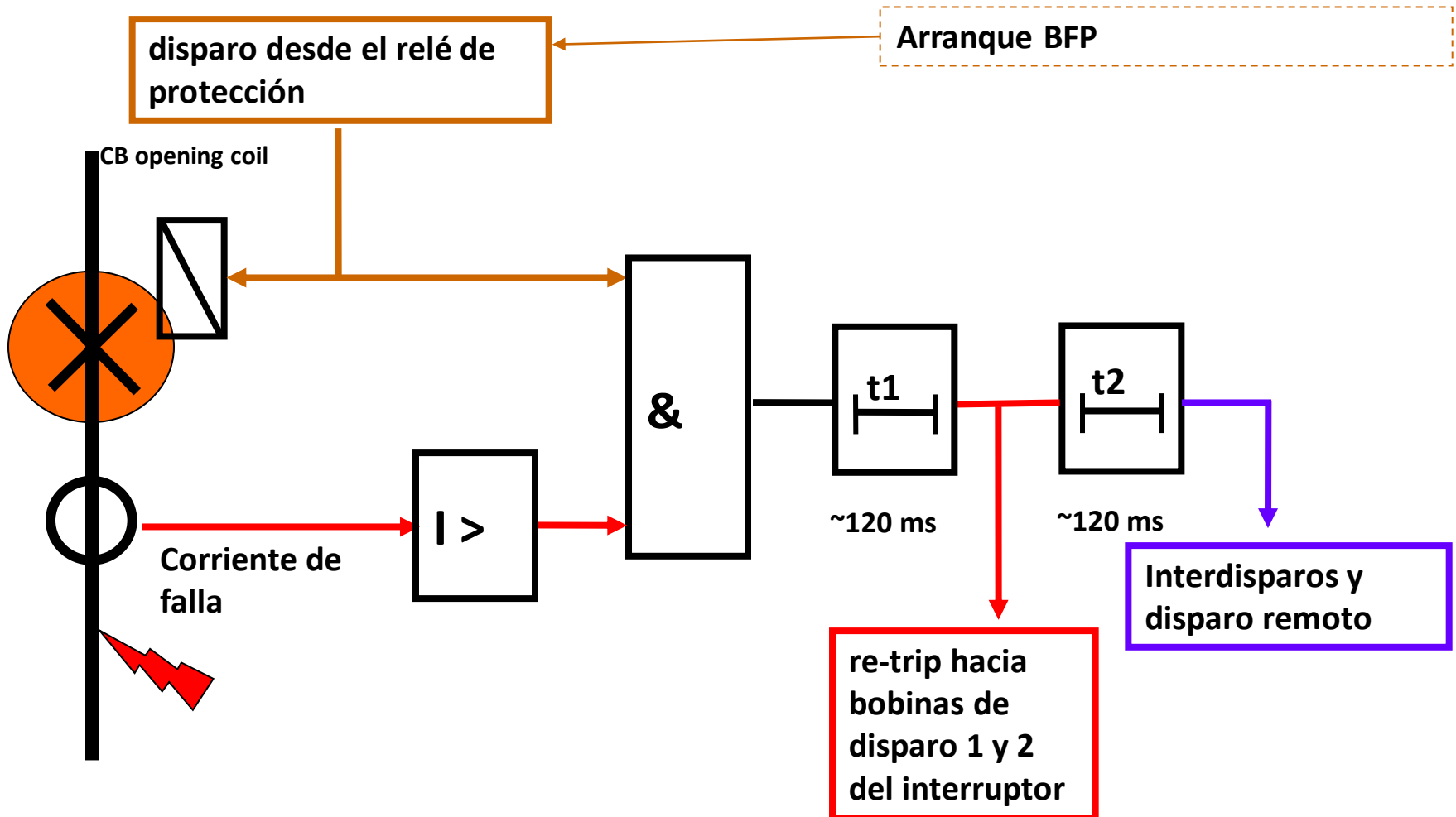
2.2 Protección de falla interruptor

Circuito de disparo del interruptor

Protección de falla interruptor 50BF

50BF etapa 1 ó retrip, 50BF etapa 2 ó disparo definitivo

Protección 50 BF



2.3 Protección diferencial de barras

Función de protección diferencial de barras 87B

Falla en barra, $\sum I_n = 0$, $\sum I_n \neq 0$

Operación incorrecta por saturación de TCs

Protección diferencial porcentual I_d vs I_{res}

2.3 Protección diferencial de barras

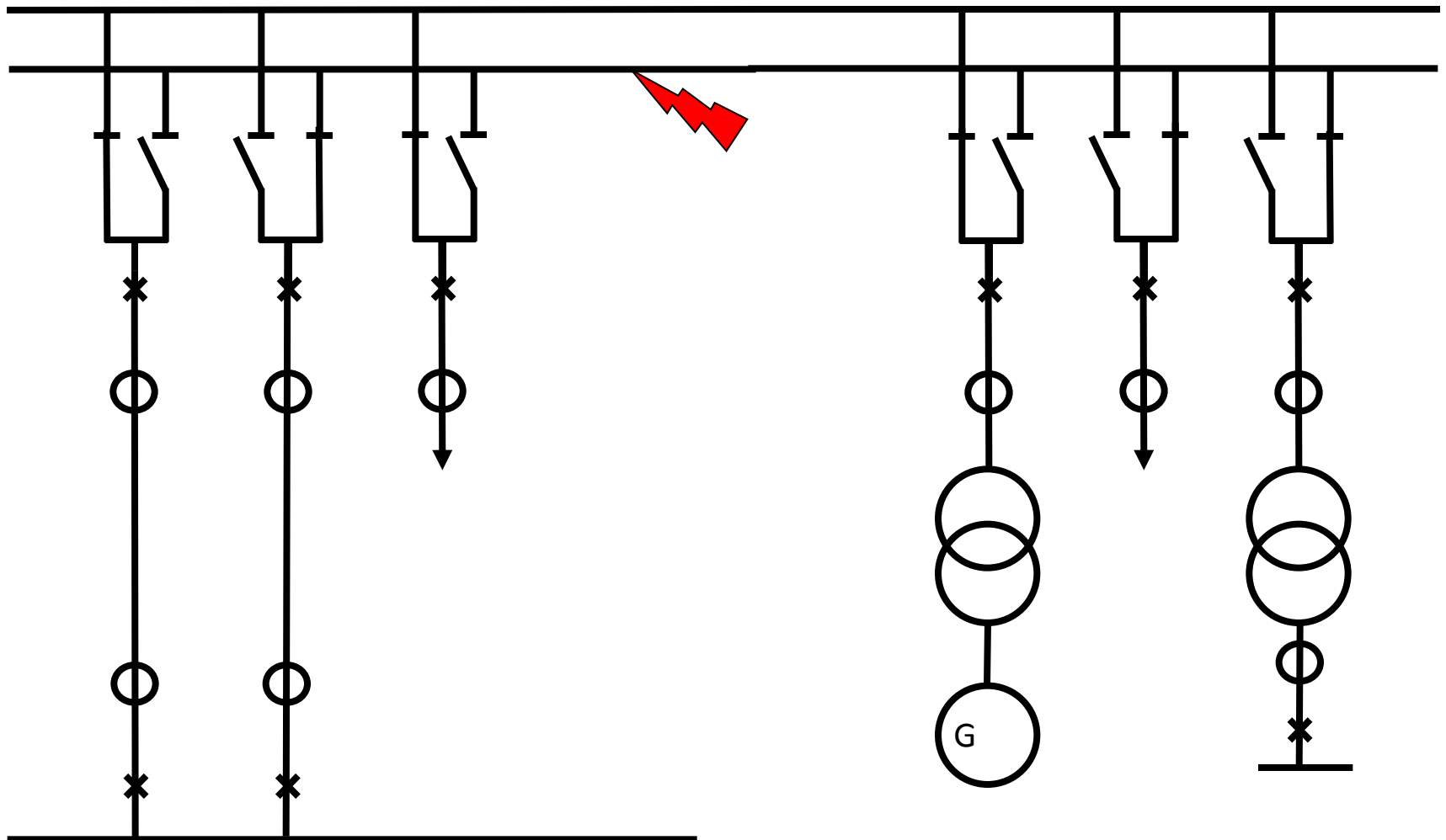
Función de protección diferencial de barras 87B

Falla en barra, $\sum I_n = 0$, $\sum I_n \neq 0$

Operación incorrecta por saturación de TCs

Protección diferencial porcentual I_d vs I_{res}

Función 87B



2.3 Protección diferencial de barras

Función de protección diferencial de barras 87B

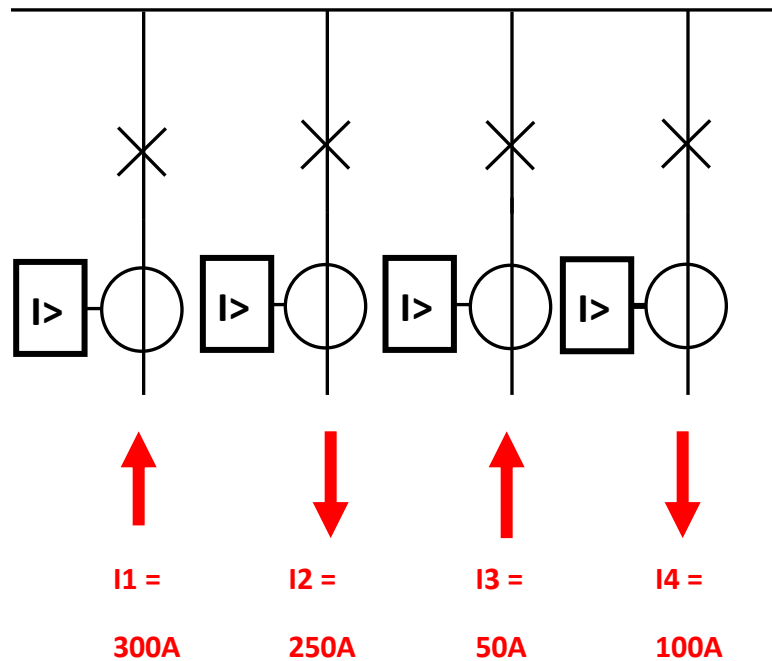
Falla en barra, $\sum I_n = 0$, $\sum I_n \neq 0$

Operación incorrecta por saturación de TCs

Protección diferencial porcentual I_d vs I_{res}

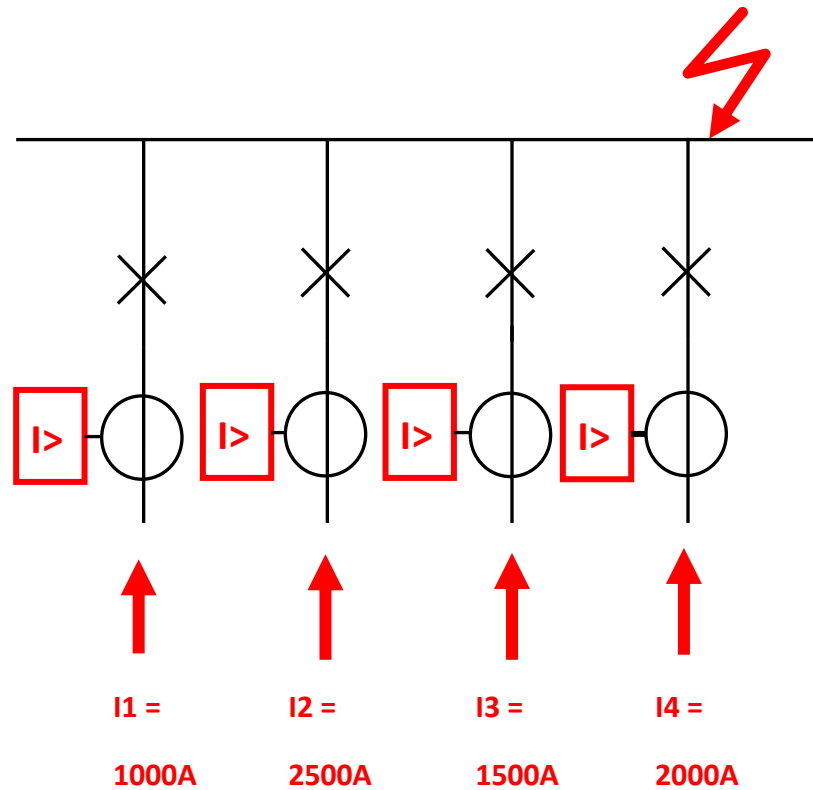
Función 87B

Operación normal



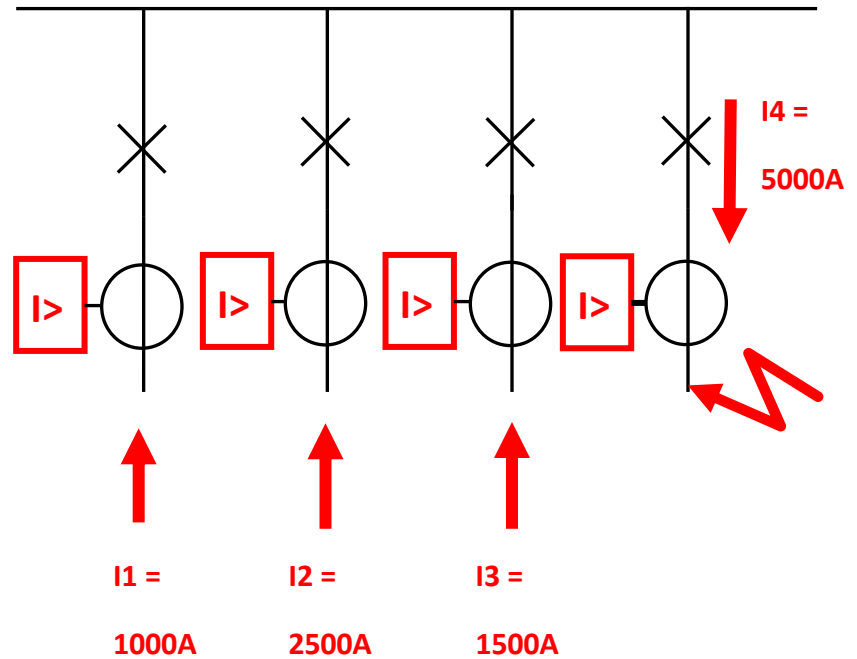
Función 87B

Falla interna



Función 87B

Falla externa



2.3 Protección diferencial de barras

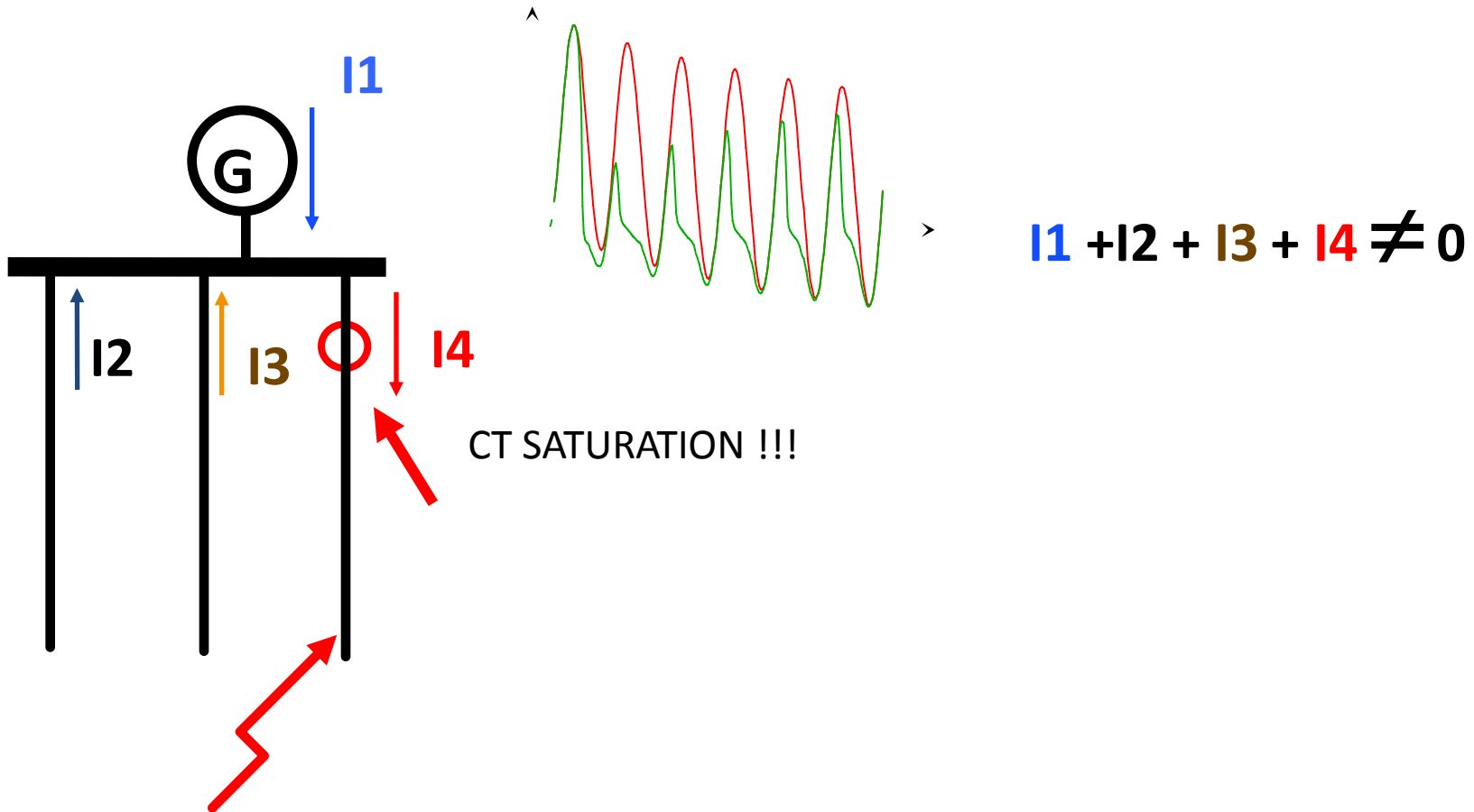
Función de protección diferencial de barras 87B

Falla en barra, $\sum I_n = 0$, $\sum I_n \neq 0$

Operación incorrecta por saturación de TCs

Protección diferencial porcentual I_d vs I_{res}

Función 87B



2.3 Protección diferencial de barras

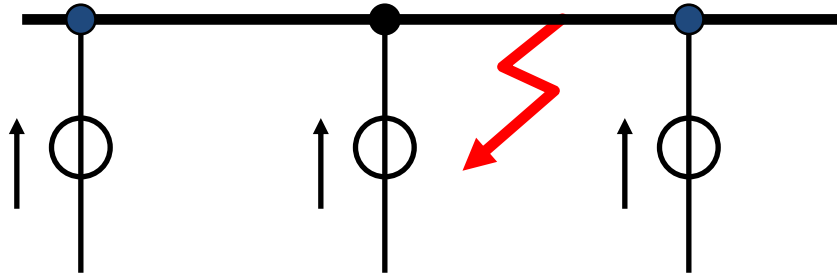
Función de protección diferencial de barras 87B

Falla en barra, $\sum I_n = 0$, $\sum I_n \neq 0$

Operación incorrecta por saturación de TCs

Protección diferencial porcentual I_d vs I_{res}

Función 87B

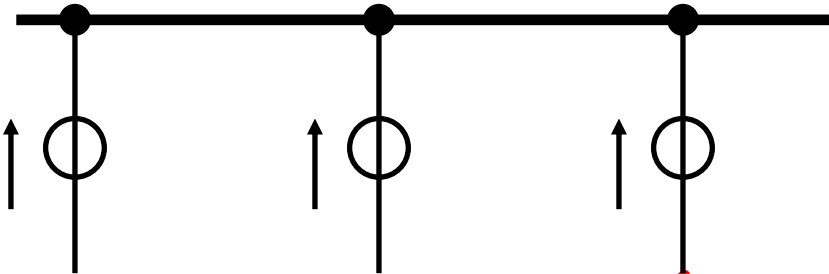


$$I_1 = 5 \text{ kA}$$

$$I_2 = 5 \text{ kA}$$

$$I_3 = 0 \text{ kA}$$

$$k = \frac{|5 + 5 + 0|}{|5| + |5| + |0|} = 1$$



$$I_1 = 5 \text{ kA}$$

$$I_2 = 5 \text{ kA}$$

$$I_3 = -10 \text{ kA}$$

$$k = \frac{|5 + 5 - 10|}{|5| + |5| + |-10|} = 0$$

Función 87B

